เอกสารประกอบการสอน

รายวิชา 04212209

ชื่อวิชา การออกแบบระบบไฟฟ้าและแสงสว่าง

(Electrical System and Lighting Design)

เอกสารประกอบการสอนวิศวกรรมศาสตร์ มนตรี เงาเดช

มนตรี เงาเดช

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

ข้อมูล ทั่วไป

1.รหัสและชื่อรายวิชา

รหัสรายวิชา 04212209

ชื่อรายวิชาภาษาไทย การออกแบบระบบไฟฟ้าและแสงสว่าง

ชื่อรายวิชาภาษาอังกฤษ Electrical System and Lighting Design

2. จำนวนหน่วยกิต

2

3. หลักสูตร และประเภทของรายวิชา

3.1 หลักสูตร ปวส.ไฟฟ้า สาขาวิชาไฟฟ้า

3.2 ประเภทกลุ่มวิชาชีพเฉพาะสาขา

4. อาจารย์ผู้รับผิดชอบรายวิชาและอาจารย์ผู้สอน

อาจารย์มนตรี เงาเดช

5. ภาคการศึกษา ชั้นปีที่เรียน

ภาคการศึกษาที่ 1

6. รายวิชาที่ต้องเรียนมาก่อน (Pre-requisites)

ไม่มี

7. รายวิชาที่ต้องเรียนพร้อมกัน (Co-requisites)

ไม่มี

8. สถานที่เรียน

สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

9. วันที่จัดทำหรือปรับปรุงรายละเอียดของรายวิชา ครั้งล่าสุด

2548

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เงาเดช

คำอธิบายรายวิชา

ศึกษาและปฏิบัติการเกี่ยวกับธรรมชาติของแสง การมองเห็น , แหล่งกำเนิดแสง , คุณสมบัติของดวงโคม , การวัดแสง , การออกแบบและเขียนแบบระบบไฟฟ้าและแสงสว่าง การคำนวณแรงดันตกในสาย การต่อลงดิน การเดินสาย การปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลัง การประหยัดพลังงานไฟฟ้า การประมาณราคา

บทเรียน รายวิชา การออกแบบระบบไฟฟ้าและแสงสว่าง

บทที่ 1 ธรรมชาติของแสงและการมองเห็น
บทที่ 2 หน่วยและศัพท์การวัดแสง
บทที่ 3 แหล่งกำเนิดแสง
บทที่ 4 โคมไฟฟ้า
บทที่ 5 การออกแบบระบบแสงสว่าง
บทที่ 6 การออกแบบระบบไฟฟ้า
บทที่ 7 การออกแบบระบบไฟฟ้าและการคำนวณโหลดระบบไฟฟ้า
บทที่ 8 การประมาณราคาระบบไฟฟ้า

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เงาเดช

บทที่1

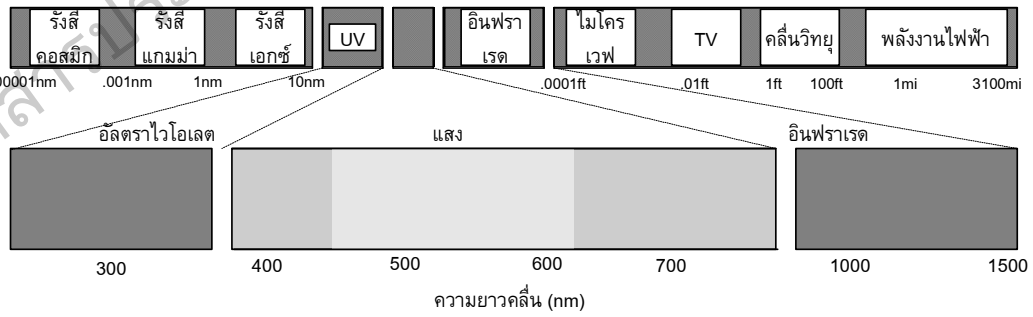
ธรรมชาติของแสงและการมองเห็น

1.1 ชนิดของการกำเนิดของแสง
1.2 ธรรมชาติของแสงและพฤติกรรมของแสง
1.3 ธรรมชาติของการมองเห็น
1.4 ความสัมพันธ์ของแสงและการมองเห็น
1.5 อุณหภูมิสี

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เงาเดช

บทที่ 1
ธรรมชาติของแสงและการมองเห็น

สิ่งแวดล้อมกับมนุษย์เรามีความสัมพันธ์ต่อกันตลอดมา มนุษย์สามารถรับรู้และสัมผัสกับสิ่งแวดล้อมต่างๆ รอบๆ ตัว โดยอาศัยประสาทสัมผัสทั้ง 5 คือ การเห็น การได้ยิน การรับรู้กลิ่น การรับรู้รส และการสัมผัส โดยมนุษย์สามารถมองเห็นสิ่งรอบๆ ตัวโดยอาศัยการมองเห็นโดยใช้อวัยวะที่เรียกว่า ตา ซึ่งองค์ประกอบของตาจะได้กล่าวภายหลัง การที่คนเราจะสามารถมองเห็นได้ต้องอาศัยแสงเข้ามาช่วยในการมองเห็นหากไม่มีแสงคนเราก็ไม่สามารถจะมองเห็นได้ เช่น ในตอนกลางคืน แสงจึงเป็นสิ่งสำคัญในการมองเห็น แสงจัดเป็นพลังงานรูปหนึ่ง เช่นเดียวกับพลังงานพลังงานความร้อน พลังงานไฟฟ้า พลังงานกล ฯลฯ แต่แสงเป็นพลังงานที่สามารถคลื่นที่ได้ การเคลื่อนที่ของแสงจะอยู่ในรูปของคลื่น พลังงานเหล่านี้จะมีความถี่และความยาวคลื่นเฉพาะตัวต่างๆ กันออกไป รูป 1.1 เป็นรูปแสดงสเป็คตรัมทั้งหมดของพลังงาน เมื่อพิจารณาดูแล้วพบว่าแสงเป็นพลังงานเล็กๆ โดยจะมีความยาวคลื่นระหว่าง 380-780 นาโนเมตร (1 นาโนเมตร = 10^{-9} เมตร) ความยาวคลื่นแสงจะช่วยทำให้เราสามารถมองเห็นวัตถุต่างๆ ได้ สำหรับคลื่นที่มีความยาวสั้นกว่า 380 นาโนเมตร ได้แก่ รังสีอุลตราไวโอเล็ต รังสีเอ็กซ์ รังสีแกมมา และคลื่นแสงที่มีความยาวมากกว่า 780 นาโนเมตร ได้แก่ คลื่นวิทยุ คลื่นโทรทัศน์ พลังงานเหล่านี้จะไม่มีส่วนช่วยในการมองเห็นเหมือนพลังงานแสง แต่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในด้านอื่น เช่น รังสีเอ็กซ์ใช้ในการทางการแพทย์ได้แก่การถ่ายภาพร่างกายของมนุษย์ให้เห็นถึงอวัยวะต่างๆ ภายในร่างกายเพื่อนำมาใช้เป็นข้อมูลในการตรวจและวินิจฉัยโรคได้ดีมากยิ่งขึ้น ใช้ในการสื่อสาร ได้แก่ คลื่นวิทยุและคลื่นโทรทัศน์



รูปที่ 1.1 สเป็ตรัมทั้งหมดของพลังงาน

เอกสารประกอบการสอน การยุนตร์ ๆ ๆ ๆ

1.1 ชนิดของการกำเนิดของแสง

แบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ

1. *การแผ่รังสีของวัตถุ (Thermactinic radiation)* เป็นการแผ่รังสีของแสง ทำได้โดยการใช้ความร้อนเผาวัตถุ เช่น คาร์บอน ทังสเตน จนมีความร้อนที่ความร้อนสูงมากๆ วัตถุจะเริ่มร้อนและเมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้แก่วัตถุมากขึ้นไปอีก จนถึงจุดๆ หนึ่ง วัตถุนั้นก็จะสามารถเปลี่ยนสีได้และเปล่งแสงออกมา เช่น การเผาแท่งเหล็กด้วยความร้อนสูงมากๆ แท่งเหล็กจะเกิดการเปลี่ยนสีจากส้มและเหลืองจ้าสว่างในที่สุด ซึ่งจะให้ทั้งพลังงานแสง รังสีอัลตราไวโอเลตและรังสิอินฟราเรดออกมาด้วย แหล่งพลังงานแสงที่เกิดขึ้นจากการเผาหรือการให้ความร้อนนี้เรียกว่า อินแคนเดสเซนต์ *(incandescence)* หรือ แหล่งกำเนิดแสงร้อน *(hot source)* เช่น ไส้หลอดไฟฟ้า ถ่านแดง แสงจากการเชื่อมโลหะ ฯลฯ คุณสมบัติของแหล่งกำเนิดแสงแบบนี้คือมันจะให้พลังงานของแสงสีแดงมากกว่าแสงสีน้ำเงิน

2. *การถ่ายเทประจุไฟฟ้าในก๊าซ (Electric gas discharge)* รวมทั้งการเปลี่ยนรูปวงจรโคจรของอิเล็กตรอน แหล่งกำเนิดแสงแบบนี้เราเรียกว่า แหล่งกำเนิดแสงเย็น *(cold source)* หรือบางทีเรียกว่า ลูมิเนสเซนต์ *(luminescence)* แสงแบบที่เกิดจากการถ่ายเทปนะจุไฟฟ้าในก๊าซซึ่งเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงเคมีภายในก๊าซ นำมาสู่การนำมาใช้ในการผลิตหลอดไฟฟ้าฟลูออเรสเซนต์ หลอดแสงจันทร์ หลอดเมทัลฮาไลด์และหลอดโซเดียม ซึ่งเราจะพิจารณาการเกิดแสงของหลอดแต่ละชนิดในบทต่อๆ ไป

1.2 ธรรมชาติของแสงและพฤติกรรมของแสง

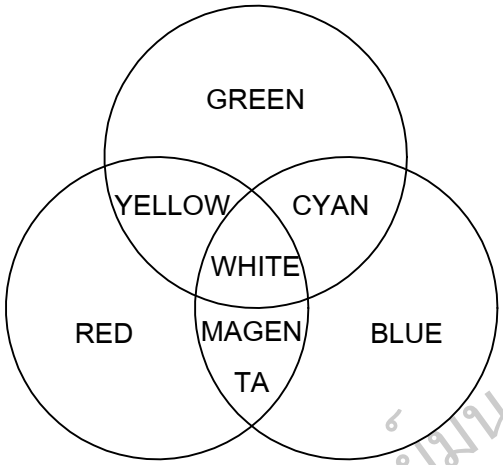
แสงเมื่อมีการเคลื่อนที่ออกจากแหล่งกำเนิดแสงผ่านออกสู่ตัวกลางชนิดต่างๆ นับตั้งแต่อากาศ ของเหลว วัตถุโปร่งแสง วัตถุทึบ ซึ่งตัวกลางแต่ละชนิดก็มีผลต่างกันไป การเรียนรู้ในหัวข้อนี้จะใช้ประกอบในการเลือกใช้โคมไฟฟ้าที่เหมาะสม การเลือกใช้หลอดไฟฟ้า ตลอดไปจนถึงการออกแบบระบบแสงสว่าง

สีของแสงในธรรมชาติที่ตาเรามองเห็นนั้นจะประกอบด้วยแสงสีต่างๆ เรียงกัน 7 สี คือ ม่วง คราม น้ำเงิน เขียว เหลือง แสด แดง ถ้าพลังงานของแถบสีเหล่านี้มีความสมดุลย์กันก็จะให้แสงสีขาวออกมาเพียงสีเดียว สำหรับวัตถุที่มองเห็นเป็นสีต่างๆ นั้นเป็นผลมาจากการที่วัตถุนั้นดูดกลืนสีอื่นไปหมดแล้วสะท้อนสีที่ตัวมันมีอยู่ออกมาเข้าสู่ดวงตา เช่น วัตถุสีแดงเมื่อถูกแสงส่องกระทบมันจะดูดกลืนแสงสีอื่นๆ หมด แล้วสะท้อนแสงสีแดงออกมาจากตัวมันเข้าสู่ตาเราทำให้เรามองเห็นเป็นสีแดง

สีของวัตถุต่างๆ ที่เห็นกันอยู่ตามธรรมชาตินั้นเกิดจาการผสมสีหลักทั้ง 7 สีเข้าด้วยกัน โดยการผสมของสีนั้นสามารถแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบคือ

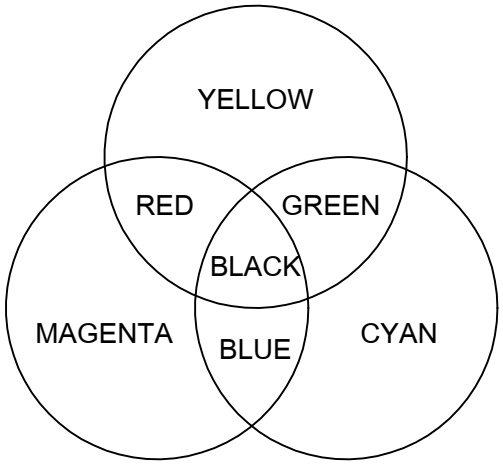
เอกสารประกอบการสอนนอกกรมวิชาการ

1. การผสมสีปฐมภูมิแบบเพิ่มขึ้น (Additive Primaries) แสดงให้เห็นดังรูปที่ 1.2 สีปฐมภูมิ ได้แก่สีเขียว (Green) , สีแดง (Red) และสีน้ำเงิน (Blue) สีทุติยภูมิได้แก่ สีเหลือง (Yellow) เกิดจากการผสมกันของสีเขียวกับสีแดง สีคราม (Cyan) เกิดจากการผสมกันของสีเขียวกับสีแดง สีม่วงแดง (Magenta) เกิดจากการผสมกันของสีแดงกับสีน้ำเงิน และสีขาว (White) เกิดจากการรวมกันของสีปฐมภูมิทั้งสามสี



รูปที่ 1.2 การผสมสีปฐมภูมิแบบเพิ่มขึ้น (Additive Primaries)

2. การผสมสีปฐมภูมิแบบลดลง (Subtrative Primaries) แสดงให้เห็นดังรูปที่ 1.3 สีปฐมภูมิได้แก่ สีเหลือง (Yellow) สีคราม (Cyan) และสีม่วงแดง (Magenta) สีทุติยภูมิได้แก่สีแดง (Red) เกิดจากการผสมกันของสีเหลืองกับสีม่วงแดง สีเขียว (Green) เกิดจากการผสมกันของสีเหลืองกับสีคราม สีน้ำเงิน (Blue) เกิดจากการผสมกันของสีสีครามกับสีม่วงแดง และสีดำ (Black) เกิดจากการผสมกันของสีปฐมภูมิทั้งสามสี

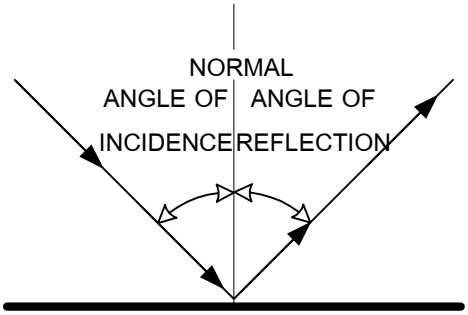


รูปที่ 1.3 การผสมสีปฐมภูมิแบบลดลง (Subtrative Primaries)

เอกสารประกอบการสอนวิชาวิทยาศาสตร์ โดย นายนันทวัฒน์ เงาเดช

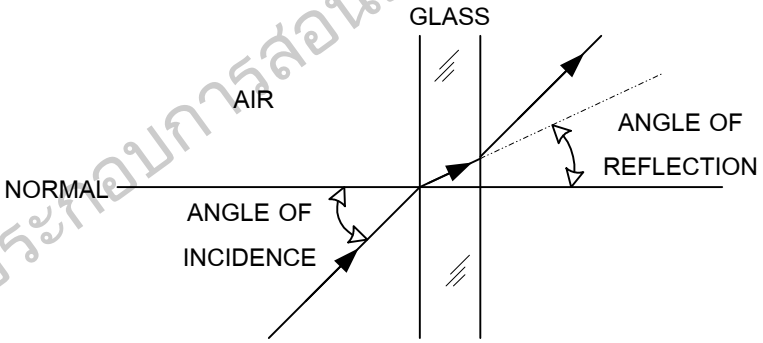
พฤติกรรมของแสงสามารถแบ่งได้ดังนี้

1. ***การสะท้อน (reflection)*** เป็นพฤติกรรมของแสงที่ส่องไปกระทบผิวตัวกลางลักษณะต่างๆ กันและสะท้อนตัวออก หากแสงไปตกกระทบผิวตัวกลางที่มีลักษณะผิวเรียบและมัน การสะท้อนตัวของแสงจะเป็นไปตามที่ว่า มุมตกกระทบ (angle of incidence) เท่ากับมุมสะท้อน (angle of reflection) ดังรูป 1.4



รูป 1.4 การสะท้อนแสงบนวัตถุผิวเรียบและมัน

2. ***การหักเห (refraction)*** เป็นพฤติกรรมของแสงที่ผ่านตัวกลางโปร่งแสง มีผลทำให้แสงหักเหออกจากแนวทางเดินของมัน ดังรูปที่ 1.5

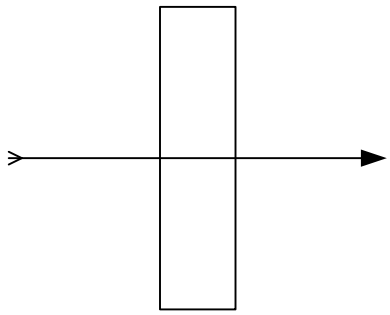


รูป 1.5 การหักเหของแสง

3. ***การกระจายแสง (diffusion)*** เป็นพฤติกรรมของแสงเมื่อกระทบถูกผิวของตัวกลาง เช่น แผ่นพลาสติกใสหรือแผ่นผิวหยาบขัดมัน แล้วกระจายตัวออกไปซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะของตัวกลางว่าอยู่ในรูปทรงแบบใด

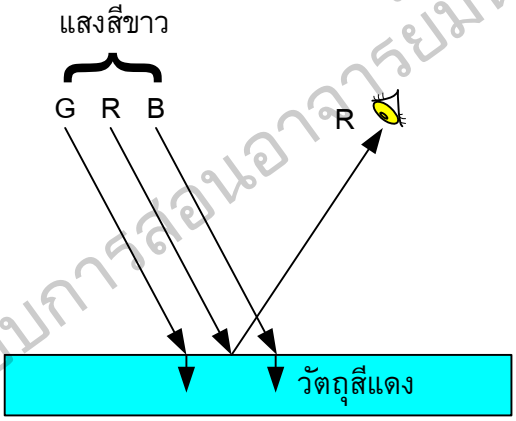
4. ***การทะลุผ่าน (transmission)*** เป็นพฤติกรรมของแสงที่ส่องทะลุผ่านตัวกลางไปอีกด้านหนึ่งโดยไม่มีการหักเหของแสงแต่อย่างไร ดังรูป 1.6

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์ยนตรี เงาเดช



รูปที่ 1.6 การทะลุผ่านของแสง

5. ***<u>การดูดกลืน (absorbtion)</u>*** เป็นปรากฏการณ์ที่แสงไปกระทบตัวกลางแล้วถูกดูดกลืนหายเข้าไปในตัวกลางบางส่วนในรูปของสีของแสงและจะปล่อยออกไปให้เฉพาะสีของแสงที่ไม่ต้องการ เช่น การฉายแสงสีขาวลงบนวัตถุสีแดง แสงสีอื่นๆ จะถูกดูดกลืนเข้าไปในกำแพง ยกเว้นแสงสีแดงเท่านั้นที่สะท้อนออกมาเข้าสู่ตาเรา โดยปกติแล้วหากตัวกลางดูดกลืนพลังงานแสงเข้าไปแล้ว มันจะเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน ดังรูปที่ 1.7



รูปที่ 1.7 การดูดกลืนของแสง

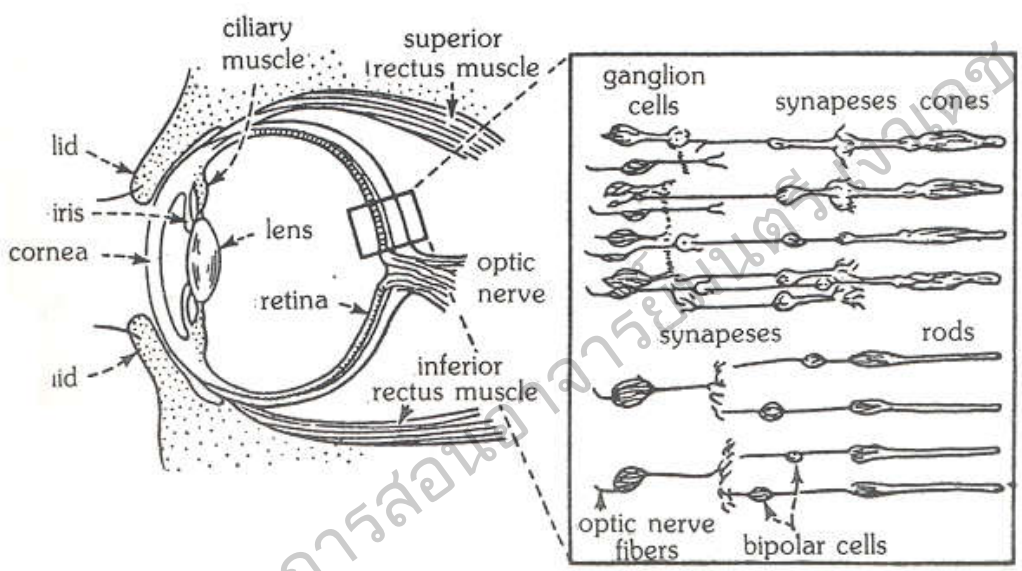
เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เจ้าเดช

1.3 ธรรมชาติของการมองเห็น

ตาของคนเราเปรียบแล้วคล้ายกับกล้องถ่ายภาพ ซึ่งมีองค์ประกอบหลายส่วนของนัยน์ตาและดวงตาในการมองเห็นภาพต่างๆ รวมกับถึงระบบการป้องกันการมองเห็น การรับแสงตลอดไปจนถึงการป้องกันดวงตาจากอันตรายจากสิ่งรอบตัว องค์ประกอบของนัยน์ตาเราอาจแบ่งพอสังเขปได้ดังนี้

เมื่อแสงตกกระทบที่วัตถุใดๆ มันจะสะท้อนเข้าสู่กระบอกตา ผ่านแก้วตา (cornea) ม่านตา (iris) ลูกตา (lens) เรตินา ประสาทตา (retina) และสมองตามลำดับ การควบคุมปริมาณแสงจะอาศัยการทำงานของม่านตาคอยควบคุมปริมาณแสงให้เหมาะสมและปลอดภัยกับนัยน์ตา เช่น หากเรามองแสงที่มีความสว่างมาม่านตาจะปิดตัวลงมาเพื่อรับแสงที่เหมาะสม หรือ เมื่อเรามองในที่มืดสลัวม่านจะเปิดกว้างเพื่อรับแสงได้มากขึ้น นอกจากนี้แล้วนัยน์ตายังมีกล้ามเนื้อตาจะทำ

หน้าที่ขยายตัวและหดตัว เพื่อโฟกัสให้คลื่นแสงที่มากระทบแก้วตาและลูกตาไปตกลงบนเรตินา เพื่อให้ได้ภาพที่ชัดที่สุด บริเวณเรตินายังประกอบไปด้วยเซลล์ประสาทเป็นจำนวนมาก เซลล์ประสาทตาจะแบ่งเป็น 2 กลุ่มใหญ่คือ โคน (cones) และ รอดส์ (rods) โคนจะทำหน้าที่ในการแยกรายละเอียดของสิ่งต่างๆ และรับความรู้สึกทางด้านสีของสิ่งที่เรามองเห็นมองเห็นได้เป็นอย่างดี โคนจะทำหน้าที่ในตอนกลางวันทำให้การมองเห็นภาพต่างๆ ได้ดี ส่วนรอดส์นั้นช่วยในการมองเห็นภาพอย่างหยาบๆ ไม่สามารถแยกรายละเอียดและสีได้ มันจะทำหน้าที่ได้ดีในตอนกลางคืน ดังนั้นรอดส์จึงไวต่อแสงแม้เพียงเล็กน้อย รูปที่ 1.8 แสดงรายละเอียดรูปหน้าตัดของนัตน์ตาคนเรา



รูปที่ 1.8 แสดงรูปหน้าตัดของลูกนัยน์ตา

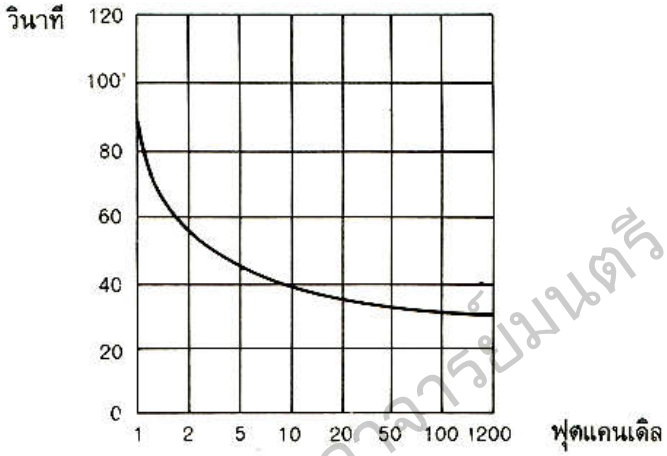
ด้วยความสามารถในการทำงานและตอบสนองได้ต่างกันของโคนและรอดส์ ทำให้นัตน์ตาคนเราไม่สามารถตอบสนองต่อความยาวคลื่นต่างๆ ได้เท่าเทียมกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การเห็นในบริเวณที่สลัวๆ หรือค่อนข้างมืด ความสามารถในการตอบสนองทางด้านสีจะเพี้ยนไป

1.4 ความสัมพันธ์ของแสงและการมองเห็น

การออกแบบระบบแสงสว่างที่ดี ได้ปริมาณแสงที่พอดีเหมาะสม ถูกต้องกับสภาพการใช้งาน จะต้องคำนึงถึงองค์ประกอบต่างๆ มากมาย ซึ่งผู้ออกแบบจำเป็นต้องให้ความสำคัญเป็นอย่างมากในการออกแบบระบบแสงสว่างไม่ว่าจะเป็น ระยะห่างระหว่างชิ้นงานกับผู้ปฏิบัติงาน ระยะห่างระหว่างพื้นที่ทำงานกับแหล่งกำเนิดแสง ขนาดของชิ้นงาน ความแตกต่างของการสะท้อนแสงของวัตถุกับสิ่งรอบๆ ข้าง ความแตกต่างของความขาว-ดำ ตลอดจึงการเคลื่อนที่ของชิ้นงาน เราจะพิจารณาถึงความสัมพันธ์ต่างๆ เหล่านี้ที่มีผลต่อการมองเห็น ซึ่งมีกัน 4 อย่างคือ

เอกสารประกอบการสอนมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล

1. <u>เวลาที่ใช้ในการมอง (Exposure Time)</u> หมายถึง ช่วงเวลาที่ตาได้มีโอกาสมองเห็นวัตถุที่ต้องการจะเห็น ตาไม่สามารถมองเห็นวัตถุได้ทันที ตาต้องการช่วงเวลาในการปรับกล้ามเนื้อตาให้หดหรือขยายตัว หากปริมาณแสงยิ่งน้อยตาก็ยิ่งต้องการเวลาในการมองเห็นมากขึ้นเท่านั้น (อาจจะกล่าวได้ว่า เวลาในการมองเห็นแปรผกผันกับปริมาณแสง) ดังรูปที่ 1.9 หากวัตถุมีการเคลื่อนที่ด้วยแล้วในการออกแบบจะต้องคำนึงถึงปัญหานี้เป็นพิเศษ เช่น ในการออกแบบสนามกีฬาที่มีการใช้งานในตอนกลางคืน เช่น สนามฟุตบอล สนามเทนนิส ฯลฯ ปริมาณแสงจะต้องมีปริมาณที่สูงเพียงพอ

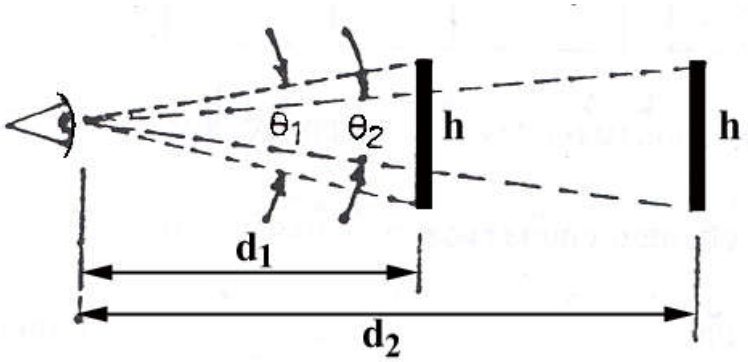


รูปที่ 1.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและปริมาณแสง (หน่วยเป็น ฟุตแคนเดิล)

จะเห็นว่าเมื่อมาถึงจุดๆ หนึ่งเวลาในตาที่ต้องการมองเห็นจะเริ่มคงที่ เพราะขีดจำกัดของกล้ามเนื้อตานั่นเอง ดังนั้นปริมาณแสงนี้ก็ยังส่งผลไปถึงระบบการทำงานของคนเราด้วย กล่าวคือผู้ที่ทำงานอยู่ภายในแสงที่มีปริมาณมากเพียงพอและเหมาะสม ก็สามารถทำงานทำงานได้เร็วกว่าและถูกต้องมากกว่า หากเราเพิ่มปริมาณแสงขึ้น 6 เท่า ทำให้ลดเวลาในการมองลงได้ครึ่งหนึ่ง

2. <u>ขนาด (Visual Size)</u> หมายถึงขนาดของวัตถุ สิ่งของ ที่เราต้องการมอง หากวัตถุใดที่มีขนาดใหญ่แล้วตาของคนเราสามารถมองเห็นได้ก่อนและชัดเจนกว่าวัตถุที่มีขนาดเล็กกว่า รวมไปถึงระยะทางระหว่างตากับวัตถุที่ต้องการมองด้วย หากวัตถุ 2 ชิ้นที่มีขนาดเท่ากันหากวางไว้ในระยะที่ต่างกัน ตาคนเราจะมองเห็นวัตถุที่อยู่ใกล้ตามีขนาดใหญ่กว่าวัตถุที่อยู่ไกลตาออกไป ซึ่งเป็นผลมาจากขนาดของมุมที่นั้นวัตถุกระทำต่อตา ดังรูปที่ 1.10

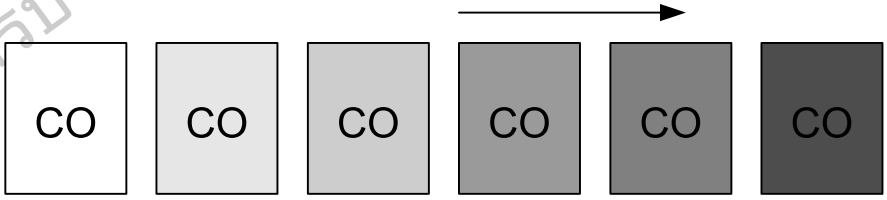
เอกสารประกอบการสอนวิชาการยศาสตร์ เจ้าเดช



รูปที่ 1.10 แสดงการมองวัตถุที่อยู่ในตำแหน่งต่างกัน

การให้ปริมาณแสงที่เหมาะสม จะทำให้ตาคนเรามีความรู้สึกว่าวัถตุนั้นมีขนาดใหญ่ขึ้นได้และมีความชัดเจนมากขึ้นด้วย ดังนั้นในงานที่ต้องอาศัยการมองวัตถุที่มีขนาดเล็กๆ จึงจำเป็นต้องอาศัยปริมาณแสงที่มากพอเป็นเงาตามตัว เช่น การอ่านหนังสือ การเขียนแบบ งานด้าน อิเล็กทรอนิกส์ งานเจียระไนอัญมณี ฯลฯ

3. <u>คอนทราสต์ (Contract)</u> หมายถึงความแตกต่างในความสว่างระหว่างวัตถุชิ้นงานของตากับฉากหลังหรือสิ่งที่อยู่รอบๆ ภาพที่ตามองเห็น ถ้าค่าคอนทราสต์มีค่าสูงการมองเห็นจะมีประสิทธิภาพดีขึ้นและเห็นได้ชัดเจนมากยิ่งขึ้น เช่น การมองตัวอักษรสีดำบนพื้นขาวจะทำให้สามารถอ่านได้ง่ายกว่าการมองตัวหนังสือสีดำพื้นสีเทา แต่หากค่าคอนทราสต์มีค่าต่ำก็จะทำให้การมองเห็นยากลำบากมากยิ่งขึ้น เช่น การปักด้ายสีดำบนผ้าสีดำ การมองเห็นจะยากลำบากขึ้นและต้องใช้เวลาในการมองมากขึ้น ซึ่งทางแก้คือต้องเพิ่มปริมาณแสงให้มากขึ้นกว่าเดิม รูปที่ 1.11 แสดงความแตกต่างระหว่างความดำ-ขาว (คอนทราสต์) เมื่อคอนทราสต์ลดลง การมองเห็นก็จะยากลำบากขึ้น



รูปที่ 1.11 แสดงความแตกต่างระหว่างความดำ-ขาว (คอนทราสต์)

<u>4. ความสว่าง (Luminance or Brightness)</u> หมายถึง ความสว่างของวัตถุที่สามารถสะท้อนแสงเข้าสู่ดวงตาซึ่งจะทำให้การมองเห็นดีขึ้น การมองเห็นเกิดจากการกระตุ้นของแสงที่เข้าสู่ดวงตา ซึ่งเป็นกลุ่มของรังสีย่อยๆ ที่มาบรรจบกันเข้าหากันที่ตา ซึ่งจะมาประกอบรวมกันเป็นภาพรวมปรากฏต่อดวงตา รังสีเหล่านี้จะแตกต่างกันในความเข้มและความถี่หรือสี ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับส่วนของวัตถุที่สะท้อนออกมา ความเข้มของแสงจะเป็นตัวบ่งชี้ความสว่างของวัตถุ ถ้าพื้นผิวของวัตถุมีค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงสม่ำเสมอและแสงที่มาจากแหล่งกำเนิดมีค่าส่อง

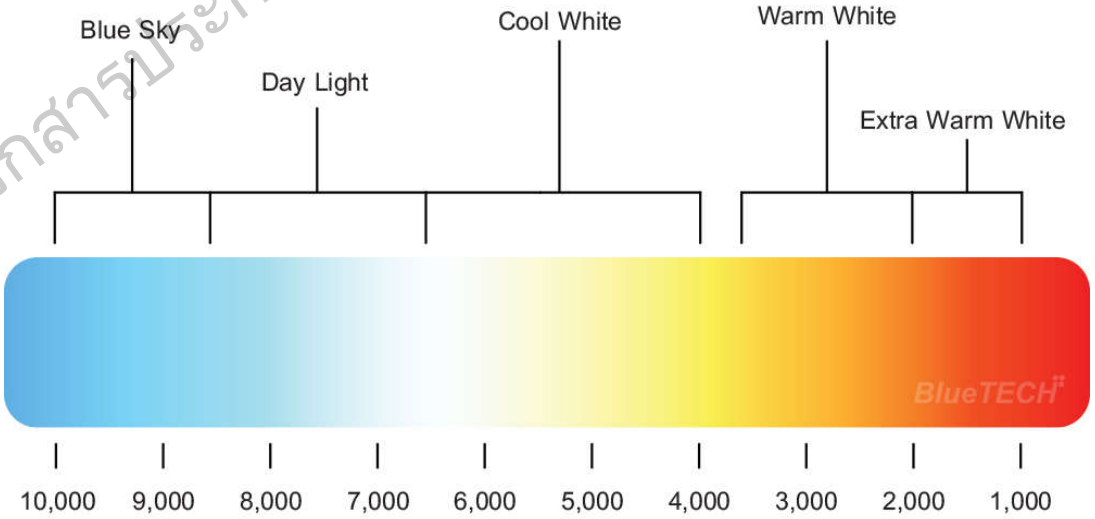
เอกสารประกอบการสอน อาจารย์เนตรี เจนเดช

สว่างสม่ำเสมอด้วยแล้วรังสีย่อยที่สะท้อนเข้าสู่ตาจะมีความเข้มเท่ากัน เราจึงมองเห็นวัตถุมีความสว่างเท่ากันตลอด ความสามารถในการมองเห็นจะดีขึ้นเมื่อวัตถุมีความสว่างมากขึ้น ผู้ออกแบบจะต้องรักษาความสว่างให้มีค่าสม่ำเสมอและเหมาะสม

นอกจากองค์ประกอบต่างๆ นี้แล้ว ยังมีองค์ประกอบอื่นๆ อีกมากซึ่งมีความสัมพันธ์กับการมองเห็น ซึ่งต้องนำมาร่วมพิจารณาในการออกแบบแสงสว่าง เช่น อายุของผู้ปฏิบัติงานภายใต้แสงสว่าง หากผู้ปฏิบัติงานมีอายุมากดวงตาก็ย่อมมีประสิทธิภาพลดน้อยลงกว่าเมื่อตอนที่ยังเป็นหนุ่ม ซึ่งผู้สูงอายุจะต้องการแสงสว่างที่มากกว่าปกติ

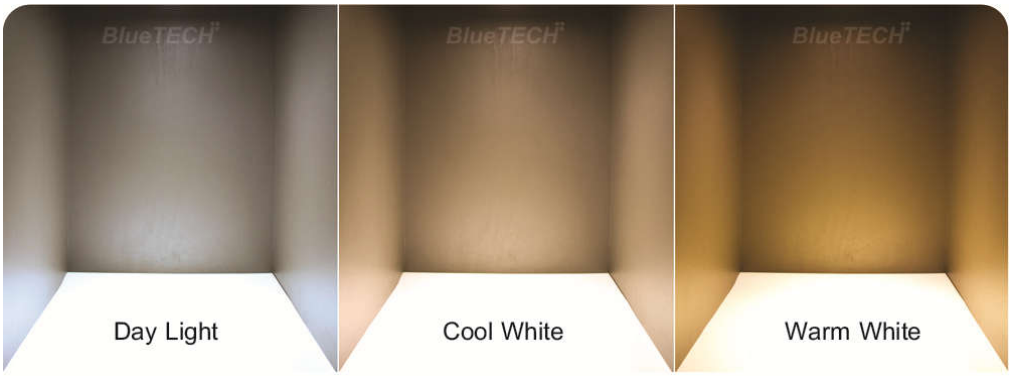
1.5 อุณหภูมิสี

อุณหภูมิสีเป็นค่าอุณหภูมิในหน่วยเคลวิน (Kelvin) ซึ่งจะบอกให้เรารู้ว่าสีของแหล่งกำเนิดแสงหนึ่งๆ เป็นอย่างไร โดยการเปรียบเทียบกับสีของวัตถุดำที่อุณหภูมิเดียวกัน คือ เรารู้ว่าสีของวัตถุดำจะเป็นสีดำที่อุณหภูมิห้อง เป็นสีแดงที่อุณหภูมิ 800 เคลวิน เป็นสีเหลืองที่อุณหภูมิ 3000 เคลวิน เป็นสีขาวที่อุณหภูมิ 5000 เคลวิน และเป็นสีฟ้าที่อุณหภูมิ 8000 เคลวิน เป็นต้น เราจึงใช้ค่าอุณหภูมิสีเหล่านี้เป็นตัวบอกชี้สีของแหล่งกำเนิดแสงใดๆ เช่น ขดลวดทังสเตนมีค่าอุณหภูมิสีอยู่ระหว่าง 2600 ถึง 3000 เคลวิน เพราะมันให้แสงออกมาเป็นสีเหลืองจ้าเมื่อถูกความร้อน นอกจากนั้นอุณหภูมิสียังสามารถกำหนดชื่อตามอุณหภูมิสีได้เป็น วอร์มไลท์ คือ แบบวอร์ม (warm) สีเปล่งออกมาเป็นสีแดง-ส้ม อุณหภูมิสีต่ำกว่า 3200 เคลวิน และ แบบคูล (cool) สีเปล่งออกมาเป็นสีน้ำเงิน-ขาว อุณหภูมิสีสูงกว่า 3900 เคลวิน และยังสามารถแบ่งให้ละเอียดออกไปอีกหลายแบบแต่ก็ยังอาศัยทั้งแบบวอร์มและคูลเป็นหลัก



รูปที่ 1.12

เอกสารประกอบการเรียนการสอนวิชา เจเนเรช



รูปที่ 1.13

1. **เดย์ไลท์ (Day Light)** โทนแสงสว่างตา เป็นโทนแสงเดียวกับแสงกลางวัน ให้แสงสว่างสูง ออกไปในโทนสีฟ้า มองเห็นได้ชัด ให้ความรู้สึกสดใส กระฉับกระเฉง ตื่นตัว ประยุกต์ใช้กับการทำงานเป็นหลัก เช่น ห้องทำงาน ภายในออฟฟิศ สำนักงาน ห้องครัว หรือแม้แต่ห้องนอน ในมุมที่ต้องการแสงสว่างอย่างเพียงพอ อาทิเช่น มุมอ่านหนังสือ มุมทำงาน อาจเรียกได้ว่า เป็นชนิดหลอดไฟที่ได้รับความนิยมในการใช้งานมากที่สุดก็ว่าได้ เนื่องด้วยคุณสมบัติที่มองเห็นได้อย่างชัดเจน สามารถนำไปใช้ได้ทุกๆงาน

2. **คูลไวท์ (Cool White)** โทนแสงระหว่าง วอร์มไวท์และเดย์ไลท์ เรียกได้ว่า หากใครต้องการความเป็นกลาง เลือกไม่ถูกระหว่าง 2 ตัวเลือกก่อนหน้านี้ คูลไวท์อาจเป็นอีกหนึ่งคำตอบได้เป็นอย่างดี ระดับแสงคูลไวท์ สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับงานได้ทุกรูปแบบ ทั้งภายในและภายนอก ลดความอุ่นของแสงสีส้ม และลดความสว่างของแสงเดย์ไลท์ ทำให้เกิดความสมดุล ลักษณะเป็นแสงสีขาวนวลตา

3. **วอร์มไวท์ (Warm White)** ให้โทนแสงนวลตา เป็นสีโทนอุ่น ให้ความสว่างไม่มากนัก ออกสีทองส้ม เหมาะกับการใช้เพื่อประดับตกแต่งมากกว่าเน้นการมองเห็น ประยุกต์ใช้ร่วมกับการจัดสวนได้ดี แสงวอร์มไวท์ จะสะท้อนกับวัสดุให้แสงสีทอง ทำให้บริเวณพื้นที่ดูงดงามขึ้นมาทันตาเห็น หากนำไปใช้ตกแต่งภายใน เหมาะกับแสงภายในห้องนอน ห้องนั่งเล่น หรือห้องที่ใช้ในการพักผ่อน ไม่เพียงแค่สร้างความอบอุ่นเท่านั้น แต่แสงชนิดวอร์มไวท์ ยังให้ความรู้สึกโรแมนติก ผ่อนคลายอีกด้วย สถานที่พักต่างๆ จึงนิยมใช้หลอดไฟชนิดนี้มาตกแต่งกัน

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์นเรศ เงาเดช

แบบฝึกหัดบทที่ 1

1. แสงที่ตามองเห็นอยู่ในช่วงความยาวคลื่นเท่าไร
2. ชนิดของการกำเนิดแสงมีกี่แบบ อะไรบ้าง
3. การผสมสีแบ่งเป็นกี่รูปแบบ อะไรบ้าง
4. พฤติกรรมของแสงมีกี่แบบ อะไรบ้าง
5. พฤติกรรมใดของแสงที่ทำให้เราสามารถมองวัตถุเป็นสีต่างๆ ตามสีของวัตถุจริง
6. เซลล์ประสาทตาใดที่ใช้งานในเวลากลางคืน
7. ความสัมพันธ์ของแลงและการมองเห็นมีกี่แบบ อะไรบ้าง

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เงาเดช

บทที่ 2

หน่วยและศัพท์การวัดแสง

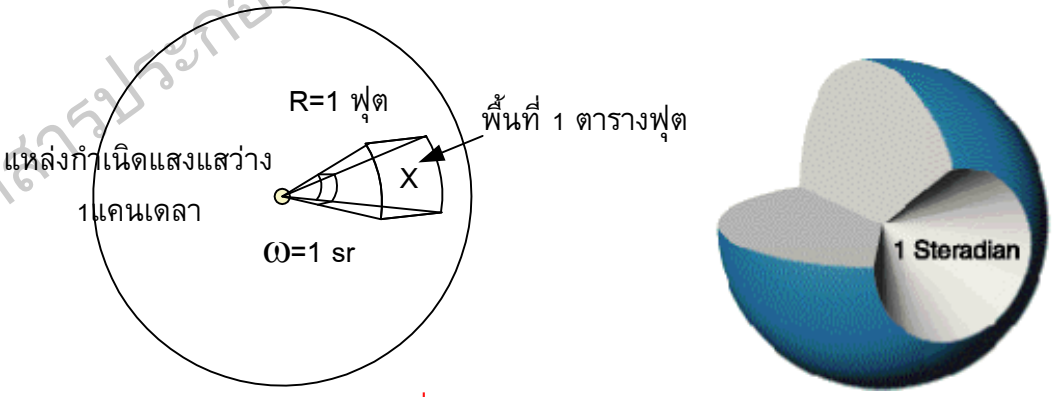
ก่อนที่เราจะทำการออกแบบแสงสว่างนั้นเราต้องทราบค่าหน่วยและศัพท์ทางการวัดแสงเพื่อให้สามารถออกแบบได้ถูกต้องตรงตามมาตรฐานของการออกแบบแสงสว่าง ซึ่งศัพท์ที่ควรจะต้องรู้มีดังนี้

- มุมเชิงของแข็ง (Solid Angle)
- ฟลักซ์ส่องสว่าง (Luminous Flux)
- ความเข้มของการส่องสว่าง (Luminous Intensity)
- ความส่องสว่าง
- ความสว่าง

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เงาเดช

2.1 มุมเชิงของแข็ง (Solid Angle;ω)

เป็น อัตราส่วนของพื้นที่ผิวทรงกลมต่อรัศมีของทรงกลมยกกำลังสอง หน่วยเป็น สเตอเรเดียน (steradean,sr) ใช้สัญลักษณ์ ω ดังรูปที่ 2.1



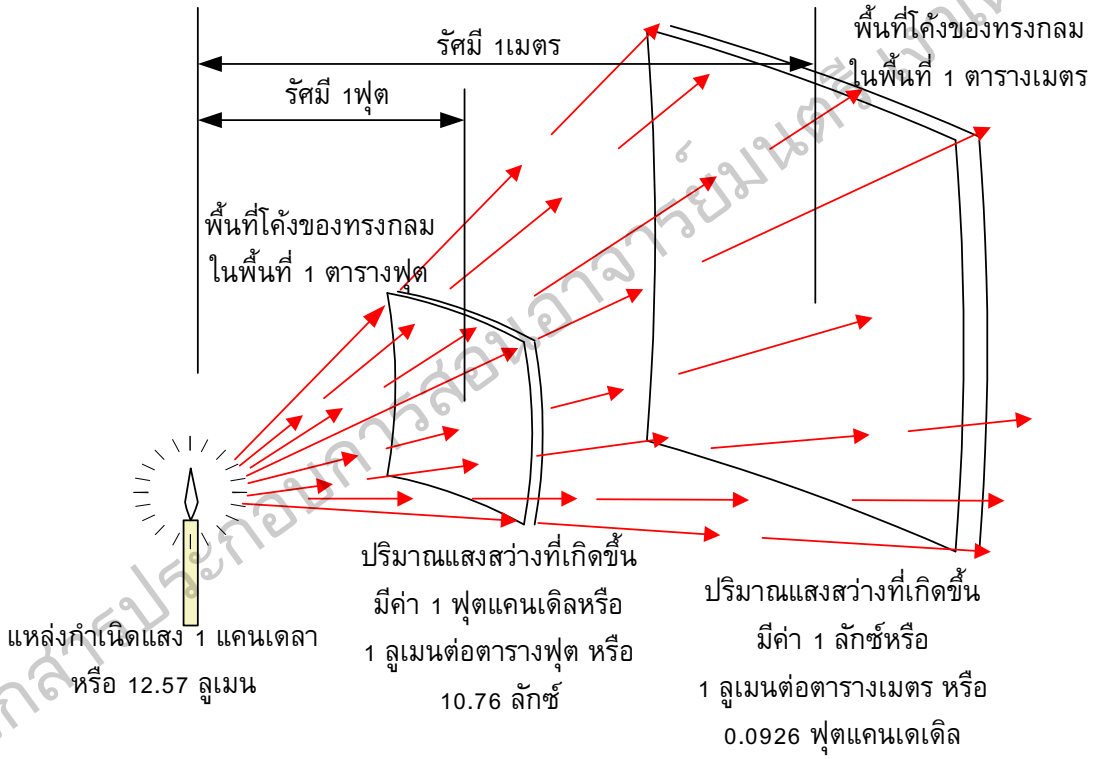
รูปที่ 2.1 มุมเชิงของแข็ง

2.2 ฟลักซ์ส่องสว่าง (Luminous Flux ; ∅)

เป็น พลังงานแสงสว่างที่แผ่ออกจากแหล่งกำเนิดแสงต่อหน่วยเวลา หน่วยเป็น ลูเมน (Lumen ; lm) ใช้สัญลักษณ์ ∅

1 ลูเมน หมายถึง ปริมาณแสงที่ส่องบนพื้นที่หนึ่งตารางเมตร บนผิวทรงกลมที่มีรัศมีหนึ่งเมตรโดยมีแหล่งกำเนิดแสงหนึ่งแคนเดลา หรือ หนึ่งกำลังเทียนวางที่จุดศูนย์กลางของวงกลม ซึ่งเมื่อพิจารณาพื้นที่ทั้งหมดของทรงกลมแล้ว จะมีค่าเท่ากับ 12.57 ตารางหน่วยพื้นที่ เพราะฉะนั้น ค่าความเข้มแห่งการส่องสว่าง 1 แคนเดลา จะสามารถเปล่งปริมาณจำนวนเส้นแรงของแสงสว่างออกไปได้เท่ากับ 12.57 ลูเมน

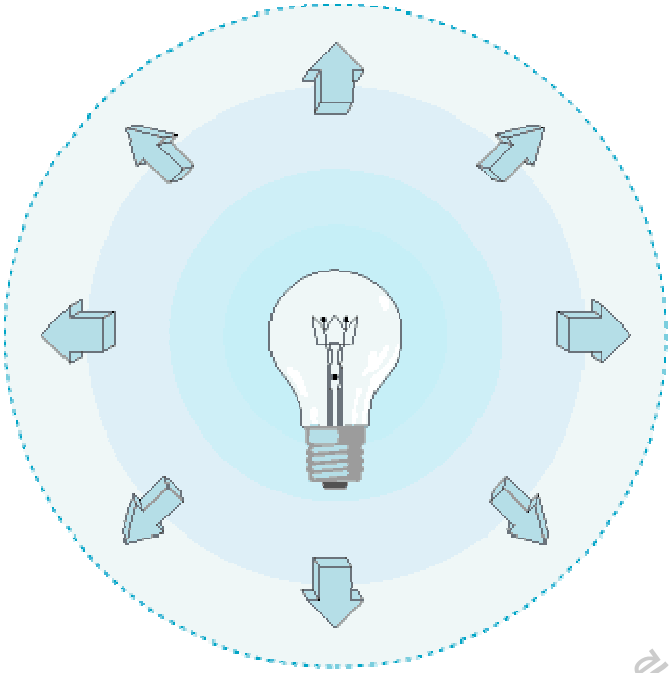
$$\varnothing = \frac{dQ}{dt}$$



รูปที่ 2.2 แสดงปริมาณแสงที่ตกลงบนพื้นผิวทรงกลม

ลูเมน เป็นหน่วยวัดปริมาณแสง

เอกสารประกอบการสอนวิชาวิศวกรรมแสงสว่าง



2.3 ความเข้มของการส่องสว่าง (Luminous Intensity ; I)

เป็น ความหนาแน่นของฟลักซ์ส่องสว่างหรือพลังงานที่ส่องออกมาจากแหล่งกำเนิดแสงในทิศทางใดๆ ต่อมุมเชิงของแข็ง (Solid Angle;ω) หน่วยเป็น ลูเมน / สเตอเรเดียน หรือ แคนเดลา (Candela ; cd) หรืออาจจะกล่าวได้ว่า แคนเดลาคือ ความเข้มแสงตามทิศทางที่กำหนดไว้

1 แคนเดลา = 12.57 ลูเมน

เอกสารประกอบการสอน อาจารย์มนตรี เงาเดช

2.4 ความส่องสว่าง (Illuminance,E)

หมายถึง ความส่องสว่างที่กระทบลงบนวัตถุมีความสัมพันธ์คือ ปริมาณแสง (ลูเมน) / พื้นที่ มี 2 หน่วยคือ ลักซ์ (Lux) กับ ฟุตแคนเดิล (footcandle)

- ความส่องสว่าง 1 Lux หมายถึง ปริมาณเส้นแรงของแสง 1 ลูเมนไปตกลงบนวัตถุบนพื้นที่ 1 ตารางเมตรบนพื้นผิวของทรงกลม (ดังรูปที่ 2.2)
- ความส่องสว่าง 1 fc หมายถึง ปริมาณเส้นแรงของแสง 1 ลูเมนไปตกลงบนวัตถุบนพื้นที่ 1 ตารางฟุตบนพื้นผิวของทรงกลม (ดังรูปที่ 2.2)

$$1\ fc = 1\ Lm / ft^2$$

$$1\ Lux = 1\ Lm / m^2$$

ความส่องสว่างในหน่วยของลักซ์กับฟุตแคนเดิล มีความสัมพันธ์กันดังนี้

1 Lux = 0.0929 fc

1 fc = 10.76 Lux

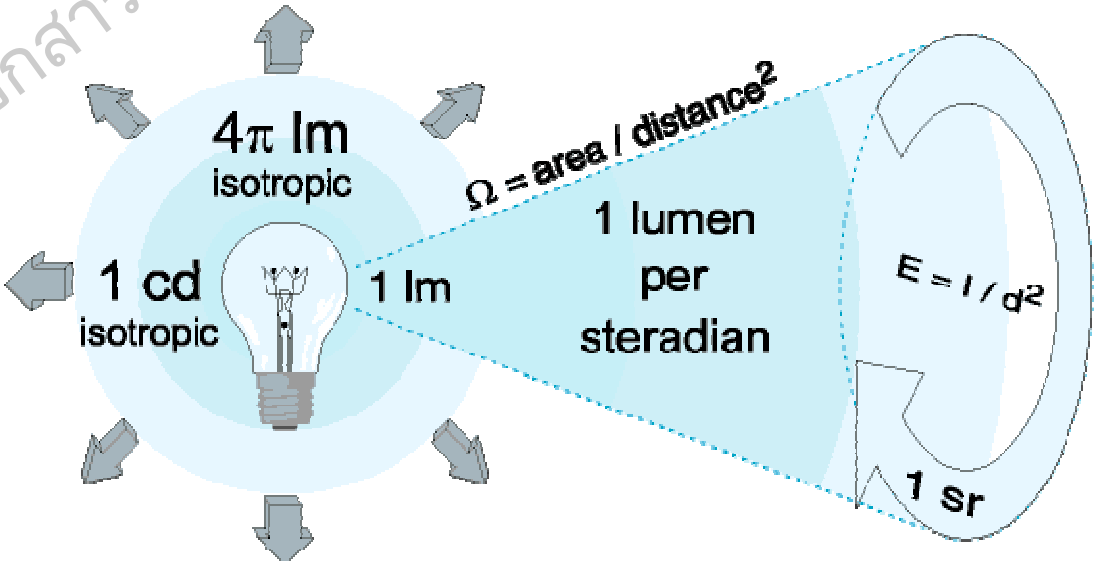
ค่าของความส่องสว่างบนพื้นผิวใดๆ จะแปรผันโดยตรงกับความเข้มของการส่องสว่างและแปนผกผันกับค่าระยะห่างยกกำลังสอง

$$E = \frac{I}{D^2}$$

E = ความส่องสว่าง

I = ความเข้มของการส่องสว่าง

D = ระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดแสงไปยังพื้นที่ผิว



เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เงาเดช

ตัวอย่าง

แหล่งกำเนิดแสง 1 แคนเดลาห่างจากพื้นที่ผิวเป็นระยะห่าง 2 ฟุต จงหาค่าความส่องสว่างที่เกิดขึ้นที่พื้นผิวนั้น ในหน่วยของ ฟุตแคนเดิล

วิธีทำ จาก $E = \frac{I}{D^2}$

แทนค่า $E = \frac{1}{2^2}$ = $\frac{1}{4}$ fc ตอบ

ในการออกแบบระบบแสงสว่างจำเป็นต้องอ้างอิงมาตรฐานสากลเป็นตัวกำหนดค่ามาตรฐานของความส่องสว่างแสงที่เหมาะสม ซึ่งมีหลายๆ มาตรฐาน เช่น

IES = (Illuminating Engineering Society)

IES(USA)

IES(BS)

CIE = (International Commission on Illumination)

CIE เป็นมาตรฐานที่กำหนดเป็นมาตรฐานสากลที่ไม่ขึ้นอยู่กับประเทศใดประเทศหนึ่ง

2.5 ความสว่าง (Luminace)

หมายถึง ความส่องสว่างที่สะท้อนออกมาจากวัตถุ มีหน่วยเป็น แคนเดลา/ตารางเมตร หากวัตถุมีผิวที่มีลักษณะแตกต่างกันหรือมีสีที่ต่างกันก็จะทำให้ค่าความสะท้อนที่ต่างกัน นั่นคือค่าความสว่าง (Luminace)ก็จะต่างกันไปด้วย เช่น หากเราส่องแสงเข้ากระทบกับวัตถุสีขาวก็จะมีความสว่างมากกว่าวัตถุสีดำ

ความสัมพันธ์ระหว่างความส่องสว่างกับความสว่างคือ

$$L = \rho E / \pi$$

L = ความสว่าง แคนเดลา / ตารางเมตร (Candela / m^2)

ρ = สัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของวัตถุ

E = ความส่องสว่าง ลักซ์ (Lux)

ในการวัดค่าปริมาณแห่งการส่องสว่างที่นิยมใช้ในปัจจุบันมี 2 แบบ คือ ฟุตแคนเดิลมิเตอร์ (Footcandlemeter) กับ ลักซ์มิเตอร์ (Luxmeter) ซึ่งก็มีลักษณะแตกต่างกันไปดังรูปที่ 2.3

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์ชนตรี เงาเดช

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เงาเดช

รูปที่ 2.3 เครื่องวัดปริมาณการส่องสว่าง

ชื่อ	ตัวย่อ	หน่วย	ตัวย่อ
มุมเชิงของแข็ง	ω	สเตอเรเดียน	sr
ฟลักซ์ส่องสว่าง	$\varnothing$	ลูเมน	lumen,lm
ความเข้มการส่องสว่าง	I	แคนเดลา	cd
ความส่องสว่าง	E	ลักซ์ ฟุตแคนเดิล	Lux fc
ความสว่าง	L	แคนเดลา / ตารางเมตร	cd / m^2

แบบฝึกหัดบทที่ 2

1. จงให้ความหมายของคำต่อไปนี้
   - มุมเชิงของแข็ง
   - ฟลักซ์ส่องสว่าง
   - ความเข้มส่องสว่าง
   - ความส่องสว่าง
   - ความสว่าง

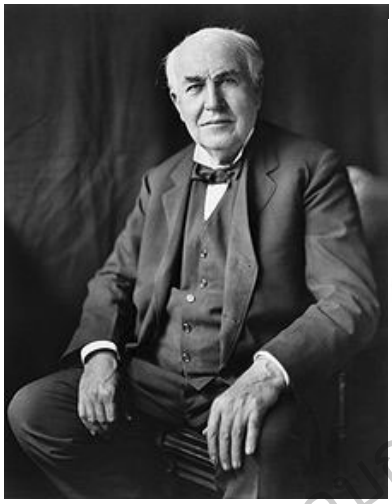
2. แหล่งกำเนิดแสง 25.14 ลูเมนห่างจากพื้นที่ผิวเป็นระยะห่าง 4 เมตร จงหาค่าความส่องสว่างที่เกิดขึ้นที่พื้นผิวนั้น ในหน่วยของ ลักซ์ (Lux) และ ฟุตแคนเดิล (fc)

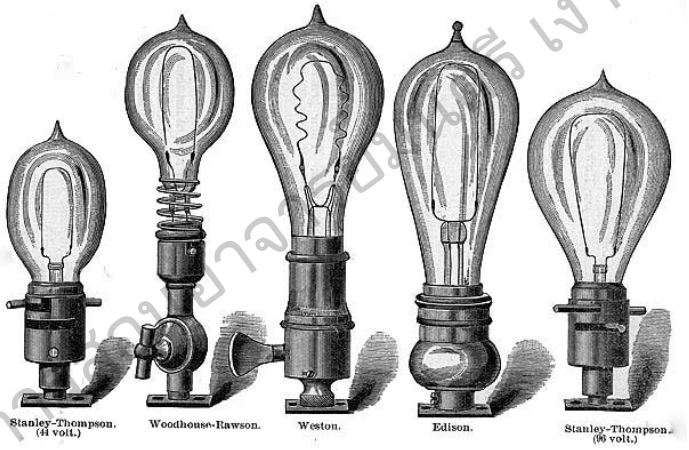
3. ความส่องสว่างเกิดขึ้นที่ผิวงาน 300 Lux โดยมีแหล่งกำเนิดแสง 2500 ลูเมน อยากทราบว่าแหล่งกำเนิดแสงนี้อยู่ห่างจากพื้นผิวงานกี่เมตร

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เขาเดช

บทที่ 3
แหล่งกำเนิดแสง

นับตั้งแต่ครั้งแรกที่ Thomus Alva Edision ได้ประดิษฐ์ไฟฟ้าหลอดแรกขึ้นจากนั้นก็ได้มีผู้คิดค้นประดิษฐและพัฒนาหลอดไฟฟ้าชนิดใหม่ๆขึ้นมาเพื่อใช้กับงานเฉพาะด้าน จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการศึกษาเพื่อได้นำไปใช้กับงานการออกแบบ ระบบแสงสว่างได้อย่างมี ประสิทธิภาพสูงสุด

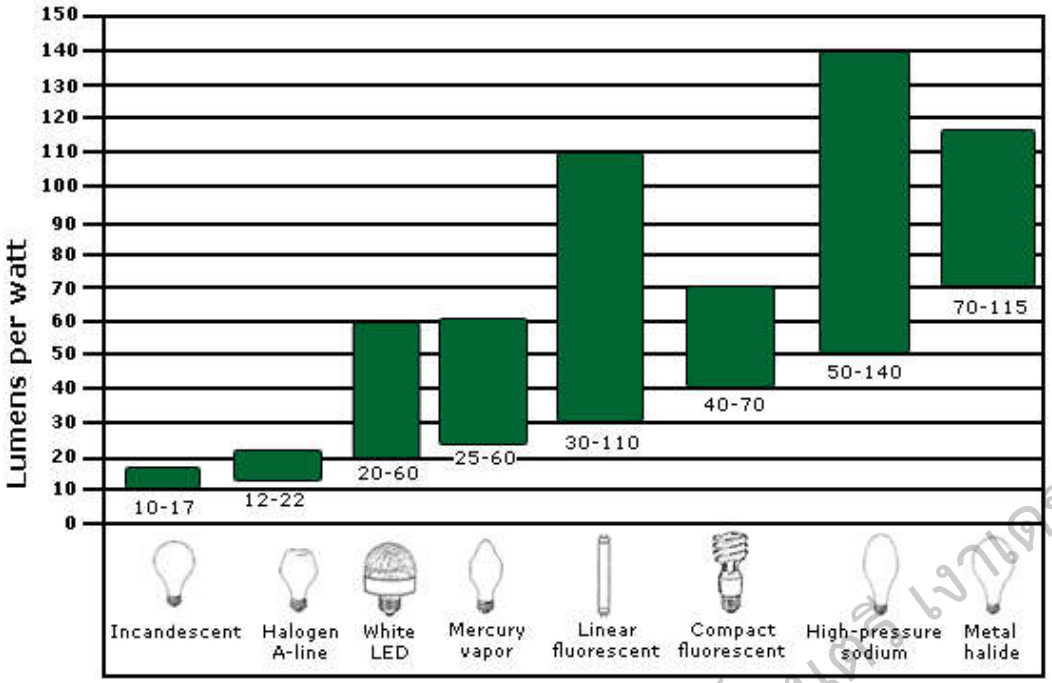


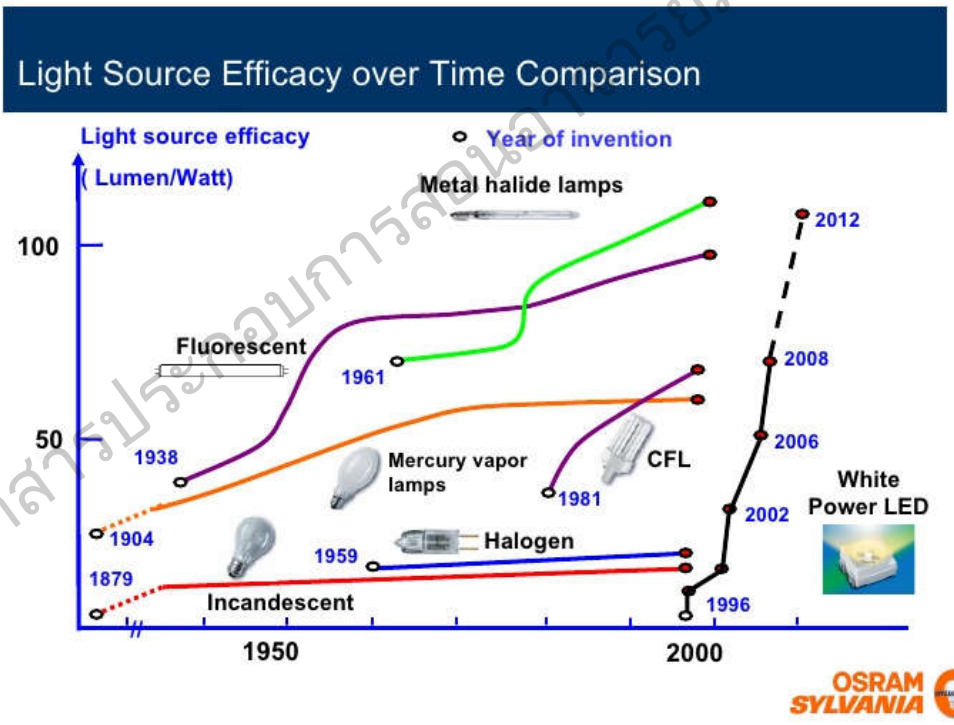


3.1 ประสิทธิภาพของหลอดไฟฟ้า (Light Source Efficacy)

ประสิทธิภาพของหลอดไฟฟ้า คือ อัตราส่วนระหว่างปริมาณแสงสว่างที่หลอดไฟหลอดนั้นเปล่งออกมาได้ กับปริมาณไฟฟ้าที่เราให้แก่มัน และมีหน่วยวัดเป็นลูเมนต่อวัตต์ (Lumen / Watt)

ซึ่งจะเห็นว่าต่างจากประสิทธิภาพของเครื่องจักรกลไฟฟ้าที่คิดค่าประสิทธิภาพเป็นสัดส่วนของกำลังไฟฟ้าที่ออกมาต่อกำลังไฟฟ้าที่ป้อนเข้าไป (Output / Input) และใช้คำว่า Efficacy แทนที่คำว่า Efficiency ซึ่งในการหาค่าประสิทธิภาพของหลอดไฟฟ้าจำเป็นต้องอาศัยเครื่องมือวัดแสงและเครื่องมือวัดทางไฟฟ้าประกอบกัน





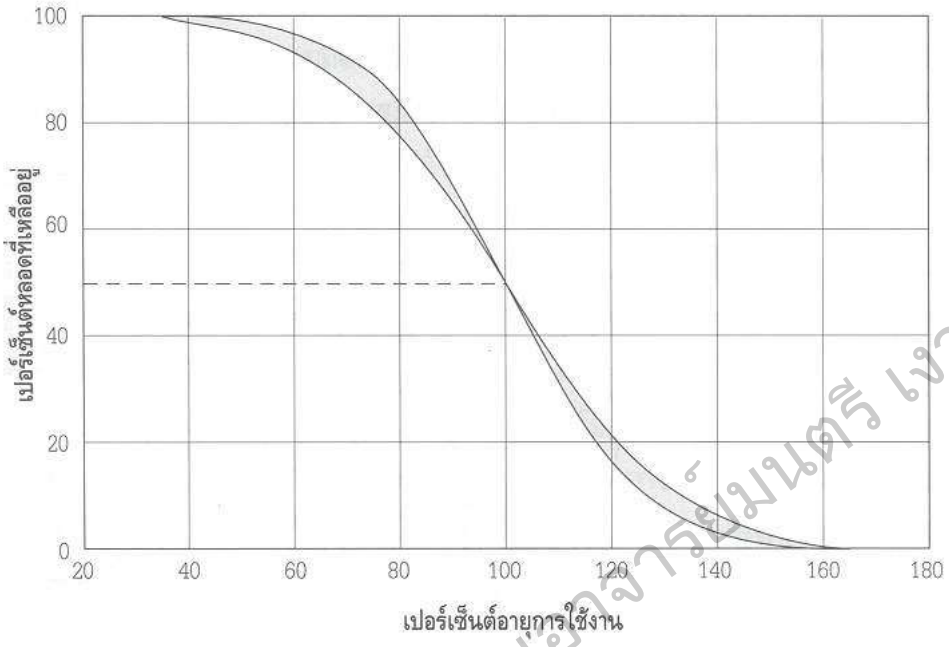
เอกสารประกอบการสอนวิชาการยิมนิคส์ เทคนิค

3.2 อายุการใช้งานของหลอดไฟฟ้า (Lamp Mortality)

หลอดไฟฟ้าแต่ละชนิดจะมีอายุการใช้งานที่แตกต่างกันออกไป หลอดบางชนิดมีอายุการใช้งานที่สั้นมาก อาจจะแค่เพียงเสียววินาที ในขณะที่หลอดบางชนิดมีอายุการใช้งานเกิน 10,000 ชั่วโมงขึ้นไป เมื่อเราพูดถึงอายุการใช้งานของหลอดไฟนั้นก็หมายถึง อายุการใช้งานเฉลี่ยเมื่อนำหลอดไฟฟ้าจำนวนมากมาทดสอบโดย

การเปิดปิดทุกๆ 10 ชั่วโมง (หรือแล้วแต่กำหนด) ซึ่งส่วนนี้ทางผู้ผลิตจะทำการทดสอบมาให้และจัดทำเป็นตารางข้อมูลจำเพาะหลอดชนิดนั้นๆ

อายุการใช้งานของหลอดคือ จำนวนชั่วโมงที่หลอดครึ่งหนึ่ง (50%) ในจำนวนหลอดทั้งหมดในกลุ่มนั้นยังคงทำงานอยู่ในขณะที่อีกครั้งหนึ่งดับสนิท



รูปที่ 3.1 กราฟแสดงอายุการใช้งานของหลอดอินแคนเดสเซนต์

จากรูปที่ 3.1 แสดงให้เห็นว่าเมื่อทำการทดสอบหลอดไฟฟ้าจำนวนหนึ่งจะเริ่มหยุดทำงานและจะหยุดเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนถึงเมื่อหลอดไฟฟ้าดับไปถึง 50% ที่เวลาช่วงนี้คือ อายุการใช้งานของหลอดไฟฟ้านั่นเอง

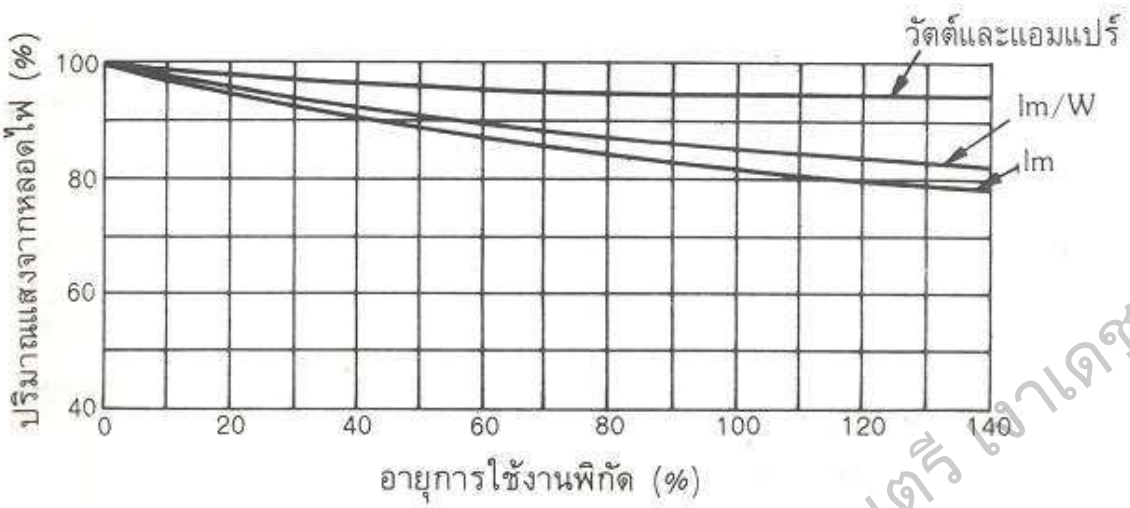
การพิจารณาหลอดจากอายุการใช้งาน ควรพิจารณาร่วมกับบริเวณที่ติดตั้งด้วย เช่น บริเวณที่ติดตั้งที่เพดานสูงมากขนาด 6-12 เมตร ถ้าใช้หลอดที่มีอายุการใช้งานสั้นมากก็จะมีปัญหาต้องเปลี่ยนหลอดบ่อยๆ

ดังนั้นหลอดที่ติดตั้งที่เพดานสูงๆ เช่น ในโรงภาพยนตร์ ควรใช้หลอดที่มีอายุการใช้งานที่นานหรืออาจใช้หลอดที่มีอายุการใช้งานต่ำ แต่ใช้ร่วมกับตัวหรี่ไฟ แต่ถ้าเพดานสูงมากและไม่มีเครื่องมือหรือช่างเปลี่ยนให้ก็ควรหันมาใช้การเล่นแสงที่ระดับล่างไม่ว่าจะเป็นไปส่องขึ้นหรือใช้เป็นไฟกิ่งแทน

3.3 ความเสื่อมของหลอดไฟฟ้า (Lumen Depreciation)

เมื่อหลอดไฟฟ้าถูกใช้งานไปนาน ก็ย่อมจะเกิดความเสื่อมขึ้น ปริมาณของแสงหรือปริมาณลูเมนที่ออกมาจากหลอดไฟฟ้าจะลดลง ประสิทธิภาพการส่องสว่างก็จะลดลงด้วยความเสื่อมของหลอดไฟฟ้า บางครั้งอาจจะพิจารณาของความเหลืออยู่ของปริมาณแสง (Lumen maintenance) ว่ามีเหลืออยู่กี่เปอร์เซ็นต์ของปริมาณแสงเริ่มต้นดังแสดงในรูปที่ 3.2

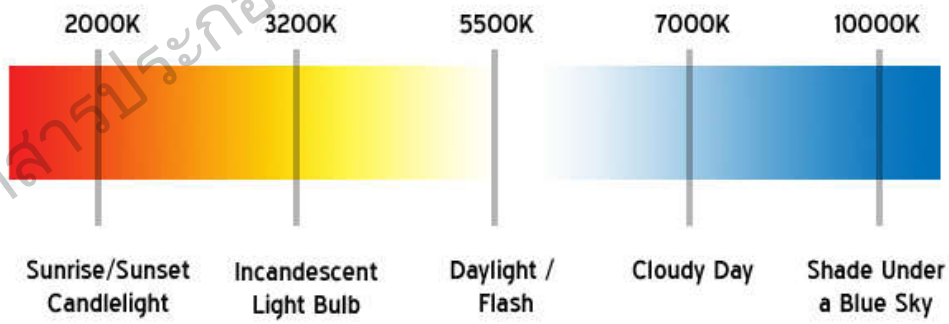
เอกสารประกอบการสอนวิทยาลัยเทคนิคสมุทรสาคร เกาเดช



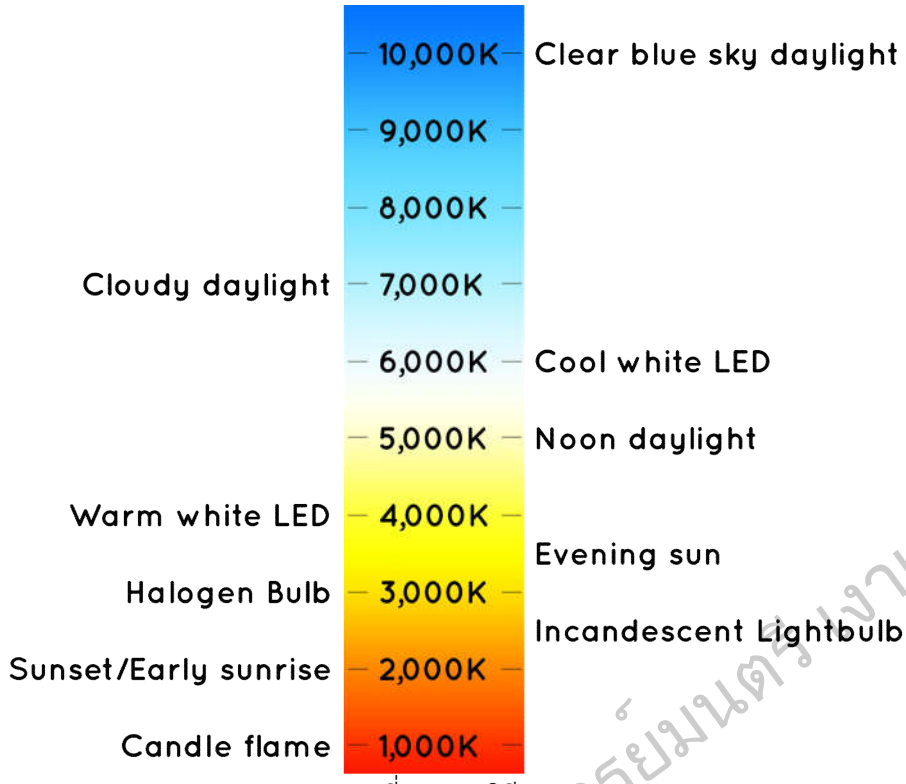
รูปที่ 3.2 กราฟแสดงความเสื่อมของหลอดไฟฟ้า

3.4 อุณหภูมิสี (Color Temperature)

อุณหภูมิสีเป็นค่าอุณหภูมิในหน่วย เคลวิน (Kelvin) ซึ่งเป็นตัวบอกให้รู้ถึงสีของแหล่งกำเนิดแสงนั้น โดยใช้การเปรียบเทียบกับวัตถุสีดำในอุณหภูมิเดียวกัน เช่น ขดลวดทังสเตนมีอุณหภูมิอยู่ที่ 2500 ถึง 3000 เคลวิน จึงสามารถรู้ว่ามันให้แสงสีเหลืองจ้าออกมา



เอกสารประกอบการสอนอาจารย์นันตรี เจาเดช



รูปที่ อุณหภูมิสี

อุณหภูมิสี (color temperature) หรืออุณหภูมิสีสัมพันธ์ , Correlated Color Temperature (CCT) จะเป็นระบบการวัดแสงโดยมีหน่วยเป็นองศาเคลวิน และเป็นที่เข้าใจกันโดยทั่วไปว่าค่าองศาที่น้อยจะให้แสงโทนสีเหลืองและค่าองศาที่สูงขึ้นจะเป็นการให้แสงโทนสีขาวหรือแสงสีขาวอมฟ้า ตามลำดับ อย่างไรก็ตามบทความนี้จะกล่าวจะเฉพาะแสงสีขาวเท่านั้น อย่างไรก็ตาม แสงขาวนั้นจะไม่ใช้แสงสีขาวบริสุทธิ์ แต่จะถูกผสมด้วยเฉดสีอื่นๆ เพียงเล็กน้อยเพื่อให้เกิดเป็นแสงสีขาวที่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงทำให้งานตกแต่งนั้นหลากหลายมากขึ้น และยังเพิ่มเสน่ห์สถานที่อีกด้วย โดยทั่วไปแสงสีขาวจะถูกแบ่งออกเป็น 3 เฉดขาวหลัก ๆ คือ

เอกสารประกอบการเรียนอาจารย์มนตรี เงาเดช

1.เฉดสีขาวอมเหลือง (Warm White)

แสงสีขาวอมเหลืองหรือสีวอร์มไวท์ (Warm White) โดยค่าองศาเคลวินจะอยู่ประมาณ 2700K-3200K ซึ่งมักนำมาผลิตหลอดไส้มาตรฐาน (Incandescent) และหลอดฮาโลเจนและถูกใช้บ่อยที่สุดในการตกแต่งพื้นที่ห้องนั่งเล่น ห้องนอน ห้องรับแขก ที่ทำให้เกิดความรู้สึกผ่อนคลายและอื่น ๆ

2.เฉดสีขาวเย็นตา (Cool White)

สีขาวสว่างจะมีช่วงค่าองศาเคลวินที่ 5000K-6500K ซึ่งจะได้แสงที่ขาวกว่าและเป็นที่นิยมในการนำไปใช้ตกแต่งห้องครัวและห้องน้ำ ห้องทำงาน โรงพยาบาล โรงงาน เป็นต้น

3.เฉดสีขาวอมฟ้า (Daylight)

สีขาว Daylight จะมีช่วงค่าองศาเคลวินที่ 7000K-7500K ซึ่งเหมาะสำหรับการอ่านหนังสือหรือพื้นที่ที่ต้องใช้งานฝีมือมาก เนื่องจากเป็นแสงที่สบายตาที่สุด และถึงแม้จะมีการเข้าใจผิดว่าแสง daylight จะเป็นแสงสีขาวที่สว่างที่สุดก็ตาม แท้จริงแล้วแสงโทน Daylight นี้เป็นแค่การบอกโทนสีเท่านั้นเอง แต่ก็ยังมีแสงขาวที่ค่อนข้างอมสีฟ้ามากกว่า โดยมีค่าองศาเคลวินที่ 9000K-10000K และมีสีขาวอมสีฟ้ามากกว่า แต่แสงขาว Super daylight ก็ถูกจัดให้อยู่ในกลุ่มนี้ด้วย ถึงแม้แสงจะออกเฉดอมฟ้าก็ตาม แต่ก็ไม่สามารถแยกได้ด้วยตาเปล่า นอกเสียจากว่านำมาเทียบกัน (หรืออาจจำเป็นต้องมีเครื่องมือช่วย)

สำหรับงานป้ายไฟตัวอักษรที่ต้องใช้ไฟ LED สีขาว แสงโทน Day Light หรือ Super Bright จะทำให้ให้ป้ายดูเหมือนป้ายใหม่ตลอดเวลา เนื่องจากโทนสีที่ออกมาจะเป็นขาวอมฟ้ามากกว่าค่าเคลวินที่ต่ำกว่า

3.5 การแบ่งประเภทของหลอด

หลอดไฟฟ้าแบ่งเป็นประเภทใหญ่ๆได้ดังนี้

1.หลอดที่ใช้หลักการเผาไส้หลอดให้ร้อน (Incandescent) ซึ่งยังสามารถแบ่งย่อยออกเป็น

- หลอดอินแคนเดสเซนต์ (Incandescent Lamp)
- หลอดทังสเตนฮาโลเจน (Tungsten Halogen Lamp)

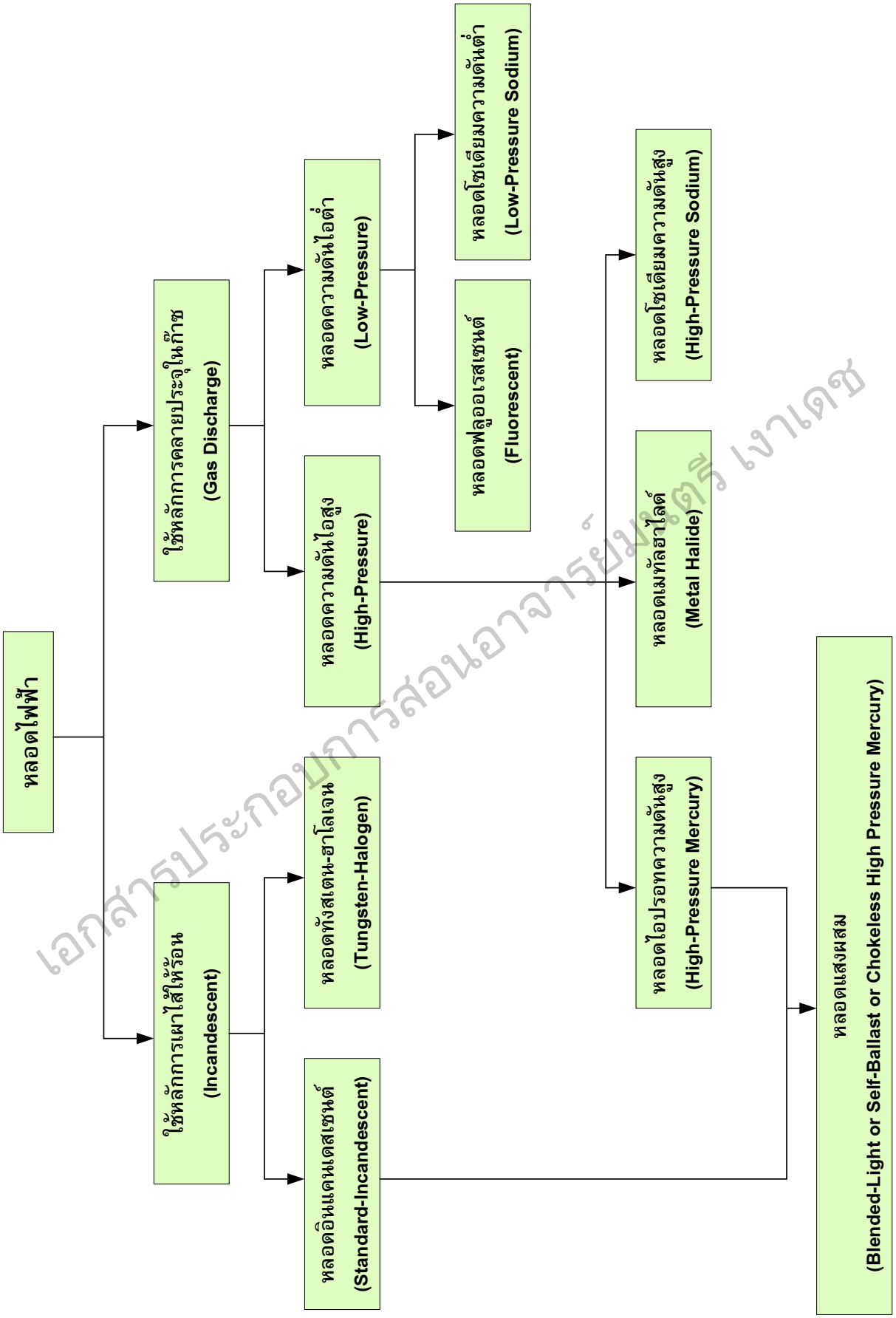
2. หลอดที่ใช้หลักการคลายประจุในก๊าซ (Gas Discharge) ยังแบ่งออกเป็น

- หลอดความดันไอสูง (High Pressure)
    - หลอดไอปรอทความดันสูง (High Pressure Mercury Lamp)
    - หลอดเมทัลฮาไลด์ (Metal Halide Lamp)
    - หลอดโซเดียมความดันสูง (High Pressure Sodium Lamp)
- หลอดความดันไอต่ำ (Low Pressure)
    - หลอดฟลูออเรสเซนต์ (Fluorescent Lamp)
    - หลอดโซเดียมความดันต่ำ (Low Pressure Sodium Lamp)

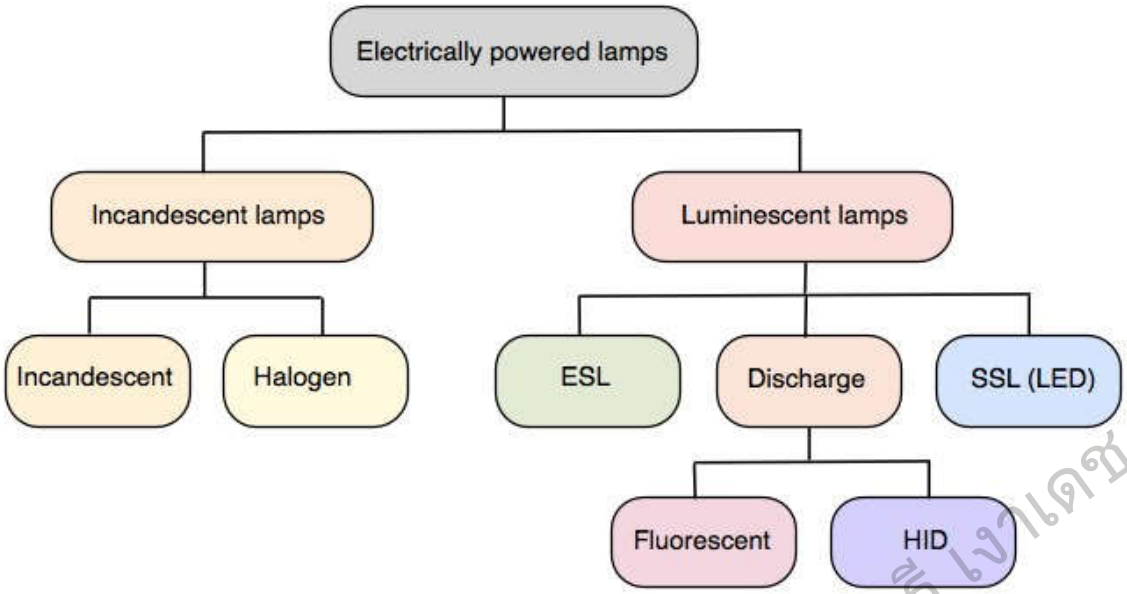
3. หลอดแอลอีดี (LED Lamp)

นอกจากนี้แล้วยังมีหลอดที่ผสมเอาหลอดไส้และหลอดไอปรอทความดันสูงไว้ด้วยกันเป็นหลอดแสงผสมเพื่อใช้งานเฉพาะอย่างอีกด้วย ซึ่งชนิดของหลอดไฟฟ้าสามารถดูได้จากผังชนิดของหลอดไฟฟ้า

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เงาเดช



เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เงาเดช



Electron Stimulated Luminescence (ESL) หลอดไฟเรืองแสงที่ได้รับการกระตุ้นด้วยอิเล็กตรอน (ESL) สามารถใช้งานได้นานถึง 6,000 ชั่วโมงโดยประมาณ มีอายุการใช้งาน 3-4 เท่าของอายุการใช้งานของหลอดไส้และเทียบเท่ากับ CFL โดยที่หลอดชนิดนี้ผลิตความร้อนน้อยกว่าหลอดไส้ร้อยละ 50

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์เนตรี เงาเดช

3.5.1 หลอดที่ใช้หลักการเผาไส้หลอดให้ร้อน (Incandescent)

แบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ

- หลอดอินแคนเดสเซนต์ (Incandescent Lamp), หลอดไส้
- หลอดทังสเตนฮาโลเจน (Tungsten Halogen Lamp)

1. หลอดอินแคนเดสเซนต์ (Incandescent Lamp)

ทำงานโดยการให้ความร้อนแก่หลอดเผาไส้จนมีอุณหภูมิสูงแล้วเกิดการเรืองแสงขึ้นให้แสงออกมาใกล้เคียงกับแสงอาทิตย์ ราคาถูก จึงนิยมใช้มาจนถึงปัจจุบัน

1.1 **ส่วนประกอบของหลอดเผาไส้** มีดังนี้

1.1.1 กระเปาะแก้ว (Bulb)

1.1.2 แก๊ส (Gas)

1.1.3 ไส้หลอด (Filament)

1.1.4 ขั้วหลอด (Base)

1.1.5 สายค้ำโยง (Support Wire)

1.1.6 ปุ่มหลอดแก้ว (Button)

1.1.7 หลอดแก้วทรงยาว (Button Rod)

1.1.8 สายต่อใน (Lead in Wires)

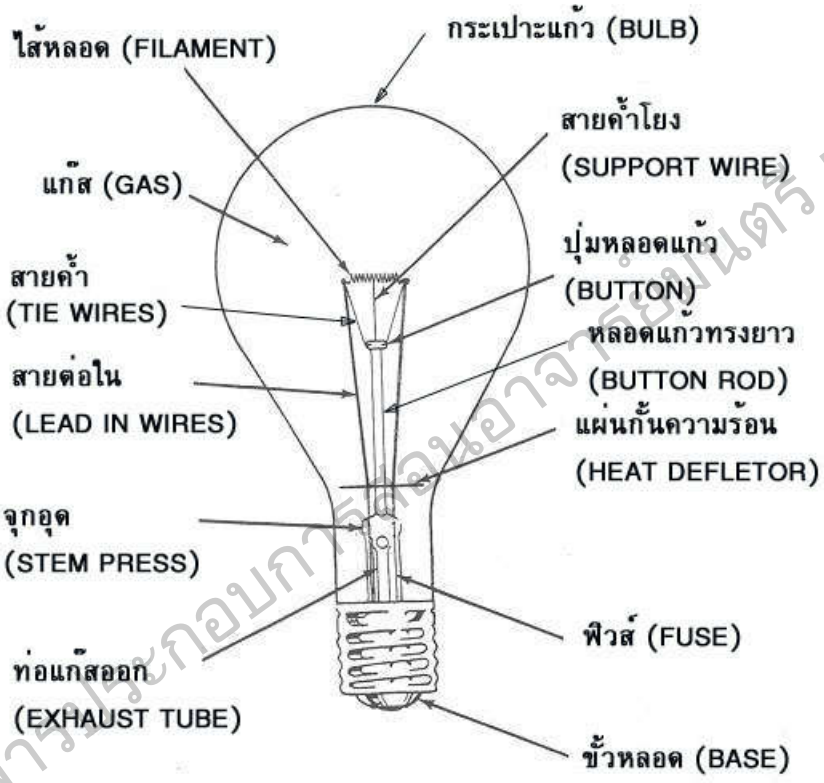
1.1.9 สายค้ำ (Tie Wires)

1.1.10 จุกอุด (Stem Press)

1.1.11 ท่อแก๊สออก (Exhaust Tube)

1.1.12 แผ่นกั้นความร้อน (Heat Defletor)

1.1.13 ฟิวส์ (Fuse)



เอกสารประกอบการสอนอาจารย์นเตรี เงาเดช

รูปที่ 3.3 ส่วนประกอบของหลอดเผาไส้

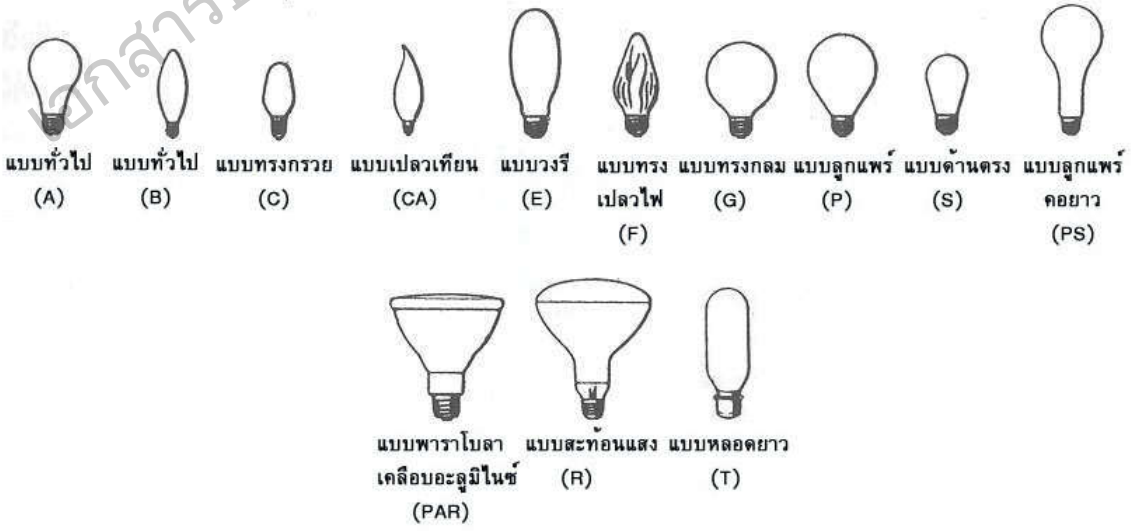
1.1.1 กระเปาะแก้ว (Bulb)

โดยทั่วไปจะเป็นแก้วบาง แต่บางหลอดอาจเป็นแก้วหนา เพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการทนอุณหภูมิที่สูงขึ้น กระเปาะแก้วเป็นส่วนที่ทำหน้าที่บรรจุไส้หลอดและก๊าซ รวมถึงส่วนประกอบส่วนใหญ่ของหลอดไส้ และเป็นตัวแยกระหว่างอากาศภายนอกกับแก๊สที่บรรจุภายในหลอดด้วย กระเปาะแก้วทำมาจากแก้วหลากหลายชนิดขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของหลอดแต่ละชนิด เช่นแก้วบาง , แก้วหนา , แก้วทนความร้อน เป็นต้น แต่ละชนิดก็จะมีคุณสมบัติต่างกันออกไป ขึ้นอยู่กับกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้กับหลอด

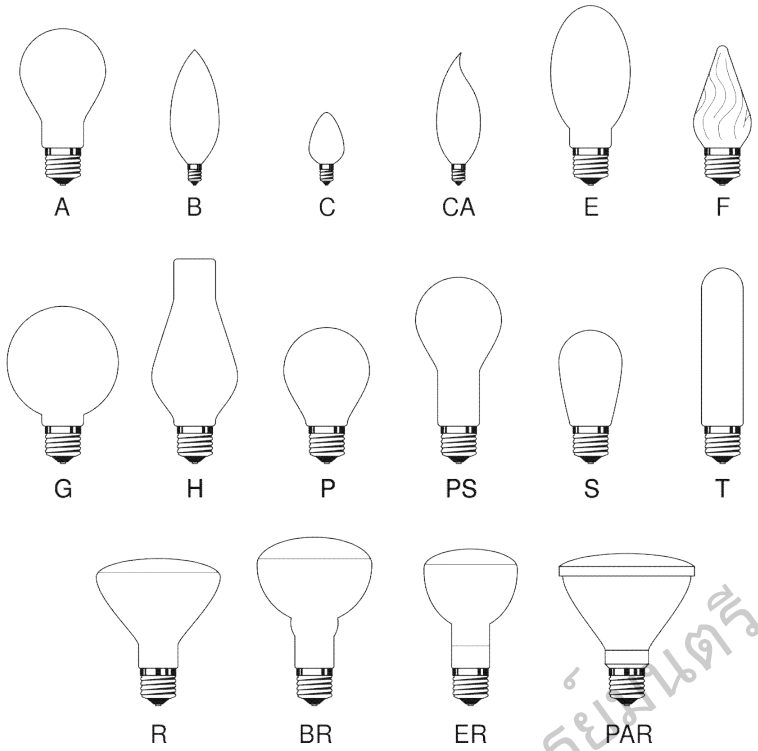
สีของกระเปาะแก้วจะมีผลต่อการเปล่งสีและแสงของหลอดไส้ เพื่อให้ได้แสงสว่างและการกระจายแสงออกมาตามความต้องการที่จะนำไปใช้งาน มีทั้งแบบเคลือบด้านในและด้านนอกของหลอด ตามลักษณะการใช้งานของหลอดแต่ละชนิด

รูปร่างของหลอดไส้จะมีหลายๆ ลักษณะ ดังรูป และจะมีรหัสเป็นตัวอักษรและตัวเลขกำกับอยู่เสมอ เช่น

- แบบ A แบบทั่วไป
- แบบ B แบบทั่วไป
- แบบ C แบบทรงกรวย
- แบบ CA แบบเปลวเทียน
- แบบ E แบบวงรี (Ellipse)
- แบบ F แบบทรงเปลวไฟ
- แบบ G แบบทรงกลม (Globe)
- แบบ P แบบลูกแพร์
- แบบ S แบบด้านตรง
- แบบ PS แบบลูกแพร์คอยาว
- แบบ PAR แบบหลอดที่มีโคนของหลอดโค้งเป็นรูปไข่ ทำมาจากอลูมิเนียมสะท้อนแสง (PAR = Parabolic Aluminized Reflector)
- แบบ R แบบหลอดมีการเคลือบผิวในด้วยสารสะท้อนแสง (Reflector)
- แบบ T แบบหลอดยาว หลอดมีลักษณะคล้ายหลอดทดลอง (Tubular)



เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เงาเดช



รูปที่ 3.4 แสดงลักษณะของรูปร่างของกระเปาะแก้วของหลอดไส้

ถ้ามีตัวเลขตามหลังตัวอักษรข้างบนนี้ จะหมายถึงการบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหลอดมาด้วย ซึ่งเป็นไปตามระบบของ USA มาตรฐาน ANSI เช่น PAR38 , PAR56

1.1.2 แก๊ส (Gas)

แก๊สที่ใช้ในการบรรจุลงในหลอดจะใช้ส่วนผสมของก๊าซไนโตรเจนและก๊าซอาร์กอน ซึ่งเรียกว่า ก๊าซเฉื่อย (Inert Gas) การเติมก๊าซลงไปในหลอดจะทำให้ได้รับความร้อนที่สูงขึ้นและประสิทธิภาพของหลอดดีขึ้น ส่วนผสมของก๊าซไนโตรเจนและก๊าซอาร์กอนจะแตกต่างกันตามชนิดของหลอดที่นำไปใช้และแรงดันไฟฟ้าที่ต้องใช้ , ไส้หลอด , อุณหภูมิ และระยะห่างระหว่างขดลวดนำกระแส เช่น

ก๊าซอาร์กอน 99.6% สำหรับแรงดัน 6V
ก๊าซอาร์กอน 95% สำหรับแรงดัน 120V
ก๊าซอาร์กอน 90% สำหรับหลอดมีฟิวส์ที่แรงดัน 230V
ก๊าซอาร์กอน 30% สำหรับหลอดที่ไม่มีฟิวส์ที่แรงดัน 230V
ก๊าซไนโตรเจน 100% สำหรับหลอดฉายภาพที่แรงดัน 230V

นอกจากนี้แล้วยังมีก๊าซชนิดอื่นๆ อีกที่ใช้ในการผสมเข้าไปใน เช่น ก๊าซคริปทอน (Krypton) ทำให้ประสิทธิภาพของหลอดเพิ่มอีก 20% และสูญเสียปริมาณแสงที่ออกมามาก มักใช้ในงานพิเศษเฉพาะอย่าง เช่น

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์ณัฐรี เงาเดช

ติดหมวกพนักงานเหมืองแร่ หลอดสัญญาณในเรือ เป็นต้น ก๊าซไฮโดรเจน ทำให้หลอดสว่างอย่างรวดเร็ว ใช้กับหลอดไฟที่ต้องการเกิดแสงสว่างอย่างรวดเร็ว

1.1.3 ไส้หลอด **(Filament)**

ไส้หลอดเป็นส่วนสำคัญในการที่จะทำให้เกิดแสงสว่างขึ้นเมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านเข้าไปในตัวไส้หลอด ไส้หลอดโดยทั่วไปแล้วทำมาจากทังสเตน ซึ่งเมื่อความร้อนสูงจะเปล่งแสงออกมาได้ดี และมีการระเหิดน้อยกว่าวัสดุอื่นๆ

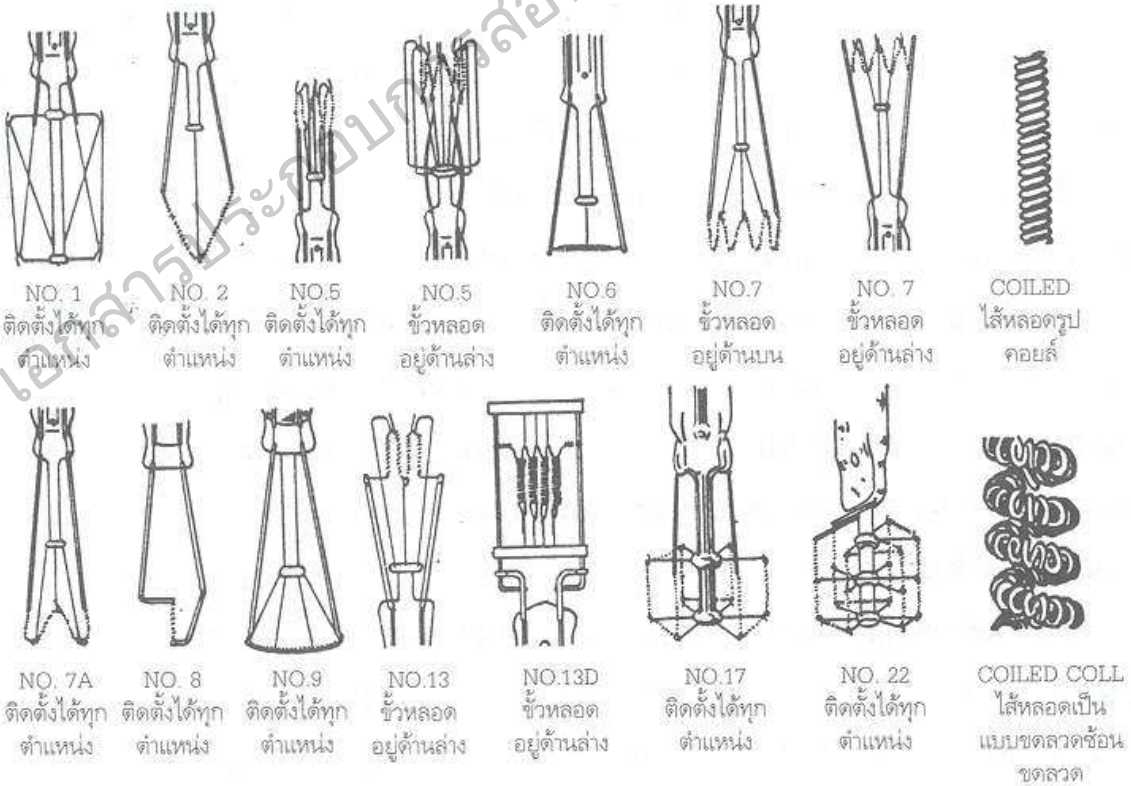
ในการสร้างและออกแบบไส้หลอดได้มีการคิดค้นและผลิตไส้หลอดออกมาหลายแบบ ทั้งนี้ก็มีการทดสอบหลายๆ ด้านทั้งด้านการให้แสงและอายุการใช้งานของไส้หลอดเอง ซึ่งก็ได้ไส้หลอดหลายชนิดหลายแบบตามลักษณะการใช้งานของหลอดแต่ละชนิด บริษัทผู้ผลิตไส้หลอดมักจะทำรหัสบอกลักษณะต่างๆ ของไส้หลอดเป็นอักษรหรือตัวเลขกำกับ ตามมาตรฐาน ANSI มีสัญลักษณ์และความหมายดังนี้

S = ไส้หลอดเส้นตรง (Straight) No.1

C = ไส้หลอดแบบขดลวด (Coiled)No.2,5,6,7,7A,8,9,13,13D,17,22

CC = ไส้หลอดแบบขดลวดซ้อนขดลวด (Coiled – coil)

r = ไส้หลอดแบบริ้บบิ้น (Ribbon) หรือแบบเรียบ



รูปที่ 3.5 แสดงลักษณะของไส้หลอด

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เจดีเดช

1.1.4 ขั้วหลอด **(Base)**

ขั้วหลอดเป็นส่วนที่ให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านเขาไปในไส้หลอดและออกจากหลอดทำมาจากโลหะที่เป็นตัวนำไปป้า เช่นทองแดง , ทองเหลือง , อลูมิเนียม

หน้าที่ของขั้วหลอดมี 2 ประการ ที่สำคัญคือ

1) นำกำลังไฟฟ้าจ่ายไปยังไส้หลอด
2) ทำหน้าที่ยึดหลอดให้ติดกับขั้วหลอดและโคมไฟฟ้าอย่างแข็งแรง

ขั้วหลอดมีลักษณะต่างๆ กัน หลายชนิด ซึ่งควรทำความรู้จักดังนี้

1. <u>ขั้วหลอดแบบเกลียว (Screw Base)</u> มี 5 ชนิด

1. ขั้วหลอดแบบเชิงเทียน (Candelabra Base) มีขนาดเล็กที่สุด ทนกระแสไฟฟ้าได้ต่ำ ใช้กับหลอดสัญญาณหรือไฟประดับ มีจำนวนวัตต์ต่ำๆ ดังรูป

2. ขั้วหลอดขนาดเล็กปานกลาง (Intermediate Base) มีขนาดโตกว่าและทนกระแสได้มากกว่าแบบ Candelabra Base ใช้กับหลอดสัญญาณไฟประดับ หรือส่องหน้าปัดเครื่องวัดต่างๆ มีกำลังไฟสูงกว่าแบบแรก ดังรูป

ก. ขั้วหลอดแบบขนาดกลาง (Medium Base) มีขนาดโตกว่าสองแบบแรก ทนกระแสได้สูงถึง 25A ที่ 120V เป็นแบบที่นิยมใช้มากที่สุด

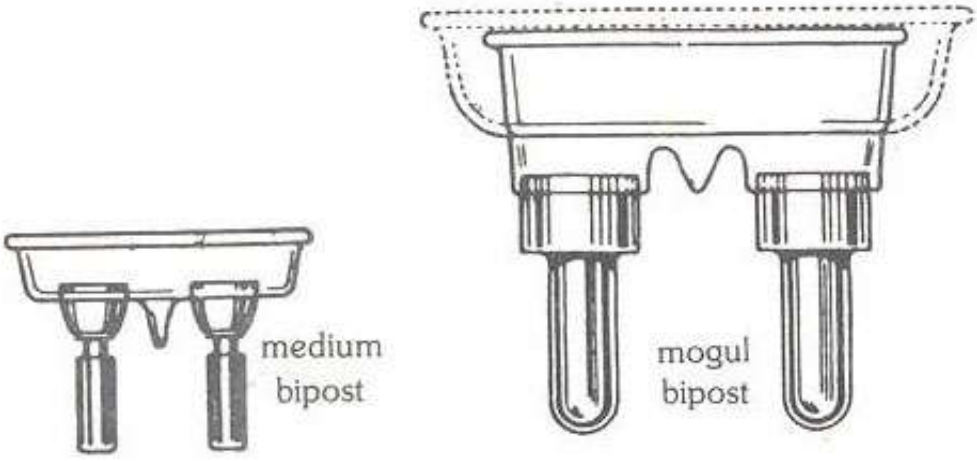
เอกสารประกอบการสอนวิทยาลัยมนตรี เจดเดช

ข. ขั้วหลอดแบบขนาดกลางใหญ่ (Admedium Base) เป็นขั้วหลอดขนาดใหญ่ของหลอดรุ่นแรกๆ

ค. ขั้วหลอดขนาดใหญ่ (Mogul Base) ทนกระแสได้ถึง 35A ที่ 120V นิยมใช้กับสระว่ายน้ำหรือใช้กับหลอดไฟฟ้าขนาด 300 วัตต์หรือมากกว่า

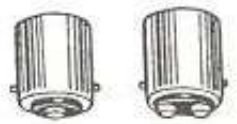
2. <u>ขั้วหลอดแบบกำหนดตำแหน่งแน่นอน</u> (Precise Positioning Base) ขั้วหลอดแบบนี้จะใช้งานที่ต้องการให้ตำแหน่งของไส้หลอดหรือการกระจายแสงของหลอดไฟฟ้ามีทิศทางคงที่และแน่นอน หรือนำไปใช้ในบริเวณที่มีการสั่นสะเทือน ส่วนใหญ่ใช้กับเครื่องจักรต่างๆ แบ่งออกเป็น

ก. Bipost เป็นขั้วหลอดที่มีปุ่มยาวๆ ยื่นออกมาจากฐานของหลอด ดังรูป



เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เงาเดช

ข. Bayonet หรือแบบเขี้ยว หรือแบบขั้ว เป็นขั้วหลอดที่มีปุ่มยื่นออกมาด้านข้างของฐานหลอด เพื่อใช้ในการยึดหลอด



bayonet

ค. Prefocus เป็นขั้วหลอดที่มีแผ่นบางๆ ยื่นออกมารอบๆ ฐานหลอด

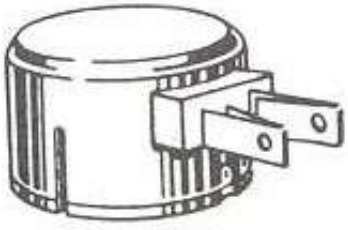
mogul prefocus

medium prefocus

candelabra prefocus

3. <u>ขั้วหลอดแบบงานเฉพาะอย่าง</u> (Special Purpuse Base)

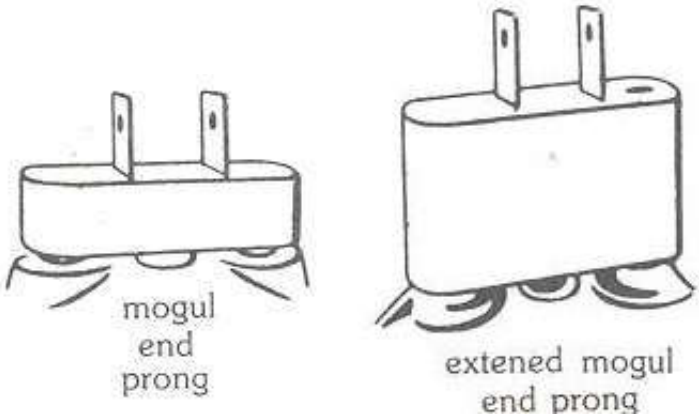
ก. Side prong ลักษณะเป็นขาเสียบตัวผู้ที่ยึดติดอยู่กับด้านข้างของขั้วหลอดมักใช้กับหลอดที่มีความสูงไม่มากนัก



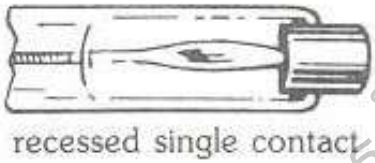
medium side prong

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เงาเดช

ข. End prong คล้ายแบบ Side prong แต่จะมีขาเสียบอยู่ด้านล่างของขั้ว

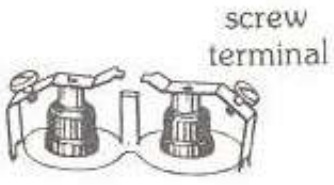


ค. Reccessed Single Contact ใช้กับหลอด Tubular Lamp ชนิดพิเศษ



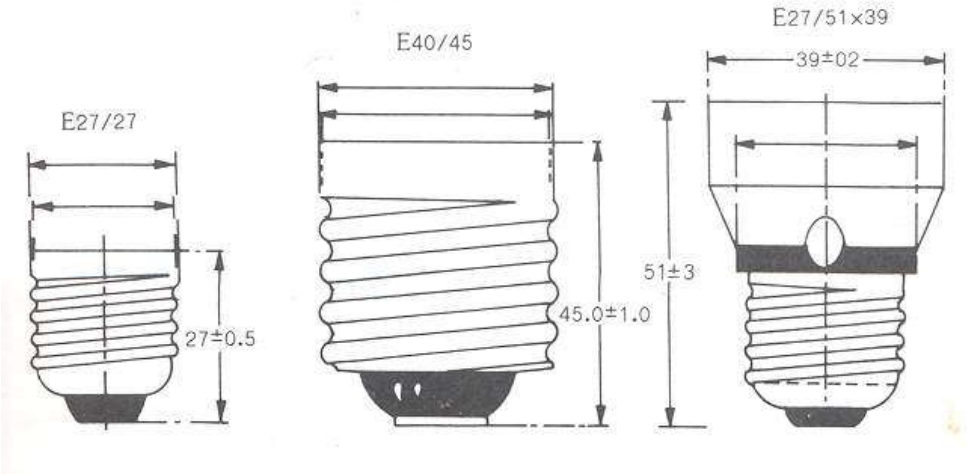
ง. Disk ใช้กับหลอด Incandescent ที่มีรูปทรงแบบ Tubular ทรงยาวที่มักเรียกว่า Lumiline

จ. Screw Terminal ใช้กับหลอดที่สายต่อในถูกยึดกับขั้วหลอด ใช้กับหลอดที่มีแรงดันต่ำๆ



การบอกขนาดต่างๆ ของขั้วหลอดที่เป็นมาตรฐานยุโรปจะใช้อักษร E และตามด้วยตัวเลข ซึ่งจะบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความสูงของขั้วหลอด เช่น E27/27 , E40/45 , E27/51x39 ดังรูป

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เจาะดช



1.1.5 สายค้ำโยง **(Support Wire)**

ทำมาจากโมลิบดินัม มีหน้าที่ค้ำโยงไส้หลอดเอาไว้ ให้อยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสมในหลอดไฟฟ้า

1.1.6 ปุ่มหลอดแก้ว **(Button)**

ใช้เป็นตัวค้ำและยึดสายค้ำโยงให้แน่น

1.1.7 หลอดแก้วทรงยาว **(Button Rod)**

ลักษณะเป็นหลอดแก้วทรงยาว ใช้สำหรับพยุงปุ่มหลอดแก้วให้แข็งแรง

1.1.8 สายต่อใน **(Lead in Wires)**

ทำมาจากทองแดงหรือนิเกิล ใช้เป็นตัวนำกระแสมายังไส้หลอดไฟฟ้า โดยใช้โยงจากฐานหลอดมายังจุกและโยงจากจุกอุดไปยังไส้หลอดอีกทีหนึ่ง

1.1.9 สายค้ำ **(Tie Wires)**

ทำด้วยโมลิบดินัม ใช้ค้ำโยงสายต่อใน

*1.1.10*จุกอุด **(Stem Press)**

ทำด้วยแก้ว เพื่อหุ้มสายต่อใน (Lead in Wires)

*1.1.11*ท่อแก๊สออก **(Exhaust Tube)**

ใช้สำหรับดูดอากาศออกและใส่แก๊สเข้าไปภายในหลอดไฟฟ้า

*1.1.12*แผ่นกั้นความร้อน **(Heat Defletor)**

ใช้สำหรับหลอดวัตต์สูง ลดการหมุนเวียนของแก๊สไปยังคอกระเปาะแก้ว

*1.1.13*ฟิวส์ **(Fuse)**

ใช้ป้องกันหลอดและวงจรเมื่อไส้หลอดเกิดการอาร์ค

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เงาเดช

1.2 การทำงาน

หลอดไส้สามารถเปล่งแสงได้โดยการผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปในไส้หลอด เมื่อกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดทังสเตน ทำให้เกิดความร้อนและเปล่งแสงออกมาได้ ขณะที่หลอดทำงานขดลวดทังสเตนจะค่อยๆ ระเหิดออกมา อนุภาคทังสเตนจะไปเกาะอยู่บนผิวด้านในของกระเปาะแก้วผลทำให้กระเปาะแก้วมีสีดำ หลอดชนิดนี้อายุการใช้งานค่อนข้างสั้นและประสิทธิภาพต่ำ แต่ก็เป็นที่นิยมใช้กันมาก เพราะมีราคาถูก,การเปลี่ยนหลอดทำได้ง่ายและสะดวก

1.3 อายุการใช้งาน

อายุการใช้งานประมาณ 6000-20000 ชม. ขึ้นอยู่กับชนิดและขนาดวัตต์ของหลอด แต่ทั้งนี้ทั้งนั้นการใช้งานของหลอดก็มีผลต่ออายุการใช้งานของหลอด เช่น หากเปิด-ปิดหลอดบ่อยๆ หรือ นำไปใช้กับระดับแรงดันที่ไม่เหมาะสมหากนำหลอดไปใช้กับพิกัดแรงดันที่สูงกว่ากำหนดของหลอดไฟฟ้าก็จะส่งผลทำให้อายุการใช้งานของหลอดสั้นลงได้

1.4 การนำไปใช้งาน

การเลือกใช้งานของหลอดไส้ขึ้นอยู่กับลักษณะของงานที่ต้องการนำไปใช้ รวมไปถึงลักษณะของโคมที่ใช้ในการติดตั้งแต่ละชนิด

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เจนเดช

หลอดทรงมาตรฐาน (แบบทั่วไป) (GLS Lamp or A type) (GLS = General Service Lamp) มี 2 แบบ คือหลอดแก้วใสและหลอดแก้วเคลือบ

การใช้งาน ใช้ตามบ้านเรือนทั่วไป

หลอดทรงจำปา (Candle Lamp orB type , ST Type) มีทั้งแบบหลอดแก้วใสและหลอดแก้วฝ้า

การใช้งาน ใช้กับโคมไฟระย้า โคมไฟกิ่ง โคมไฟชนิดพิเศษ

หลอดทรงกลม (Ball Lamp or G type) มีแบบหลอดแก้วใส , หลอดแก้วเคลือบนมขาว , หลอดแก้วฉาบปรอทครึ่งใบบน , หลอดแก้วฉาบปรอทครึ่งใบล่าง , หลอดแก้วฉาบปรอทครึ่งซีก และหลอดแก้วฉาบปรอทวงแหวน

การใช้งาน

- ใช้งานตกแต่งภายในอาคารทั่วไป โดยสามารถติดตั้งแบบเปลือยได้ไม่ต้องมีดวงโคมขึ้นอยู่กับสถาปนิกเป็นผู้กำหนด
- ชนิดฉาบปรอทครึ่งใบ สามารถนำไปใช้งานโรงแรม ร้านอาหาร ดิสโก้เธค ฯลฯ

เอกสารประกอบการสอนอาลักษณ์มนตรี เจาเดช

หลอดรูปทรงปิงปอง (Ping-pong Lamp) G type มีขนาดเท่าลูกปิงปอง มีแบบหลอดแก้วใส , หลอดแก้วฝ้า , หลอดแก้วฉาบปรอท หลอดแก้วสีต่างๆ

การใช้งาน ใช้กับงานตกแต่งร้านค้า , โรงแรม , ร้านอาหาร ฯลฯ โดยส่วนใหญ่มักนำมาทำไฟวิ่ง

หลอดรูปทรงสปอร์ทไลท์ (Indoor and Outydoor Reflector Lamp , R type or ER type)

การใช้งาน ใช้ส่องป้าย , ส่องภาพเขียน , งานแสดงสินค้าหนังสือ , ส่องทางเดินบริเวณมุมอับ , ไฟเวที , ตกแต่งร้านค้า , ตู้แสดงสินค้า , ห้างสรรพสินค้า , ไฟชั่วคราว ฯลฯ

หลอดรูปทรงสปอร์ทไลท์ชนิดกระจกหนา (Pressed Glass or PAR Lamp) PAR มาจากคำว่า Parabolic Aluminized Reflector , PAR type เราจะคุ้นเคยกับชื่อเรียกว่าที่ว่า PAR36 , PAR38 , PAR46 , PAR56 , PAR64

การใช้งาน

- สามารถใช้งานได้ เช่นเดียวกับหลอด R type
- ใช้กับการะประดับสวน
- ใช้กับเวทีการแสดงละคร

หลอดอินแคนเดสเซนต์ในปัจจุบันถูกทดแทนการใช้งานด้วยหลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ ซึ่งดีกว่าในด้านของการประหยัดพลังงานและอายุการใช้งานของหลอด แต่ยังไม่ได้รับการตอบรับมากนักเนื่องจากราคา

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เงาเดช

ของหลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ที่ค่อนข้างแพงและลักษณะของการใช้งาน หากต้องการสีที่สวยงาม เป็นธรรมชาติและอบอุ่นมักเลือกใช้หลอดอินแคนเดสเซนต์มากกว่า

1.5 ค่าดัชนีความถูกต้องของสี (Color Rendering Index : CRI)

หมายถึงค่าของผลการให้สีของวัตถุที่ถูกมองเห็นภายใต้แสงของหลอดไฟฟ้า เป็นค่าดัชนีที่เปรียบเทียบว่าแสงสีจากหลอดไฟทดสอบนั้นมีผลทำให้สีของวัตถุที่มองเห็นใกล้เคียงกับแสงธรรมชาติ (แสงอาทิตย์ มีสีขาว มี 7 แถบสี) จะมีค่าอุณหภูมิสีประมาณ 3000K ค่า CRI บอกค่าเป็นเปอร์เซ็นต์

หากเราต้องการมองเห็นสีสันที่แท้จริงของวัตถุควรใช้หลอดที่มีค่า CRI สูงๆ แต่หากเราต้องการมองเห็นวัตถุนั้นเด่นชัด เหนือเกินความจริง ควรเลือกหลอดที่ให้สเปคตรัมสีเดียวกับวัตถุนั้นๆ

หลอดไส้ยังคงได้รับความนิยมก็เนื่องมาจากค่า CRI ของหลอดซึ่งมีค่าสูงมากเมื่อเทียบกับหลอดชนิดอื่นๆ ซึ่งมีค่าสูงถึง 97% นอกจากนั้นยังมีองค์ประกอบอื่นๆ ที่มีผลต่อการเลือกใช้หลอดไส้ ซึ่งจะมาดูในส่วนของข้อดีและข้อเสียของหลอดไส้กัน

ข้อดีและข้อเสียของการเลือกใช้หลอดไส้

ข้อดี

1) ราคาถูก หาซื้อง่าย ติดตั้งง่าย
2) อุณหภูมิโดยรอบไม่มีผลต่อแสงสว่าง
3) ง่ายในการควบคุมลำแสง
4) ให้แสงมีคุณภาพดี และมีค่าความถูกต้องของแสงสูง (CRI สูง)
5) ขนาดกะทัดรัด , น้ำหนักเบา , เคลื่อนย้ายสะดวก , ไม่มีอุปกรณ์อื่นๆ ช่วยในการจุดหลอด
6) สามารถควบคุมความสว่างของแสงได้ (หรี่แสงได้)
7) ใช้ได้กับระดับแรงดันไฟฟ้าต่ำ เช่น 30 , 60 75 100 120V
8) ใช้ในงานตกแต่ง , ไฟจราจร , ไฟสัญญาณเตือนภัย , ไฟฉุกเฉิน , ตู้แสดงสินค้า , ตู้เย็น , ไฟกิ่ง , ไฟหัวเสา , ไฟสวน
9) ใช้ในเครื่องใช้ไฟฟ้า เช่น ตู้เย็น , เตาอบไมโครเวฟ
10) ใช้ในงานก็ต้องการแสงสว่างไม่มาก ถ่ายทำภาพยนตร์ วีดีโอ ร้านถ่ายรูป ไฟส่องป้ายโฆษณา
11) ใช้กับไฟใต้น้ำ เช่น น้ำพุ ไฟสระว่ายน้ำ

ข้อเสีย

1) ให้แสงสว่างน้อย
2) ความร้อนสูง สิ้นเปลืองการปรับอากาศ
3) สูญเสียกำลังไฟฟ้ามาก ถึง 90%
4) อายุการใช้งานสั้น

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เจดเศษ

1.6 ค่าฟลักซ์แสงสว่างของหลอดไส้

ในการออกแบบแสงสว่างในงานจริงสามารถเลือกค่าฟลักซ์แสงสว่างของหลอดไส้ จากคู่มือของหลอดไฟฟ้าแต่ละชนิด

ค่าฟลักซ์แสงสว่างและคุณสมบัติของแสงจากหลอดไส้ธรรมดา 220V

วัตต์ (W)	ฟลักซ์แสงสว่าง (lm)	ประสิทธิภาพแสงสว่าง (lm/W)	อายุการใช้งาน (ชั่วโมง)
15	120	8	1200
25	230	9.2	1000
40	430	10.75	1000
60	730	12.17	1000
75	960	12.8	750
100	1380	13.8	750
150	2200	14.67	750
200	3150	15.75	750
300	4850	16.17	1000
500	8400	16.8	1000

ค่าฟลักซ์แสงสว่างและคุณสมบัติของแสงจากหลอดไส้ทรงสปอร์ตไลต์ 220V

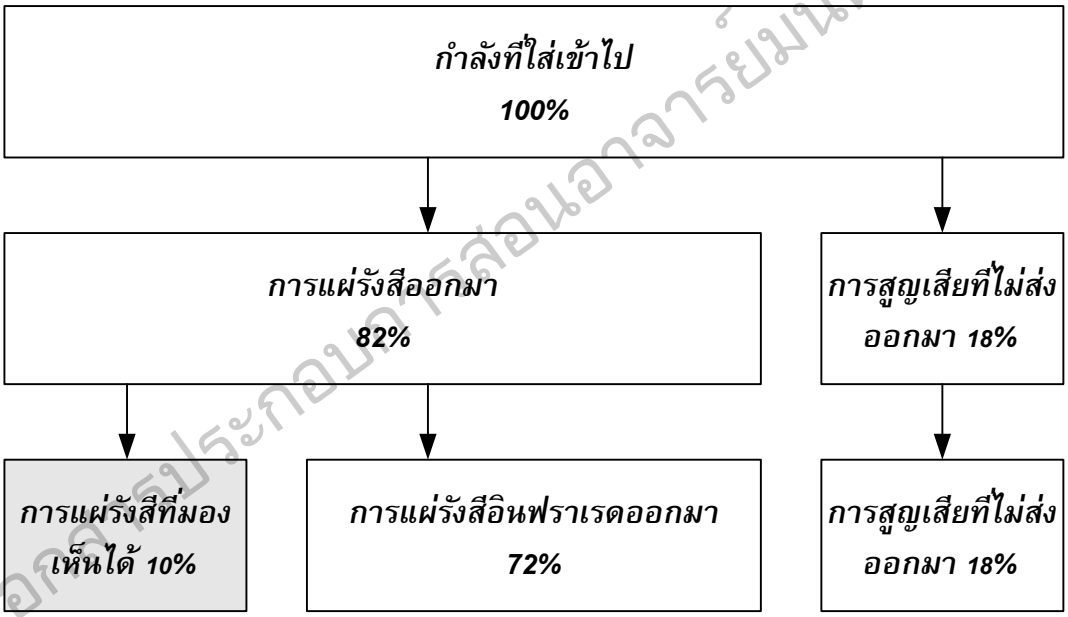
วัตต์ (W)	กระเปาะแก้ว (∅:mm)	ลำแสง (องศา)	ฟลักซ์แสงสว่าง (lm)
25	R50	35	180
40	R50	35	400
40	R63	35	340
60	R63	35	650
40	R80	80	320
60	R80	80	530
75	R80	80	730
100	R80	80	1080
75	R95	35	690
100	R95	35	1030
150	R95	35	1520

ค่าฟลักซ์แสงสว่างและคุณสมบัติของแสงจากหลอดไส้ทรงสปอร์ตไลต์ชนิดกระจกหนา 220V

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์นเตรี เงาไตร

วัตต์ (W)	กระเปาะแก้ว (∅:mm)	ลำแสง (องศา)	ฟลักซ์แสงสว่าง (lm)
60	PAR38	12	600
80	PAR38	12	800
120	PAR38	12	1200
60	PAR38	30	600
80	PAR38	30	800
120	PAR38	30	1200

1.7 การส่งพลังงานของหลอดไส้

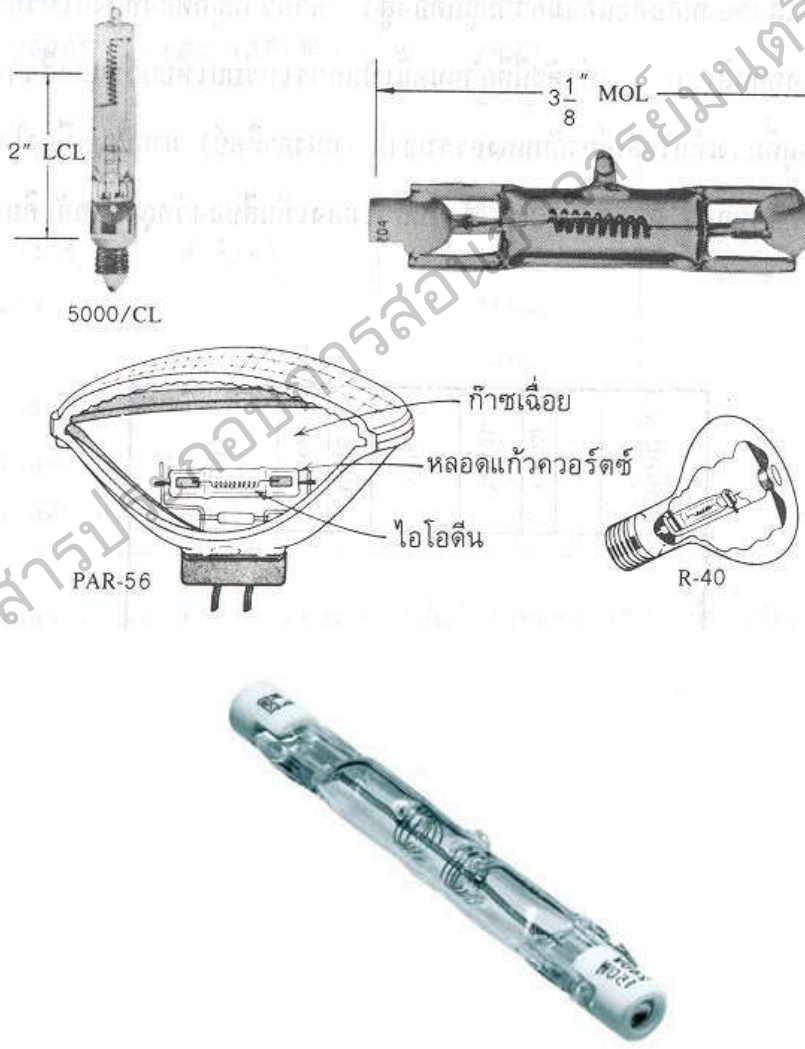


เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เงาเดช

จากกราฟจะเห็นว่ากำลังไฟฟ้าที่จ่ายเข้าไป 100% จะได้แสงแผ่รังสีที่ตามองเห็นได้เพียง 10% เท่านั้น ซึ่งนับว่าเกิดการสูญเสียกำลังงานไฟฟ้าค่อนข้างมาก

2.หลอดทังสเตน-ฮาโลเจน (Tungsten-Halogen Lamp)

หลอดชนิดนี้อยู่ในตระกูลเดียวกันกับหลอดไส้ (Incandescent Lamp) โดยหลอดชนิดนี้ใช้หลักการทำงานเหมือนหลอดเผาไส้ ต่างกันตรงที่มีก๊าซบรรจุซึ่งหลอดชนิดนี้จะใช้ก๊าซ Halogen อยู่ในแก้วควอตซ์ (Qoartz) ก๊าซฮาโลเจนที่บรรจุเข้าไปเพื่อช่วยให้เกิดรอบฮาโลเจน (Halogen cycle) นอกจากนี้ยังมีก๊าซไอโอดีนหรือโบรมีน,คลอรีนและฟลูออรีนรวมอยู่ด้วย สารฮาโลเจนมีหน้าที่ป้องกันการระเหิดตัวของไส้ทังสเตนซึ่งทำงานที่อุณหภูมิสูงประมาณ 3000-4000K ทำให้หลอดมีอายุการใช้งานที่ยาวขึ้น การใส่ก๊าซดังกล่าวลงไปจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของหลอดให้ดีขึ้นได้อีกประมาณ 40 ลูเมนต่อวัตต์ หรือประมาณ 40% และยังส่งผลทำให้อายุการใช้งานยาวนานกว่าหลอดไส้ชนิดธรรมดาถึง 2 เท่าเป็นอย่างน้อย รวมทั้งการให้สีของแสงสีขาวกว่าหลอดอินแคนเดสเซนต์ธรรมดา ดังพิจารณาได้จากรูปที่ 2.6

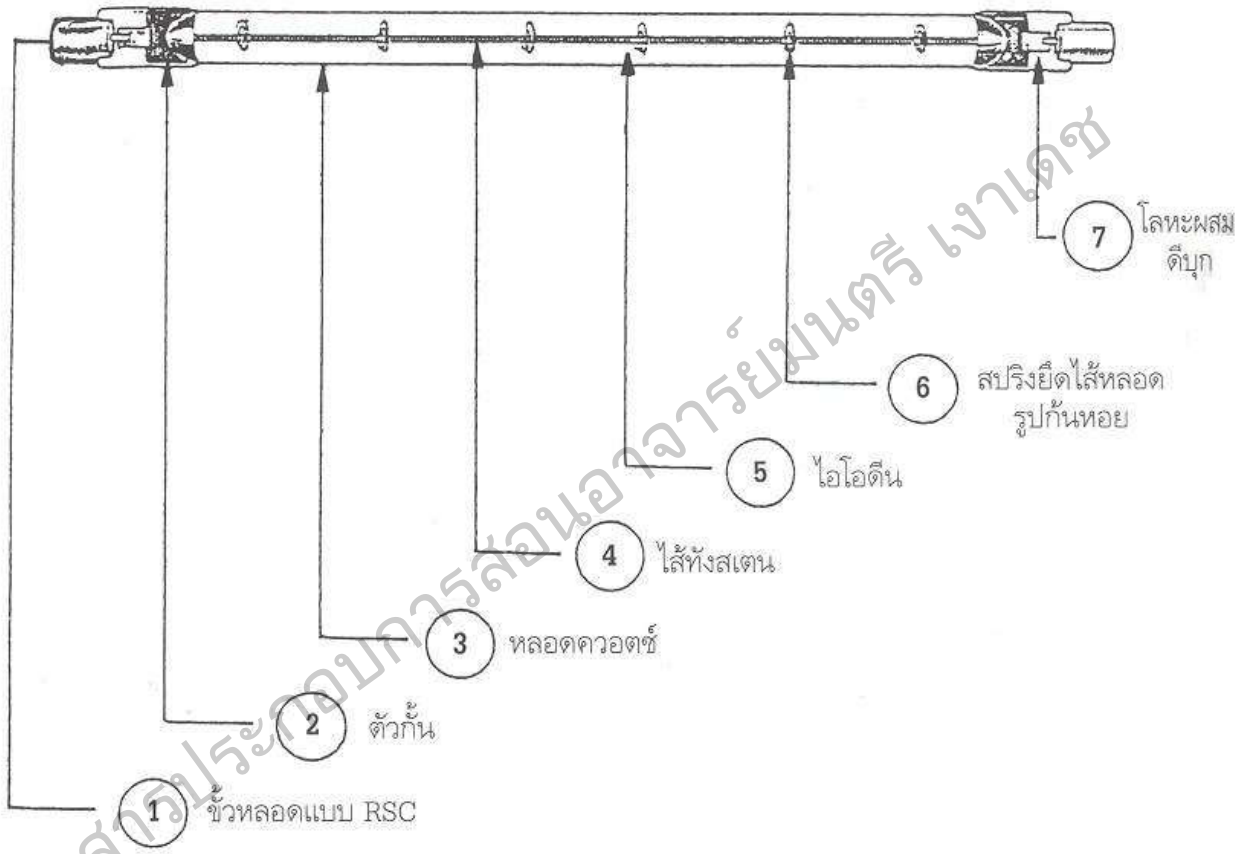


เอกสารประกอบการสอน วิรัช วรียมนตรี เงาเดช

รูปที่ 3.6

หลอดทังสเตน-ฮาโลเจนแม้ว่ามีหลักการทำงานเหมือนหลอดชนิดเผาไส้ แต่ถ้าทำการเปรียบเทียบกับค่า Lumen ที่เกิดขึ้นเมื่อใช้งานไปเป็นเวลานานๆ จะพบว่าหลอดทังสเตน-ฮาโลเจนมีค่าการสูญเสียลูเมนน้อยมาก

2.1 ส่วนประกอบของหลอดทังสเตนฮาโลเจน มีดังนี้



เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เงาเดช

1.1.14 ขั้วหลอดชนิด RSC (RSC Base) คือขั้วหลอดทังสเตนฮาโลเจน

1.1.15 ตัวกั้น (Seal) คือ ตัวทำหน้าที่ป้องกันความร้อนและก๊าซไม่ให้ออกไปภายนอกหลอด

1.1.16 หลอดควอตซ์ (Quartz) คือ ตัวหลอดแก้วที่บรรจุส่วนต่างๆ และก๊าซอยู่ภายในหลอดแก้ว ซึ่งทำด้วยหินควอซ์ (Quartz) มีคุณสมบัติอุณหภูมิได้สูง และมีลักษณะของหลอดเป็นแบบหลอดแก้ว 2 ชั้น (Double-Ended Tube)

1.1.17 ไส้หลอดทังสเตน (Tungsten Filament) คือ ทำหน้าที่เป็นไส้หลอดที่บรรจุอยู่ภายในหอลดแก้วทำจากทังสเตน มีลักษณะเป็นแบบ C-8

1.1.18 ไอโอดีน (Iodine) คือ กลุ่มของก๊าวที่บรรจุอยู่ภายในหลอดเป็นกลุ่มของก๊าซที่มีก๊าซฮาโลเจนรวมอยู่ด้วย จะเป็นตัวเพิ่มประสิทธิภาพของหลอดไฟให้ดีขึ้น

1.1.19 สปริงยึดไส้หลอด (Tungsten Spiral Support) คือ สปริงยึดไส้หลอดที่อยู่ภายในหลอด

1.1.20 โลหะผสมดีบุก (Molybdenum Foil) ทำหน้าที่เป็นขั้วยึดไส้หลอด

2.2 การทำงานของหลอดทังสเตนฮาโลเจน

เมื่อเราจ่ายไฟฟ้าเข้าให้กับวงจรของหลอดทังสเตนฮาโลเจนแล้ว จะมีผลทำให้ไส้ร้อนและมีอุณหภูมิสูงขึ้นเรื่อยๆ และเมื่อไส้หลอดแดงก็จะเปล่งแสงสว่างออกมา และเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นอีก ทังสเตนจะเกิดการระเหยทำให้อนุภาคของมันกระจายออกจาไส้หลอดไปเกาะที่ผิวภายในหลอดแก้ว และเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นอีกประมาณ 500F ก๊าซไอโอดีนที่บรรจุอยู่ภายในก็จะมีไอออกมา และไอของก๊าซไอโอดีนที่เกิดขึ้นนี้ก็จะเคลื่อนไปทำปฏิกิริยาทางเคมีกับไอของทังสเตนกลายเป็นทังสเตนไอโอไดด์ และจากผลการรวมตัวของไอของก๊าซไอโอดีนกับไอของทังสเตนนี้จะทำให้อนุภาคของทังสเตนที่กระจัดกระจายอยู่นี้ถูกผลักให้กลับไปที่ไส้หลอดเหมือนเดิมเมื่อเลิกทำงานแล้ว เมื่อไอของทังสเตนไม่ไปเกาะที่ผนังของหลอดแก้วก็ทำให้หลอดแก้วนั้นใสตลอดเวลา

2.3 การนำหลอดทังเสตนฮาโลเจนไปใช้งาน

การนำหลอดชนิดนี้ไปใช้งาน ไม่ควรนำหลอดเปล่าไปใช้งานในวงจรโดยตรง เนื่องจากอาจเกิดอันตรายกับหลอดได้ ควรจะมีกระเปาะแก้วอีกชั้นหนึ่ง หรือติดตั้งไว้ในดวงโคมที่ถูกออกแบบไว้เฉพาะงาน เพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับหลอดทังสเตนฮาโลเจน นอกจากนี้กระเปาะแก้วยังเป็นตัวควบคุมการกระจายแสงสว่างของหลอดอีกด้วย และในการวางตำแหน่งของหลอดไว้ในดวงโคมหรือกระเปาะแก้วนั้น ถ้าต้องการให้ได้ปริมาณแห่งการส่องสว่างดีที่สุดก็ควรวางไว้ที่จุดโฟกัส หรือจุดศูนย์กลางของดวงโคมหรือกระเปาะแก้ว นอกจากนี้กระเปาะแก้วหรือดวงโคมยังช่วยรักษาระดับของอุณหภูมิของหลอดให้คงที่ด้วย ลักษณะของกระเปาะและดวงโคมสำหรับหลอดทังสเตนฮาโลเจนมีลักษณะดังรูป

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์เมธี เงาเดช

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เงาเดช

<u>ข้อควรระวังในการติดตั้งหลอดทังสเตนฮาโลเจน</u>

ในการติดตั้งหรือบำรุงรักษาหลอดทังสเตนฮาโลเจนนี้ จะต้องทำอย่างระมัดระวังเป็นพิเศษ เนื่องจากว่าหลอดทังสเตนฮาโลเจนเป็นหลอดไฟที่ทำงานที่อุณหภูมิสูงมากและหลอดแก้วที่ใช้เป็นตัวห่อหุ้มก็จะมีความร้อนสูงตามไปด้วย ดังนั้นเวลานำหลอดไปใช้งานจึงห้ามไม่ให้ใช้มือเปล่าจับที่ตัวหลอดแก้ว เนื่องจากว่ามือของคนเราจะมีเหงื่อ มีน้ำมัน ตลอดจนความชื้นอยู่ เมื่อเราเอามือเปล่าๆ ไปจับที่ตัวหลอดแก้วแล้วจะทำให้เหงื่อ หรือน้ำมัน หรือความชื้นไปติดอยู่ที่ผิวของหลอดแก้ว ทำให้ตัวหลอดแก้วเป็นรอยขึ้นมา เมื่อหลอดทำงานจะเกิดความร้อนขึ้น ความร้อนที่เกิดขึ้นบนผิวของหลอดแก้วจะไม่สม่ำเสมอกัน ทำให้การกระจายแสงสว่างของหลอดไม่ดี หรือหลอดแก้วอาจจะบวมหรือแตกได้เนื่องจากการขยายตัวที่ผิวของหลอดแก้วไม่สม่ำเสมอกัน หากเผลอไปจับแล้วให้ใช้ผ้าแห้งเนื้อนุ่มที่สะอาดชุบแอลกอฮอล์เช็ดให้ทั่วแล้วปล่อยทิ้งไว้ให้แห้งสักครู่ จึงนำไปใช้งานได้ นอกจากนี้ยังมีข้อแนะนำด้านอื่นๆ อีกดังนี้

1) หลอดทังสเตนฮาโลเจนที่เป็นหลอดไฟจำพวก Low Voltage คือ 12V , 100V และ 120V ดังนั้นหลอดจะต้องมีหม้อแปลง และอย่าให้แรงดันไฟฟ้าเกินไปจะส่งผลทำให้อายุการใช้งานสั้นลงได้

2) การใช้งานหม้อแปลง สามารถเลือกใช้งานหม้อแปลง unit/unit คือ หม้อแปลง 1 ตัว ต่อการใช้งานหลอดไฟ 1 ดวง หรือหลอดไฟหลายดวงต่อการใช้งาน 1 ตัวได้

3) หากเป็นโคมไฟที่นำเข้าจากต่างประเทศ หากซื้อแยกอุปกรณ์ควรคำนึงถึงคุณภาพของส่วนประกอบก่อนนำมาใช้งาน

4) โคมไฟบางชนิดไม่ได้ออกแบบหม้อแปลงไว้ภายใน การติดตั้งโดยวางเอาหม้อแปลงของหลอดไว้บนฝ้าเพดานโดยไม่มีการป้องกันอาจจะเป็นสาเหตุทำให้เกิดอัคคีภัยได้

5) ในการเปลี่ยนหลอดให้ปิดสวิทช์ก่อน และควรรอให้หลอดเย็นลงค่อยทำการเปลี่ยนหลอดใหม่

6) อย่าจับหลอดขณะใช้งานเพราะหลอดจะร้อนมากและอาจทำให้หลอดขาดได้ง่าย และอย่ามองหลอดขณะใช้งานด้วยตาเปล่าในระยะใกล้ เพราะจะก่อให้เกิดอันตรายกับดวงตาได้

7) การจับหลอดควรจับที่จานสะท้อนแสง ห้ามจับไส้หลอดโดยตรง

8) ระวังอย่าให้หลอดมีรอยถลอก หรือแก้วหลอดไฟร้าว และอย่าให้น้ำหรือของเหลวกระทบถูกหลอดไฟ ขณะจุดไส้หลอดอยู่

9) หมั่นตรวจสอบดูว่าสารที่เคลือบที่หลอดเสื่อมหรือเปล่า ถ้าเสื่อมควรเปลี่ยนหลอดใหม่

10) อย่าติดตั้งหลอดไฟใกล้กับวัสดุที่ไวไฟ เช่น ทินเนอร์ , เบนซิน หริวัสดุที่ไวต่อความร้อน เช่น ผลไม้ , อาหาร เพราะจะทำให้เสียเร็ว หรือเสื้อผ้าจะทำให้สีซีดเร็ว

11) หลีกเลี่ยงการสัมผัสหรือใช้มือลูบจานสะท้อนแสงเล่น เพื่อไม่ให้สารที่เคลือบไว้เสียหาย

12) การใช้เครื่องหรี่ไฟ หรือ Dimmer ไม่ควรจะหรี่แสงเกินกว่า 60% เพราะจะทำให้หลอดเสียเร็ว อย่างไรก็ตาม หลอดทังสเตนฮาโลเจนของโรงงานผู้ผลิต แต่ละรายมีข้อกำหนดของการใช้กับเครื่อง Dimmer ต่างกัน จึงควรปรึกษาผู้ขายและอ่านข้อแนะนำการใช้หลอดไฟก่อนใช้กับเครื่องหรี่ไฟ

<u>ข้อเปรียบเทียบระหว่างหลอดทังสเตนฮาโลเจนกับหลอดไส้</u>

เมื่อใช้งานหลอดไส้ไประยะหนึ่งแล้วที่บริเวณผิวของหลอดแก้วด้านในจะมีคราบดำเกาะติดอยู่รอบๆ เนื่องมาจากไส้หลอดหลอดร้อนขึ้นอนุภาคของทังสเตนที่ใช้ทำไส้หลอดจะเกิดการระเหยกลายเป็นไอเกาะที่ผนังของหลอดแก้วด้านใน จะทำให้ความสว่างของหลอดไฟฟ้าลดลงไปเรื่อยๆ

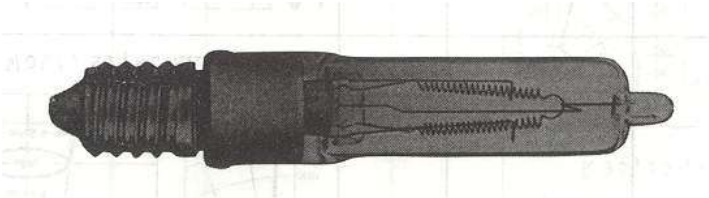
แต่หากเป็นหลอดทังสเตนฮาโลเจนแล้ว ภายในหลอดแก้วนี้จะมีการเติมก๊าซไอโอดีน หรือก๊าซโบรมีนเข้าไป เมื่ออุณหภูมิการทำงานของหลอดสูงขึ้นมากๆ หลายร้อยองศาเซนเซียส ไอของทังสเตนที่ระเหยออกมาจากไส้หลอด และไอของก๊าซไอโอดีนหรือโบรมีนจะรวมตัวกันกับทังสเตนเป็นทังสเตนไอโอไดด์และจะไม่ไปเกาะติดที่ผิวผนังของหลอดแก้ว แต่ไอนี้จะถูกผลักให้ไปเกาะอยู่ที่ไส้หลอดหลังจากเลิกทำงานแล้ว จึงมีผลทำให้หลอดแก้วนั้นยังคงใสอยู่ตลอดเวลาไม่หม่องดำ และทำให้ความสว่างของหลอดทังเสนฮาโลเจนสูงกว่าหลอดไส้ชนิดธรรมดา และมีอายุการใช้งานที่ยาวนานกว่าประสิทธิภาพของหลอดทังสเตนฮาโลเจนจึงสูงกว่าหลอดไส้ สีของแสงที่ได้จะค่อนไปทางสีขาวกว่าหลอดไส้และการกระจายแสงจะคงที่กว่าหลอดไส้ตลอดเวลาการใช้งาน ค่าบำรุงรักษาต่ำกว่าอุณหภูมิของสีของแสงสว่างจะสูงกว่าหลอดไส้ทั่วไป

2.4 ค่าฟลักซ์แสงสว่างของหลอดไส้

ค่าฟลักซ์แสงสว่างและคุณสมบัติของแสงจากหลอดทังสเตนฮาโลเจน 220V

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์เมธี เจนเดช

ก) หลอดแบบขั้วด้านเดียว



วัตต์ (W)	ฟลักซ์แสงสว่าง (lm)	ประสิทธิภาพแสงสว่าง (lm/W)	อายุการใช้งาน (ชั่วโมง)
100	1200	12	1300
150	2100	14	1300
250	4500	18	2000
500	950	19	2000

ข) หลอดแบบขั้วหัวท้าย

วัตต์ (W)	ฟลักซ์แสงสว่าง (lm)	ประสิทธิภาพแสงสว่าง (lm/W)	อายุการใช้งาน (ชั่วโมง)
300	5000	16.67	1000
500	9500	19	1500
750	15500	20.67	2000
1000	22000	22	2000
1500	33000	22	2000
2000	44000	22	2000

เอกสารประกอบการสอนวิทยาลัยเทคนิคกาญจนบุรี

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เงาเดช

3.5.2. หลอดใช้หลักการคายประจุในก๊าซ (หลอดดิสชาร์จ)

หลอดที่ใช้หลักการคายประจุในก๊าซ (Gas Discharge) แบ่งออกเป็น

- หลอดความดันไอต่ำ (Low Pressure)
  - หลอดฟลูออเรสเซนต์ (Fluorescent Lamp)
  - หลอดโซเดียมความดันต่ำ (Low Pressure Sodium Lamp)
- หลอดความดันไอสูง (High Pressure)
  - หลอดไอปรอทความดันสูง (High Pressure Mercury Lamp)
  - หลอดเมทัลฮาไลด์ (Metal Halide Lamp)
  - หลอดโซเดียมความดันสูง (High Pressure Sodium Lamp)

3.5.2.1 หลอดความดันไอต่ำ (Low Pressure)

ได้แก่

- หลอดฟลูออเรสเซนต์ (Fluorescent Lamp)
- หลอดโซเดียมความดันต่ำ (Low Pressure Sodium Lamp)

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์เมนตรี เงาเดช

1. หลอดฟลูออเรสเซนต์ (Fluorescent Lamp)

หลอดชนิดนี้เป็นหลอดก๊าซดีชชาร์จไอปรอท ที่มีความดันต่ำโดยมีก๊าซเฉื่อยบรรจุอยู่ภายใน มักเป็นที่นิยมใช้กันมากในสำนักงานทั่วไป เพราะมีประสิทธิภาพการส่องสว่างค่อนข้างสูงและให้แสงที่ได้ออกมาจัดว่าอยู่ในระดับดี ไม่เคืองตา

หลอด Fluorescent เป็นหลอดที่มีประสิทธิภาพสูง ให้ความสว่างมากถึง 72 ลูเมนต่อวัตต์ เมื่อเทียบกับหลอด Incandescent ซึ่งให้ความสว่างเพียง 17.5 ลูเมนต่อวัตต์ นอกจากนี้ยังมีอายุการใช้งานมากถึง 20,000 ชั่วโมง ซึ่งสูงกว่าอายุการใช้งานของหลอด Incandescent หลอด Fluorescent นี้มีขนาดตั้งแต่ 4 วัตต์จนถึง 215 วัตต์ มีความยาวตั้งแต่ 6 นิ้ว จนถึง 96 นิ้ว และมีรูปร่างต่างๆกันไปอีกด้วย

1.1 ส่วนประกอบของหลอด Fluorescent ประกอบด้วยส่วนสำคัญต่างๆดังนี้คือ

1.1.1 ตัวหลอด (Tube)

1.1.2 ขั้วหลอด (Base)

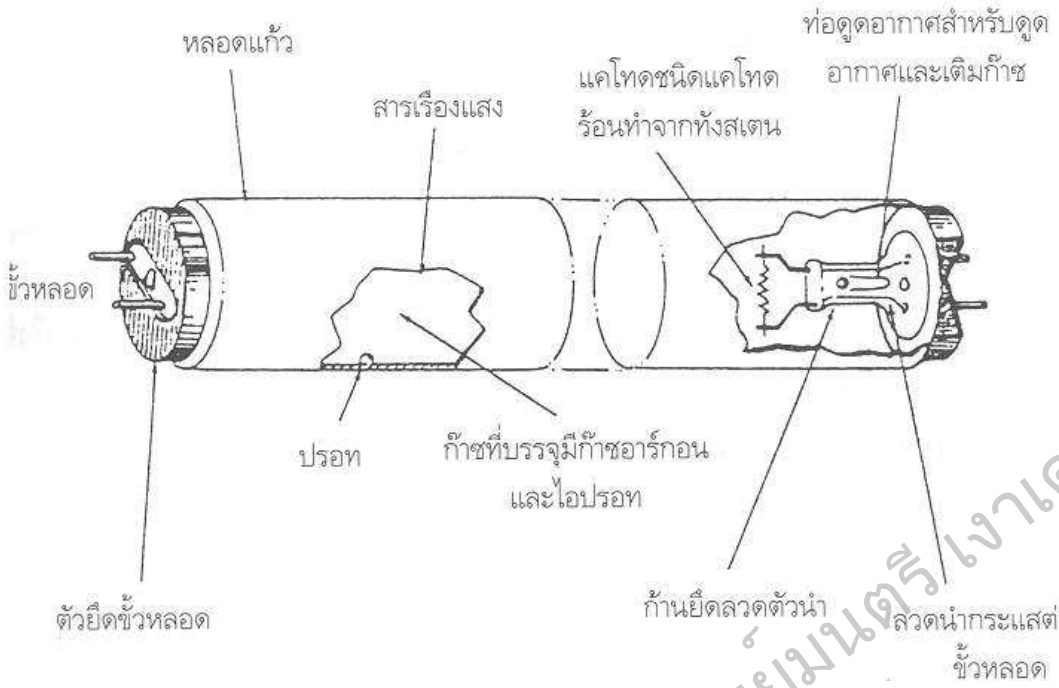
1.1.3 อิเล็กโตรด หรือ แคโทด (Electrode or Cathode)

1.1.4 สารและก๊าซที่เติมเข้าไปในหลอดฟลูออเรสเซนต์

1.1.5 ท่อดูดอากาศสำหรับดูดอากาศและเติมก๊าซ

1.1.6 ลวดนำกระแสต่อกับขั้วหลอด

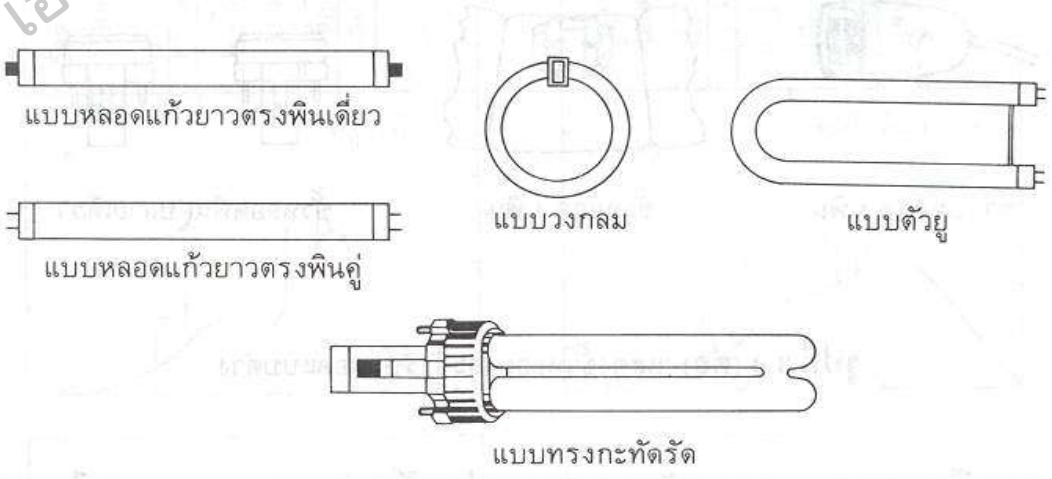
1.1.7 ก้านยึดลวดตัวนำ



1.1.14 ตัวหลอด **(Tube)**

หลอดแก้วโดยทั่วไปจะมีเส้นผ่านศูนย์กลางของหลอดตั้งแต่ 5/8 นิ้ว จนถึง 2-1/8 นิ้ว และมีความยาวตั้งแต่ 6-96 นิ้ว ภายในหลอดบรรจุด้วยก๊าซเฉื่อยและปรอท (mercury) และเคลือบด้วยสารเรืองแสง (Phosphur) นอกจากนี้ก็เป็นที่สำหรับยึดของแคโทด รูปร่างของหลอดแก้ว มีหลายรูปแบบเช่น

หลอดแก้วแบบยาวตรงพินเดี่ยว
หลอดแก้วแบบยาวตรงพินคู่
หลอดแบบวงกลม (circline)
แบบตัวยู (U-shape)
แบบทรงกระทัดรัด (Compact)



รูป แสดงรูปร่างของหลอด Fluorescent

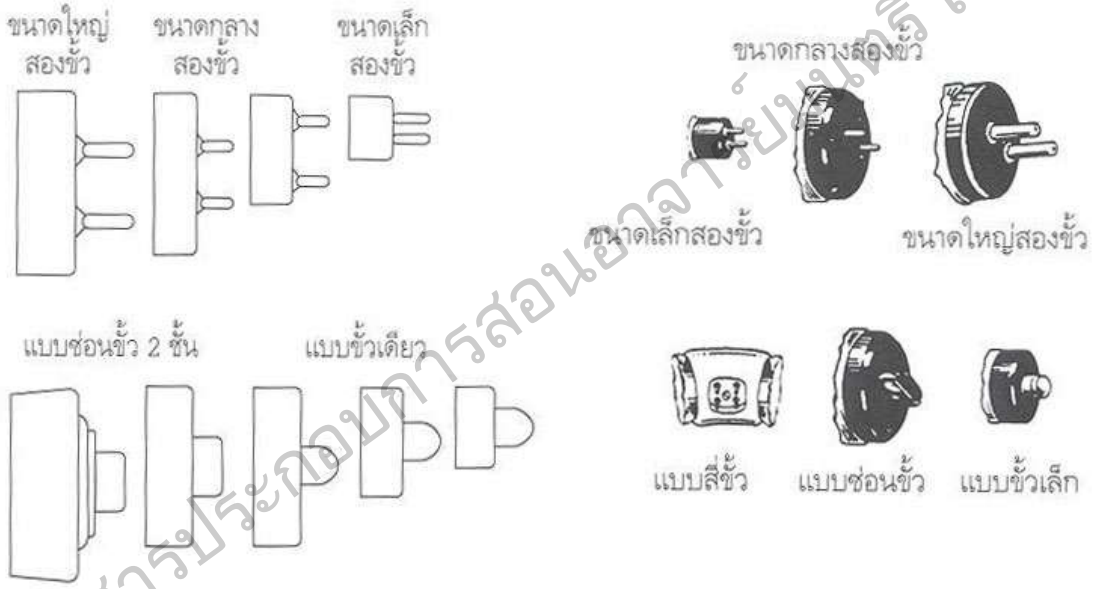
เอกสารประกอบการสอนวิทยาลัยการอาชีพนครศรีธรรมราช

1.1.15 ขั้วหลอด **(Base)**

ขั้วหลอดหมายถึง ขั้วที่อยู่บริเวณหัวและท้ายของหลอด ลักษณะของขั้วหลอดจะมีหลายแบบ หลอดฟลูออเรสเซนต์เมื่อนำไปใช้งานจะต้องมีขั้วหลอดสวมอยู่ที่ปลายทั้งสองของหลอดแก้วเพื่อนำกระแสไฟฟ้าสู่หลอด ซึ่งมีขั้วหลอดแบบต่างๆ เช่น แบบเป็นขั้วคู่ (Bi-Pin Base) แบบขั้วเดียว (Single Pin Base) สำหรับแบบขั้วคู่นั้นยังแบ่งออกเป็นขนาดต่างๆ 3 ขนาดด้วยกัน คือ

- ขนาดเล็ก (Miniature)
- ขนาดกลาง (Medium)
- ขนาดใหญ่ (Mogul)

แสดงให้เห็นดังรูป



เอกสารประกอบการสอนอาจารย์ยนต์ เงาเดช

สำหรับหลอดที่มีรูปร่างเป็นวงกลม (Circular Lamp) จะมีขั้ว 4 ขั้ว อยู่ระหว่างขั้วของแคโทดทั้งสองที่จะบรรจบกัน ดังรูป

สำหรับหลอดที่มีรูปร่างเป็นแบบตัวยู (U-Shaped Lamp) ขั้วหลอดจะเป็นแบบขั้วคู่ ซึ่งจัดอยู่ในประเภทขั้วหลอดแบบขั้วคู่ขนาดกลาง

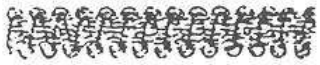
1.1.16 อิเล็กโทรด หรือ แคโทด **(Electrode or Cathode)**

หลอดฟลูออเรสเซนต์ภายในหลอดจะมีอิเล็กโทรดหรือแคโทดเป็นตัวปล่อยกระแสไฟฟ้า นิยมใช้กันแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ

1. แคโทดร้อน (Hot Cathode) เป็นขดลวดซ้อนขดลวดมีลักษณะดังรูป ขดลวดจะถูกเคลือบด้วยออกไซด์ของโลหะ ซึ่งจะปล่อยอิเล็กตรอนเมื่อถูกทำให้ร้อน และอิเล็กตรอนจะถูกปล่อยได้มากที่สุดเมื่อมีอุณหภูมิ 900 องศา

แบบขดลวดซ้อนขดลวด

แบบขดลวดซ้อนขดลวดและซ้อนขดลวดอีกชั้นหนึ่ง



แบบขดลวดมีลวดเสียบอยู่ตรงกลาง

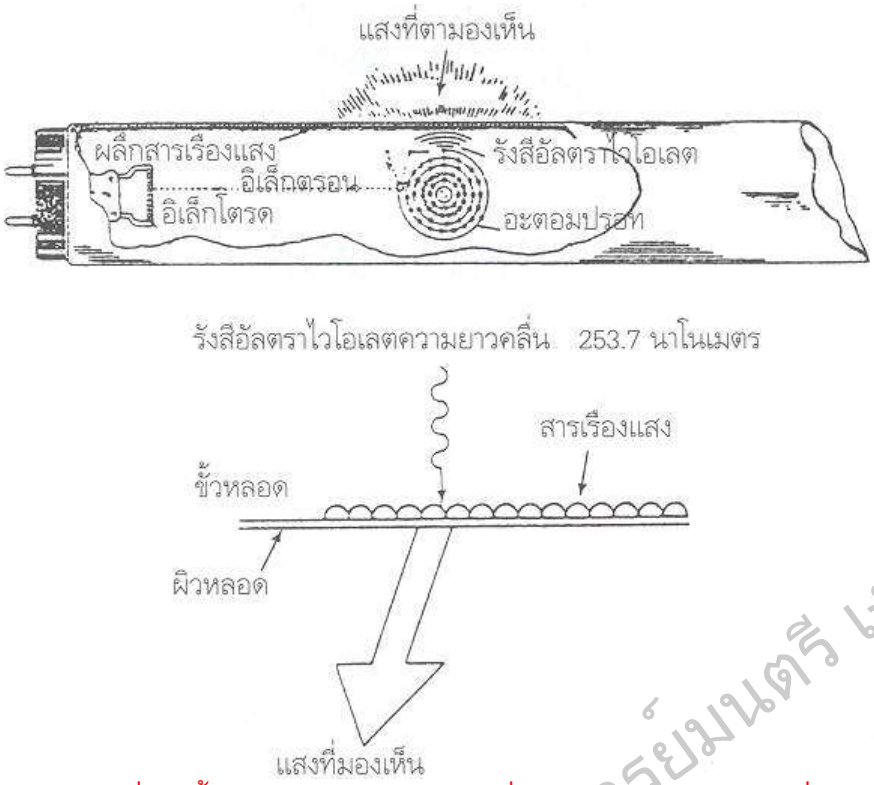
2. แคโทดเย็น (Cold Cathode) ทำจากโลหะที่เป็นเหล็กล้วนๆ จะเป็นตัวปล่อยอิเล็กตรอนออกมาภายในหลอด อายุการใช้งานน้อยกว่า โดยทั่วไปจะนิยมใช้แบบแคโทดร้อนมากกว่า

1.1.17 สารและก๊าซที่เติมเข้าไปในหลอดฟลูออเรสเซนต์

- ไอปรอท (Mercury) เมื่อหลอดทำงาน ไอปรอทจะลดปริมาณลงทำให้ความดันในหลอดต่ำลงมาก กระแสไฟฟ้าสามารถไหลผ่านตัวหลอดได้ และทำให้เกิดรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีความยาวคลื่น 253.7 นาโนเมตร

- สารเรืองแสง (Phosphor) จะบรรจุอยู่บริเวณผิวด้านในของหลอดแก้วสารเคมีนี้เรียกว่า ฟอสเฟอร์ (Phosphor) หรือเรียกว่าสารเรืองแสง และเมื่อหลอดทำงานไอปรอทจะปล่อยรังสีอัลตราไวโอเลตออกมา เมื่อวิ่งมากระทบกับฟอสเฟอร์ที่เคลือบที่ผิวหลอดก็จะทำให้หลอดดูสว่างไสวขึ้น

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี แงาเดช



รูป แสดงการเรืองแสงที่เกิดขึ้นจากรังสีอัลตราไวโอเลตวิ่งไปกระทบสารเรืองแสงที่เคลือบผิวด้านในของหลอดแก้ว

สีของหลอดฟลูออเรสเซนต์ หลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ใช้กันอยู่มีมากมายหลายสีขึ้นซึ่งอยู่กับสารฟอสเฟอร์ที่ฉาบอยู่ภายใน ดังตาราง 3.1

ตาราง 3.1 สารฟอสเฟอร์ที่ใช้ภายในหลอดฟลูออเรสเซนต์

สารฟอสเฟอร์ที่ใช้	**สีที่เกิดขึ้น**
แคลเซียมฮาโลเจนฟอสเฟต	ขาว
แคดเมี่ยมบอเรต	ชมพู
สตรอนเตียมออกโทฟอสเฟต	ส้ม
แคลเซี่ยมทังสเตน	น้ำเงิน
แมกนี่เซียมเบอมาเนต	แดง
แมกนีเซี่ยมทังสเตน	ขาวน้ำเงิน
ซิงก์ซิลิเกต	เขียว
สตรอนเตียมฮาโลเจนฟอสเฟต	เขียวอ่อน

- ก๊าซที่เติมในหลอดฟลูออเรสเซนต์ ก๊าซที่ถูกเติมเข้าไปในหลอดนี้จะเป็น ก๊าซอาร์กอน (Argon) เพียงเล็กน้อยและมีองค์ประกอบของก๊าซนีออน (Neon) หรือบางครั้งเติมก๊าซคริปตอน (Krypton) ก๊าซเหล่านี้เมื่อใส่แรงดันให้กับหลอดเพียงพอก็จะช่วยให้หลอดไฟสว่างและจะยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านหลอดและปรอทก็จะกลายเป็นไอ

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เงาเดช

1.1.18 **ท่อดูดอากาศสำหรับดูดอากาศและเติมก๊าซ**

ใช้สำหรับดูดอากาศออกจากตัวหลอดและบรรจุก๊าซไอปรอทเข้าไปภายในหลอด

1.1.19 **ลวดนำกระแสต่อกับขั้วหลอด**

ทำหน้าที่เป็นตัวนำกระแสไฟฟ้าจากขั้วหลอดสู่แคโทดของหลอด

1.1.20 **ก้านยึดลวดตัวนำ**

ทำหน้าที่ยึดลวดตัวนำเข้ากับขั้วหลอดและป้องกันลวดนำกระแสสัมผัสกัน

1.2 ส่วนประกอบของวงจรหลอด Fluorescent

1.2.1 บัลลาสต์ (Ballast)

บัลลาสต์นี้จะต่ออนุกรมกับหลอดและ สตาร์ทเตอร์ หน้าที่ของบัลลาสต์คือ

1) ทำหน้าที่เพิ่มแรงดันในขณะจุดไส้หลอด เพราะว่าเมื่อหลอดยังไม่สว่างความต้านทานของหลอดจะสูง เนื่องจากหลอดยาวมากบัลลาสต์จึงทำหน้าที่เพิ่มแรงดันให้มากพอที่จะจุดไส้หลอดได้
2) ทำหน้าที่ลดแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมหลอฟลูออเรสเซนต์ให้ต่ำลงเมื่อหลอดทำงานแล้ว เนื่องจากตังบัลลาสต์จะเป็นขดลวดความต้านทานจึงมีคุณสมบัติในการจำกัดขนาดของแรงดันไฟฟ้าให้ลดลงเหลือตามความต้องการของหลอด สาเหตุที่ต้องลดแรงดันลงเนื่องจากไส้ของหลอดฟลูออเรสเซนต์นั้นบอบบางมาก ไม่สามารถทนแรงดันสูงๆ ได้นานๆ
3) ทำหน้าที่เป็นตัวจำกัดกระแสไฟฟ้า ในขณะที่หลอดติดตั้งแล้ว เพราะว่าเมื่อหลอดสว่างก๊าซที่อยู่ภายในแตกตัวออกทำให้ความต้านทานลดต่ำลง กระแสไฟฟ้าสามารถวิ่งจากไส้หลอดข้างหนึ่งไปยังไส้หลอดอีกข้างหนึ่งได้

ชนิดของบัลลาสต์ที่ใช้กันอยู่มี 3 ชนิดคือ

1. บัลลาสต์ชนิดขดลวด (Choke Coils Ballast) ใช้กันทั่วไป ตัวบัลลาสต์ทำด้วยลวดทองแดงพันรอบแกนเหล็ก ซึ่งเป็นเหล็กแผ่นบางๆ (Laminated sheet steel) วางเรียงซ้อนกัน

2. บัลลาสต์ชนิดหม้อแปลงขดลวดชุดเดียว (Autotransformer Ballast) ลักษณะคล้ายหม้อแปลงแบบ Auto คือมีแท็ปออกมาตรงกลางใช้กรณีนำหลอดไปใช้กับแรงดัน 120 โวลต์หรือ 100 โวลต์

3. บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Ballast) เป็นบัลลาสต์ที่ทำมาจากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์มีลักษณะเด่นคือ ช่วยในการประหยัดพลังงาน และค่าตัวประกอบกำลัง (Power Factor) สูงและไม่ต้องใช้สตาร์ทเตอร์ในวงจร แต่ก็มีข้อเสียตรงที่มีราคาแพงจึงไม่นิยมใช้กันมากนักในบ้านเรา

เอกสารประกอบการสอนวิทยาลัยเทคนิคเจาะเดช

1.2.2 สตาร์ทเตอร์ (Starter)

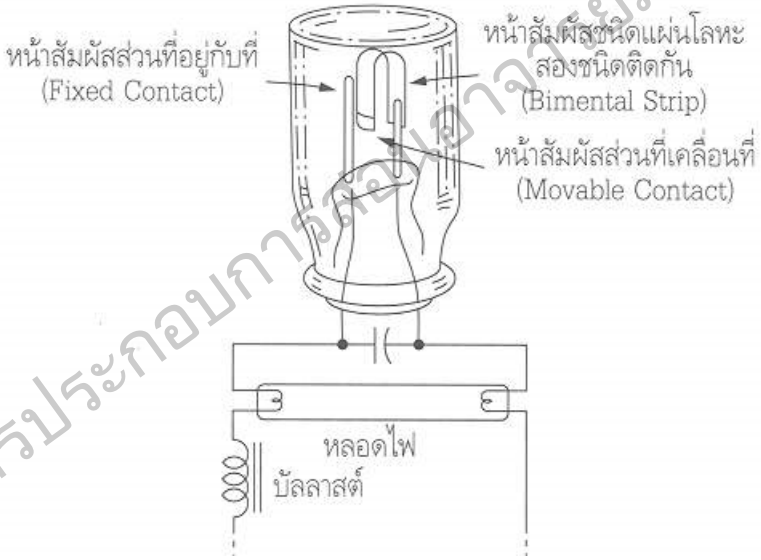
สตาร์ทเตอร์ที่ใช้กันโดยทั่วๆ ไปเป็นแบบโกลว์ (Glow Type) ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วนคือ

ก. หน้าสัมผัสที่เคลื่อนที่ได้ (Movable Contact)

ข. หน้าหน้าสัมผัสที่อยู่กับที่ (Fixed Contact)

หน้าสัมผัสทั้งสองนี้บรรจุในหลอดแก้วเล็กๆ ภายในบรรจุด้วยก๊าซอาร์กอน

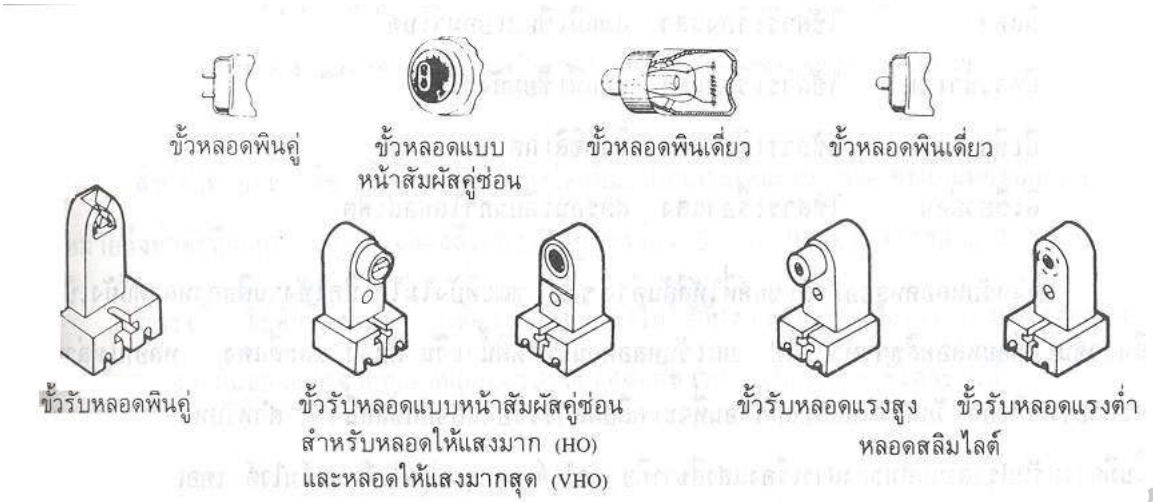
หน้าสัมผัสที่เคลื่อนที่ติดอยู่กับ Bimetal strip (แผ่นลหะที่มีสารสองอย่างซึ่งมีการขยายตัวต่างกันเมื่อได้รับความร้อน) โดยปกติหน้าสัมผัสทั้งสองจะไม่แตะกัน แต่เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลครบวงจรจะเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าตกคร่อมที่ตัวสตาร์ทเตอร์ 220 โวลท์ ซึ่งมีผลทำให้กระแสไฟฟ้าจำนวนหนึ่งไหลผ่านก๊าซอาร์กอน จะทำให้ Bimetal Strip ร้อน และสัมผัสกัน ส่วนกระแสอีกส่วนหนึ่งจะวิ่งผ่านไส้หลอดข้างหนึ่งไปยังไส้หลอดอีกข้างหนึ่งและเกิดการแตกตัวของก๊าซที่บรรจุอยู่ภายในทำให้หลอดสว่างได้ เมื่อหลอดสว่างแล้วกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านสตาร์ทเตอร์จะลดน้อยลง ทำให้ Bimetal Strip เย็นตัวลงตัดสตาร์ทเตอร์ออกจากวงจร แสดงให้เห็นดังรูป



เอกสารประกอบการสอนวิทยาลัยเทคนิคมนตรี

1.2.3 ขั้วยึดหลอด (Lampholder)

ทำหน้าที่ยึดหลอดฟลูออเรสเซนต์ และเป็นทางนำกระแสไฟฟ้าเข้าสู่ขั้วหลอดด้วย มีลักษณะต่างๆ ซึ่งแต่ละแบบก็จะใช้ควบคู่กับขั้วหลอดแต่ละแบบ ดังแสดงในรูป



1.3 การทำงานของหลอดฟลูออเรสเซนต์

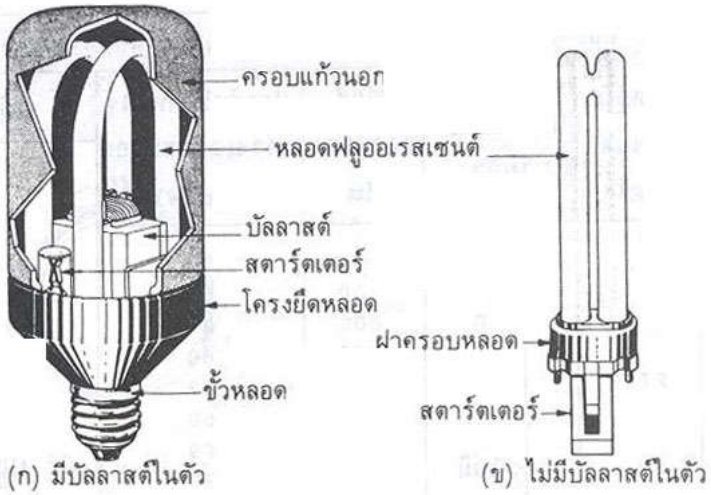
พิจารณาวงจรการทำงานในรูป จะเห็นว่าสตาร์ทเตอร์ต่อขนานอยู่กับหลอดไฟฟ้า ตัวบัลลาสต์ต่ออนุกรมอยู่กับหลอดและสตาร์ทเตอร์ เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านในวงจร ในช่วงแรกนี้กระแสไฟฟ้าไม่สามารถวิ่งจากปลายข้างหนึ่งไปยังอีกข้างหนึ่งของหลอดได้เนื่องจากหลอดยาวและมีความต้านทานมาก กระแสไฟฟ้าส่วนหนึ่งวิ่งไปยังสตาร์ทเตอร์ทำให้ก๊าซภายในสตาร์ทเตอร์ร้อนและขยายตัวจนทำให้แผ่น Bimetal Strip ทั้งสองแผ่นสัมผัสกันกระแสไฟฟ้าจะไหลครบวงจรและทำให้ขั้วหลอดทั้งสองข้างอุ่นตัวจนร้อน โดยบัลลาสต์ทำหน้าที่เพิ่มแรงดันขณะจุดไส้หลอดในช่วงแรกด้วย หลังจากนั้นก๊าซภายในหลอดขยายตัวจนกระทั่งเกิดการแตกตัวของก๊าซขึ้น กระแสไฟฟ้าสามารถวิ่งจากปลายข้างหนึ่งไปยังอีกข้างหนึ่งได้ ไอปรอทเกิดการแตกตัวกระทบสารเรืองแสง (ฟอสเฟอร์) จนสามารถเปล่งแสงออกมาได้ ขณะเดียวกันที่ตัวสตาร์ทเตอร์นั้นกระแสไฟฟ้าน้อยลงไป มีผลทำให้แผ่น Bimetal Strip ทั้งสองแยกตัวออกจากกัน และตัดวงจรสตาร์ทเตอร์ออกในที่สุด ในช่วงหลังนี้บัลลาสต์ทำหน้าที่จำกัดแรงดันไม่ให้มากเกินไป คือ ประมาณ 100 โวลท์

1.4 หลอดคอมแพคท์ฟลูออเรสเซนต์

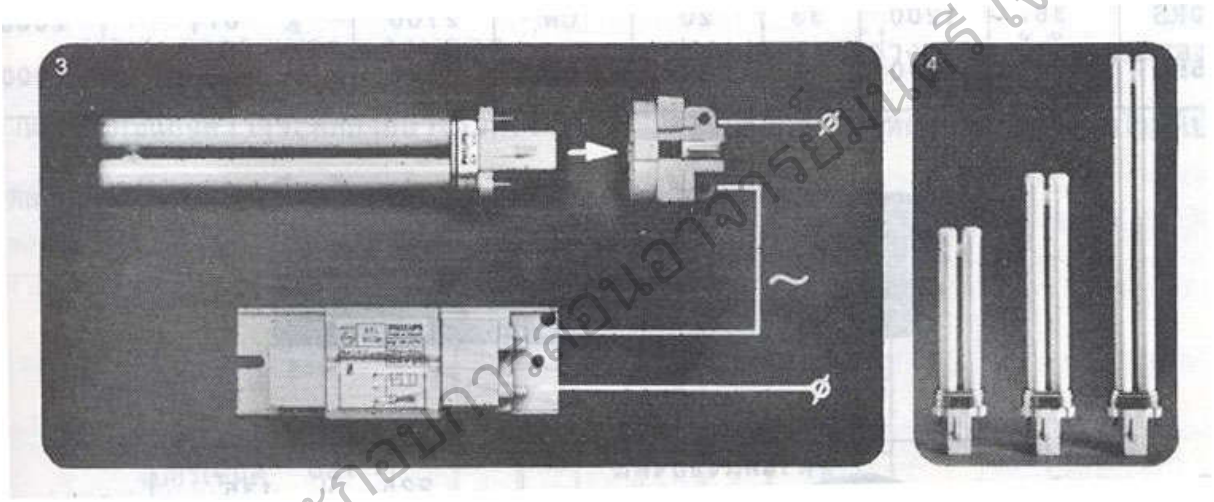
หรือที่ชาวบ้านเรียกว่าหลอดตะเกียบ เป็นหลอดฟลูออเรสเซนต์ขนาดเล็ก ที่ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้แทนหลอดอินแคนเดสเซนต์ อายุการใช้งานมากกว่าหลอดอินแคนเดสเซนต์ คือมีอายุการใช้งานประมาณ 5000-8000 ชั่วโมง และประสิทธิภาพก็สูงกว่า คือ ประมาณ 50-80 ลูเมนต่อวัตต์ แต่ก็ไม่สามารถทดแทนหลอดอินแคนเดสเซนต์ได้ทั้งหมดเพราะข้อจำกัดในด้าน ราคา , ความสวยงามและความต้องการใช้ในการออกแบบ

หลอดคอมแพคท์มีขั้วหลายแบบ ทั้งแบบเกลียวและพิน ขั้วเกลียวมักเป็นชนิดที่มีบัลลาสต์ในตัวและสามารถใช้แทนหลอดอินแคนเดสเซนต์ได้ทันที

เอกสารประกอบการสอนวิชาการส่องสว่างและแสงเงาเดช



(ก) มีบัลลาสต์ในตัว (ข) ไม่มีบัลลาสต์ในตัว



1.5 อายุการใช้งาน

อายุการใช้งานประมาณ 6000-20000 ชม. ขึ้นอยู่กับชนิดและขนาดวัตต์ของหลอด แต่ทั้งนี้ทั้งนั้นการใช้งานของหลอดก็มีผลต่ออายุการใช้งานของหลอด เช่น หากเปิด-ปิดหลอดบ่อยๆ หรือนำไปใช้กับระดับแรงดันที่ไม่เหมาะสมหากนำหลอดไปใช้กับพิกัดแรงดันที่สูงกว่ากำหนดของหลอดไฟฟ้าก็จะส่งผลทำให้อายุการใช้งานของหลอดสั้นลงได้

1.6 คุณลักษณะสีของฟลูออเรสเซนต์ (Color Characteristics)

ค) หลอดฟลูออเรสเซนต์มีสีที่นิยมใช้ 6 ชนิดคือ

- ชนิดขาวเย็น (Cool White) ตัวย่อ CW
- ชนิดขาวอุ่น (Warm White) ตัวย่อ WW
- ชนิดขาว (White) ตัวย่อ W
- ชนิดขาวเย็นแบบปรับปรุงพิเศษ (Cool White Deluxe) ตัวย่อ CWX
- ชนิดขาวอุ่นแบบปรับปรุงพิเศษ (Warm White Deluxe) ตัวย่อ WWX
- ชนิดแสงกลางวัน (Daylight) ตัวย่อ D

สีที่ออกมาจากหลอดทั้ง 6 ชนิด จะนำมาเปรียบเทียบกับมาตรฐานของสีขาว ซึ่งเป็นสีพื้นฐานของหลอดฟลูออเรสเซนต์

นอกจากนี้แล้วยังมีหลอดสีพิเศษอื่นๆ ที่มักนำมาใช้กันเช่น

<u>หลอดสี</u> มีลักษณะสีต่างๆ เช่น สีขาว สีแดง สีส้ม สีเหลือง สีชมพู สีน้ำเงิน ใช้ในงานตกแต่งต่างๆ เช่น ตู้โชว์ เวทีละคร เวทีดนตรี ร้านอาหาร

<u>หลอดอัลตราไวโอเลต</u> เป็นหลอดที่ให้แสงที่ตามองไม่เห็นและแสงที่ตามองเห็น นำไปใช้งนงานชีววิทยา คือ ใช้ในการหยุดการเจริญเติบโตของเชื้อโรคบางชนิดได้ หรือเรียกกันว่าหลอดฆ่าเชื้อ

<u>หลอดแสงสีดำ</u> (Black Light) เป็นหลอดที่ผิวของหลอดมีสีดำทั่วทั้งหลอด เพื่อกันไม่ให้แสงที่ตามองไม่เห็นเล็ดลอดออกมาได้ แต่ยอมให้แสงอัลตราไวโอเลตออกมาได้เท่านั้นและเมื่อแสงอัตราไวโอเลตไปกระทบกับวัตถุหรือฉากก็จะเกิดแสงขึ้น ใช้ในสถานที่ที่ต้องการบรรยากาศที่แปลกออกไปจากบรรยากาศเดิม เช่น ในไนท์คลับ บาร์ หรือสถานเริงรมย์ต่างๆ

1.7 ดัชนีคุณสมบัติทางสี (CRI)

หลอดฟลูออเรสเซนต์ให้แสงสีขาวจะมีค่า CRI ต่างๆ กัน ดังแสดงในตารางที่ 3.2

เอกสารประกอบการสอนวิชาการยศเบื้องต้น เจ้าหน้าที่

ตาราง 3.2 ความแตกต่างของแสงสีขาวในการนำไปใช้งานกับงานต่างๆ

สี	ดัชนีความถูกต้องสี	การนำไปใช้งาน
คูลไวท์	65	สำนักงาน โรงงาน อาคารพาณิชย์ และในงานที่ต้องการเน้นความรู้สึกเย็นสบาย ให้แสงเป็นธรรมชาติแก่ภายนอกอาคาร
คูลไวท์ เดอลุกซ์	85	เช่นเดียวกับ คูลไวท์ และให้ส่วนผสมสีแดงเพิ่มขึ้น ทำให้แสงสีมองดูเพิ่มความประทับใจสูง ค่าดัชนีบอกความถูกต้องของสีดีมาก
วอร์มไวต์	52	เหมาะกับงานที่ต้องการเน้นความรู้สึกอบอุ่น ให้สีคล้ายๆ หลอดไส้ ทำให้ดูสดใสขึ้นเมื่อชิ้นงานเป็นสีแดงและสีเหลือง ส่วนสีน้ำเงินจะจางลง
วอร์มไวต์ เดอลุกซ์	85	เช่นเดียวกับ วอร์มไวต์ สีของแสงออกไปทางเหลืองแดง เหมาะกับสถานที่ที่ต้องการความรู้สึกอบอุ่นนุ่มนวลและช่วยให้สิ่งของรอบข้างแลดูสวยงาม เช่น ที่อยู่อาศัยและอาคารพาณิชย์
ไวต์	58	ใช้ในงานแสงสว่างทั่วไป เช่น สำนักงาน โรงเรียน ที่อยู่อาศัย และต้องการเน้นสีเหลือง เหลืองเขียวและส้ม
เดไลต์	77	ใช้งานทั่วไป เช่น สำนักงาน โรงเรียน และที่อยู่อาศัย
เดไลต์ เดอลุกซ์	94	ให้แสงสีน้ำเงิน ซึ่งออกไปทางแสงธรรมชาติ ทำให้สีน้ำเงินและสีเขียวมองดูสดใส ส่วนสีแดง สีส้มและสีเหลืองจะมองดูจืดจางลง

เอกสารประกอบการสอนวิทยาลัยเทคนิคลำปาง

1.8 ข้อดีของหลอดฟลูออเรสเซนต์

ข้อดีของหลอดฟลูออเรสเซนต์

1) ให้แสงสว่างนวลงามและสีสันเป็นที่ถูกใจแก่ผู้ใช้ เช่น
   - สีขาว (White) เหมาะสำหรับให้แสงสว่างเพื่อประโยชน์ทั่วไป และเข้ากันได้ดีกับการใช้ร่วมกับหลอดไส้
   - สีแสงธรรมชาติ (Day light) สีฟ้าอ่อนมีแสงสีใกล้เคียงกับแสงธรรมชาติเหมาะสำหรับห้องโชว์สินค้า

- สีขาวชมพูอ่อน (Warm white) เป็นลักษณะสีของแสงซึ่งมีสีแดงผสมอยาเล็กน้อย เหมาะกับบรรยากาศเป็นกันเองในห้องนั่งเล่น ร้านกาแฟ ร้านอาหาร และสโมสร เป็นต้น

2) ให้แสงสว่างเกือบสม่ำเสมอแผ่ไปทั่วทั้งหลอด ซึ่งหลอดเผาไส้นั้นจะมีแสงสว่างจ้าออกมาจากไส้หลอด จนทำให้รู้สึกบาดตา
3) ไม่ทำให้เกิดเงาเด่นชัด
4) ให้แสงสว่างมากกว่าหลอดไส้ในขนาดจำนวนวัตต์เท่าๆ กัน (ประมาณ 3-4 เท่า)
5) มีอายุการใช้งานที่นาน (6000-20000 ชั่วโมง)
6) ในด้านการตกแต่งอาคาร บริษัทผู้ผลิตได้สร้างหลอดฟลูออเรสเซนต์ไว้หลายรูปแบบเหมาะสำหรับประดับประดาตามแนวสถาปัตยกรรม ตัวหลอดไม่มีความร้อนเหมือนหลอดเผาไส้จึงใช้ติดใกล้ผ้าหรือม่านได้ดี และใช้ใกล้ตัวบุคคลได้อีกด้วย

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เงาเดช

1.9 ค่าฟลักซ์แสงสว่างของหลอดฟลูออเรสเซนต์

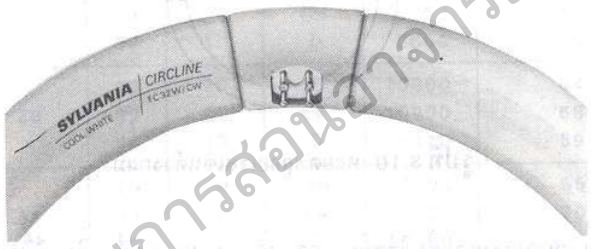
ค่าฟลักซ์แสงสว่างและคุณสมบัติของแสงจากหลอดแก้วยาว

วัตต์ (W)	สี	ฟลักซ์แสงสว่าง (lm)	ประสิทธิภาพแสงสว่าง (lm/W)	อายุการใช้งาน (ชั่วโมง)
4	WW	140	35	6000
	CW	140	35	6000
6	WW	280	472	7500
	CW	280	47	7500
8	WW	410	51	7500
	CW	410	51	7500
	WWX	450	56	7500
	CWX	450	56	7500
13	WW	930	72	7500
	CW	930	72	7500
	WWX	1000	77	7500
	CWX	1000	77	7500
18	WW	1200	67	7500
	CW	1200	67	7500
	W	1200	67	7500
	D	950	53	7500
	DX	800	45	7500
	WWX	1450	81	7500
	CWX	1450	81	7500
20	WW	1200	60	7500
	CW	1200	60	7500
	D	1030	52	7500
36	WW	3100	86	15000
	CW	3100	86	15000
	W	3100	86	15000
	D	2500	69	15000
	DX	2000	56	15000
	WWX	3450	95	15000
	CWX	3450	95	15000
40	WW	3100	78	15000
	CW	3100	78	15000
	D	2600	56	15000

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เงาเดช

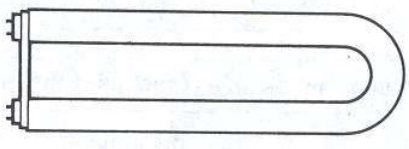
ค่าฟลักซ์แสงสว่างและคุณสมบัติของแสงจากหลอดฟลูออเรสเซนต์วงกลม

วัตต์ (W)	สี	ฟลักซ์แสงสว่าง (lm)	ประสิทธิภาพแสงสว่าง (lm/W)	อายุการใช้งาน (ชั่วโมง)
22	WW	1250	57	7500
	CW	1250	57	7500
	D	1050	48	7500
32	WW	2100	66	7500
	CW	2050	64	7500
	D	1750	55	7500
40	WW	2950	74	10000
	CW	2900	73	10000
	D	2500	63	10000



ค่าฟลักซ์แสงสว่างและคุณสมบัติของแสงจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ตัวยู

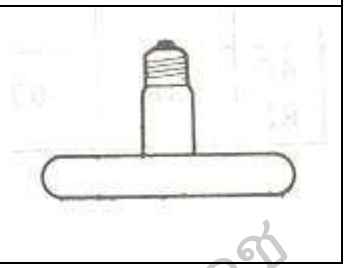
วัตต์ (W)	สี	ฟลักซ์แสงสว่าง (lm)	ประสิทธิภาพแสงสว่าง (lm/W)	อายุการใช้งาน (ชั่วโมง)
20	WW	1150	58	7500
	CW	1150	58	7500
40	WW	2700	68	10000
	CW	2700	68	10000
65	WW	4500	69	10000
	CW	4500	69	10000



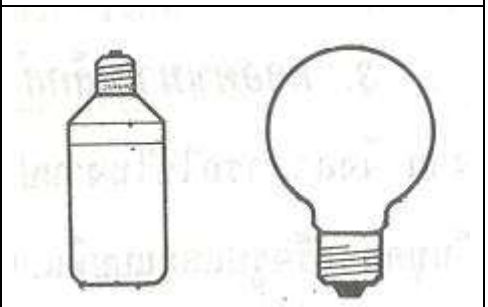
เอกสารประกอบการสอนวิชาการยมนตรี เจาเดช

ค่าฟลักซ์แสงสว่างและคุณสมบัติของแสงจากหลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ อายุการใช้งานประมาณ 5000 ชั่วโมง

หลอดวงกลมบัลลาสต์ในตัว

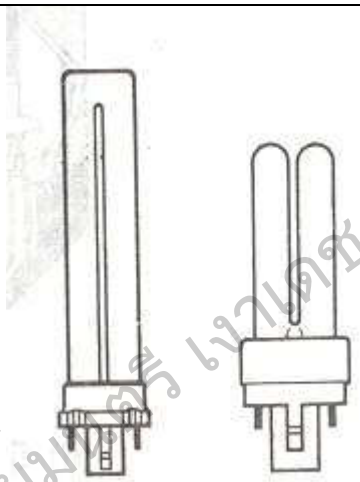
วัตต์ (W)	ฟลักซ์แสงสว่าง (lm)	ประสิทธิภาพแสงสว่าง (lm/W)	ลักษณะหลอด
12	700	58	
18	1000	56	
24	1450	60	

หลอดทรงหลอดไส้บัลลาสต์ในตัว

วัตต์ (W)	ฟลักซ์แสงสว่าง (lm)	ประสิทธิภาพแสงสว่าง (lm/W)	ลักษณะหลอด
9	425	47	
13	600	46	
18	900	50	
25	1200	48	

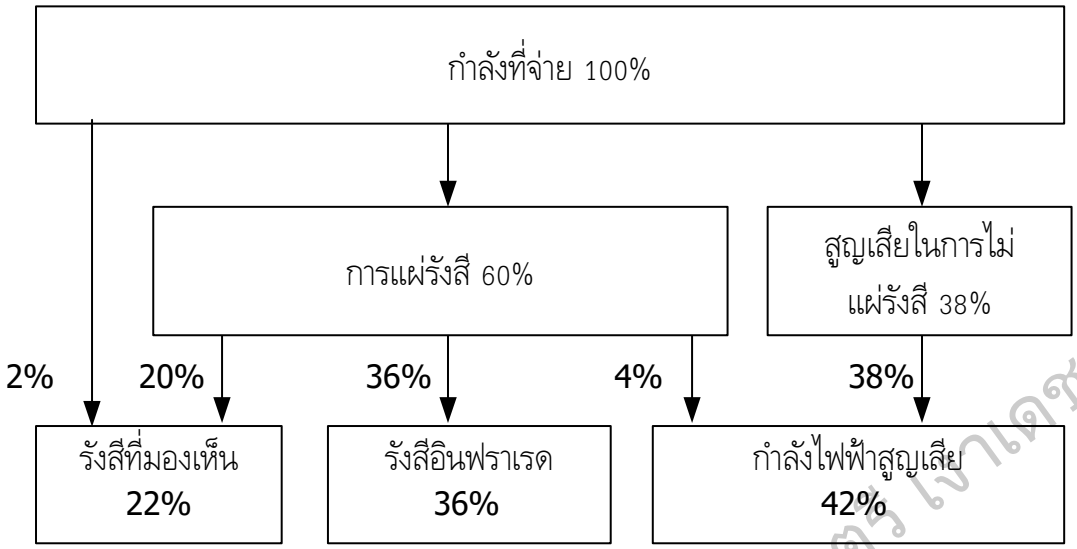
เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เงาเดช

หลอดทรงหลอดตะเกียบไม่มีบัลลาสต์ในตัว

วัตต์ (W)	ฟลักซ์แสงสว่าง (lm)	ประสิทธิภาพแสงสว่าง (lm/W)	ลักษณะหลอด
5	250	50	
7	400	57	
9	600	67	
10	600	60	
11	900	82	
13	900	69	
18	1250	69	
24	1800	73	
36	2900	81	

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เขาเตช

1.10 การส่งพลังงานของหลอดฟลูออเรสเซนต์



เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เจาเดช

2. หลอดโซเดียมความดันต่ำ (Low Pressure Sodium Lamp)

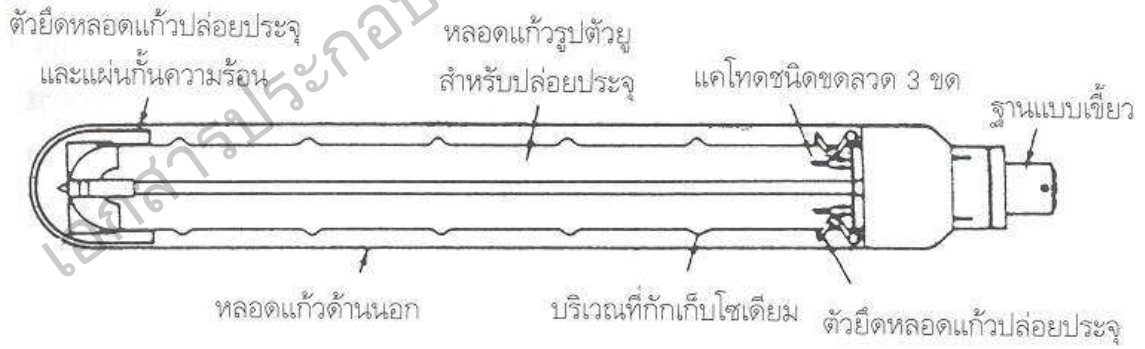
เป็นหลอดไฟฟ้าที่ทำงานที่ความดันภายในหลอดต่ำมาก หลอดไฟชนิดนี้สามารถเปล่งแสงที่มีความยาวคลื่นความยาวเดียวออกมา แสงดังกล่าวอยู่ในย่านของแสงสีเหลือง มีความยาวอยู่ระหว่าง 589.0-589.5 นาโนเมตร ซึ่งอยู่ใกล้ความยาว 555 นาโนเมตร ซึ่งเป็นแสงที่ตาคนเรารับรู้ได้ไวที่สุด ดังนั้นหลอดโซเดียมความดันต่ำจึงเป็นหลอดที่เหมาะที่จะใช้กับงานประเภทที่ต้องการความปลอดภัย หรือต้องการความชัดเจน หลอดโซเดียมความดันต่ำนี้เป็นหลอดที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดในบรรดาหลอดทั้งหมด ประมาณ 120-200 ลูเมน/วัตต์ ข้อเสียของหลอดชนิดนี้คือมีค่าดัชนีความถูกต้องของสีเป็น 0% หากไม่คำนึงถึงเรื่องสีแล้วจะเป็นหลอดประหยัดพลังงานไฟฟ้ามากที่สุดจึงนิยมใช้กรณีที่ต้องเปิดเป็นเวลานานๆ เช่น บนถนนซุปเปอร์ไฮเวย์ หรือบางแห่งติดตั้งบริเวณตู้ ATM เพราะต้องเปิดเอาไว้ทั้งคืน

2.1 ส่วนประกอบของหลอดโซเดียมความดันต่ำ ประกอบด้วยส่วนสำคัญต่างๆดังนี้คือ

2.1.1 ตัวหลอด (Tube)

2.1.2 ส่วนที่อยู่ภายในหลอดแก้วตัวยู

2.1.1 ตัวหลอด เป็นส่วนที่อัดก๊าซความดันต่ำเข้าไป มีลักษณะเป็นรูปตัวยู และภายในหลอดจะบรรจุก๊าซโซเดียมที่เป็นของแข็งพร้อมกับก๊าซนีออน หรือก๊าซอาร์กอนที่มีความดันต่ำ ด้วยเหตุนี้เราจึงเรียกว่า หลอดโซเดียมความดันต่ำ มีลักษณะดังรูป



จากรูปจะเห็นได้ว่าตัวหลอดไฟจะมีอยู่ 2 ชั้น ซึ่งมีผลต่อการทำงานของหลอดและเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานให้ดีขึ้น และส่วนสำคัญของหลอดสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วน ดังนี้

1. ขั้วหลอด ทำจากโลหะผสม หรือทองแดง หรือ ทองเหลือง ทำเป็นเขี้ยวยื่นออกมาสองเขี้ยว หุ้มฐานหลอดด้วยฉนวน ขั้วหลอดจะมีแต่ชนิดเขี้ยวเท่านั้นเนื่องจากต้องการมุมหรือองศาของแสงที่แน่นอนในการติดตั้ง

2. หลอดแก้วด้านนอก จะเป็นตัวป้องกันหลอดแก้วที่อยู่ด้านในซึ่งบรรจุก๊าซต่างๆ เอาไว้ไม่ให้สัมผัสกับอากาศภายนอก เพราะอากาศภายนอกจะทำอันตรายกับหลอดที่อยู่ภายใน ด้านในระหว่างหลอดแก้วทั้งสองจะเป็นสุญญากาศ ซึ่งเป็นการทำหน้าที่เป็นฉนวน ป้องกันไม่ให้ความร้อน

เอกสารประกอบการสอนวิทยาลัยการอาชีพนครราชสีมา

จากภายในหลอดแผ่ออกมาได้ง่าย และเมื่ออุณหภูมิภายนอกเกิดการเปลี่ยนแปลงก็จะไม่มีผลต่ออุณหภูมิการทำงานของหลอดและภายในหลอดจะซิลิกาบางๆ คลุมอยู่ภายในหลอดอีกชั้นหนึ่ง เพื่อใช้เป็นที่เก็บและเป็นฉนวนกันความร้อนของโซเดียมให้อยู่ภายหลอดซึ่งจะเป็นการทำให้ประสิทธิภาพของหลอดสูงสุด

3. หลอดแก้วด้านใน มักทำเป็นรูปตัวยูปกติแล้วหลอดโซเดียมความดันต่ำ จะมีระยะห่างระหว่างแคโทดทั้งสองยาวมาก ทั้งนี้เพื่อที่จะทำให้เกิดความร้อนสูง แต่เพื่อเป็นการประหยัดเนื้อที่และลดขนาดของหลอดจึงทำเป็นรูปตัวยูแทน ภายในบรรจุด้วยไส้หลอดทำมาจากทังสเตนเคลือบด้วยออกไซด์ นีออน หรืออาร์กอน และโซเดียมแข็ง และขณะที่หลอดทำงานตัวขดลวดทังสเตนที่อยู่ในหลอดแก้วนี้จะเป็นตัวที่ทำให้เกิดความร้อน โดยการกระตุ้นอิเล็กตรอนของทังสเตน เพื่อทำให้โซเดียมเกิดการละลาย และกลายเป็นไอโซเดียมในที่สุด

2.1.2. ส่วนที่อยู่ภายในหลอดแก้วตัวยู

1. แคโทด เป็นส่วนที่ทำหน้าที่เป็นขั้วหลอด เพื่อใช้ต่อกับไฟแรงสูง (ประมาณ 500 โวลท์) จากบัลลาสต์ และแคโทดนี้ทำมาจากทังสเตน โดยทำเป็นขดลวดอยู่ในส่วนที่เป็นตัวให้ความร้อนแก่หลอด

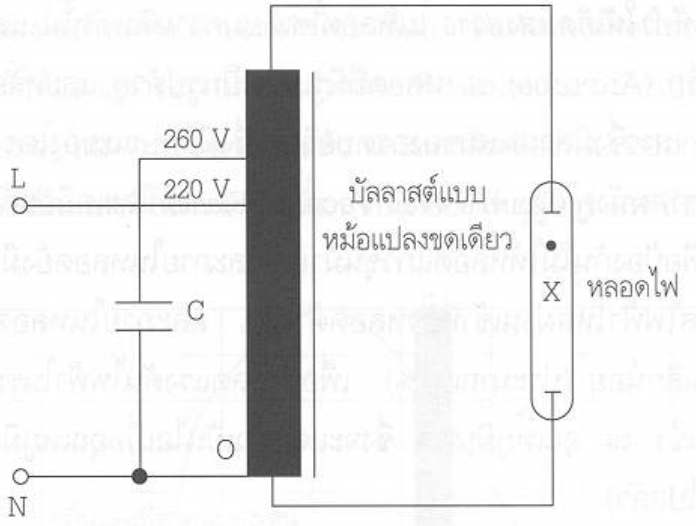
2. ก๊าซอาร์กอนและก๊าซนีออน เป็นตัวช่วยลดแรงดันที่ขั้วหลอดขณะเริ่มไอออไนซ์ เมื่อหลอดเริ่มทำงาน ก๊าซอาร์กอนหรือก๊าซนีออนนี้จะเกิดการไอออไนเซชั่นขึ้นก่อนโซเดียม และมีแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมที่แคโทด ซึ่งจะเป็นการอุ่นแคโทดให้โซเดียมกลายเป็นไออีกทีหนึ่ง ซึ่งก๊าซทั้งสองตัวนี้จะเป็นตัวช่วยให้การเกิดไอออไนเซชั่นนั้นโดยที่ไม่ต้องใช้แรงดันไฟฟ้ามาก และทำให้เกิดการทำงานของหลอดไฟขึ้นได้

3. ก๊าซโซเดียม จะอยู่ในรูปของแข็ง และเมื่อได้รับความร้อนและมีอุณหภูมิสูงเพียงพอก็จะกลายเป็นไอ แล้วเปล่งแสงสีเหลืองออกมา เมื่ออุณหภูมิลดลง โซเดียมก็จะเปลี่ยนสถานะมาเป็นของแข็งเหมือนเดิม

2.2 อุปกรณ์อื่น ๆ ที่ช่วยในการทำงานของหลอดโซเดียมความดันต่ำ

1. บัลลาสต์ (Ballast) จะเป็นแบบหม้อแปลงขดเดียวที่มีการรั่วของเส้นแรงแม่เหล็กสูง (Autotransformer High Leakage) มีขั้นตอนการทำงานดังนี้ เมื่อเราให้แรงดันไฟฟ้ากับวงจรดังรูป มันจะทำหน้าที่เพิ่มแรงดันไฟฟ้าให้สูงขึ้นเพื่อที่จะทำให้ก๊าซที่บรรจุอยู่ภายในหลอดแก้วเกิดการไอออไนซ์ขึ้น

เอกสารประกอบการสอนวิทยาลัยเทคนิคราชเดช



2. ตัวเก็บประจุ (Capacitor) ทำหน้าที่เพิ่มค่าตัวประกอบกำลัง (Power Factor) ของหลอดให้สูงขึ้นประมาณ 0.9-1 ซึ่งหากไม่มีแล้วค่าตัวประกอบกำลังจะมีค่าต่ำมาก ซึ่งมีผลต่อการใช้พลังงานไฟฟ้า

3. ส่วนที่ทำให้เกิดแสงสว่าง ในหลอดโซเดียมความดันต่ำนั้น แสงสว่างที่เรามองเห็นได้มาจาก ตัวหลอดอาร์ก (Arc-tube) ของหลอดที่มีรูปร่างเป็นรูปตัวยู และหลอดแก้วของหลอดอาร์กนี้ทำมาจากแก้วบอเรต ซึ่งมีลักษณะของโครงสร้าง หรือรูปร่างเป็นแบบหลอดแก้วสุญญากาศผนังคู่ และเคลือบด้วยตัวต้านทานโซเดียม เพื่อป้องกันไม่ให้หลอดแก้วขุ่นมัวเร็ว และภายในยังมีแคโทดทำด้วยทังสเตนซึ่งทำหน้าที่ให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านเข้าที่ขั้วหลอดด้านใน และภายในหลอดแก้วยังบรรจุด้วยก๊าซนีออนหรืออาร์กอนเล็กน้อย เพื่อลดแรงดันไฟฟ้าในขณะที่ทำการสตาร์ทและยังมีโซเดียมที่เป็นของแข็ง ซึ่งจะแตกตัวเป็นไอเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นระดับหนึ่ง

2.3 การทำงานของหลอดโซเดียมความดันต่ำ

เมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับวงจรกระแสไฟฟ้าจะไหลผ่านบัลลาสต์ และบัลลาสต์จะสร้างแรงดันขึ้นมาประมาณ 500-700 โวลท์ ซึ่งเป็นการเริ่มการสตาร์ทหลอดและทำให้ก๊าซนีออนที่อยู่ในหลอดแก้วตัวยูเริ่มแตกตัว ความต้านทานของหลอดจะลดลง และกระแสไฟฟ้าจะสูงขึ้น แต่ในช่วงนี้บัลลาสต์จะทำหน้าที่อีกอย่างหนึ่งก็คือจำกัดกระแสไม่ให้มากเกินไปในตอนสตาร์ท กระแสที่เพิ่มขึ้นทำให้แรงดันไฟฟ้าของบัลลาสต์ด้านที่ต่ออยู่กับหลอดไฟนั้นลดลง

เมื่อหลอดโซเดียมเริ่มทำงาน จะมีแสงสีแดงเปล่งออกมา แสดงว่าก๊าซนีออนเริ่มแตกตัวจึงเกิดปรากฏการณ์ของแสงสีแดงขึ้น ซึ่งทำให้เกิดความร้อยขึ้น และเมื่อความร้อนที่เกิดมีอุณหภูมิสูงขึ้น ก็จะทำให้โซเดียมเริ่มหลอดเหลวและมีบางส่วนกลายเป็นไอ ไอของโซเดียมนี้จะเคลื่อนที่เข้าไปในลำอาร์กและในขณะนั้นความต้านทานภายในหลอดจะต่ำลง กระแสไฟฟ้าก็จะเพิ่มขึ้นทำให้โซเดียมเกิดการแตก

เอกสารประกอบการสอน วิทยาลัยเทคนิคเชียงราย

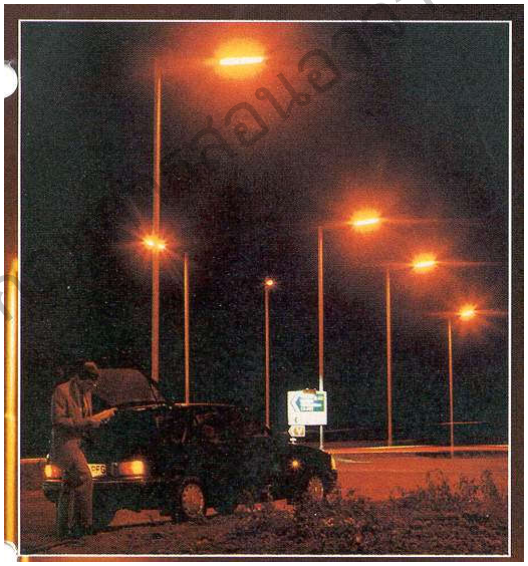
ตัว จากนั้นสีของแสงก็จะค่อยๆ เปลี่ยนไปเป็นสีเหลืองที่มีความยาวคลื่น 586 นาโนเมตร , 589 นาโนเมตร และ 589.6 นาโนเมตร ตามลำดับ

แสงสีเหลืองของโซเดียมที่เปล่งออกมานี้จะกลืนแสงสีแดงของก๊าซนีออนให้หมดไป เมื่อหลอดทำงานอยู่ในสภาวะเสถียรแล้วแสงของสีที่เปล่งออกมานี้จะมีความยาวคลื่นเดียว และเป็นแสงที่ให้ความผิดเพี้ยนของสีของวัตถุสูงกว่าแสงสีอื่น

ในช่วงแรกของการทำงานจะเห็นแสงสีแดงและจะใช้เวลาประมาณ 9-10 นาที ที่จะทำให้เกิดการแตกตัวเป็นไอของโซเดียม ระยะเวลาที่ใช้ตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงระดับปกติ คือ ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่ไหลในวงจรนั้นจะใช้เวลาประมาณ 15-20 นาที ความร้อนที่เกิดขึ้นจะถูกควบคุมให้คงที่ด้วยหลอดแก้วสองชั้น ซึ่งระหว่างกลางเป็นสุญญากาศ ซึ่งก็จะส่งผลไปถึงประสิทธิภาพของหลอดที่คงที่ และการกระจายแสงก็จะคงที่ตามไปด้วย

2.4 การใช้งานหลอดโซเดียมความดันต่ำ

เนื่องจากคุณสมบัติของแสงสีที่มีความยาวคลื่นอยู่ในระดับที่มีความไวต่อการรับรู้ของตามากที่สุด (ความยาว 555 นาโนเมตร) ดังนั้นหลอดโซเดียมความดันต่ำจึงเป็นหลอดที่เหมาะที่จะใช้กับงานประเภทที่ต้องการความปลอดภัย เช่น ไฟถนน บริเวณทางแยกของถนน เป็นต้น

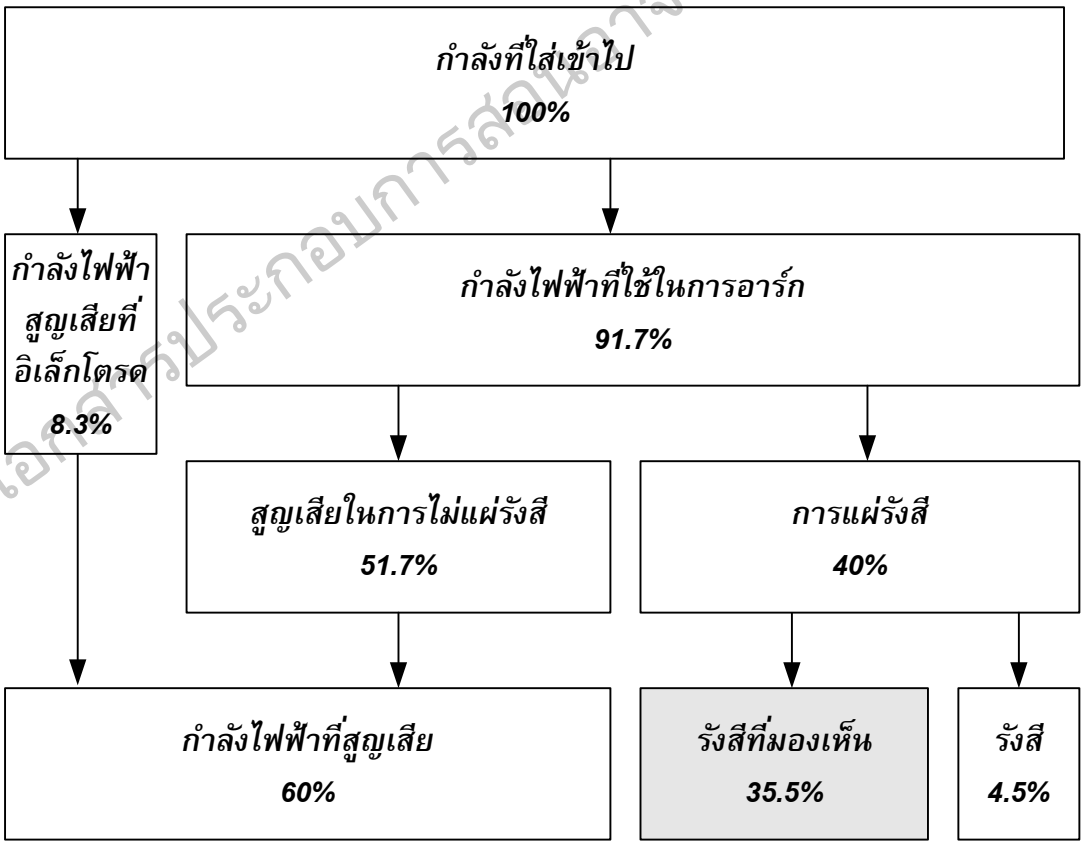


เอกสารประกอบการสอนอาจารย์ปิยะนันท์ เงาเดช

2.5 ค่าฟลักซ์แสงสว่างของหลอดโซเดียมความดันต่ำ

วัตต์ (W)	ฟลักซ์แสงสว่าง (lm)	ประสิทธิภาพแสงสว่าง (lm/W)
35	4550	123
55	7800	148
90	13000	146
135	20800	161
180	32500	179

2.6 การส่งพลังงานของหลอดโซเดียมความดันต่ำ



เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เงาเดช

3.5.2.2 หลอดความดันไอสูง (High Pressure)

หลอดความดันไอสูง อาจจะเรียกชื่ออีกอย่างว่าหลอดปล่อยประจุความเข้มสูง (High Intensity Discharge Lamp ; HID) คือหลอดที่ทำงานด้วยหลักการปล่อยประจุความเข้มสูง เป็นหลอดที่มีค่าปริมาณเส้นแรงของแสงสว่างต่อวัตต์สูงกว่าหลอดชนิดอื่น มีขนาดกะทัดรัด ติดตั้งง่าย และส่องสว่างควบคุมออกไปได้ไกลๆ จึงเป็นหลอดไฟฟ้าที่เหมาะกับงานสนาม ในโรงงานอุตสาหกรรม หรือ ถนน ตลอดจนเสาไฟฟ้า สามารถแบ่งเป็นชนิดต่างๆ ได้ดังนี้

- หลอดไอปรอทความดันสูง (High Pressure Mercury Lamp)
- หลอดเมทัลฮาไลด์ (Metal Halide Lamp)
- หลอดโซเดียมความดันสูง (High Pressure Sodium Lamp)

1. หลอดไอปรอทความดันสูง (High Pressure Mercury Lamp) (หลอดแสงจันทร์) (HPM)

เป็นหลอดความดันไอโซเดียมความดันสูง ชนิดแรกที่ถูกประดิษฐ์ขึ้น มีอายุการใช้งานเฉลี่ย 12,000-24,000 ชั่วโมง ให้แสงสว่างที่ 40 ถึง 60 ลูเมนต่อวัตต์ มีขนาดตั้งแต่ 40 จนถึง 1,000 วัตต์ และมีทั้งชนิดที่ใช้กับบัลลาสต์และชนิดที่ไม่ใช้บัลลาสต์ อายุการใช้งานหากเป็นหลอดที่ใช้บัลลาสต์จะมีอายุประมาณ 24,000 ชั่วโมง แต่หากเป็นหลอดที่ไม่ใช้บัลลาสต์ อายุการใช้งานจะสั้นกว่า มีอายุการใช้งานประมาณ 16,000 ชั่วโมง

1.1 ส่วนประกอบของหลอดไอปรอทความดันสูง (หลอดแสงจันทร์)

ประกอบด้วยส่วนสำคัญต่างๆ ดังนี้

1.1.1 ขั้วหลอด (Base)

1.1.2 กระเปาะแก้วด้านนอก (Outer Buld)

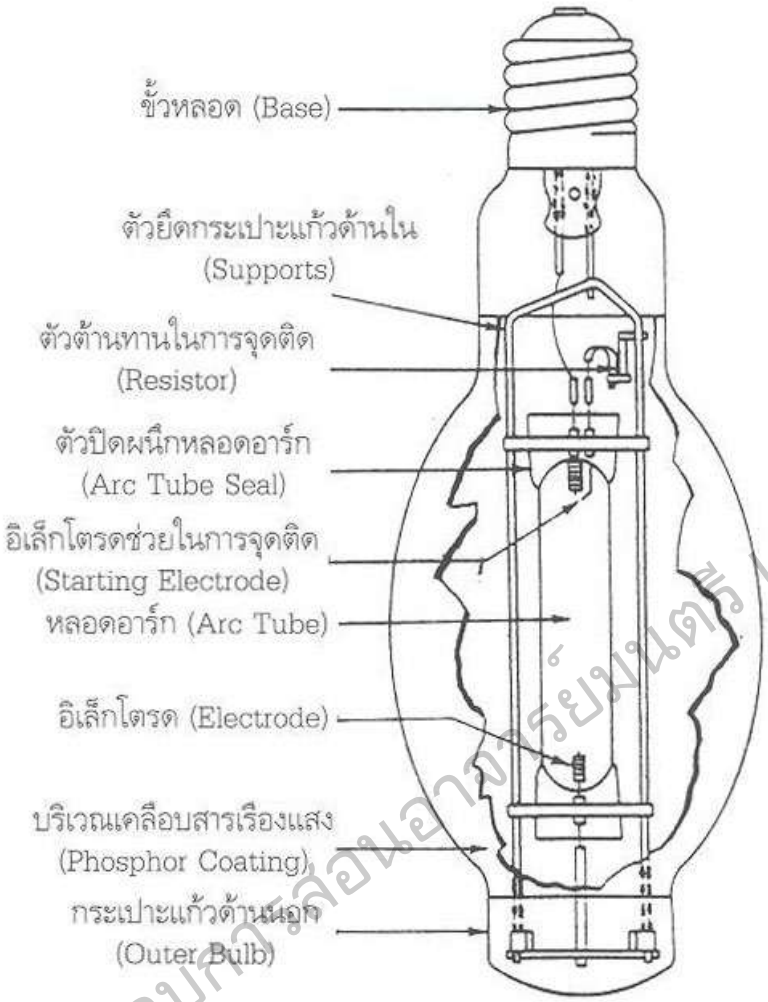
1.1.3 หลอดอาร์ก (Arc Tube)

1.1.4 อิเล็กโตรด (Electrode)

1.1.5 ตัวต้านทานในการจุดติด (Starting Resistor)

1.1.6 ตัวยึดโครงสร้างภายในหลอดไฟ (Support)

เอกสารประกอบการสอนวิทยาลัยเทคนิคสงขลา



1.1.1 ขั้วหลอด (Base) เป็นส่วนที่ต่อกับวงจรไฟฟ้า โดยทั่วไปจะเป็นแบบเกลียว และมี 2 ขนาด คือ E27 และ E40

1.1.2 กระเปาะแก้วด้านนอก (Outer Buld) ทำหน้าที่เป็นตัวห่อหุ้มป้องกันหลอดแก้วชั้นในไม่ให้สัมผัสกับอากาศภายนอก หลอดแก้วทั้งสองถูกกั้นด้วย ไนโตรเจนหรือสุญญากาศ และยังทำหน้าที่เป็นตัวดูดกลืนและป้องกันรังสีอัลตร้าไวโอเลตที่เกิดจากหลอดอาร์กภายในหลอด และรักษาอุณหภูมิภายในหลอดให้คงที่ ตลอดจนยังสามารถเคลือบสารเรืองแสง เพื่อให้มีการเปลี่ยนสีของแสงสว่างได้อีกด้วย หรือฉาบด้วยอลูมิเนียมบริสุทธิ์ เพื่อทำให้หลอดมีการสะท้อนแสงได้ เป็นต้น

1.1.3 หลอดอาร์ก (Arc Tube) เป็นหลอดแก้วด้านในของหลอด มีลักษณะเป็นรูปทรงกระบอกกลวงปิดหัวท้ายและทำมาจากแร่ควอตซ์ ซึ่งเป็นแร่หินที่มีคุณสมบัติทนอุณหภูมิได้สูงมาก ที่ปลายของกระเปาะแก้วด้านในด้านหนึ่งติดกับ อิเล็กโตรดหลัก (Main Electrode) และอีกด้านหนึ่งจะมีตัวต้านทานจุดติดต่ออนุกรมกับอิเล็กโตรดหลัก การต่อเชื่อมวงจรจะเชื่อมต่อกันด้วยก๊าซที่บรรจุอยู่ภายในกระเปาะแก้ว ซึ่งก๊าซดังกล่าวได้แก่ ก๊าซอาร์กอน และไอปรอท

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เงาเดช

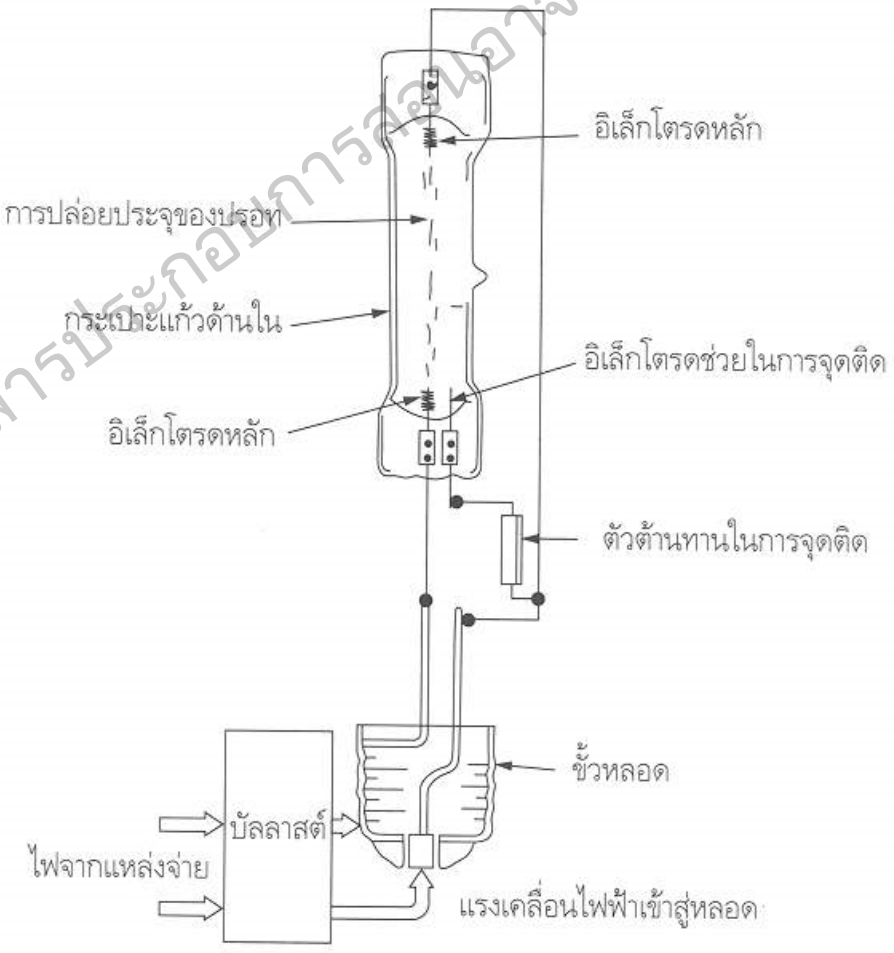
1.1.4 อิเล็กโตรด (Electrode) ในหลอดแสงจันทร์จะมีอิเล็กโตรด 2 ด้านคือ

- อิเล็กโตรดหลัก (Main Electrode) จะทำงานอยู่ตลอดเวลาและทำมาจากวัสดุพวกทังสเตน ซึ่งทำเป็นขดลวดเคลือบด้วยสารแบเรียมออกไซด์ หรือแบบอัดเรียบพันด้วยลวดทังสเตน
- อิเล็กโตรดช่วยในการจุดติด (Starting Electrode) ทำหน้าที่เป็นอิเล็กโตรดในช่วงเริ่มต้นของการสตาร์ทหลอด

1.1.5 ตัวต้านทานในการจุดติด (Starting Resistor) จะทำงานในช่วงจุดไส้หลอดเพื่อทำหน้าที่จำกัดกระแสไฟฟ้าในตอนเริ่มต้นจุดไส้หลอด โดยปกติจะมีความต้านทานประมาณ 50,000-60,000 โอห์ม

1.1.6 ตัวยึดโครงสร้างภายในหลอดไฟ (Support) ใช้ยึดตัวกระเปาะแก้วด้านใน (Arc Tube) กับขั้วหลอด ทำหน้าที่เป็นตัวนำไฟฟ้าให้กระแสไฟฟ้าไหลไปยังขั้วอิเล็กโตรด บางหลอดจะมีสปริงติดอยู่เพื่อให้มีการยืดหยุ่นเมื่อเกิดการกระแทกในสภาวะการใช้งานที่มีการเคลื่อนที่ของหลอดตลอดเวลา

1.2 การทำงานของหลอดไอปรอทความดันสูง



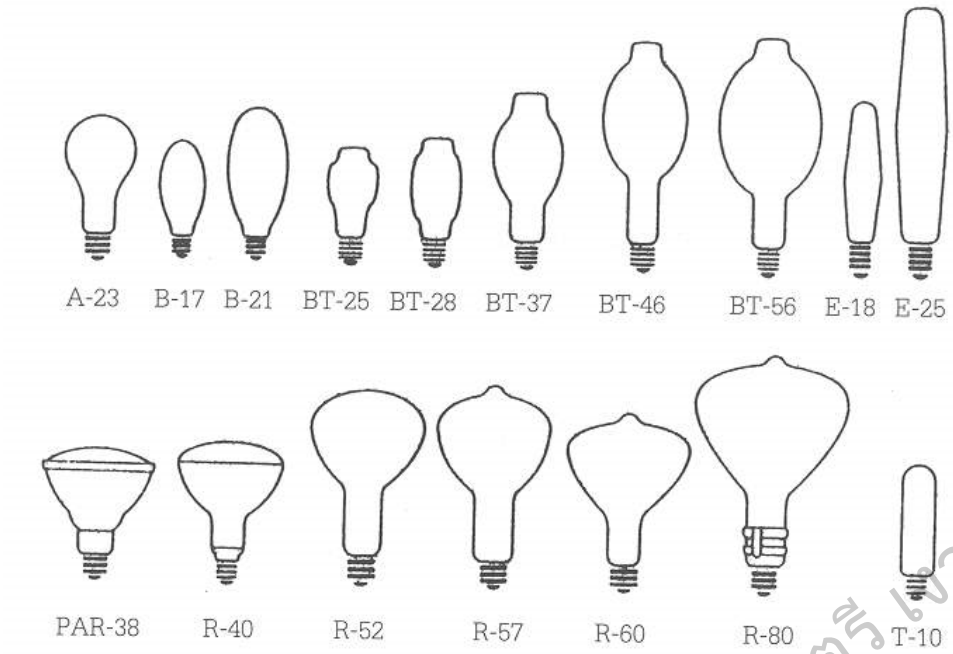
เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เดชเกษ

เมื่อเริ่มป้อนแรงดันไฟฟ้าให้กับหลอด แรงดันไฟฟ้าจะตกคร่อมที่ขั้วอิเล็คโทรดหลัก (Main Electrode) และอิเล็คโทรดที่ใช้สำหรับการสตาร์ท (Starting Electrode) ซึ่งอยู่ที่ปลายด้านล่างของหลอดก่อน ทำให้เกิดการอาร์กของก๊าซอาร์กอนและเกิดความร้อนขึ้นตามลำดับ ความร้อนที่เกิดขึ้นนี้ทำให้ไอปรอทเกิดการแตกตัวออก ความต้านทานลดลงอย่างรวดเร็ว จนกระทั่งถึงจุดจุดหนึ่ง ซึ่งแรงดันของบัลลาสต์สามารถเอาชนะความต้านทานระหว่างปลายอิเล็คโทรดหลักได้กระแสไฟฟ้าจะเริ่มไหลจากอิเล็คโทรดหลักข้างหนึ่งไปยังอีกข้างหนึ่งซึ่งอยู่ตรงข้ามได้ จากนั้นไอของปรอทจะเริ่มแตกตัวมากขึ้น จนถึงจุดอิ่มตัว ความต้านทานของหลอดจะมีค่าต่ำมากเมื่อเทียบกับ Starting resistor และหลังจากนี้ไปจะไม่มีไฟฟ้าไหลผ่านจากอิเล็คโทรดหลักที่ Staring electrode อีกเลย ระยะเวลาช่วงนี้นับตั้งแต่เริ่มจ่ายแรงดันให้กับหลอด จนถึงช่วงที่หลอดเปล่งแสงออกมาได้ถึง 80% ของความสว่างทั้งหมดเรียกช่วงเวลานี้ว่า “ช่วงอุ่นตัว” (Warm up Period) ซึ่งกินเวลาประมาณ 3-5 นาที (เวลาอุ่นไส้หลอด = เมื่อเปิดไฟแล้วแสงที่ออกมาจากหลอดยังไม่สว่างเต็มที่ ต้องใช้เวลาตามชนิดของหลอดระยะหนึ่ง) หากไฟฟ้าเกิดดับลงหลอดแสงจันทร์จะไม่สามารถจุดติดได้ทันทีต้องรอเวลาเพื่อให้ความดันและอุณหภูมิภายในหลอดลดลงและรอให้ก๊าซต่างๆ ไอปรอทที่เกิดการแตกตัวกลับมารวมกันเป็นปกติเหมือนตอนเริ่มสตาร์ทจึงจะสามารถสตาร์ทหลอดใหม่ได้ ช่วงเวลานี้เรียกว่า ช่วงเวลาเริ่มสตาร์ทใหม่ (Restarting Time) หรือ ช่วงเวลาคืนตัว (Restrike Time)

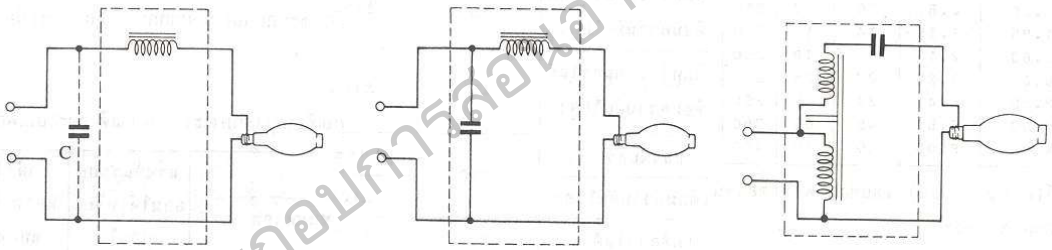
หลอดแก้วชั้นนอกอาจจะเป็นหลอดแก้วชนิดใส หรืออาจจะเคลือบสารเรืองแสงด้านในก็ได้ คุณสมบัติทางไฟฟ้าและลักษณะการทำงานไม่ได้แตกต่างกันเลยแต่สิ่งที่จะแตกต่างกันออกไปคือ รูปแบบของการกระจายแสง หรือสีที่ออกมา จะแตกต่างกัน ทั้งนี้เนื่องจากสารเรืองแสงที่เคลือบอยู่ภายใน จะเปลี่ยนรังสีอุลตร้าไวโอเลตไปเป็นแสงสีแดง ซึ่งจะให้แสงและสีที่ดีขึ้น

หลอดแสงจันทร์ที่นิยมใช้กันอีกชนิดหนึ่งก็คือ หลอดแสงจันทร์ชนิดที่ไม่ต้องใช้บัลลาสต์ สามารถใช้กับฐานขั้วหลอด Incandescent เพื่อเพิ่มความสว่างให้แก่สถานที่นั้น และเป็นการเพิ่มอายุการใช้งานของหลอดให้นานออกไปอีกด้วย แต่อย่างไรก็ตามหลอดแสงจันทร์ประเภทนั้นก็ยังคงมีข้อด้อยคือ ยังคงมีอายุการใช้งานเฉลี่ยสั้นกว่าหลอดแสงจันทร์ชนิดแรกมาก รูปร่างของหลอดก็มีหลายลักษณะดังรูป

เอกสารประกอบการสอนวิทยาลัยเทคนิคเลย



ลักษณะของการต่อวงจรดังรูป



เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เจาเดช

1.3 อายุการใช้งาน

อายุการใช้งานประมาณ 12,000-24,000 ชม. ขึ้นอยู่กับชนิดและขนาดวัตต์ของหลอด แต่ทั้งนี้ทั้งนั้นการใช้งานของหลอดก็มีผลต่ออายุการใช้งานของหลอด เช่น หากเปิด-ปิดหลอดบ่อยๆ ก็จะส่งผลทำให้อายุการใช้งานของหลอดสั้นลงได้

1.4 การนำไปใช้งาน

หลอดแก้วใส	ใช้ในสนามกอล์ฟ แสงสว่างในสวน หรือสวนสาธารณะ
หลอดแก้วเคลือบสาร	ใช้ในงานไฟถนน สนามกีฬา โรงงานอุตสาหกรรม สถานีรถไฟ ลานจอดรถ ปั๊มน้ำมัน โรงฝึกงาน หรืออาคารที่มีฝ้าเพดานสูงเกินกว่า 5 เมตรขึ้นไป

1.5 ค่าฟลักซ์แสงสว่างของหลอดไอปรอทความดันสูง

ชนิดใช้บัลลาสต์

วัตต์ (W)	สี	ฟลักซ์แสงสว่าง (lm)	ประสิทธิภาพแสงสว่าง (lm/W)	อายุการใช้งาน (ชั่วโมง)
50	H	1650	28	8000
	HF	1900	32	
	HF-R	1300	22	
	HF-G	1750	30	
80	H	3000	33	16000
	HF	3600	40	
	HF-R	2500	28	
	HF-G	3600	40	
125	H	5400	39	24000
	HF	6250	45	
	HF-R	4300	31	
	HF-G	6250	45	
175	H	7800	41	24000
	HF	8900	47	
250	H	12000	45	24000
	H-T	11500	43	
	H-R	8000	30	
	HF	13700	51	
	HF-R	8800	33	
	HF-G	12800	48	
400	H	21000	50	24000
	H-T	21000	50	
	H-R	13500	32	
	HF	23000	57	
	HF-R	15500	37	
700	H	39500	54	24000
	H-R	25000	34	
	HF	44000	60	

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เงางดช

	HF-R	31000	42	
1000	H	58000	56	16000
	H-R	36600	35	
	HF	64000	61	
	HF-R	46000	44	
2000	HF	125000	61	10000

H : หลอดแก้วใส ทรงบีที หรือทรงอีลิป

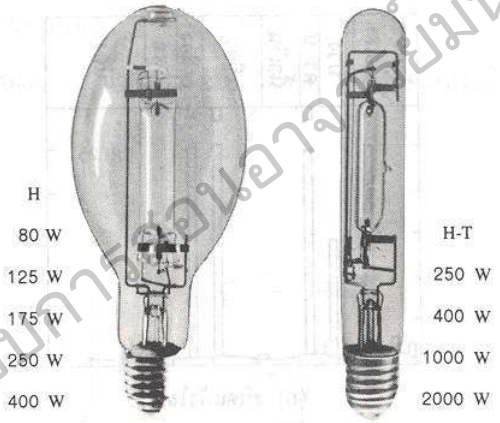
H-T : หลอดแก้วใส ทรงหลอดยาว

H-R : หลอดแก้วใส ทรงสปอร์ตไลต์

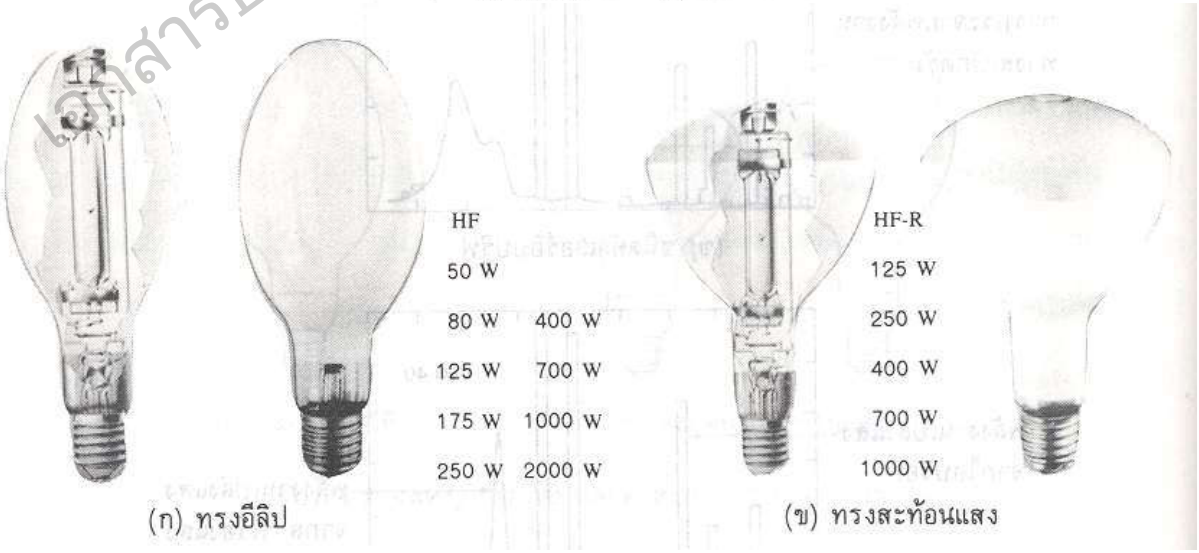
HF : หลอดแก้วเคลือบสาร ทรงบีที หรือทรงอีลิป

HF-R : หลอดแก้วเคลือบสาร ทรงสปอร์ตไลต์

HF-G : หลอดแก้วเคลือบสาร ทรงหลอดกลม



(ก) ทรงอีลิป (ข) ทรงหลอดแก้วยาว



(ก) ทรงอีลิป (ข) ทรงสะท้อนแสง

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์ยมนตรี เงาเดช

ชนิดไม่ใช้บัลลาสต์

วัตต์ (W)	สี	ฟลักซ์แสงสว่าง (lm)	ประสิทธิภาพแสงสว่าง (lm/W)	อายุการใช้งาน (ชั่วโมง)
100	SB-W	1100	11	6000
160	SB	2400	33	10000
	SB-W	3100	15	
	SBF-R	1680	20	
	SBF-PAR	1680	11	
250	SB	5300	21	12000
	SB-W	5700	23	
	SBF-R	3900	16	
500	SB	11000	22	16000
	SB-W	14000	28	
	SBF-R	9100	18	
750	SB	19500	26	16000
	SB-W	21000	28	
	SBF-R	14000	19	
1000	SB	29000	29	16000
	SB-W	31000	31	
	SBF-R	20000	20	

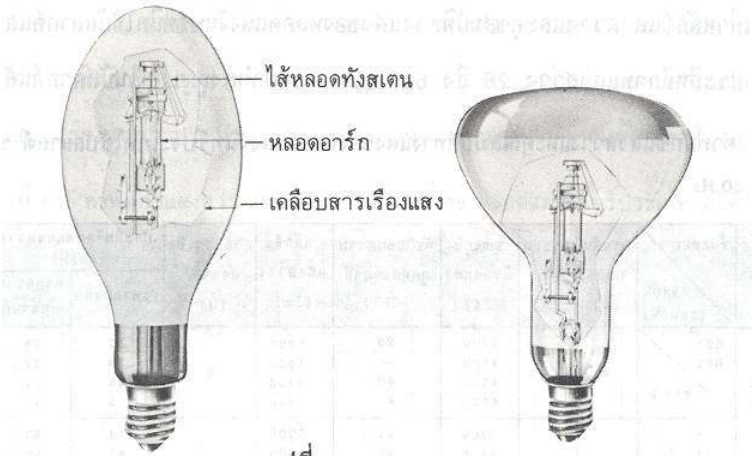
SB : หลอดแก้วใส ทรงบีที หรือทรงอีลิป

SB-W : หลอดแก้วเคลือบสารสีขาว ทรงบีที หรือทรงอีลิป

SBF-R : หลอดแก้วเคลือบสาร ทรงสปอร์ตไลต์

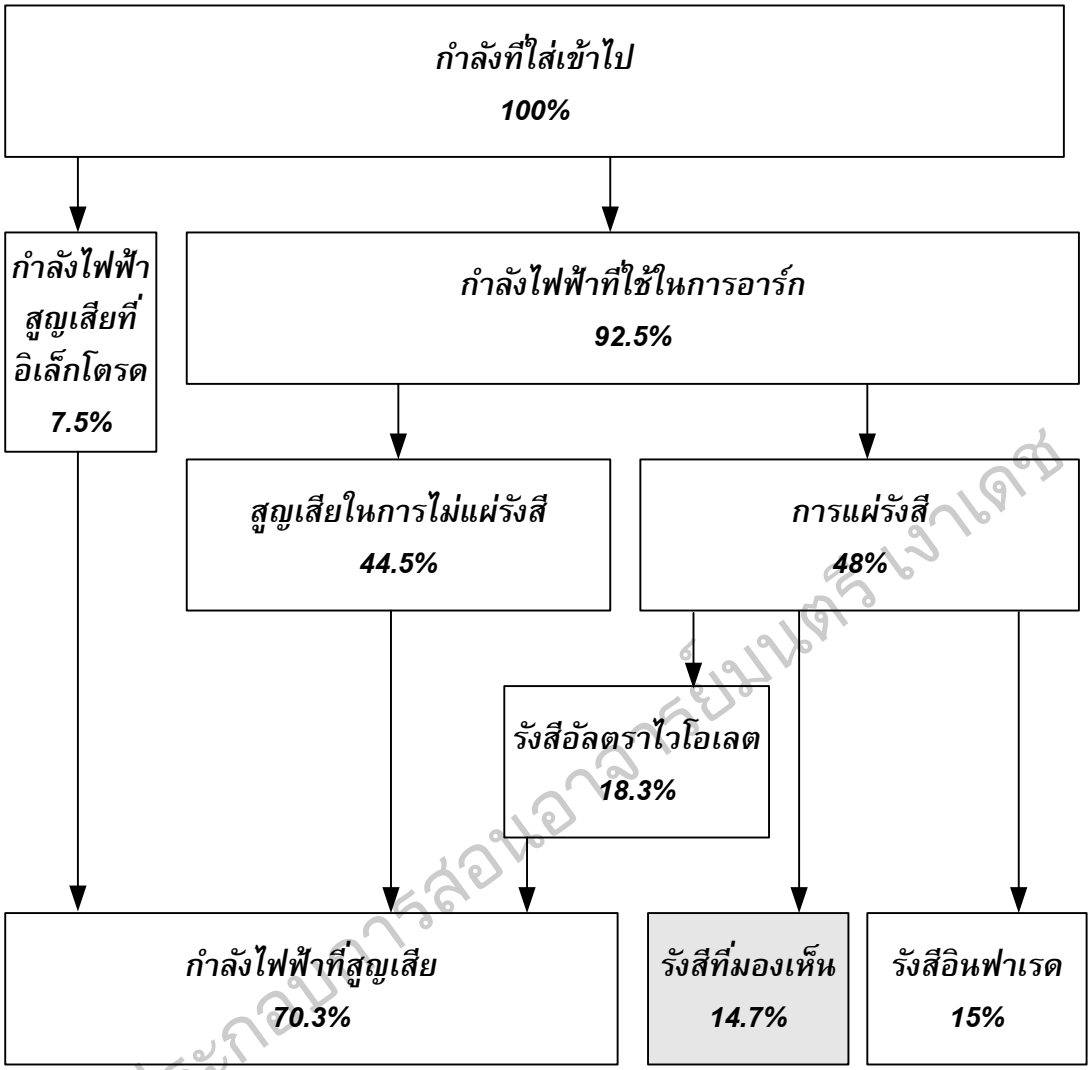
SBF-PAR : หลอดแก้วเคลือบสาร ทรงสปอร์ตไลต์ กระจกหนา

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เงาเดช



เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เงาเดช

1.6 การส่งพลังงานของหลอดไอปรอทความดันสูง



เอกสารประกอบการสอนวิทยาลัยเทคนิคเจ้าเดช

2. หลอดเมทัลฮาไลด์ (Metal-Halide Lamp , MH)

เป็นหลอดประจุความเข้มสูง ให้แสงของสีที่สมดุลมากที่สุด และมีประสิทธิภาพสูง อายุการใช้งานยาวนานพอสมควร มีขนาดตั้งแต่ 175-2000 วัตต์ ปมีประสิทธิภาพประมาณ 60-90 ลูเมน/วัตต์

หลอดเมทัลฮาไลด์ (MH) จะมีโครงสร้างคล้ายกับหลอดแสงจันทร์ จะต่างกันตรงที่ตัวหลอดอาร์ก (Arc Tube) จะมีขนาดเล็กกว่าเล็กน้อยเมื่อเทียบที่วัตต์เท่ากัน และภายในหลอดอาร์กของหลอดเมทัลฮาไลด์นอกจากจะมีปรอท ,ก๊าซอาร์กอน , นีออน และ คลิบทอน ผสมอยู่แล้ว ยังประกอบไปด้วยโลหะไอโอไดด์ (Metalic Iodides) ผสมอยู่อีกด้วย ซึ่งมีผลต่อการแตกตัวของฮาไลด์ของโลหะเป็นผลทำให้เกิดแสงอย่างอื่นมากขึ้น ซึ่งทำให้สีของแสงสมดุลย์มากขึ้น โดยไม่ต้องเคลือบผิวภายในด้วยสารฟอสเฟอร์

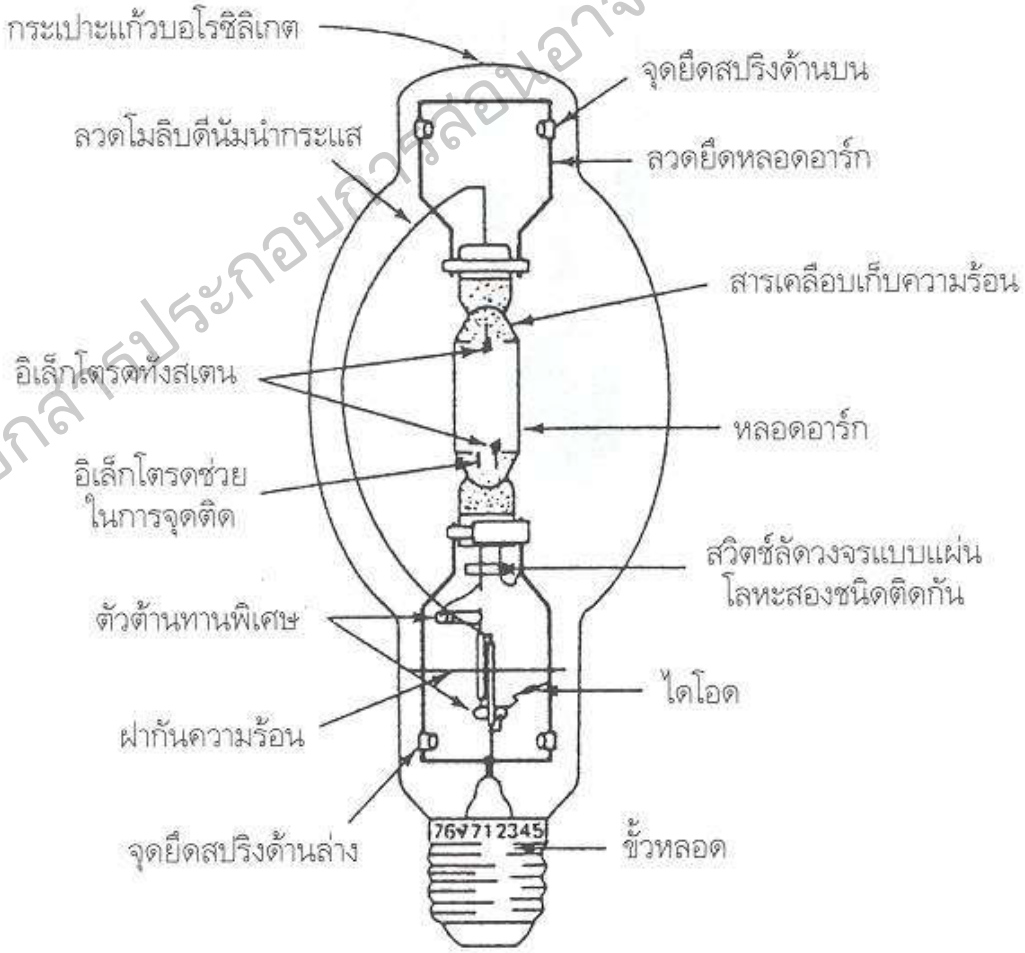
2.1 ส่วนประกอบของหลอดเมทัลฮาไลด์

ประกอบด้วยส่วนสำคัญต่างๆ ดังนี้

2.1.1 กระเปาะแก้วด้านนอก

2.1.2 กระเปาะแก้วด้านใน (หลอดอาร์ก)

2.1.3 ขั้วหลอด



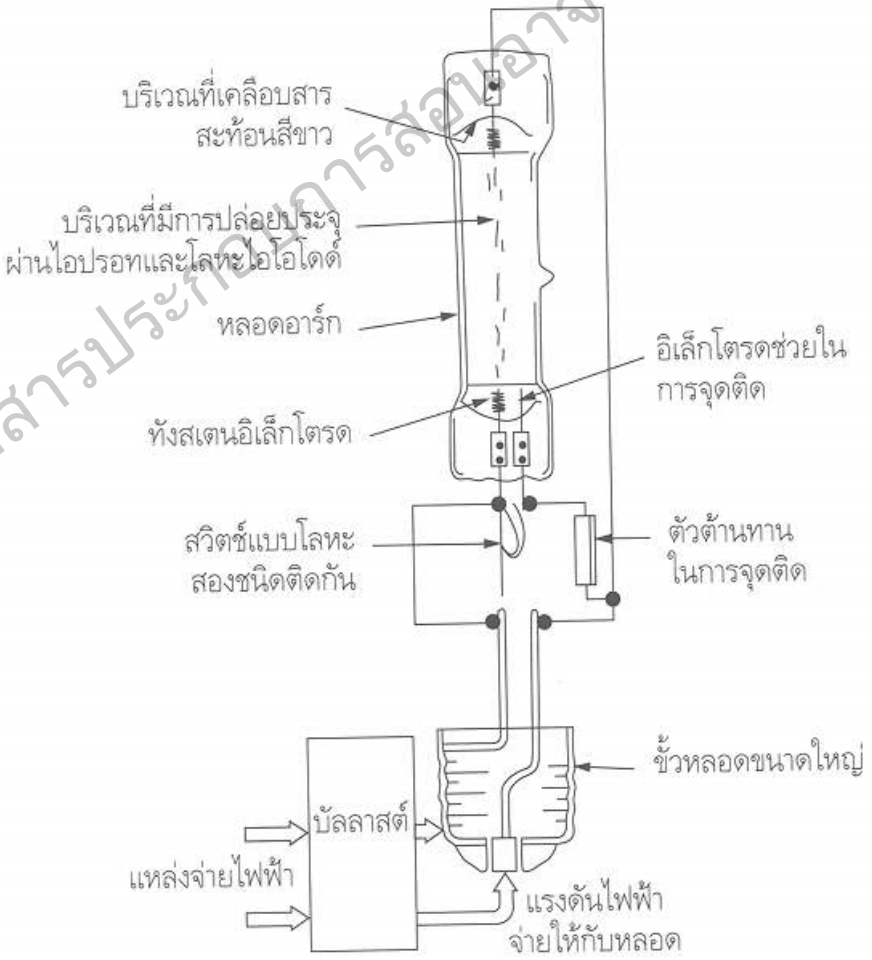
เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เงาเดช

2.1.1 กระเปาะแก้วด้านนอก ทำมาจากแก้วบอโรซิลิเกตหรือแก้วหนา ทำหน้าที่ป้องกันกระเปาะแก้วด้านใน , กรองรังสีอุลตร้าไวโอเลต และรักษาอุณหภูมิของหลอดอาร์กให้คงที่ ส่วนใหญ่จะไม่เคลือยสารเรืองแสงด้านนอกเนื่องจาก มีการกระจายแสงดีอยู่แล้ว นอกจากต้องการแสงแบบพิเศษ

2.1.2 กระเปาะแก้วด้านใน (หลอดอาร์ก) ทำมาจากแก้วควอตซ์ชนิดทนความร้อนสูง และภายในบรรจุก๊าซอาร์กอนและปรอท นอกจากนี้ยังบรรจุก๊าซจำพวกอโอไดต์ของโลหะเข้าไป สารจำพวกนี้ได้แก่ โซเดียมไอโอไดต์ , อิเดียมไอโอไดต์ , ทัลเลียมไอโอไดต์ และดีสโปรเซียมไอโอไดต์ เมื่อหลอดทำงานแล้วการแตกตัวของโลหะพวกไอโอไดต์จะทำให้เกิดแสงสว่างที่มีความยาวคลื่นแตกต่างกันหลายๆ ความยาวคลื่น ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้สีของแสงสว่างดูสมดุลตามไปด้วย

2.1.3 ขั้วหลอด (Base) จะเป็นแบบเกลียวขนาดใหญ่ (Mogul Screw) ทุกขนาด เนื่องจากเป็นหลอดที่ใช้กระแสไฟฟ้าสูง

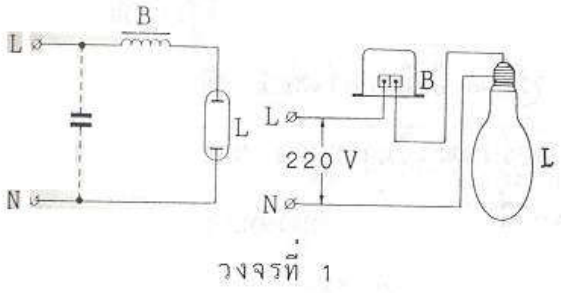
2.2 การทำงานของหลอดเมทัลฮาไลด์



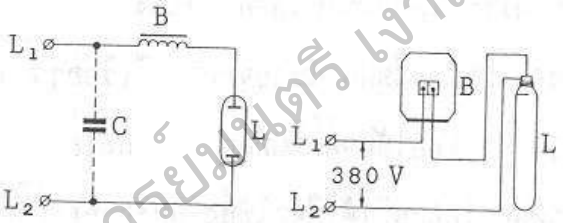
เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เจดเดช

ในวงจรการทำงานรของหลอดจะคล้ายกับหลอดแสงจันทร์ (หลอดไอปรอทความดันสูง) แต่จะต่างกันเพียงแต่หลอดเมทัลฮาไลด์จะต้องใช้ตัวจุดหลอด (Pulse Startor or Ignitor) จะเป็นตัวสร้างพัลส์ที่มีความถี่สูง (ใช้เวลาประมาณ 1 ไมโครวินาที) เพื่อที่จะทำให้บัลลาสต์รสร้างแรงดันไฟฟ้าสูงเพื่อไปขับหลอดและทำให้เกิดการแตกตัวของสาร คือไปกระตุ้นให้สารอโอไดต์เกิดการแตกตัว เมื่อหลอดทำงานแล้วตัวจุดหลอดจะหมดหน้าที่ เหลือแต่บัลลาสต์ตัวเดียวที่ทำหน้าที่จำกัดกระแสไฟฟ้าและควบคุมแรงดันที่ไฟตกคร่อมที่ตัวหลอด ซึ่งสีของแสงที่ได้จะเป็นการผสมกันระหว่างแสงสีของไอปรอท ก๊าซอาร์กอน รวมกันกับสีของสารไอโอไดต์ซึ่งจะทำให้แสงมีความสมดุลมากขึ้น

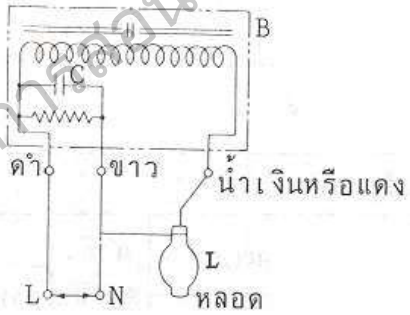
ลักษณะของการต่อวงจรดังรูป



วงจรที่ 1



วงจรที่ 2



L : หลอด
B : บัลลาสต์
C : คาพาซิเตอร์

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์ยุทธ เงาเดช

2.3 อายุการใช้งาน

อายุการใช้งานของหลอดเมทัลฮาไลด์จะมีอายุประมาณ 7,500-15,000 ชม.

2.4 การนำไปใช้งาน

ใช้ในสนามกีฬากลางแจ้งและในร่ม โคมถนน โคม HI-BAY และ FLOOD LIGHT ไฟส่องอาคาร ไฟทางเดินใน SHOPPING AREA โรงงานผลิตอาหารที่ต้องการคุณภาพสีของแสง,ประสิทธิภาพการส่องสว่างและความสบายสายตา

2.5 ค่าฟลักซ์แสงสว่างของหลอดเมทัลฮาไลด์

วัตต์ (W)	สี	ฟลักซ์แสงสว่าง (lm)	ประสิทธิภาพแสงสว่าง (lm/W)	อายุการใช้งาน (ชั่วโมง)
250	M	21500	80	9000
	M-T	20000	74	
	MF	20000	74	
	MF-R	13700	51	
400	M	40000	94	15000
	M-T	38000	89	
	MF	38000	89	
	MF-R	22000	52	
1000	M	90000	86	9000
	M-T	85000	81	
	MF	87000	83	
2000	M	185000	90	6000
	M-T	180000	88	
	MF	180000	88	

M : หลอดแก้วใส ทรงบีที

M-T : หลอดแก้วใส ทรงหลอดยาว

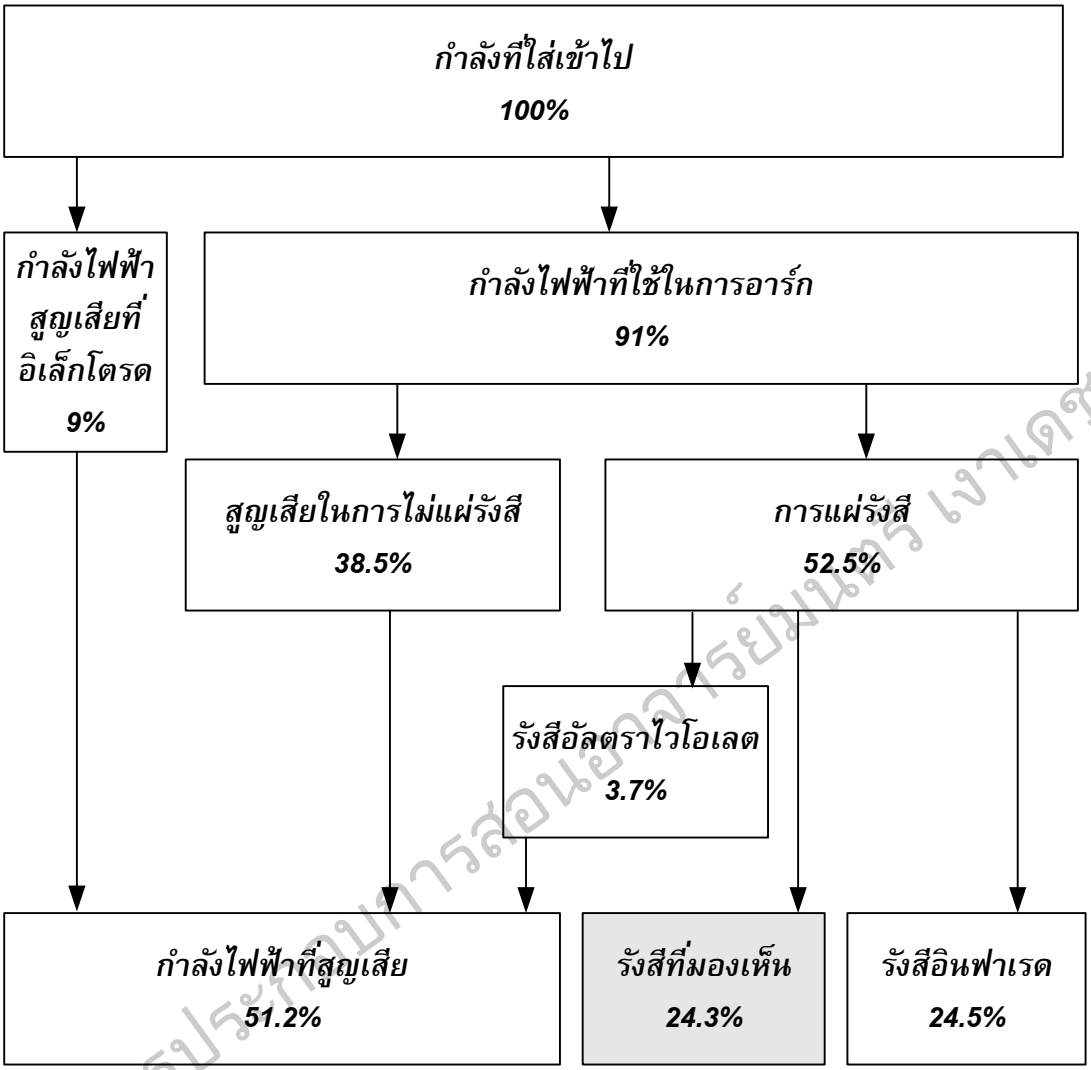
MF : หลอดแก้วเคลือบสาร ทรงบีที

MF-R : หลอดแก้วเคลือบสาร ทรงสปอร์ตไลต์

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เงาเดช

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เงาเดช

2.6 การส่งพลังงานของหลอดไอปรอทความดันสูง



เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เงาเดช

3. หลอดโซเดียมความดันสูง (High Pressure Sodium , HPS)

เป็นหลอดไฟฟ้าที่สร้างขึ้นมาใช้ในงานที่ต้องการปริมาณแสงสว่างมาก สีของแสงจะเป็นสีเหลืองทอง ตามคุณสมบัติของโซเดียม เช่นเดียวกับหลอดโซเดียมความดันต่ำ แต่หลอดโซเดียมความดันสูงจะมีค่า CRI สูงกว่าหลอดโซเดียมความดันต่ำ

หลอดโซเดียมความดันสูงเป็นหลอดที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุดในบรรดาหลอดดีสชาร์จด้วยกัน เนื่องจากมันให้ประสิทธิภาพมากถึง 140 ลูเมนต่อวัตต์ หลอดชนิดนี้มรประสิทธิภาพสูงกว่าหลอด Fluorescent และเมทัลฮาไลด์ ถึง 50% และมีประสิทธิภาพสูงกว่าหลอดแสงจันทร์ถึง 100% และสูงกว่าหลอด Incandescent ถึง 600%

3.1 ส่วนประกอบของหลอดโซเดียมความดันสูง

3.1.1 กระเปาะแก้วด้านนอก

3.1.2 กระเปาะแก้วด้านใน (หลอดอาร์ก)

3.1.1 กระเปาะแก้วด้านนอก ทำหน้าที่เช่นเดียวกันกับหลอดแสงจันทร์ (หลอดไอปรอทความดันสูง) และหลอดเมทัลฮาไลด์

3.1.2 กระเปาะแก้วด้านใน (หลอดอาร์ก) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่าหลอด 2 แบบแรก จึงทำงานที่อุณหภูมิสูงและเนื่องจากขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่มีขนาดเล็กจึงไม่มีขั้วอิเล็กโตรดช่วยในการจุดอยู่ภายในหลอด จะมีเฉพาะขั้วอิเล็กโตรดหลักเท่านั้น ภายในหลอดบรรจุด้วยโซเดียมเป็นหลัก นอกจากนี้ยังมีก๊าซ

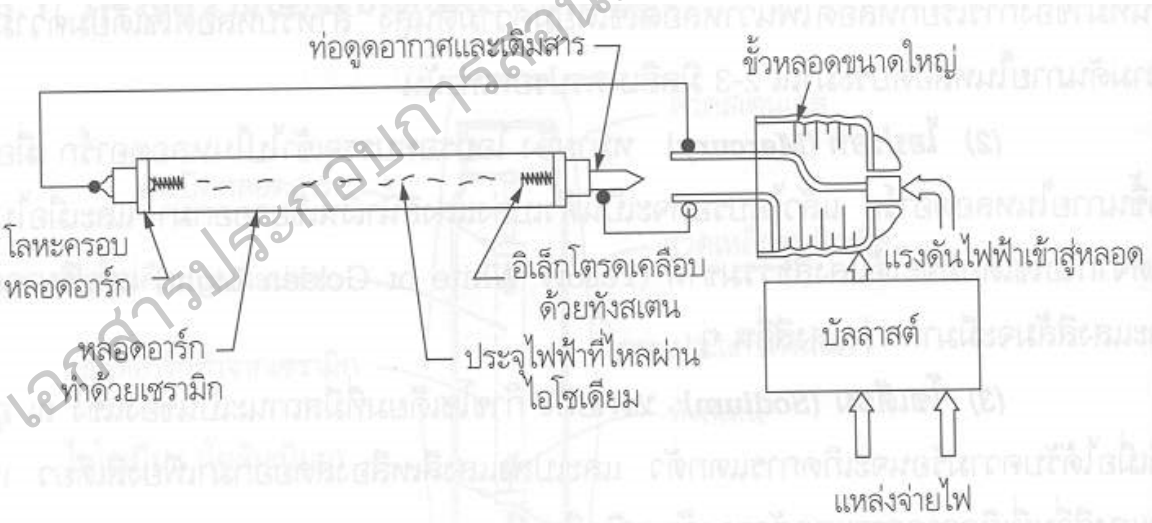
เอกสารประกอบการสอนวิทยาลัยเทคนิคเจาะไอร้อง

ซีนอนและปรอทรวมอยู่ด้วย หลอดอาร์กจะทำมาจากเซรามิก เนื่องมาจากความร้อนและความดันจากการคายประจุของโซเดียมสูงมาก นอกจากนี้ภายในหลอดอาร์กประกอบไปด้วยก๊าซซีนอนปรอท และโซเดียมปะปนอยู่ และในหลอดโซเดียมความดันสูงนี้จะไม่มีสตาร์ทติ้งอิเล็คโทรดและสตาร์ทติ้งรีซิสเตอร์อยู่เลย

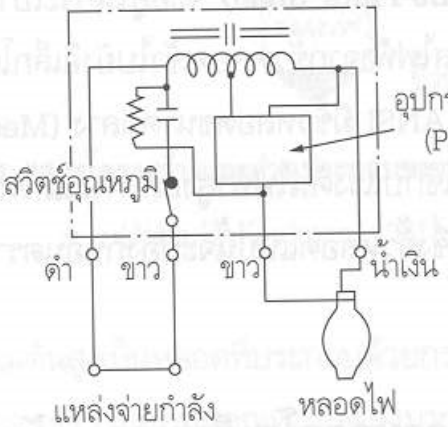
คุณสมบัติของก๊าซที่บรรจุอยู่ในหลอดอาร์กมีดังนี้

1. ก๊าซซีนอน เป็นก๊าซเฉื่อย ทำหน้าที่ช่วยในการแตกตัวของก๊าซโซเดียมให้รวดเร็วขึ้นจึงทำให้เกิดความร้อนขึ้นภายในหลอดอาร์กมากขึ้น โดยจะมีค่าความดันภายในหลอดอาร์กประมาณ 200 มิลิเมตรปรอท ซึ่งเป็นที่มาของการเรียกหลอดไฟฟ้านี้ว่า หลอดโซเดียมความดันสูง
2. ไอปรอท เป็นตัวเปล่งแสงสีน้ำเงินเขียวออกมา และเมื่อไปผสมกับแสงที่ได้จากโซเดียมจะได้แสงสีธรรมชาติ แต่ปริมาณแสงสีเหลืองและแสงสีส้มจะมีมากกว่าแสงสีอื่นๆ
3. โซเดียม มีสถานะเป็นของแข็ง ณ อุณหภูมิปกติ แต่เมื่อได้รับความร้อนจะเกิดการแตกตัวและเปล่งแสงสีเหลืองสดออกมา เพียงสีเดียว เพื่อจะไปผสมกับแสงสีอื่นที่เกิดจากการแตกตัวของก๊าซชนิดอื่นต่อไป

3.2 การทำงานของหลอดโซเดียมความดันสูง



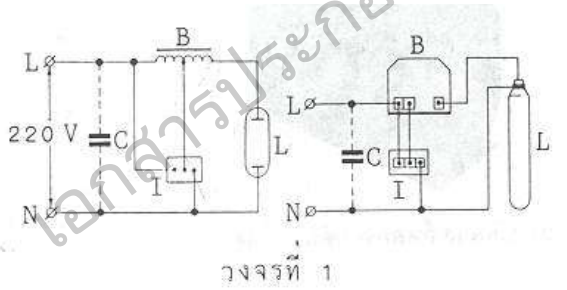
เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี แจงเดช

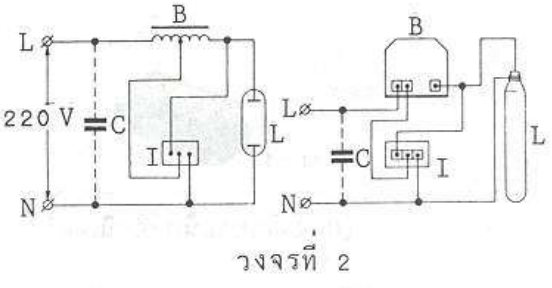


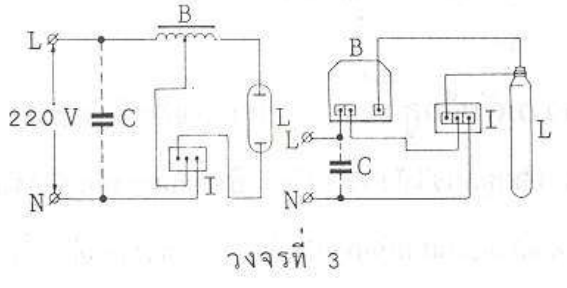
เนื่องจากหลอดชนิดนี้ไม่มีขั้วอิเล็กโตรดช่วยในการจุดหลอด ต้องใช้แรงดันไฟฟ้าที่จุดหลอดสูงมาก ตั้งแต่ 2500-5000V จึงต้องใช้อุปกรณ์สร้างพัลส์แรงสูงช่วยร่วมกับบัลลาสต์ เพื่อทำให้ก๊าซซีนอนเกิดการแตกตัวเปล่งแสง โดยอาศัยตัวจุดหลอด (Ignitor) จะเป็นตัวสร้างพลัส์ที่มีความถี่สูงเพื่อส่งไปให้บัลลาสต์สร้างแรงดันไฟฟ้าสูง แต่จะเกิดขึ้นเป็นระยะเวลาสั้นและรวดเร็วมาก (ประมาณ 1 ไมโครวินาที) โดยก๊าซซีนอนจะแตกตัวทำให้ความร้อนเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนทำให้ก๊าซโซเดียมและปรอทแตกตัวตาม ซึ่งทำให้หลอดสว่างขึ้นเรื่อยๆ จนสว่างจ้าในที่สุด เมื่อตอนเริ่มแรกจะเห็นแสงสีแดง แล้วค่อยๆเปลี่ยนเป็นสีเหลืองและเหลืองทองในที่สุด ซึ่งเป็นผลมาจากโซเดียม เริ่มเกิดการแตกตัวขึ้นภายในหลอดอาร์ก หลอดชนิดนี้จะมีช่วงเวลาอุ่นไส้หลอด (Warm up Period) จนกระทั่งสว่างเต็มที่ ใช้เวลาประมาณ 3-4 นาทีและเวลาคืนตัว 1 นาที

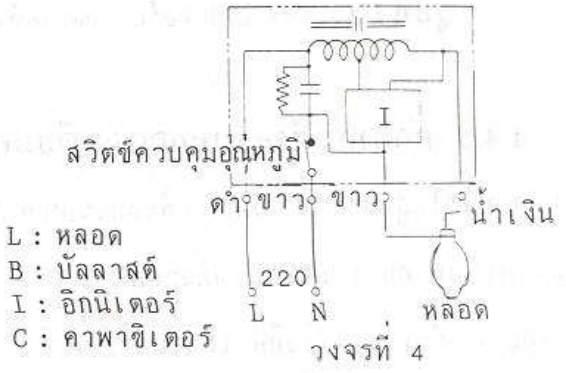
ลักษณะของการต่อวงจรดัง

รูป









3.3 อายุการใช้งานของหลอดโซเดียมความดันสูง

เอกสารประกอบการสอนวิทยาลัยเทคนิคสุรินทร์

อายุการใช้งานของหลอดโซเดียมความดันสูงจะมีอายุประมาณ 12,000-24,000 ชม.

3.4 การนำไปใช้งาน

เหมาะกับงานที่ไม่ต้องใช้ความส่องสว่างมากนัก เช่น ไฟถนน ไฟบริเวณที่พบบ่อยคือ ไฟถนนที่มีสีเหลืองทอง , สนามเทนนิส , ถนนซุปเปอร์ไฮเวย์ บริเวณทางแยก สนามบิน โรงงานอุตสาหกรรม ลานจอดรถ ซึ่งให้ประสิทธิภาพในการมองเห็นได้ดีที่สุด เพราะตาคนเราไวต่อแสงสีเหลืองมากที่สุด

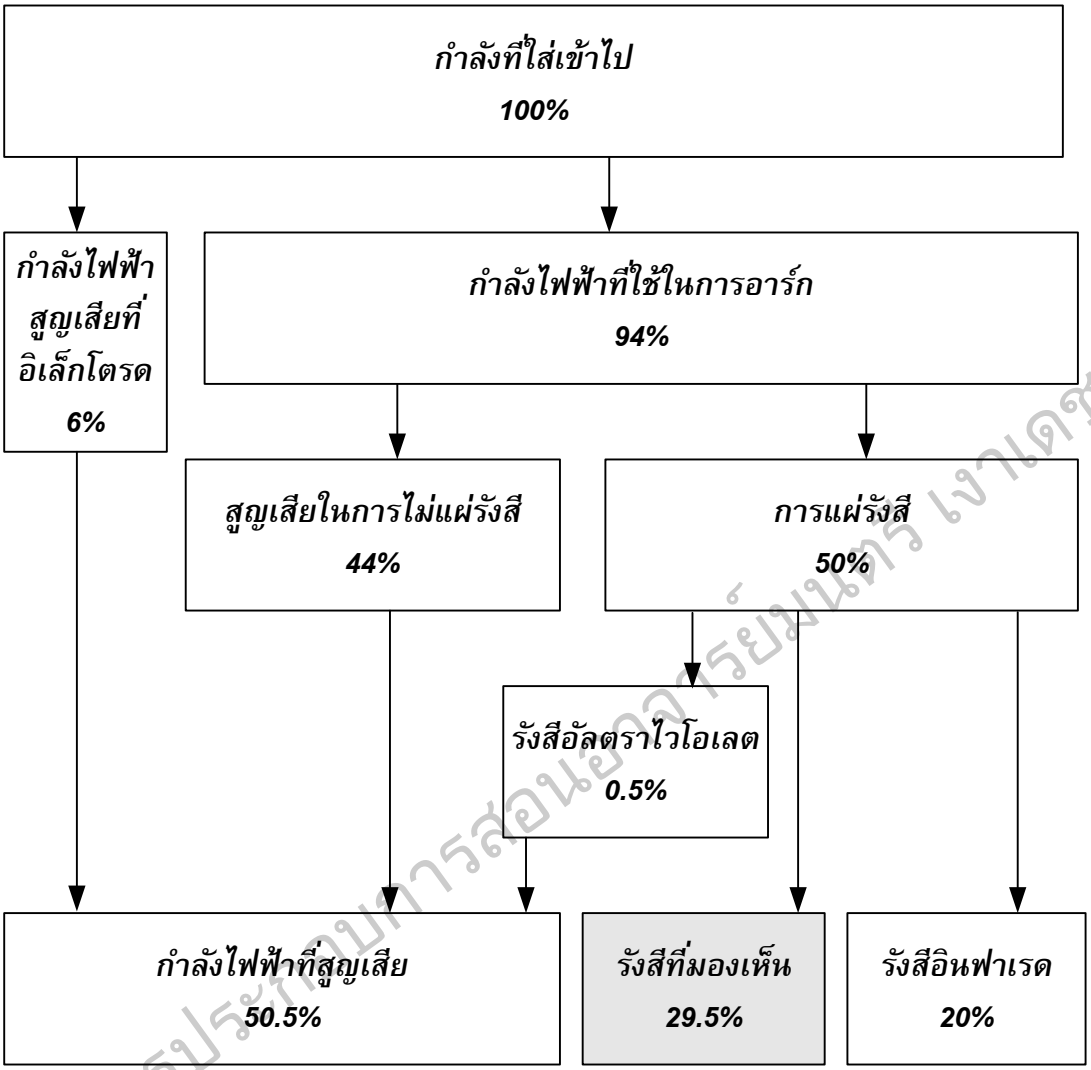
เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เงาเดช

3.5 ค่าฟลักซ์แสงสว่างของหลอดโซเดียมความดันสูง

วัตต์ (W)	สี	ฟลักซ์แสงสว่าง (lm)	ประสิทธิภาพแสงสว่าง (lm/W)	อายุการใช้งาน (ชั่วโมง)
50	SON	3800	64	24000
70	SON	5800	73	24000
	SON-T	6500	81	
100	SON	9500	83	24000
	SON-T	10000	88	
150	SON	14000	83	24000
	SON/DX	7300	43	9000
	SON-T	14000	83	24000
	SON-R	9700	58	24000
	SON/DX-R	5900	35	9000
250	SON	25800	94	24000
	SON/DX	12800	47	9000
	SON-T	27000	99	24000
	SON-R	19800	72	24000
	SON/DX-R	9500	35	9000
	SON-G	25800	94	24000
400	SON	47000	109	24000
	SON/DX	23000	53	9000
	SON-T	47000	109	24000
	SON-R	33600	78	24000
	SON/DX-R	18000	42	9000
1000	SON	120000	114	24000
	SON-T	125000	118	

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เงาเดช

3.6 การส่งพลังงานของหลอดโซเดียมความดันสูง



เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เงาเดช

3. หลอด LED

- LED. ย่อมาจาก Light Emitting Diode เป็นชิ้นส่วนอิเลคทรอนิคส์ชนิดหนึ่ง ซึ่งสามารถเปล่งแสงสว่างเมื่อให้กระแสไฟผ่านตัวมัน ไดโอดเปล่งแสงออกมาได้แบบมีคลื่นความถี่เดียวและเฟสต่อเนื่องกัน และเปล่งแสงได้เมื่อจ่ายกระแส ไฟฟ้าเข้าเพียงเล็กน้อยเท่านั้น หลอด LED. มีจุดเด่นหลายอย่าง คือ ใช้พลังงานต่ำแต่ให้ประสิทธิภาพการส่องสว่างที่สูงมาก ไม่มีแสง UV. ไม่กระพริบขณะเปล่งแสง การเปิด - ปิดหลอดไฟ LED. สามารถเปิด-ปิดได้อย่างรวดเร็ว โดยไม่ต้องเสียเวลารอนานเป็นหลอดไฟที่ประหยัดพลังงานมากกว่าหลอดไฟประเภทอื่นๆ ที่มีอยู่ในตลาดทั้งหมด และการประหยัดเงินค่าไฟฟ้าจากการใช้หลอดไฟ LED. ตั้งแต่ 15-75% โดยเฉลี่ยแล้วมีอายุการใช้งาน สูงสุดถึง 50,000 ชั่วโมง หรือประมาณ 5 ปี ขึ้นไป

ปัจจุบันราคาของหลอดไฟ LED. จะมีราคาสูงกว่าหลอดทั่วไป แต่ถ้าเปรียบเทียบเรื่องระยะเวลาการใช้งาน นับว่าเป็นการลงทุนที่คุ้มค่า ซึ่งพอจะสรุปข้อดีของหลอดไฟชนิดนี้ได้ในด้านต่างๆ เช่น ความประหยัด เพราะใช้พลังงานน้อยมาก แต่ให้ประสิทธิภาพในการส่องสว่างสูง ด้านความสว่าง ที่สามารถส่องสว่างได้ทันทีโดยไม่ต้องกระพริบก่อน ทั้งยังไม่ปล่อยรังสี UV. ด้านความคงทน โดยสามารถทำงานได้ยาวนานที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับหลอดชนิดอื่นๆ และด้านสิ่งแวดล้อม ถือได้ว่าหลอดชนิดนี้เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เพราะนอกจากความประหยัดด้านพลังงานและความคงทนที่สามารถใช้ได้อย่างยาวนาน ทำให้ปริมาณขยะจากหลอดไฟลดลงด้วย การรณรงค์ส่งเสริมให้เปลี่ยนมาใช้อุปกรณ์ประหยัดไฟประเภทต่างๆ ถือเป็นอีกวิธีการหนึ่งเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน แค่เปลี่ยนมาใช้หลอด LED. ก็ช่วยลดการใช้พลังงานได้แล้ว

ตารางที่ 7.5 ค่าโหลด LED. เทียบกับหลอดอื่น

หลอด LED.	หลอดประหยัดไฟ	หลอดไส้
1 W.	3 W.	15 W.
3 W.	7 W.	35 W.
	9 W.	40 W.
5 W.	11 W.	50 W.
	13 W.	60 W.
7 W.	15 W.	70 W.
	18 W.	75 W.
9 W.	19 W.	90 W.
12 W.	25 W.	120 W.
15 W.	31 W.	150 W.
18 W.	36 W.	180 W.

เอกสารประกอบการสอนวิชาการส่องสว่าง มทร. ล้านนา

หลอดแอลอีดี (LED : Light Emitting Diode) เป็น หลอดไฟ ชนิดที่แตกต่างออกไป เป็นหลอดที่มีขนาดเล็ก กำลังต่ำ มีหลักการทำงานคือ เมื่อมีการผ่านกระแสไฟฟ้าให้กับสารกึ่งตัวนำแล้ว จะทำให้บริเวณรอยต่อของขั้ว ที่เรียกว่า p-n junction เกิดการเปล่งแสงออกมา ถึงจะมีกำลังต่ำ แต่สามารถนำมาต่อกันในวงจรไฟฟ้า เพื่อให้มีกำลังมากขึ้นได้

หลอดไฟLED มีคุณสมบัติเด่นคือ มีอายุการใช้งานที่ยาวนานที่สุด (50,000-100,000 ช.ม.) มีประสิทธิภาพค่อนข้างสูง มีความถูกต้องของสีสูง ความร้อนต่ำ ไม่มีรังสี UV ไม่มีก๊าซพิษ หรือโลหะหนักในการบรรจุ

ข้อดีของ หลอดไฟLED

ข้อดีของหลอด LED มีมากมายหลายด้าน เมื่อเทียบกับ หลอดไฟ ที่มีใช้ในปัจจุบัน ไม่ว่าจะเป็นหลอดไส้ หลอดฟลูออเรสเซนต์ หรือชนิดอื่นๆ พอจะสรุปได้ดังนี้

- หลอดLED ให้แสงสีขาวที่แท้จริง เหมาะกับงานที่ต้องการคุณภาพแสงที่สูง

แสงจาก หลอดled มีอัตราการกระพริบที่สูงมาก (แทบจะไม่มีการกระพริบ) จึงออกมาเป็นธรรมชาติสบายตา ถนอมสายตา เหมาะสำหรับงานแสงสว่างทั่วไป

- มีอายุการใช้งานนานกว่า

ข้อมูลจากการทดสอบของผู้ผลิตหลอดยืนยัน ว่าการใช้งานอย่างถูกวิธีและเหมาะสม สามารถที่จะทำให้ หลอดLED มีอายุใช้งานได้ถึง 60,000 ชั่วโมง โดยความสว่างไม่ลดลง เมื่อเทียบกับหลอดไส้ ที่มีอายุการใช้

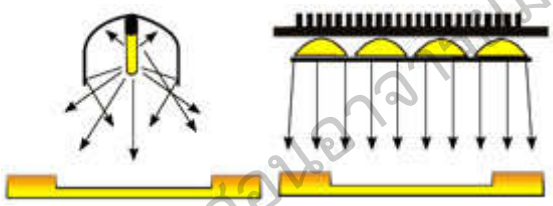
เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี แจงเดช

งานเพียงแค่ 1,000 ชั่วโมง หรือหลอดฟลูออเรสเซนต์ มีอายุการใช้งานประมาณ 10,000 ชั่วโมง เท่านั้น ถือว่าหลอดled มีอายุการใช้งานที่ยาวนานกว่ามาก

- หลอดLED ให้แสงในทิศทางตรง

การที่หลอดไฟled ให้แสงในทางตรงนั้นทำให้ไม่จำเป็นต้องใช้รีเฟล็กซ์เตอร์ ในการบังคับทิศทางแสง และในส่วนมาก รีเฟล็กซ์เตอร์ก็มีประสิทธิภาพต่ำ ทำให้ประสิทธิภาพโดยรวมของหลอดไฟต่ำลงไปด้วย ซึ่งอาจทำให้ประสิทธิภาพต่ำกว่า 40 เปอร์เซนต์ แต่ หลอดLED นั้นให้แสงในทิศทางไปข้างหน้าตรงๆ ไม่จำเป็นต้องมีรีเฟล็กซ์เตอร์ก็ได้ จึงทำให้มีประสิทธิภาพสูง ซึ่งสูงกว่า 80 เปอร์เซนต์ และการที่ หลอดled ไม่จำเป็นต้องมีรีเฟล็กซ์เตอร์ จึงเป็นการลดข้อจำกัดในการออกแบบ ทำให้นักออกแบบสามารถที่จะออกแบบรูปทรงง่ายได้ขึ้น ดังนั้นจึงทำให้ขนาดโดยรวมของ หลอดไฟ มีขนาดบางลงมาก

หลอดไฟทั่วไป ที่มีรีเฟล็กเตอร์



- หลอดLED ทนต่อแรงกระแทก สั่นสะเทือน และทนการกัดกร่อนได้ดี

สามารถใช้หลอดLED ได้ในสภาพแวดล้อมไม่ดีหรือเลวร้าย เช่น สภาพที่มีการเคลื่อนไหวหรือสั่นมากๆ หรือสภาพที่มีภาวะที่มีการกัดกร่อนสูงได้ดี แต่ถ้าเป็นหลอดอย่างอื่นอาจจะมีความเสียหายง่ายและใช้งานด้วยข้อจำกัดที่มากกว่า

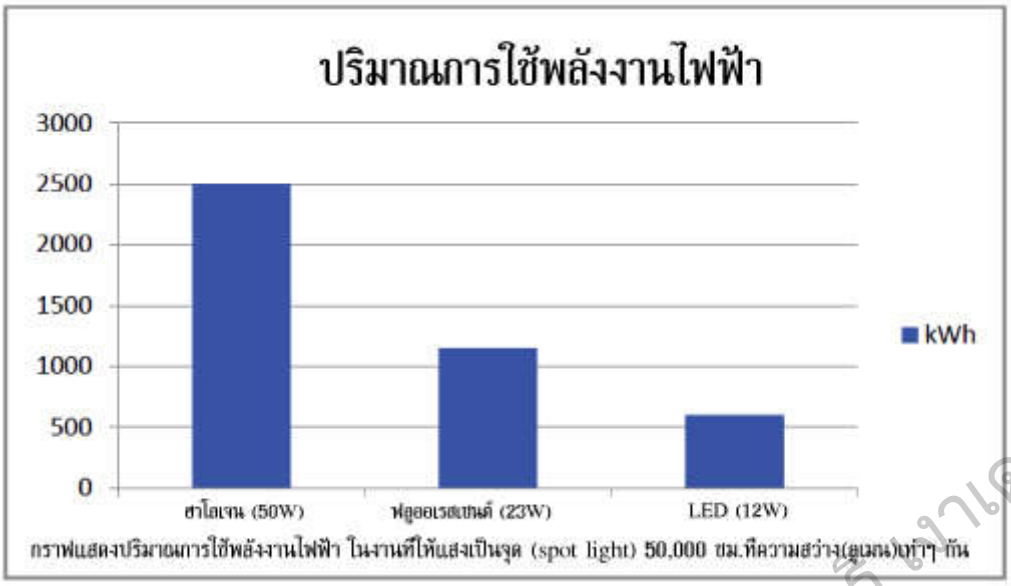
- ประหยัดค่าไฟ

ปัจจุบัน หลอด LED สามารถให้ค่าอัตราความสว่างได้ถึง 80-120 ลูเมนต์/วัตต์ ขึ้นอยู่กับแต่ละผู้ผลิต เมื่อเทียบกับหลอดไส้ ที่ให้ค่าอัตราความสว่างอยู่ที่ 12-15 ลูเมนต์/วัตต ส่วนหลอดฟลูออเรสเซนต์ ก็ให้ค่าอัตราความสว่างได้ที่ 40-80 ลูเมนต์/วัตต์

ซึ่งแนวโน้มว่าด้วยเทคโนโลยีที่ถูกคิดค้นขึ้นใหม่เรื่อยๆใหม่ ในอนาคต LED จะมีความสามารถให้ความสว่างเพิ่มขึ้นได้อีก (โดยล่าสุดมีสถิติบันทึกไว้ว่า มีผู้คิดค้น led ที่ให้แสงสว่างได้สูงถึง 300 ลูเมนต์/วัตต์)

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์เมนตรี เงาเดช

กราฟแสดงปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของหลอด LED,หลอดฟลูออเรสเซนต์ และหลอดฮาโลเจน



กราฟแสดงปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า ในงานที่ให้แสงเป็นจุด (spot light) 50,000 ชม.ที่ความสว่าง(ลูเมน)เท่าๆ กัน

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี ขาเดช

- หลอดLED ติดตั้งได้ในพื้นที่แคบและจำกัด และใช้งานในสภาพแวดล้อมที่ติดไฟได้

เพราะหลอด led อยู่ในสภาพมิดชิด มีความหนาน้อยกว่า และไม่มีประกายไฟเกิดขึ้นในขณะใช้งานหรือตอนเปิดปิด ดังนั้นแม้ในสภาพแวดล้อมเลวร้าย เช่น ติดไฟหรือระเบิดง่ายก็สามารถใช้หลอด led ได้

- หลอดLED ไม่เป็นอันตราย

ไม่มีสารปรอท หรือสารพิษ ในการบรรจุ ดังนั้นจึงไม่เป็นอันตรายทั้งต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม

- หลอดLED มีการบำรุงรักษาต่ำ

เนื่องจาก หลอดLED อยู่ในสภาพมิดชิด และอายุการใช้งานที่ยาวนานกว่า หลอดled จึงไม่ต้องการการบำรุงรักษาที่มากมายอะไร

- หลอดLED ใช้งานในที่เย็นจัดได้

หลอดไฟled สามารถใช้งานในที่เย็นจัดได้ถึง -40 C โดยไม่ต้องมีการอุ่นไส้ และยังสามารถที่จะเปิดติดได้ทันที

- หลอดLEDไม่มีรังสี UV

ไม่เป็นอันตราย ไม่มีรังสีอัลตราไวโอเลตหรือ UV ที่มีผลเสียต่อผิวหนังและสายตาของมนุษย์ และยังไม่มีรังสีอินฟราเรด หรือรังสีอื่นๆใด ที่เป็นอันตรายอีกด้วย

- หลอดLED ใช้พลังงานคุ้มค่า ลดภาวะโลกร้อน

เพราะว่าพลังงานไฟฟ้าส่วนใหญ่ผลิตจากเชื้อเพลิงฟอสซิลต์ ซึ่งในการผลิตก่อให้เกิดแก๊สเรือนกระจก และในการเลือกใช้หลอดไฟLED จึงทำให้มีส่วนช่วยลดการใช้พลังงาน ลดแก๊สเรือนกระจกและก๊าซพิษได้เป็นเท่าตัว อาคารที่ใช้ ก็มีการปล่อยความร้อนน้อยลง จึงช่วยประหยัดค่าแอร์ได้อีกทางหนึ่ง นอกจากนั้นการใช้หลอดled ที่ทำให้เกิดการใช้พลังงานน้อยลงแล้ว นอกจากจะช่วยโลกช่วยประเทศชาติแล้ว ยังทำให้องค์กรมีภาพลักษณ์ที่ดีในสายตาสาธารณะชนได้อีกทางหนึ่งด้วย

- หลอดLED คือ อนาคต

รัฐบาลของประเทศแทบทั่วโลกและองค์กรด้านสิ่งวแดล้อมต่างๆ ได้ให้ความสำคัญกับปัญหาเรื่องพลังงาน ปัญหาโลกร้อน ปัญหาขยะสารพิษ และปัญหามลภาวะ มากขึ้น ดังนั้นการใช้ หลอด LED ทดแทนหลอดไฟที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน จึงเป็นอีกหนหนึ่งที่จำเป็นที่ทุกๆ ประเทศนำไปพิจารณาในการลดการใช้พลังงาน เห็นได้จากข้อมูลสื่อทั่วๆไป

และโดยล่าสุดองค์กรที่มีชื่ออย่างโนเบล ได้มอบรางวัลโนเบลสาขาฟิสิกส์ ปี2014 ให้กับ 3 นักวิทยาศาสตร์ ชาวญี่ปุ่น ผู้คิดค้น led แสงสีน้ำเงิน และโนเบลยังประกาศด้วยว่า LED คือแสงสว่างในศตวรรษที่ 21

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เงาเดช

CHIP (ชิบ)

ปัจจุบัน มีผู้ผลิต chip จำนวนมากมีหลายบริษัทแต่ ที่ได้มาตรฐาน และไม่ได้จึงเป็นสาเหตุให้ผู้บริโภค เกิดความสับสน ทางการไฟฟ้าและนักวิชาการ ของไทยจึงต้องใช้ LM80LM79 เป็นตัวกำหนด

โคมไฟ LED

มีความเข้าใจที่ผิดพลาดหลายประการกล่าวคือ

1.CHIP ดีแล้วโคมจะออกมาดีไม่ถูกทั้งหมด

2.ไดเวอร์ ดี แล้วความส่องสว่างจะดีก็ไม่ถูกทั้งหมด

3.การออกแบบรูปแบบโคมที่ดีก็ไม่ถูกทั้งหมด

ประเภทของหลอดไฟ LED และเทคนิคการเลือกซื้อหลอดไฟ LED อย่างชาญฉลาด

เทคโนโลยีที่พัฒนาอย่างรวดเร็วและต่อเนื่องส่งผลให้เกิดนวัตกรรมใหม่ๆ ออกมาให้เราได้ใช้ประโยชน์กันอย่างแพร่หลาย ไม่ว่าจะเป็นเทคโนโลยีสื่อสาร Smart Phone ที่ทำตลาดในวงกว้างอย่างมากมาย อีกมุมหนึ่งคือเทคโนโลยีที่จะทำให้โลกของเรามีอายุยาวนานขึ้น คือ พลังงาน นับได้ว่าในช่วงเวลาที่ผ่านมาไม่กี่ปี ทั้งโลกหันมาใส่ใจเรื่องพลังงาน การประหยัดพลังงาน การอนุรักษ์พลังงาน กันอย่างแพร่หลาย เพราะทุกคนต่างรู้ดีว่า “ชีวิตต้องการพลังงาน”

กับเทคโนโลยีเพื่ออนาคตที่ทั้งโลกยอมรับคือ หลอดประหยัดไฟ LED หากเราจะเลือกผลิตภัณฑ์หลอดไฟ LED ไปใช้เราควรรู้อะไรบ้าง เทคนิคในการเลือกซื้ออย่างไร มีข้อควรระวังอย่างไรบ้าง

หลอดไฟ LED แบ่งเป็น 3 ประเภท ง่ายๆ คือ

1. หลอดไฟ LED ใช้ภายในอาคาร อาทิ เช่น BULB , TUBE, DOWN LIGHT, T-BAR, PAR LIGHT, PENDANT LIGHT
2. หลอดไฟ LED ใช้ภายนอกอาคาร อาทิ เช่น FLOOD LIGHT, HIGH BAY, STREET LIGHT
3. หลอดไฟ LED ตกแต่ง อาทิ เช่น STRIP LIGHT (ไฟเส้นตกแต่ง), LAND SCAPE LIGHT, TRACK LIGHT

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เงาเดช

และในคำศัพท์บางคำที่เราไม่คุ้นเคย เช่น BULB,PAR LIGHT, FLOOD LIGHT นิยามคำใหม่ๆเหล่านี้ถ้ามองผลิตภัณฑ์แล้วมันคือ อะไร และมาแทนที่อะไรมาดูกันเลย เช่น

จากเดิมเราใช้หลอดตะเกียบ 18W เปลี่ยนเป็น BULB LED เท่ากับไม่เกิน 7w แต่ยังคงได้ประมาณแสงสว่างเท่าเดิม

หน้าตาของ Par light LED มีขั้ว E27 และ MR-16 (ทั้ง 220V และ12V)

หน้าตาของ Floodlight LED

หน้าตาของ High Bay LED

เมื่อเรารู้จักหน้าตาของหลอดไฟแต่ละประเภทแล้วหากต้องการเลือกซื้อมาใช้จะต้องพิจารณาจากสิ่งใดบ้างดังนี้

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์นิพนธ์ เงาเดช

1.ควรพิจารณาว่า หลอดที่ซื้อนำไปติดตั้งแทนของเดิม (REPLACE) หรือ ติดตั้งใหม่ ถ้าแทนที่ของเดิมขั้วหลอดต้องเหมือนกัน เช่น ขั้วE27,G13

2.ต้องสังเกตุว่าหลอดแต่ละยี่ห้อมีข้อควรระวังและข้อห้ามอะไรบ้าง เช่น หลอด LED TUBE T8 ต้องเอาบัลลาตและสตาร์เตอร์ออกเสมอ

3.ค่ากำลัง WATT ของหลอดควรไม่เกิน เศษ 1 ส่วน 3 ของค่ากำลังWATT ของหลอดแบบเดิม (หลอดตะเกียบ,หลอดฟลูออเรสเซนต์)

4.ค่าประสิทธิภาพเชิงปริมาณของแสงที่หลอดทำได้ไม่ควรต่ำกว่า 70lm/w

5.ถ้านำไปติดตั้งภายนอกหรือกลางแจ้งจะต้องใช้หลอดที่กำหนดค่า IP ไม่ต่ำกว่า IP 65

6.มาตรฐานที่บริษัทหรือสินค้าได้รับ เช่น มอก, CE, ISO, EMC , LVD , ROHS

7.เงื่อนไขการรับประกันของสินค้า

8.ช่องทางการติดต่อสอบถามหรือการรับบริการจากผู้จัดจำหน่าย

ตารางเปรียบเทียบ คุณสมบัติของ หลอดไฟLED กับหลอดไฟ ชนิดอื่นๆ

ชนิดของ หลอดไฟ	ประสิทธิภาพ เฉลี่ย (avg. efficacy) (lm/w)	CRI เฉลี่ย (%)	อายุการใช้งาน เฉลี่ย (ช.ม.)
หลอดLED	90	90	60,000
หลอดไส้Halogen	55	100	2,500
Flourescent	80	85	18,000
Mercury	65	45	22,000
Metal-Halide	100	60	9,000
Hi-pressure soduim	130	90	20,000
Lo-pressure soduim	190	0	18,000

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เงาเดช

ตารางการเปรียบเทียบ คุณสมบัติด้านต่างๆ และค่าไฟ ของหลอดไฟ ที่ใช้อยู่ในบ้านและอาคารโดยทั่วไป

คุณสมบัติด้านต่างๆ	หลอดไฟled	หลอด ฟลูออเรสเซนต์เล็ก	หลอดไส้ ชนิดธรรมดา
วัตต์ (w)	7	11	60
อายุการใช้งาน (hr)	60,000	15,000	1,000
ราคาต่อหลอด (บาท)	100	115	15
หน่วยไฟฟ้าต่อ60,000hr (Kw-h)	420	660	3,600
ค่าไฟต่อ 60,000hr @4 บาท/หน่วย (บาท)	1,680	2,640	14,400
จำนวนหลอดต่อ 60,000 hr	1	4	60
ค่าหลอดไฟ 60,000 hr (บาท)	100	460	900
ค่าใช้จ่ายต่อ 60,000 hr (บาท)	1,780	3,100	15,300
หากบ้าน 1 หลัง มีหลอดไฟ 15 หลอด			
ค่าใช้จ่ายต่อ 60,000 hr ต่อบ้าน 1 หลัง (บาท)	26,700	46,500	229,500

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เจ๊เดช

Equivalent wattages and light output of Incandescent, CFL and LED bulbs

Light Output	LEDs	CFLs	Incandescents
Lumens	Watts	Watts	Watts
450	**4 - 5**	**8 - 12**	**40**
300 - 900	**6 - 8**	**13 - 18**	**60**
1100 - 1300	**9 - 13**	**18 - 22**	**75 - 100**
1600 - 1800	**16 - 20**	**23 - 30**	**100**
2600 - 2800	**25 - 28**	**30 - 55**	**150**

บทที่ 4
โคมไฟฟ้า

หลอดไฟฟ้ามีหน้าที่ให้ความสว่างแต่ส่วนใหญ่มักมีการให้ความสว่างรอบตัวหลอดเอง คือ ไม่มีทิศทางการส่องสว่างที่แน่นอน ยกเว้นหลอดประเภทที่มีตัวสะท้อนแสงภายในตัวเอง หลอดที่ให้แสงสว่างรอบตัวมีประสิทธิภาพการใช้งานต่ำเพราะมีแสงออกรอบทิศแทนที่จะส่องไปในบริเวณที่ต้องการ ดังนั้นการผลิตโคมไฟฟ้ามาเพื่อใช้กับหลอดไฟฟ้าก็เพื่อบังคับให้แสงส่องไปในทิศทางที่ต้องการ ทำให้ประสิทธิภาพการใช้งานของหลอดไฟฟ้าสูงมากขึ้น นอกจากนี้โคมไฟฟ้าบางชนิดยังใช้เป็นเครื่องประดับห้องหรือพื้นที่นั้นไปในตัวด้วย โคมไฟฟ้ามีหลายแบบแล้วแต่วัตถุประสงค์ของการใช้งาน โคมไฟสามารถแบ่งออกตามการใช้งานโดยทั่วๆ ไปได้เป็น โคมภายใน และโคมภายนอก โคมภายในที่ใช้ควรมีประสิทธิภาพสูง ไม่ให้แสงบาดตามากเกินไป มีความสวยงามด้วย ส่วนโคมภายนอกควรสามารถกันน้ำได้ และมีความปลอดภัยต่อการสัมผัส โคมไฟฟ้าใช้ภายในอาคารมีมากมายหลายแบบ แบบที่จะกล่าวถึงในบทนี้ก็เฉพาะที่ใช้กันมากเท่านั้นและจะกล่าวถึงหลักการและวิธีการใช้ในแต่ละชนิด

ดังนั้นพอจะสรุปหน้าที่ของโคมไฟฟ้าได้ดังนี้

1. ป้องกันหลอดไฟฟ้าและอุปกรณ์ประกอบจากการกระทบจากภายนอก
2. เป็นที่ในการจับยึดหลอดไฟฟ้าและอุปกรณ์ประกอบ รวมทั้งการเชื่อมต่อวงจรไฟฟ้าของหลอดไฟฟ้า
3. เพื่อบังคับทิศทางของแสงที่ออกมาจากหลอดไฟฟ้าไปตามทิศทางที่ต้องการ
4. ให้ความสวยงาม ประดับในพื้นที่ที่ติดตั้ง

ดวงโคมไฟฟ้า จะหมายถึง องค์ประกอบรวมของ หลอดไฟฟ้า (Lamp) , อุปกรณ์ประกอบในวงจรหลอด และ โคมไฟฟ้า (Fixtures)

เอกสารประกอบการสอน วิทยาลัยเทคนิคการช่างกรุงเทพ

4.1 ชนิดของดวงโคม

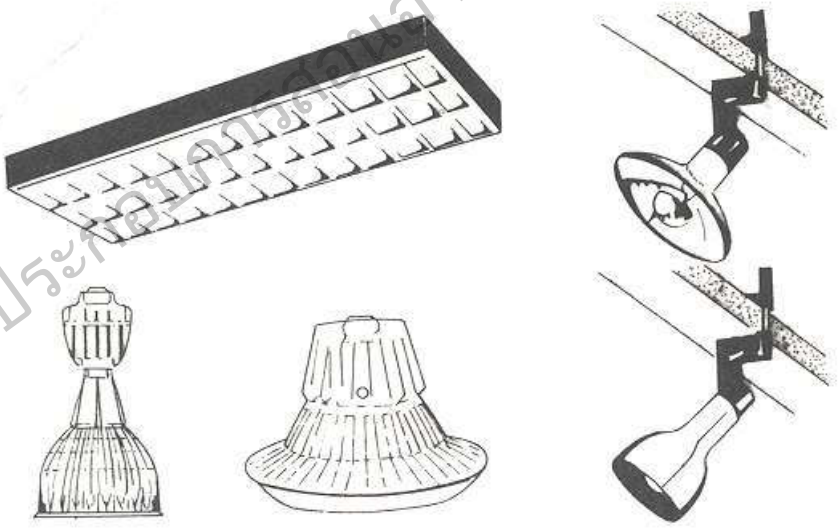
ดวงโคมสามารถแบ่งออกเป็นชนิดต่างๆ ได้ดังนี้

1. แบ่งตามลักษณะของหลอดไฟฟ้า
2. แบ่งตามลักษณะการติดตั้ง
3. แบ่งตามลักษณะการใช้งาน
4. แบ่งตามลักษณะการกระจายแสง
5. แบ่งตามลักษณะการป้องกัน

4.1.1 **แบ่งตามลักษณะของหลอดไฟฟ้า** สามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภทใหญ่ๆ 3 ประเภทคือ

- ดวงโคมที่ใช้กับหลอดไส้
- ดวงโคมที่ใช้กับหลอดฟลูออเรสเซนต์
- ดวงโคมที่ใช้กับหลอดดิสชาร์จ HID

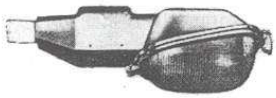
ดังรูป



เอกสารประกอบการสอนวิทยาลัยเทคนิคเจาะไอร้อง เจาะไอร้อง

โคมหัวเสาแบบมีขั้วด้านบน

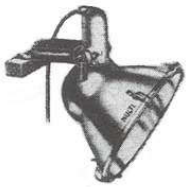
โคมแบบแหวนมีตัวสะท้อน RLM



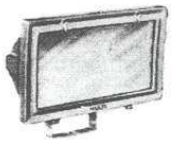
โคมที่ใช้ตามท้องถนน

โคมแบบ RLM อะลูมิเนียม

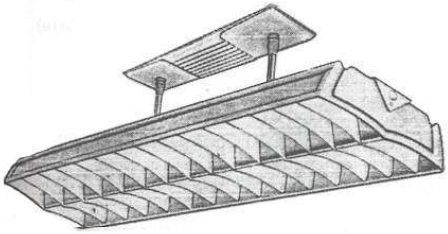
โคมแบบเคลือบปรอท



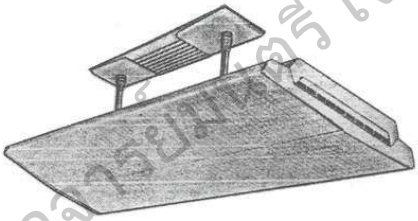
โคมแบบมีอะลูมิเนียมโดยรอบ



ดวงโคมฉาย



ดวงโคมสำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์

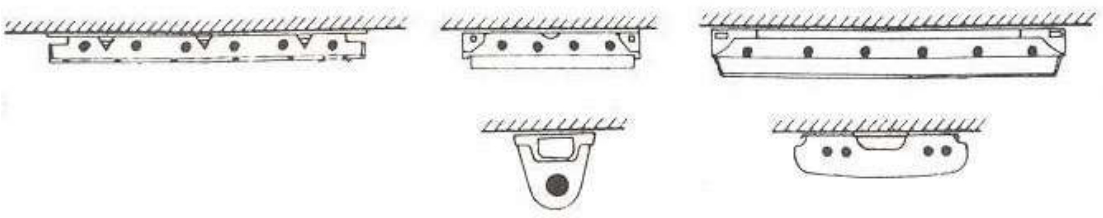


ดวงโคมสำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์

4.1.2 **แบ่งตามลักษณะการติดตั้ง** สามารถแบ่งตามลักษณะการติดตั้งได้เป็น 6 ประเภทใหญ่ๆ ประเภทคือ

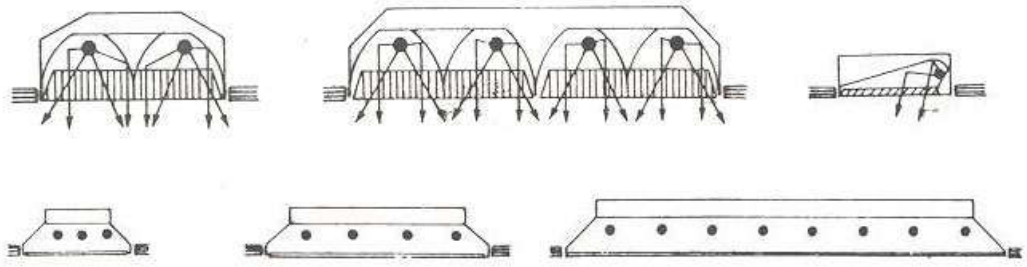
- แบบติดเพดาน (Surface)
- แบบติดฝังเพดาน (Recessed)
- แบบติดห้อย (Pendent)
- แบบติดผนัง
- แบบติดตั้งบนเสา
- แบบติดตั้งบนพื้น

ดังรูป



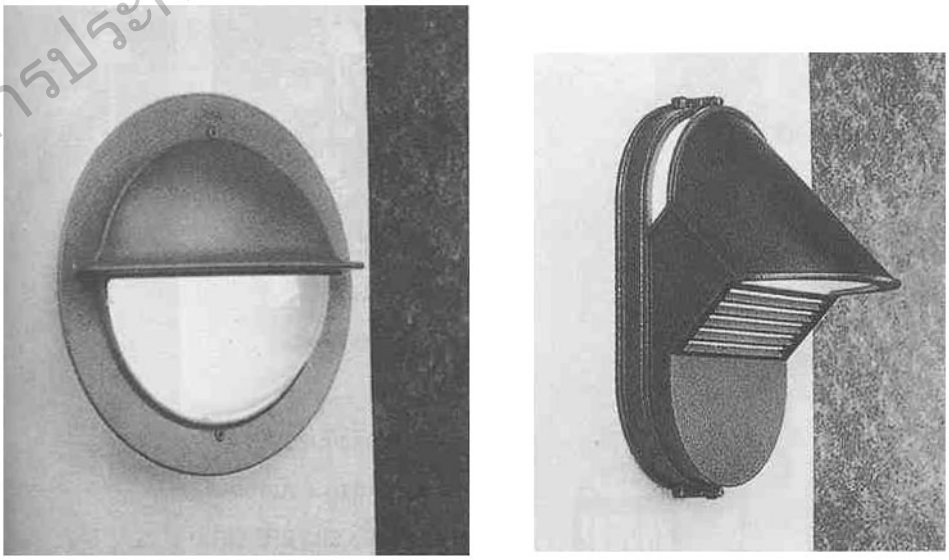
แบบติดเพดาน

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี เงาเดช



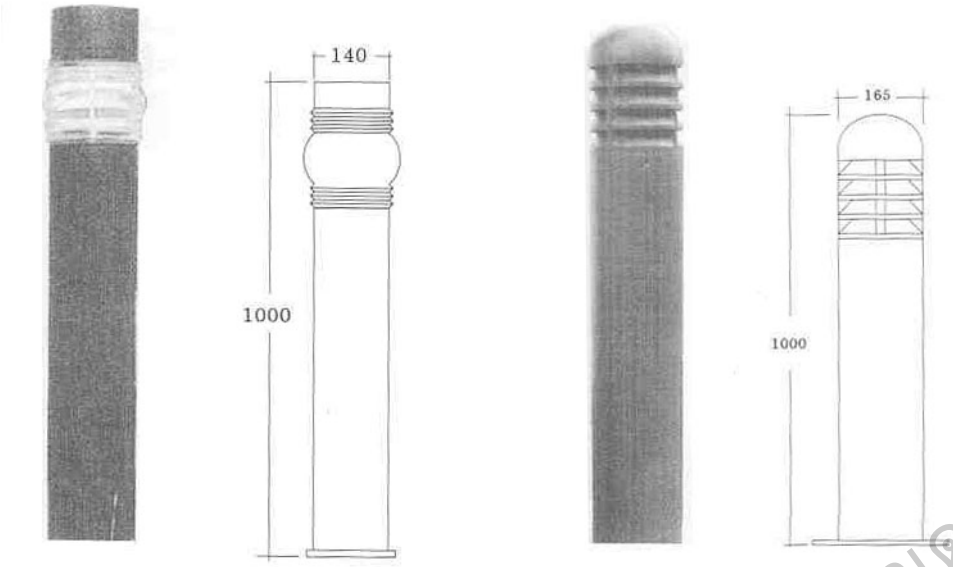
แบบติดฝังเพดาน

แบบติดห้อย

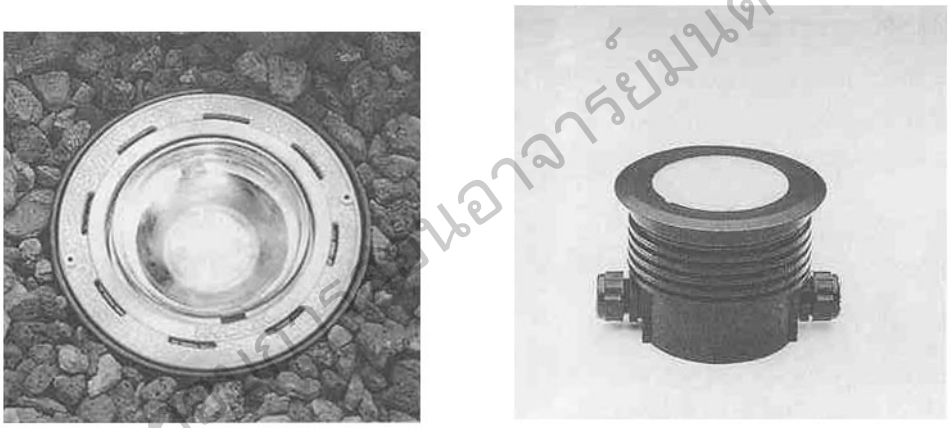


แบบติดผนัง

เอกสารประกอบการสอน วิทยาลัยเทคนิคราชมงคลรัตนโกสินทร์ เขาชะโงก



แบบติดตั้งหัวเสา



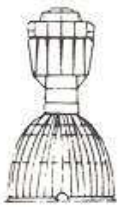
แบบติดตั้งบนพื้น

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เงาเดช

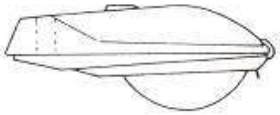
4.1.3 แบ่งตามลักษณะการใช้งาน สามารถแบ่งเป็นกลุ่มใหญ่ได้ดังนี้

- ดวงโคมใช้ภายในอาคาร
- ดวงโคมใช้ภายนอกอาคาร
- ดวงโคมสำหรับที่อยู่อาศัย
- ดวงโคมสำหรับงานอุตสาหกรรม
- ดวงโคมสำหรับไฟถนน
- ดวงโคมสำหรับงานพิเศษเฉพาะอย่าง เช่น โคมกันระเบิด , โคมไฟกันน้ำ , โคมไฟติดตั้งใต้น้ำ เป็นต้น

ดังรูป



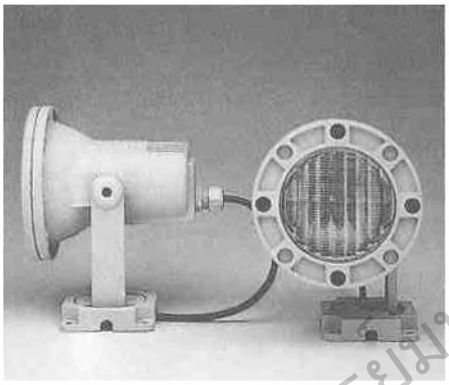
โคมไฟโรงงาน



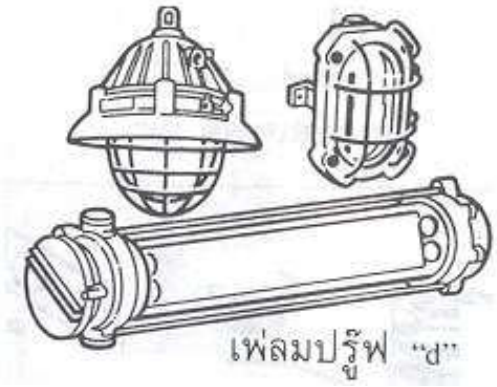
โคมไฟถนน

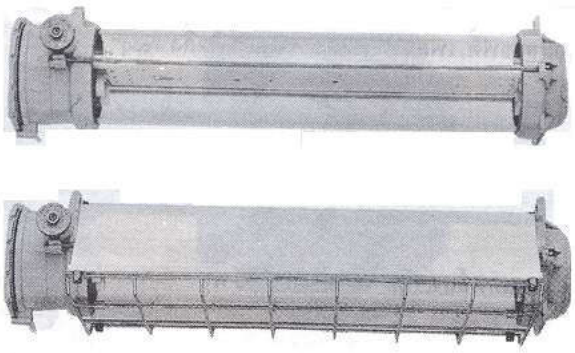
โคมกันระเบิด

โคมไฟตามบ้าน



โคมไฟติดตั้งใต้น้ำ





โคมกันระเบิด

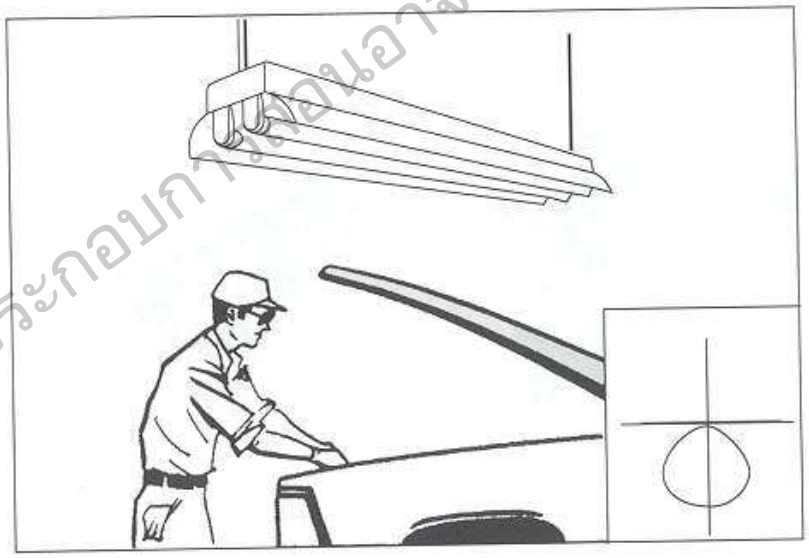
เอกสารประกอบการสอนวิทยาลัยการอาชีพนครปฐม

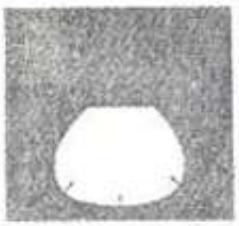
4.1.4 **แบ่งตามการกระจายแสง** จะพิจารณาการกระจายแสงในแนวดิ่งของดวงโคม คืออัตราส่วนระหว่างปริมาณแสงที่พุ่งจากดวงโคมลงสู่พื้นกับปริมาณแสงที่พุ่งจากดวงโคมขึ้นสู่เพดาน มี 6 ลักษณะคือ

- แบบกระจายแสงลง (Direct Luminaire)
- แบบกึ่งกระจายแสงลง (Semi-direct Luminaire)
- แบบกระจายแสงรอบด้าน (General Diffuse Luminaire)
- แบบกึ่งกระจายแสงขึ้นด้านบนและลงด้านล่าง (Direct-Indirect Luminaire)
- แบบกึ่งกระจายแสงขึ้นด้านบน (Semi-indirect Luminaire)
- แบบกระจายแสงขึ้นด้านบน (Indirect Luminaire)

แบบกระจายแสงลง (Direct Luminaire)

โคมประเภทนี้มีการกระจายแสงส่วนใหญ่ 90-100% ลงสู่ด้านล่าง หรือลงสู่พื้นงาน โคมประเภทนี้จึงสามารถควบคุมทิศทางของแสงไปยังพื้นที่ที่ต้องการได้ง่าย แต่ต้องระวังในเรื่องการจัดวาง หากวางไม่เหมาะสมแล้วจะเกิดเงาขึ้นระหว่างโคมที่อยู่ระหว่างกันได้ และมีความแตกต่างระหว่างเพดานกับดวงโคมมาก มีลักษณะดังรูป



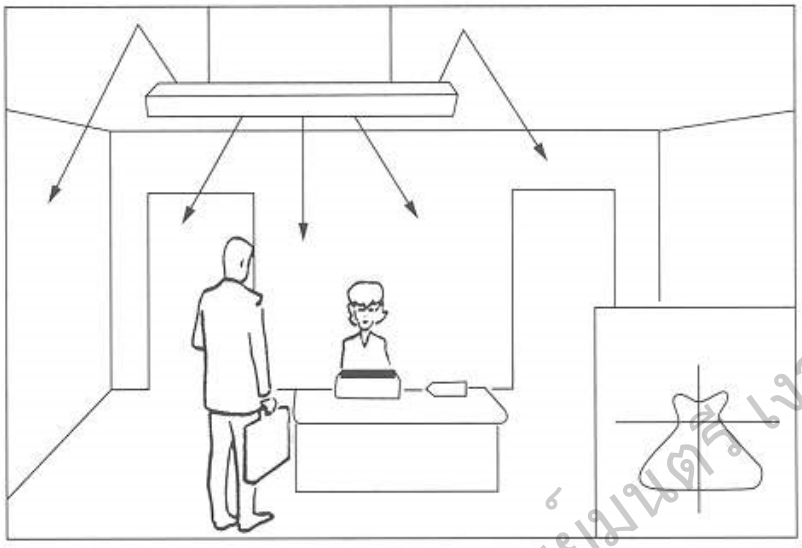


แบบกระจายแสงลง
(Direct Luminaire)

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เขาเดช

แบบกึ่งกระจายแสงลง (Semi-direct Luminaire)

โคมประเภทนี้มีการกระจายแสงลงสู่งาน 60-90% และขึ้นด้านบน 10-40% ซึ่งจะลดความแตกต่างระหว่างดวงโคมกับเพดานลงดีกว่าแบบแรก แต่ยังต้องระวังในเรื่องการจัดวางดวงโคมเช่นเดียวกับแบบแรก มีลักษณะดังรูป

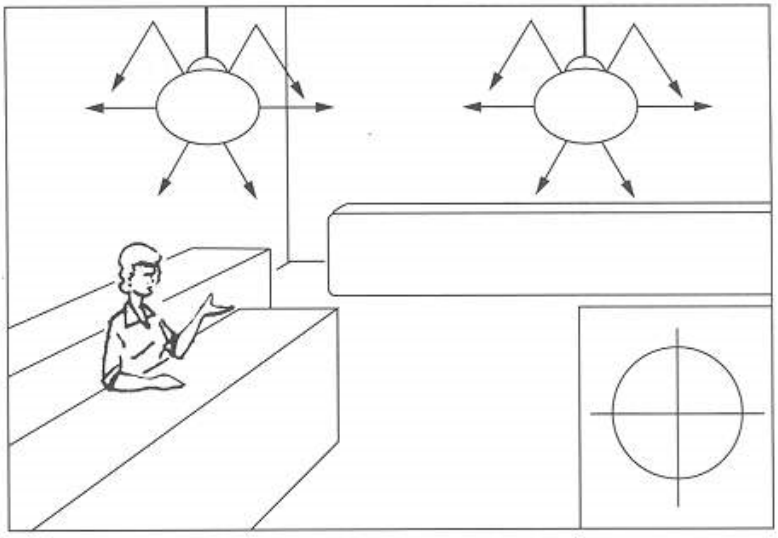


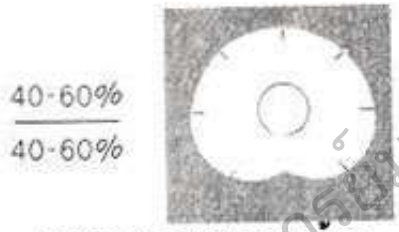
แบบกึ่งกระจายแสงลง
(Semi-direct Luminaire)

แบบกระจายแสงรอบด้าน (General Diffuse Luminaire)

โคมประเภทนี้มีการกระจายแสงลงสู่งานและขึ้นด้านบน มีเท่าๆ กัน ทุกทิศทาง ข้อดีคือค่าความจ้าของแสงสว่างจะสม่ำเสมอกันทั่วทั้งห้องและดูสบายกว่าสองแบบแรก แต่มีข้อเสียในเรื่องการควบคุมแสงให้ไปตกที่งานเป็นไปด้วยความยากลำบากและมีแสงพุ่งออกไปด้านข้างของดวงโคม มีลักษณะดังรูป

เอกสารประกอบการสอนวิทยาลัยเทคนิคสิงห์บุรี

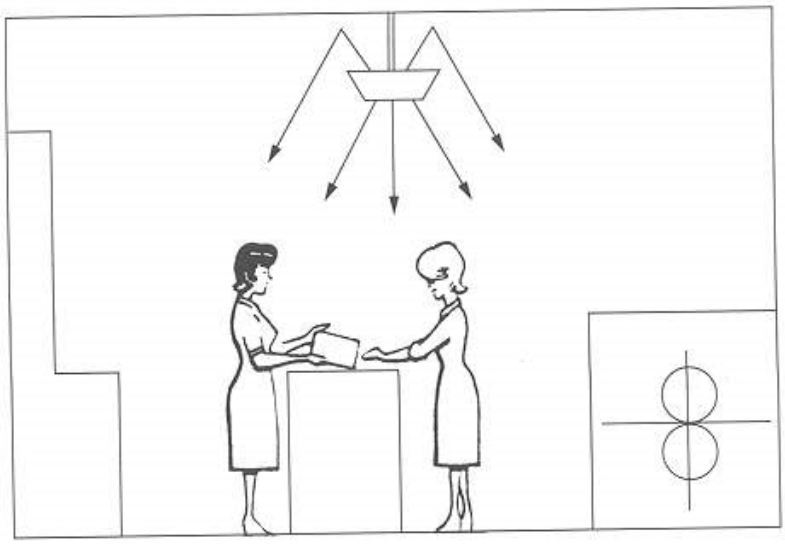




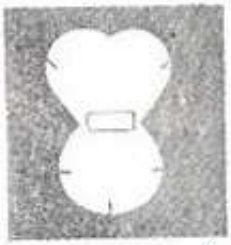
แบบกระจายแสงรอบด้าน
(General diffuse Luminaire)

แบบกึ่งกระจายแสงขึ้นด้านบนและลงด้านล่าง (Direct-Indirect Luminaire)

จะมีลักษณะคล้ายกับแบบกระจายแสงรอบด้านต่างกันที่จะไม่มีแสงออกด้านข้างของดวงโคม มีลักษณะดังรูป



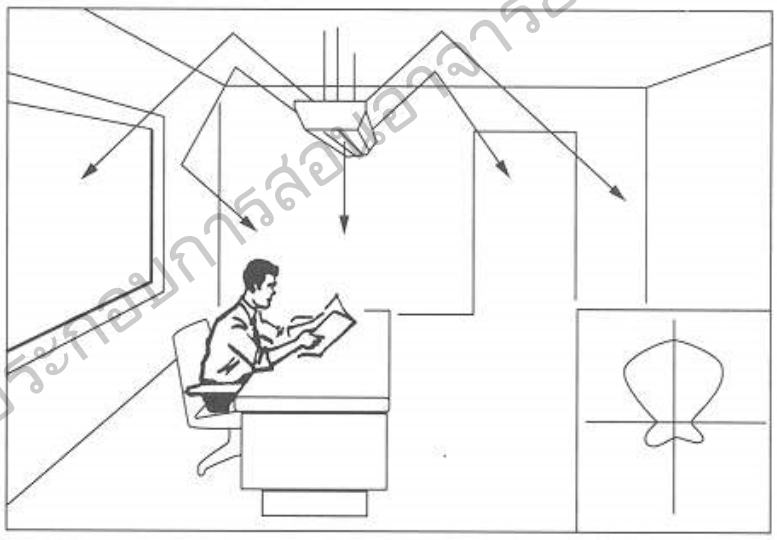
เอกสารประกอบการสอนอาจารย์ปนตรี เงาเดช

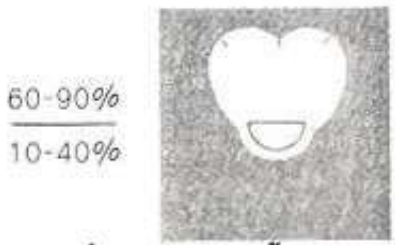


แบบกระจายแสงขึ้น-กระจายแสงลง
(Direct-Indirect Luminaire)

แบบกึ่งกระจายแสงขึ้นด้านบน (Semi-indirect Luminaire)

โคมประเภทนี้มีการกระจายแสงลงสู่งาน 10-40% และขึ้นด้านบน 60-90% ซึ่งสามารถลดแสงแยงตาได้ดี เนื่องจากแสงส่วนใหญ่ขึ้นสู่เพดาน จึงเปรียบได้ว่าเพดานเป็นแหล่งกำเนิดแสงขนาดใหญ่ของห้อง ดังนั้นเพดานของห้องจะต้องมีความสามารถในการสะท้อนแสงสูงมากและมีระยะห่างในการติดตั้งดวงโคมกับเพดานพอสมควรจึงจะได้แสงที่เหมาะสม



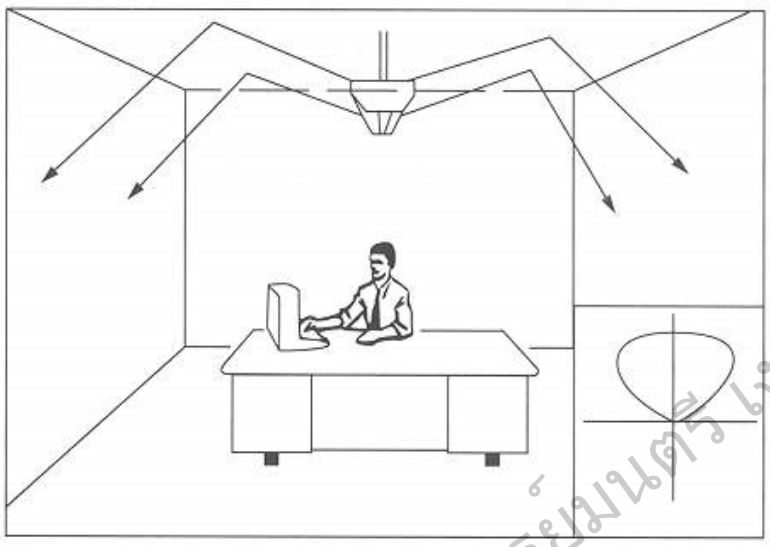


แบบกึ่งกระจายแสงขึ้น
(Semi-indirect Luminaire)

แบบกระจายแสงขึ้นด้านบน (Indirect Luminaire)

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เงินเดช

โคมประเภทนี้มีการกระจายแสงลงสู่งาน 0-10% และขึ้นด้านบน 90-100% ซึ่งสามารถลดแสงแยงตาได้ดีมากและความจ้าของแสงสว่างภายในห้องจะดูสม่ำเสมอเกือบเท่ากันทั้งห้อง
ข้อเสีย คือ การติดตั้งจะต้องติดตั้งดวงโคมให้อยู่ต่ำกว่าเพดานอย่างพอเหมาะจึงจะได้แสงสะท้อนออกจากเพดานลงบนพื้นงานได้สม่ำเสมอ



แบบกระจายแสงขึ้น
(Indirect Luminaire)

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เงาเดช

4.2 ค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์ (Coefficient of Utilization) , CU

คือ อัตราส่วนระหว่างลูเมนที่ตกลงไปถึงพื้นที่งานที่เราต้องการต่อลูเมนที่ออกมาจากดวงโคม

ค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์ขึ้นอยู่กับตัวแปรต่างๆ ดังนี้

- ลักษณะการกระจายแสงของดวงโคม
- ขนาดห้อง ความกว้าง , ความยาว , ความสูง
- ค่าสามารถในการกระจายแสงและสะท้อนแสงของ เพดาน ผนัง และพื้น

4.3 ประสิทธิภาพของดวงโคม

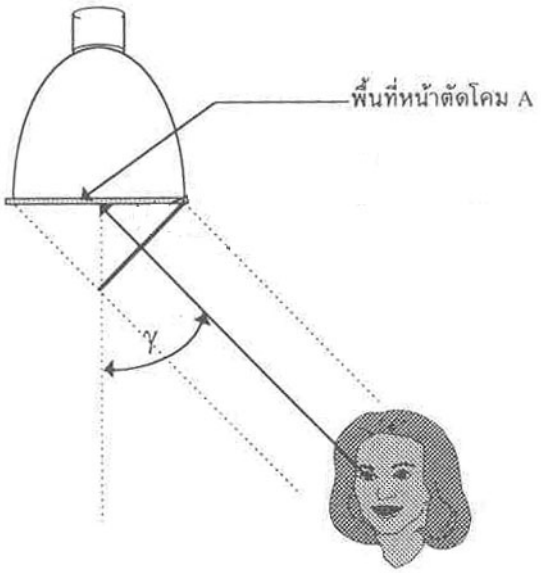
คือ ค่าอัตราส่วนระหว่างปริมาณเส้นแรงของแสงสว่างรวมของดวงโคมต่อปริมาณเส้นแรงของแสงสว่างรวมที่ออกมาจากหลอดไฟฟ้า

$$\text{ประสิทธิภาพของดวงโคม} = \frac{\text{ปริมาณเส้นแรงของแสงสว่างรวมของดวงโคม (ลูเมน)}}{\text{ปริมาณเส้นแรงของแสงสว่างรวมของหลอดไฟฟ้า (ลูเมน)}}$$

4.4 แสงบาดตา

การออกแบบระบบแสงสว่างไม่ได้มองในเรื่องของแสงสว่างของห้องเพียงอย่างเดียวแต่ยังต้องคำนึงถึงความสบายของการมองของตาด้วยซึ่งถึงเป็นเรื่องสำคัญไม่แพ้เรื่องความสว่าง ซึ่งหากจะกำหนดว่าโคมไฟฟ้าที่ดีนั้นควรดูในเรื่อง ความปลอดภัย ความสวยงาม วัสดุที่ใช้ทำและคุณลักษณะทางด้านแสงที่ออกมาจากโคม รวมไปถึงเรื่อง แสงบาดตาด้วย

แสงบาดตาคือแสงที่ออกมาจากดวงโคมที่เรามองในมุมที่กระทำในแนวดิ่งของโคมเดิน 45 องศา แล้วมีความรู้สึกว่ามีแสงเข้ามารบกวนการมองเห็นของตา ดังรูป



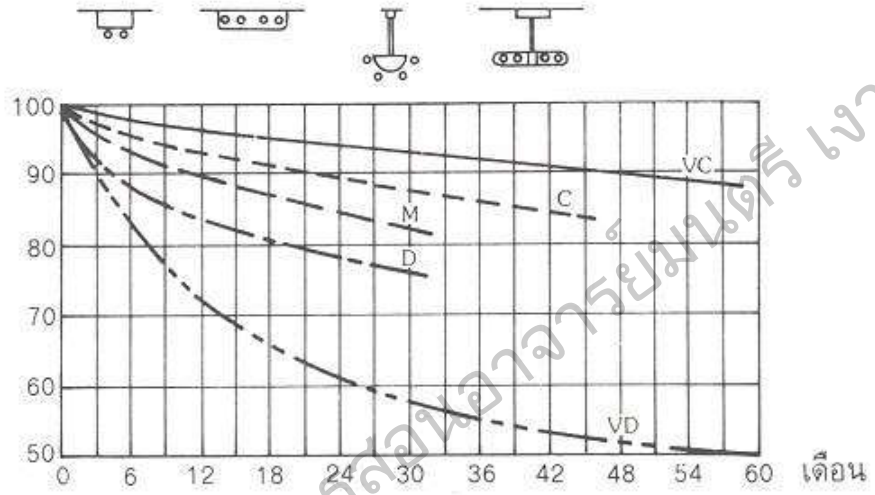
เอกสารประกอบการสอนวิทยาลัยเทคโนโลยีมนตรี เงาเดช

4.5 ตัวประกอบความสูญเสียของแสงสว่าง

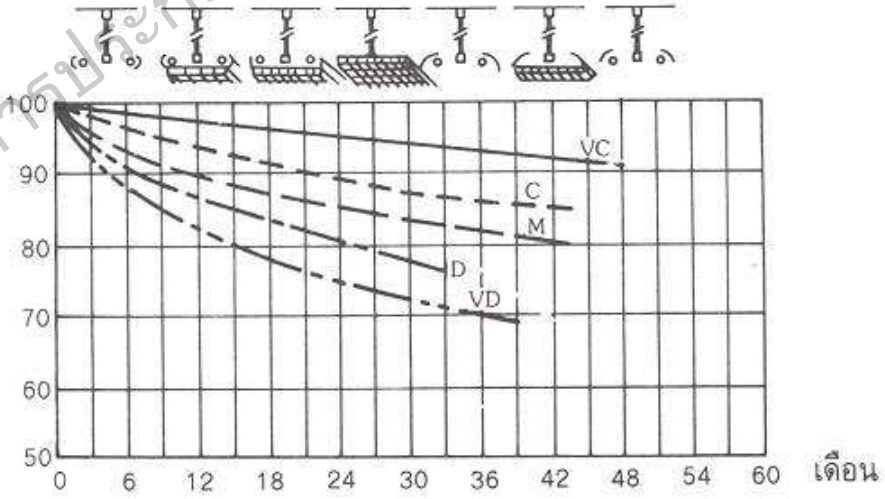
ดวงโคมไฟฟ้าเมื่อถูกใช้ไปนานๆ ความสามารถในการสะท้อนแสงก็จะลดลง เนื่องจากการสะสมของฝุ่นละออง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสถานการณ์ที่เราติดตั้งว่ามีความสะอาด หรือสกปรกมากมายเพียงใด

การที่ดวงโคมมีความสามารถในการสะท้อนแสงลดลงอันเนื่องจากการสะสมของฝุ่นละอองในบรรยากาศ นี้เราเรียกว่า “ความเสื่อมอันเนื่องมาจากความสกปรกของดวงโคม” (Luminaire Dirt Depreciation) ซึ่งจะใช้ในขั้นตอนการออกแบบระบบแสงสว่าง

โดยสามารถค่า LDD ได้ดังกราฟทั้ง 6 ชนิดของโคม

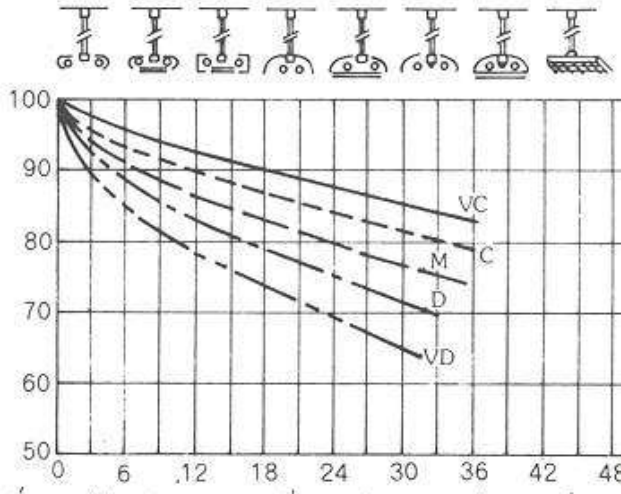


ประเภทที่ 1 เป็นดวงโคมแบบกึ่งกระจายแสงลง ดวงโคมเป็นแบบเปิด

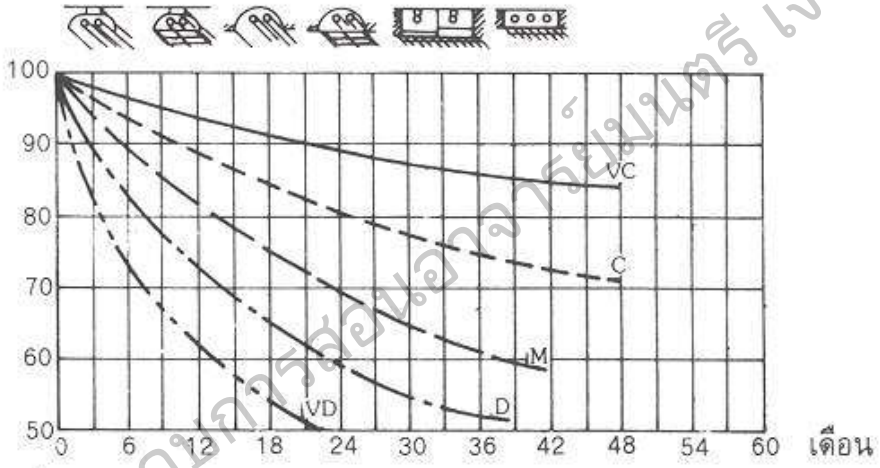


ประเภทที่ 2 ด้านบนเป็นแบบเปิดเช่นกัน แต่มีตะแกรงอยู่ด้านล่าง

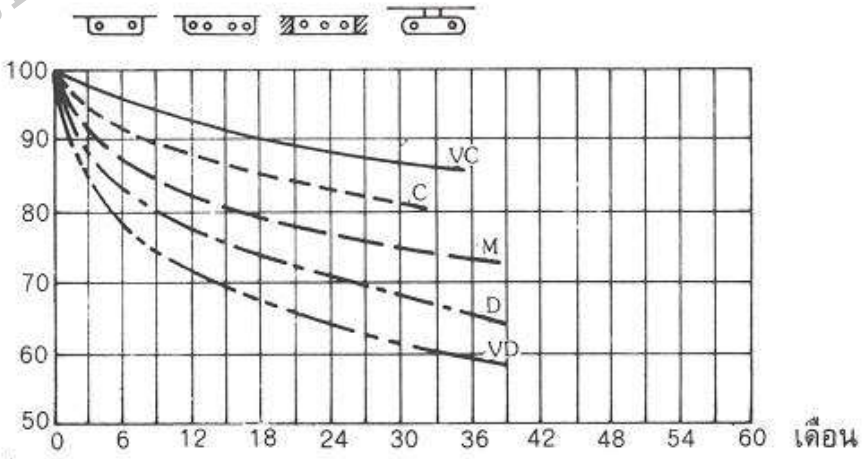
เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เงาเดช



ประเภทที่ 3 คล้ายกับประเภทที่ 2 แต่ตะแกรงมีความถี่มากกว่าคือ ระยะระหว่างตะแกรงน้อยกว่า 1 นิ้ว

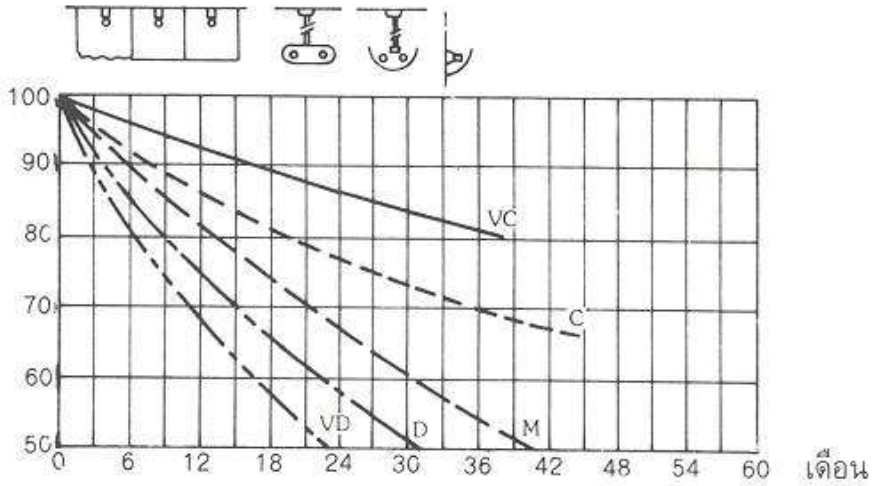


ประเภทที่ 4 เป็นแบบกระจายแสงลง ด้านบนปิด และอาจมีตะแกรงอยู่ด้านล่าง



ประเภทที่ 5 เป็นแบบกระจายแสงลงหรือกึ่งกระจายแสงลง ตัวดวงโคมปิดมิดชิด

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์ณัฐนันทร์ เงาเดช



ประเภทที่ 6 เป็นแบบกระจายแสงลงหรือกึ่งกระจายแสงลง ใช้ส่องสว่างเพดานหรือแนวเพดานเป็นส่วนใหญ่

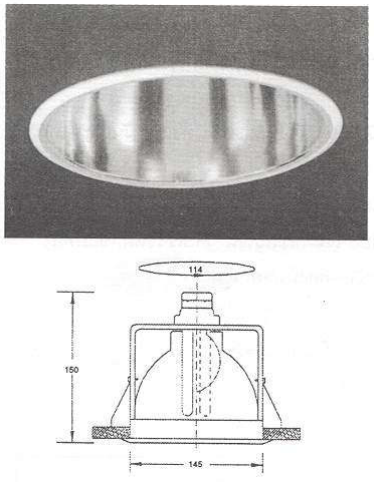
เอกสารประกอบการสอนสำนักงานปลัดกระทรวงพลังงาน

4.6 โคมไฟฟ้าที่นิยมใช้กันในปัจจุบัน

โคมไฟส่องลง (Down Light)

โคมไฟประเภทนี้เป็นโคมที่ใช้กันโดยทั่วไป มีทั้งแบบที่ใช้กับหลอด GLS หลอด PAR 38 หลอดฮาโลเจนแรงดันต่ำและ หลอดคอมแพคท์ฟลูออเรสเซนต์ โคมไฟประเภทนี้มีใช้กันมากรองจากโคมฟลูออเรสเซนต์ โคมไฟส่องลงมีหลายแบบขึ้นอยู่กับชนิดของหลอดที่ใช้ดังนี้

<u>โคมไฟส่องลงหลอด GLS</u> ใช้กับเพดานความสูง 2.5-3 เมตร ใช้กับงานที่ต้องการแสงนุ่มและให้ความรู้สึกที่อบอุ่น แต่อายุการใช้งานสั้น 1000 ชม.และต้องเปลี่ยนหลอดบ่อยยกเว้นจะใช้งานร่วมกับตัวหรี่ไฟ โคมส่องลงหลอดแบบนี้ก็ยังมีใช้กันมากเพราะมีความเหมาะสมมากที่สุดประเภทหนึ่งสำหรับความสูงเพดานมาตรฐานทั่วไปที่ 2.5-3 เมตรเมื่อไม่พิจารณาเรื่องอายุการใช้งาน



โคมไฟส่องลง 100 วัตต์ที่ความสูง 2.5 เมตรจะให้ความส่องสว่างที่พื้น 100 ลักซ์ ส่วนโคมไฟส่องลงหลอด 60 หรือ 40 วัตต์ ก็ใช้ในบริเวณที่ต้องการความส่องสว่างน้อยลงมา

หลอด GLS ที่ใช้กับโคมไฟส่องลงถ้าใช้หลอดชนิดเคลือบก็ให้แสงที่อกมานวล ถ้าหากใช้หลอดใสแสงที่ได้ออกมาเห็นวงแสงเป็นวงหลายวงที่พื้นชัดมาก

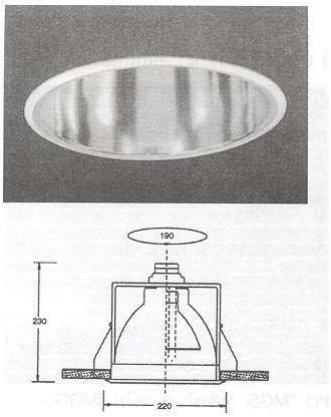
โคมไฟส่องลงโดยทั่วไปมีตัวสะท้อนแสง 2 แบบ คือ ตัวสะท้อนแสงสีทอง และ เงิน โคมแบบตัวสะท้อนแสงสีทองมีหลายอย่าง คือ สีทองมาก ทองจาง และทองอ่อนๆ ที่เรียกวา แชมเปญ ตัวสะท้อนแสงสีทองใช้สำหรับพื้นที่ที่ต้องการบรรยากาศดูอบอุ่น เช่น บ้านที่อยู่อาศัย โรงแรม เป็นต้น ส่วนโคมแบบตัวสะท้อนแสงสีเงินใช้สำหรับกรณีที่ต้องการส่องสว่างพื้นที่ที่มีกิจกรรมซึ่งต้องการความสว่างและดูอบอุ่นน้อยกว่าแลลสะท้อนแสงสีทอง

โคมไฟสะท้อนแสงที่มีประสิทธิภาพสูง มักมีตัวสะท้อนแสงที่ดีมากๆ ทำให้ต้องระวังมากเวลาติดตั้งเพราะตัวสะท้อนแสงถ้าถูกมือจะเป็นรอยนิ้วมือจะเช็ดออกยาก ดังนั้นเวลาติดตั้งโคมไฟส่องลงที่มีตัวสะท้อนแสงที่ดีมากต้องให้คนงานใส่ถุงมือด้วย

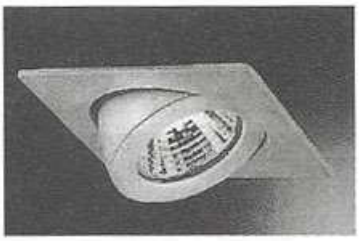
โคมไฟส่องลงแบบใช้หลอด GLS โดยทั่วไปไม่สามารถใส่หลอดคอมแพคท์ได้เพราะจะมีแสงบาดตามาก โคมไฟส่องลงที่ใช้หลอดคอมแพคท์เป็นโคมไฟที่ถูกออกแบบมาใช้สำหรับหลอดคอมแพคท์โดยเฉพาะ ถ้าเป็นโคมในประเทศที่ต้องการเปลี่ยนหลอดจากหลอดอินแคนเดสเซนต์มาเป็นคอมแพคท์เวลาจะเลือกใช้โคมใดควรใส่หลอดและเสียบไฟลองดูว่ามีแสงบาดตามากหรือน้อยเพียงใด บางแห่งเดิมเคยใช้หลอด GLS กับโคมไฟส่องลงแต่มาในภายหลังต้องการประหยัดไฟก็หันมาใช้หลอดคอมแพคท์กับโคมเดิม เมื่อเปลี่ยนหลอดคอมแพคท์เข้าไปแสงที่ออกมาจากโคมค่อนข้างบาดตามาก

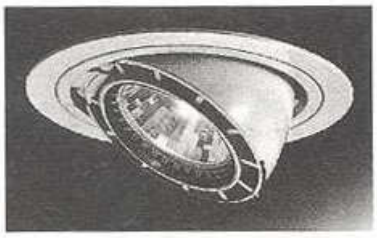
เอกสารประกอบการสอนอาจารย์ไพฑูรย์ เจนเดช

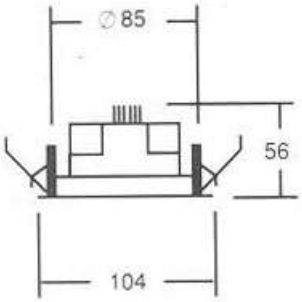
<u>โคมไฟส่องลงหลอด PAR 38</u> ใช้กับฝ้าเพดานสูงๆ 4-8 เมตร ใช้งานแบบเดียวกับหลอด GLS อายุการใช้งานประมาณ 2000 ชม. และมักใช้ร่วมกับตัวหรี่ไฟเพราะเปลี่ยนหลอดยากถ้าใช้กับเพดานสูง

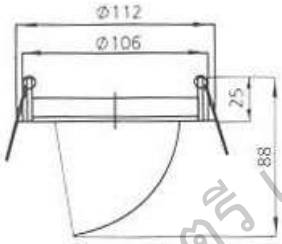


โคมไฟส่องลงหลอดฮาโลเจนแรงดันต่ำ ใช้กับงานที่ค่อนข้างทันสมัย แสงที่ได้ออกมาจะดูมีประกายและบาดตาบ้าง แสงจากหลอดฮาโลเจนแรงดันต่ำมีสีขาวกว่าหลอด GLS อายุการใช้งานประมาณ 3000 ชม. โคมดังกล่าวมีขนาดเล็กที่สุดเมื่อเทียบกับโคมไฟส่องลงชนิดอื่นๆ

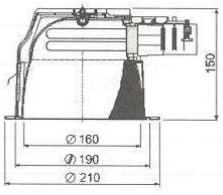








โคมไฟส่องลงหลอดคอมแพคท์ ใช้กับงานที่ต้องการประหยัดพลังงานไฟฟ้าหรือค่าไฟฟ้า หรือไม่ในบริเวณที่มีการปิดไฟทิ้งไว้เป็นระยะเวลานานหรือไม่ต้องการเปลี่ยนหลอดบ่อย เพราะหลอดประเภทนี้มีอายุการใช้งานนานกว่าหลอดทุกชนิดที่กล่าวมาข้างต้น



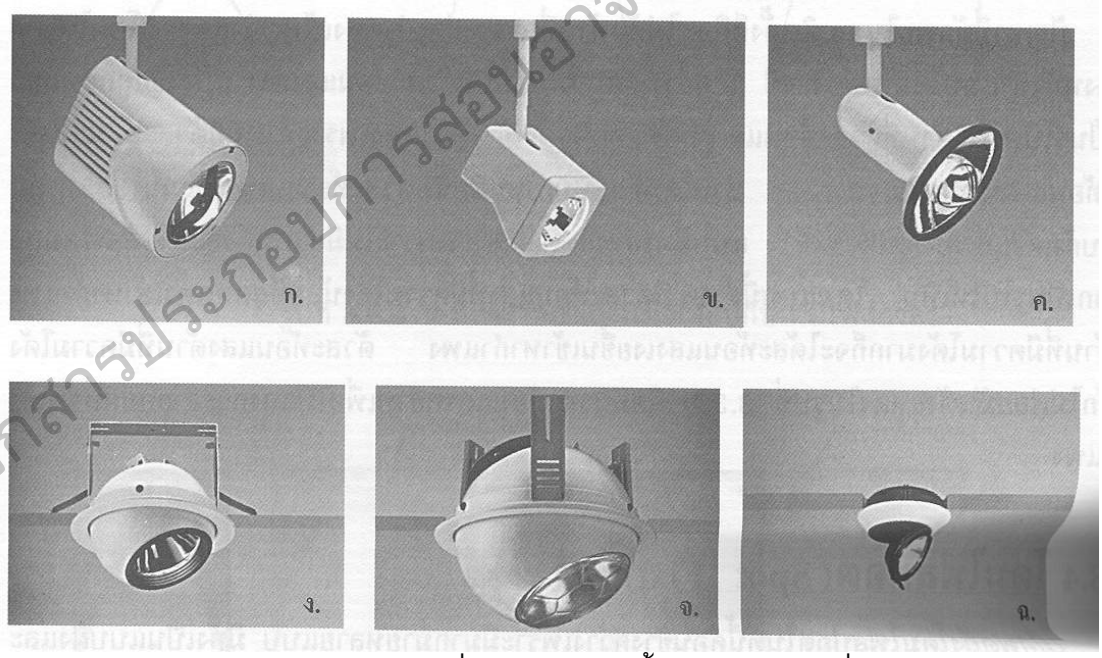
โคมไฟสปอต (Spot Fixture)

โคมไฟสปอตมีหลายแบบ มีทั้งเป็นแบบฝังและแบบติดตั้งลอยแต่ปรับมุมได้เพื่อส่องไปในทิศทางที่ต้องการได้ หลอดที่ใช้ก็มีหลายชนิดแล้วแต่ความต้องการทางด้านแสงสว่างต้องการอย่างไร มีตั้งแต่หลอด GLS หลอดแรงดันต่ำ 12 โวลท์ 20 หรือ 50 วัตต์ และหลอด PAR 38 ขนาด 120 วัตต์แบบสปอต เป็นต้น ตัวอย่างโคมไฟสปอตได้แสดงในรูป

เอกสารประกอบการสอน การยิมนตรี เงาเดช

การให้แสงจากโคมไฟสปอตมีหลักการโดยทั่วไป คือ ให้แสงแล้วควรมีความส่องสว่างประมาณ 3.5 เท่า ของแสงรอบข้าง เช่น ห้องโดยรอบมีความส่องสว่างประมาณ 100 ลักซ์ ถ้าต้อการให้แสงสว่างที่วัตถุใดก็ตามควรมีความส่องสว่างประมาณ 300-500 ลักซ์ วัตถุดังกล่าวจึงดูเด่น แต่ถ้าวัตถุนั้นมีสีดำ เช่นรูปปั้นสีดำ การให้แสงก็ต้องมากขึ้นอาจถึง 7-10 เท่า การให้แสงเพื่อให้มีความส่องสว่างที่ประมาณ 3-5 เท่า จะเป็นการให้แสงที่กลมกลืน แต่ถ้าต้องการให้แสงที่ดูแล้วเด่นในความสลัวเราเรียกการให้แสงแบบนั้นว่า การให้แสงแบบโรงมหรสพ หรือ การละคร Theater Effect or Dramatic Effect ก็ต้องให้แสงมากกว่าบริเวณรอบข้างประมาณ 10-20 เท่า แต่แบบนี้จะได้ผลออกมาตามที่ต้องการก็ต้องมีความส่องสว่างรอบข้างค่อนข้างมืด เช่นรอบข้างมีความส่องสว่าง 20 ลักซ์ จุดที่ต้องส่องสว่างควรมีความส่องสว่างประมาณ 400 ลักซ์ เป็นต้น

การให้แสงจากโคมไฟสปอตก็ควรพิจารณาถึงวงแสงด้วย เพราะ ถ้าให้ความส่องสว่างกับวัตถุแต่วงแสงกว้างมากก็ทำให้ไม่ได้ส่องแต่วัตถุอย่างเดียวแต่ไปส่องบริเวณด้านข้างด้วย ทำให้วัตถุไม่ได้เป็นจุดเน้นตามที่ต้องการ ดังนั้นมุมของลำแสงจึงค่อนข้างสำคัญ นอกจากนี้โคมไฟสปอตพวกนี้บีบลำแสงให้เป็นลำแคบ ความร้อนที่เกิดขึ้นจึงมีมากดังนั้นเวลาใช้ก็ไม่ควรใช้ส่องวัตถุที่เปลี่ยนรูปหรือเสียคุณภาพเนื่องจากความร้อน โดยทั่วไปมักมีคำแนะนำให้วางโคมและหลอดให้ห่างจากวัตถุไม่น้อยกว่า 1-1.5 เมตร



รูป ตัวอย่างโคมไฟสปอตเพื่อส่องวัตถุหรือชิ้นงานในทิศทางที่ต้องการ

ก) โคมไฟแรงดันต่ำติดราง หรือติดลอย เป็นชนิดมีหม้อแปลงในตัว

ข) โคมไฟแรงดันต่ำติดรางไฟ หรือติดลอย ไม่มีหม้อแปลงในตัว

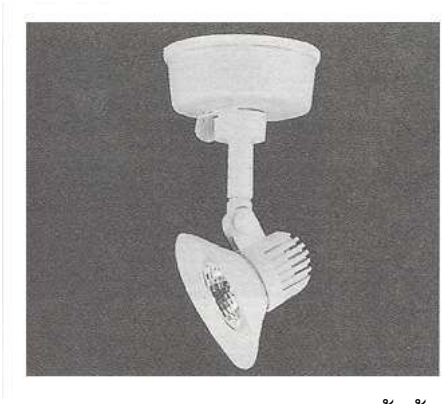
ค) โคมไฟหลอด GLS ครอบด้วยอะลูมิเนียมครึ่งทรงกลม

ง) โคมไฟฝังตาแมวหลอดฮาโลเจน

จ) โคมไฟฝังตาแมวหลอด PAR

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เกตุเสน

ฉ) โคมไฟฝังเป็นได้ทั้งโคมไฟส่องลงหรือโคมไฟสปอต

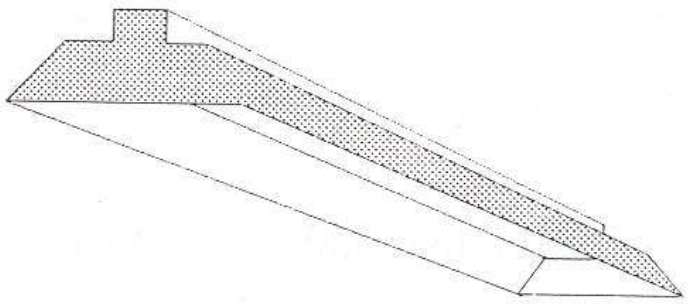


รูป ตัวอย่างโคมไฟสปอตแบบติดตั้งพื้นผิว

โคมไฟฟลูออเรสเซนต์แบบอุตสาหกรรม (Industrial Fixture) หรือ โคมโรงงาน

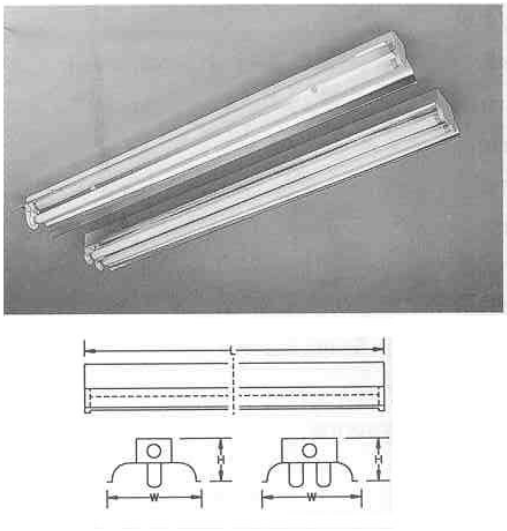
ใช้กันมากในพื้นที่ต้องการไฟส่องลงอย่างเดียว เช่น ในโรงงานอุตสาหกรรม ห้องเครื่องไฟฟ้า เป็นต้น โคมแบบนี้ประหยัดค่าไฟฟ้าเพราะแสงที่ออกจากโคมถูกตัวสะท้อนแสงของโคมบีบแสงลงมาข้างล่างเพื่อใช้งานอย่างเดียว แบบนี้ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมมากสำหรับความสูงเพดานที่ไม่เกิน 5-7 เมตร ถ้าความสูงเกินกว่านี้ก็ควรใช้หลอดดีสชาร์จแทนโคมแบบนี้ต่างจากโคมเปลือยตรงที่ว่ามีตัวสะท้อนแสงซึ่งมักมีสีขาว และใช้ป้องกันทางกลด้วยเผื่อมีอะไรมากระแทกถูกก็ยังไม่โดนหลอดแตก จึงมักนิยมใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมโคมไฟแบบอุตสาหกรรมใช้ป้องกันทางกลไม่ให้กระแทกถูกหลอดแตกได้ง่าย

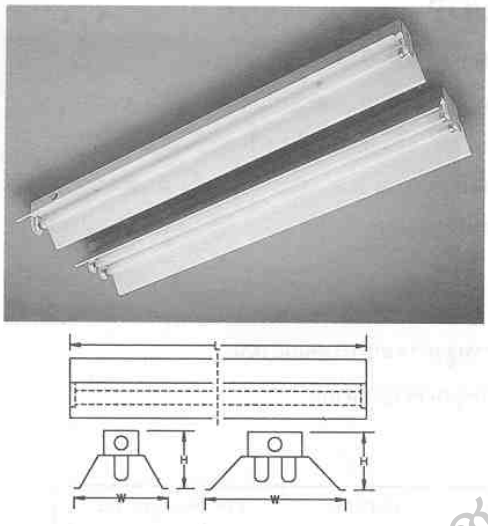
ถ้าไม่พิถีพิถันเกี่ยวกับความสวยงามและเรื่องแสงบาดตา ก็สามารถใช้ในสำนักงานโดยทำเป็นแบบฝังฝ้า หรือ ใช้ในห้างสรรพสินค้าก็ได้ เพราะถ้าใช้ในพื้นที่มากๆก็ทำให้ประหยัดค่าไฟฟ้าได้มาก ในต่างประเทศมีการใช้โคมประเภทนี้แบบฝังในฝ้ากันทั้งในสำนักงาน และห้างสรรพสินค้า แต่ในเมืองไทยค่อยเห็นกันเพราะยังพิถีพิถันเรื่องความสวยงามเป็นหลักมาก



รูป โคมไฟฟลูออเรสเซนต์แบบอุตสาหกรรม

เอกสารประกอบการสอน วิทยาลัยเทคนิคสมุทรสงคราม





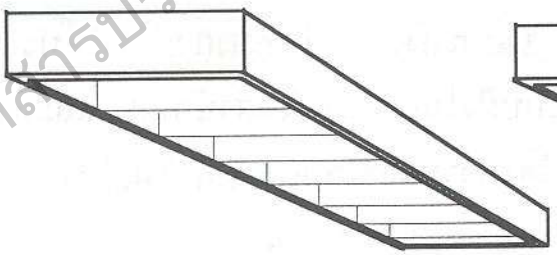
โคมโรงงาน 1x36 , 2x36W

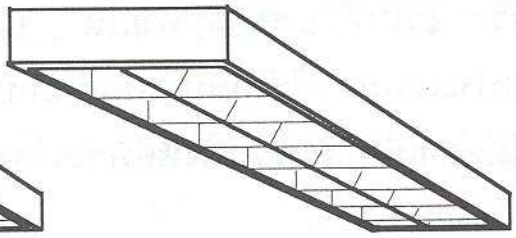
โคมโรงงาน 1x36 , 2x36W

โคมไฟประเภทนี้ใช้ไฟฟ้าประมาณ 2.5-3 วัตต์/ตารางเมตร/100 ลักซ์ โคมประเภทนี้เสียค่าใช้จ่ายไฟฟ้าน้อยกว่าแบบโคมไฟส่องลงหลอดอินแคนเดสเซนต์ ถึง 3-4 เท่า ที่ความส่องสว่างเดียวกัน

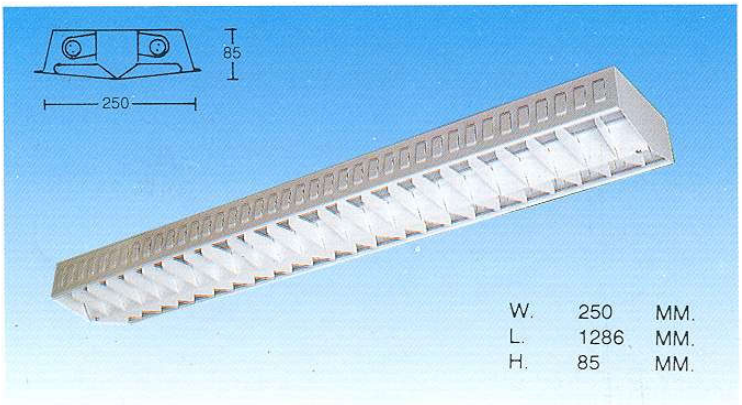
โคมไฟฟลูออเรสเซนต์แบบครีบ (Fin Louver)

โคมไฟแบบครีบ หรือเรียกว่า FIN LOUVER บางทีเรียกว่าโคมโรงเรียนเพราะใช้ในโรงเรียนมาก โคมแบบนี้มีครีบสีขาวและถ้ามีจำนวนครีบมากทำให้มีแสงบาดตาน้อยลงแต่การให้แสงที่ออกมาก็น้อยตามลงไปด้วย โคมแบบนี้ดูแล้วก็เหมือนโคมแบบอุตสาหกรรมแต่เพิ่มครีบเข้าไปเพื่อไม่ให้เห็นหลอดเท่านั้น ยิ่งมีครีบมากก็ทำความสะอาดลำบากมากขึ้น

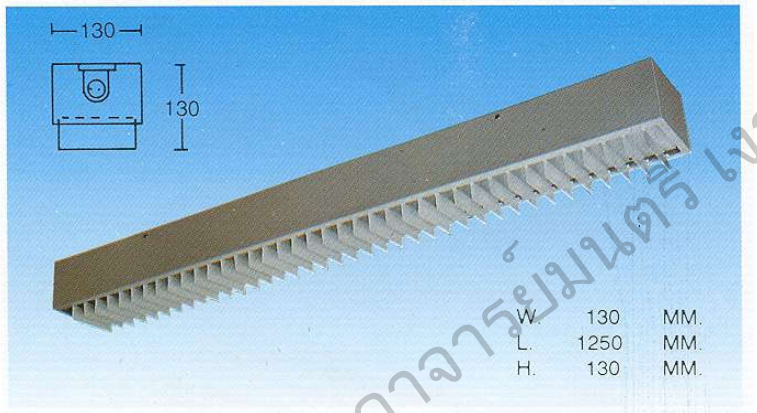




เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เงาเดช



VCK 018 C โคมก้างปลาปั๊มตุงสีขาว 2 x 40 W.



VCK 020 C โคมก้างปลาตรงฐานสีขาว 1 x 40 W.

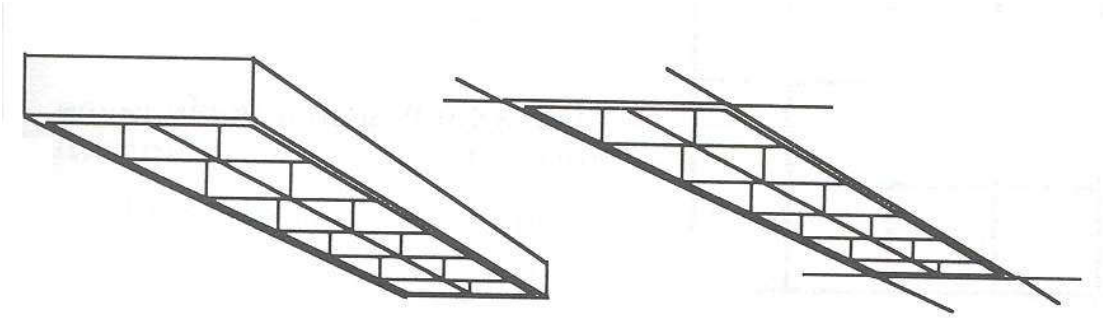
โคมแบบนี้ถ้าใช้ที่ความสูงประมาณ 2.5 เมตร ใช้ไฟฟ้าประมาณ 3-4 วัตต์/ตารางเมตร/100 ลักซ์ วัตต์ต่อตารางเมตรมีค่ามากหรือน้อยก็ขึ้นอยู่กับจำนวนครีบที่มีด้วย ถ้ามีครีบมากก็ใช้วัตต์ต่อตารางเมตรมาก และอาจใช้ไฟมากพอๆกับโคมแบบตัวกรองแสงขาวขุ่น

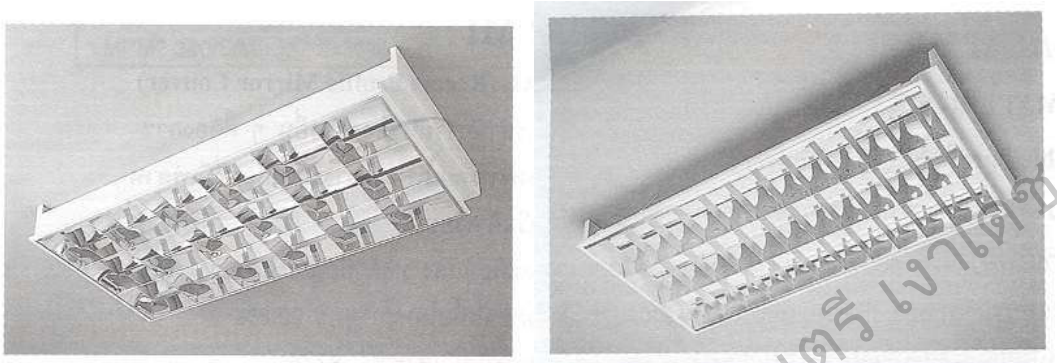
ในรูปแสดงโคมฟลูออเรสเซนต์แบบครีบชนิดติดลอย ซึ่งมีทั้งที่เป็นแบบครีบอย่างเดียวตามรูปทางซ้ายมือและแบบมีครีบพร้อมแกน V ตรงกลางดังในรูปทางขวาของรูป โคมมีทั้งแบบติดลอยและแบบฝัง

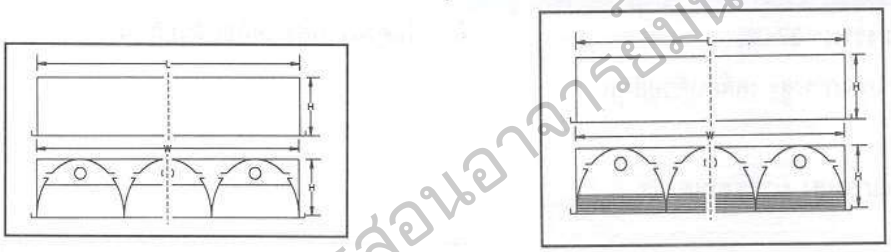
เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เงาเดช

โคมไฟฟลูออเรสเซนต์แบบตัวสะท้อนแสงอะลูมิเนียม

ใช้กันมากในสำนักงาน เพราะให้แสงออกมาจากโคมมาก ลักษณะโคมเหมือนกับโคมแบบครีบแต่มีตัวสะท้อนแสงทำด้วยอะลูมิเนียมด้วย โคมแบบตัวสะท้อนอะลูมิเนียมแสดงไว้ในรูป อะลูมิเนียมที่ใช้มี 2 แบบ คืออะลูมิเนียมแบบกระจก (Kiooro Reflector) และ แบบด้าน (Matt Reflector) อะลูมิเนียมแบบกระจกให้แสงที่ค่อนข้างบาดตามาก เพราะอะลูมิเนียมที่มีสัมประสิทธิ์แสงมากแต่สัมประสิทธิ์การกระจายแสงน้อย อะลูมิเนียมที่ใช้ส่วนใหญ่ส่วนมากจากต่างประเทศเพราะถ้าใช้แบบไม่ดี เวลาใช้ไปนานๆอะลูมิเนียมจะมีสีออกเหลืองเนื่องจากแสง UV ที่ออกมาจากหลอดทำให้วัสดุประเภทอะลูมิเนียมและแผ่นพลาสติกมีสีสันเปลี่ยนไป







อะลูมิเนียมที่ใช้เป็นตัวสะท้อนแสงของโคมประภทนี้ด้วยกันหลายแบบและมักกำหนดคุณสมบัติของอะลูมิเนียมทางด้านแสงด้วยค่าต่าง ๆดังนี้

<u>สัมประสิทธิ์ตัวสะท้อนแสง</u> เช่น 95% ก็หมายถึงเมื่อแสงกระทบลงที่อะลูมิเนียมจะมีการสะท้อนกลับของแสง 95%

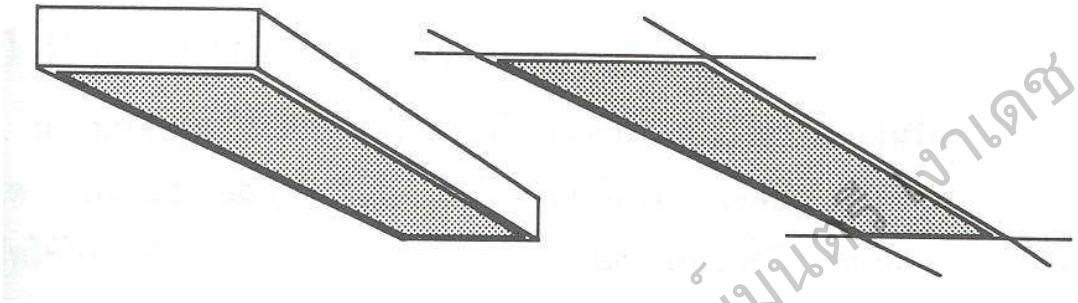
<u>สัมประสิทธิ์การกระจายแสง</u> หมายถึงการกระจายแสงออกทางด้านข้างมากน้อยเพียงใด ถ้าเป็นอะลูมิเนียมที่มีความมันเหมือนกระจกจะมีสัมประสิทธิ์การกระจายแสงต่ำ เพราะการให้การกระจายแสงออกด้านข้าวน้อย แสงตกกระทบลงไปก็สะท้อนขึ้นมาตรง ๆ เลย ถ้าเป็นอะลูมิเนียมที่ไม่มันมากก็ให้แสงกระจายออกทางด้านข้างมาก ถ้าใช้อะลูมิเนียมชนิดที่มีสัมประสิทธิ์การกระจายแสงมาก (อะลูมิเนียมแบบนี้ดูหม่น ๆไม่เหมือนกระจก) ก็มีแสงบาดตาน้อย

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เงาเที่ยง

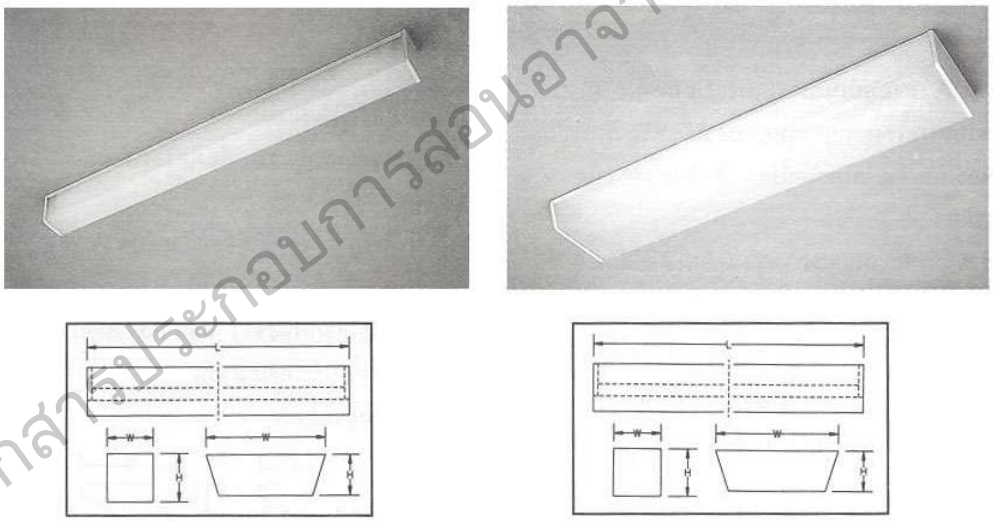
โคมไฟฟลูออเรสเซนต์แบบกรองแสงขาวขุ่น (Opal or White Diffuser)

โคมแบบนี้ให้แสงค่อนข้างนวลเมื่อเทียบกับโคมไฟชนิดอื่น แต่ค่อนข้างเปลืองค่าไฟฟ้า เพราะแสงที่ออกมาจากโคมน้อย ตัวอย่างโคมแสดงในรูป โคมแบบกรองแสงขาวขุ่นมักใช้ในห้องหรือพื้นที่ที่ต้องการคุณภาพแสงที่ดี เช่น ห้องหัวหน้า ห้องประธานกรรมการ เป็นต้น ตัวกรองแสงขาวขุ่นที่ใช้ถ้าใช้แบบคุณภาพไม่ดี เมื่อใช้งานไปนานๆก็มีสีเหลืองทำให้ดูสกปรก โคมแบบนี้ใช้ไฟฟ้าประมาณ 5 วัตต์/ตารางเมตร/100 ลักซ์

การเลือกใช้โคมดังกล่าวควรเลือกใช้บางพื้นที่พิถีพิถันเรื่องแสงบาดตาเท่านั้นเพราะใช้ไฟฟ้าเปลือง



รูป โคมไฟฟลูออเรเซนต์แบบตัวกรองแสงขาวขุ่น

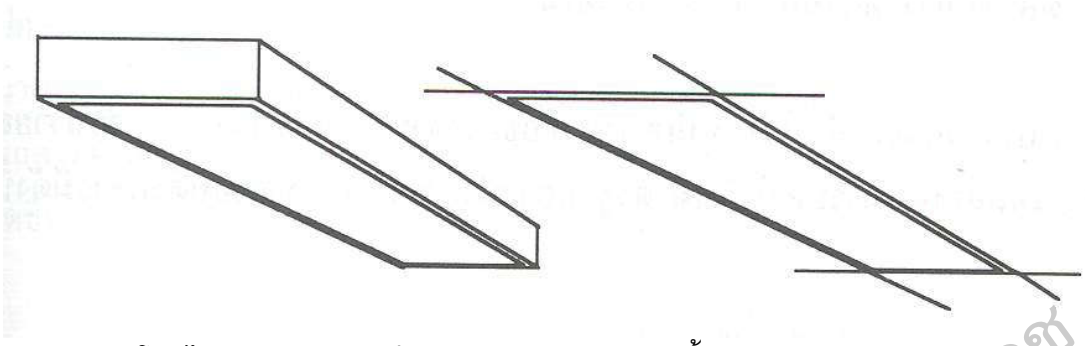


เอกสารประกอบการสอนอาจารย์นนทิ งาเดช

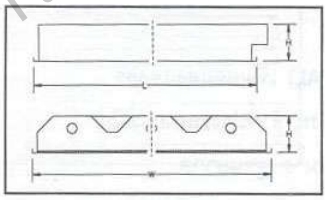
โคมไฟฟลูออเรสเซนต์แบบกรองแสงเกล็ดแก้ว (Prismatic Diffuser)

โคมไฟแบบนี้ให้แสงไม่บาดตาแต่ก็ไม่นวลเหมือนกับแบบตัวกรองแสงขาวขุ่น ให้แสงออกมามากกว่าแบบตัวกรองแสงขาวขุ่นเล็กน้อย โคมแบบนี้ต้องติดตั้งหลอดภายในห่างจากตัวกรองแสงอย่างน้อย 10 ซม. เพื่อไม่ให้เห็นหลอดที่อยู่ภายในโคมเมื่อมองจากภายนอก โคมแบบนี้ใช้ไฟฟ้าประมาณ 5 วัตต์/ตารางเมตร/100 ลักซ์ ที่โต๊ะทำงานสำหรับความสูงฝ้าที่ 2.5 เมตร

โคมไฟแบบกรองแสงเกล็ดแก้วใช้กับงานที่ไม่ต้องการแสงบาดตามาก เช่นเดียวกับโคมแบบตัวกรองแสงขาวขุ่น แต่ประสิทธิภาพของโคมต่ำเนื่องจากมีตัวกรองแสงทำให้แสงออกมาน้อย ใช้ในสำนักงานห้องผู้จัดการ ใช้ในโรงพยาบาลซึ่งไม่ต้องการแสงรบกวนตาคนไข้ เป็นต้น



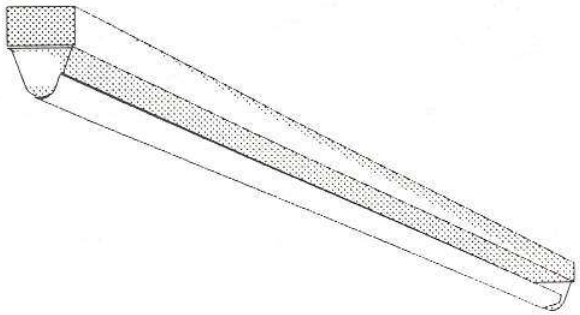
รูป โคมไฟฟลูออเรสเซนต์แบบกรองแสงเกล็ดแก้วทั้งแบบติดลอยและแบบฝังฝ้า



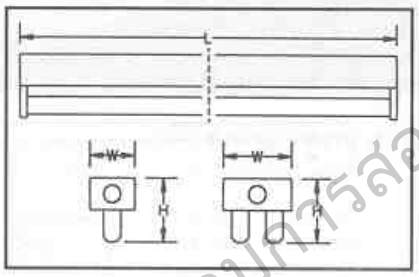
เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เงาเกาะ

โคมไฟฟลูออเรสเซนต์แบบหลอดเปลือย (Bare Type)

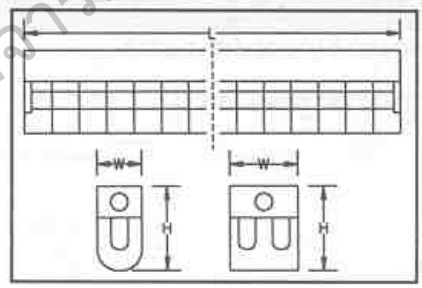
โคมไฟแบบนี้ใช้กันมากในบริเวณที่ต้องการแสงสว่างมากและทุกทิศทาง โดยเฉพาะที่ต้องการแสงสว่างด้านข้าง เช่น การให้ความส่องสว่างกับชั้นวางของ ในซุปเปอร์มาร์เก็ต ในบริเวณจ่ายยาในโรงพยาบาล หรือ ชั้นวางหนังสือในห้องสมุด หรือใช้ในพื้นที่ที่ไม่พิถีพิถันเรื่องความสวยงามมากนักแต่ต้องการประหยัดไฟฟ้า เช่น ห้องเก็บของ โคมไฟแบบนี้มีราคาถูกเพราะไม่มีตัวกรองแสง บางแห่งก็ใช้ในสำนักงานก็มีทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการพิจารณาว่าต้องการความสวยงามหรือไม่ แสงบาดตามีบ้างก็ยอมรับได้ และค่าไฟฟ้าถูกลงและการระบายความร้อนก็ดีทำให้อายุการใช้งานของอุปกรณ์ต่างๆก็นานขึ้น



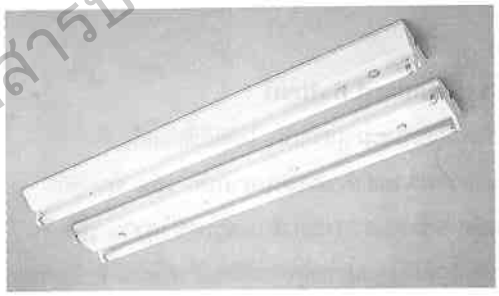
รูป โคมไฟฟลูออเรสเซนต์แบบหลอดเปลือย

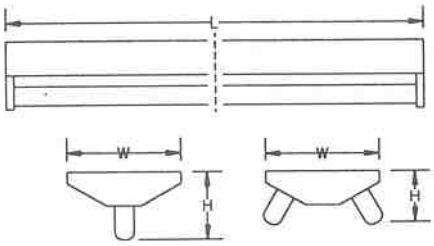


แบบเปลือย

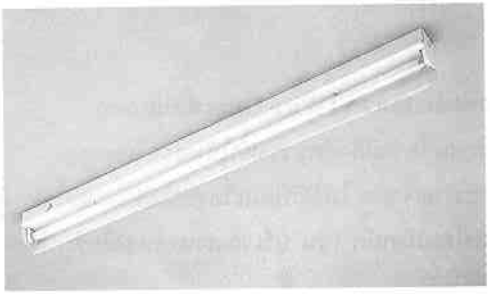


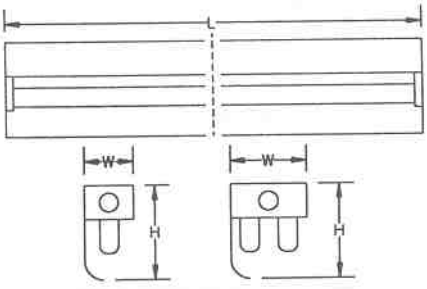
แบบเปลือย ตะแกรงเหล็ก





แบบเปลือย อกไก่



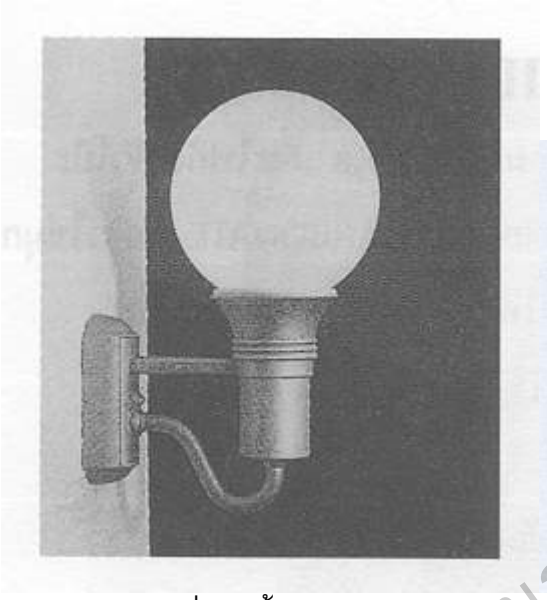


แบบเปลือย ครึ่งซีกกันฝน

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เขาเจริญ

โคมไฟกิ่ง (Wall Type)

เป็นโคมที่ติดตั้งบริเวณผนังของห้องเพื่อให้แสงบริเวณผนัง มักใช้ในห้องที่ต้องการความสว่างไม่มากนัก แต่เน้นไปในเรื่องความสวยงามของแสง ส่วนใหญ่มักจะเป็นโคมไฟที่ใช้กับหลอดไส้ แต่หากเป็นโคมไฟกิ่งที่ติดตั้งบริเวณภายนอกอาคารมักจะใช้หลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ เพราะต้องเปิดใช้งานเป็นเวลานานๆ



โคมไฟกิ่งติดตั้งภายในอาคาร

โคมไฟกิ่งติดตั้งภายนอกอาคาร

โคมไฟกิ่ง แบบกรงนก

โคมไฟกิ่ง แบบครอบแก้ว

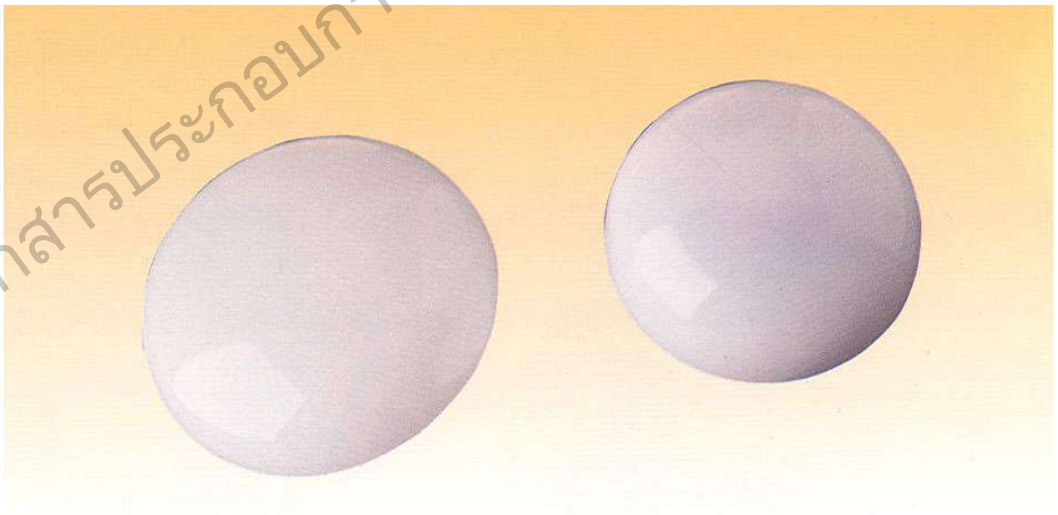
เอกสารประกอบการสอน

โคมไฟฟลูออเรสเซนต์แบบหลอดวงกลม

เป็นโคมไฟที่ใช้กับที่อยู่อาศัยโดยทั่วไป มีรูปแบบหลากหลายขึ้นอยู่กับราคาของดวงโคมซึ่งจะแตกต่างกันตามวัสดุที่ใช้ และรูปแบบของดวงโคมเอง เช่น เป็นแก้ว เป็นพลาสติก หรือเป็นแก้วที่มีลวดลาย

โคมซาลาเปา

เป็นชื่อเรียกของโคมไฟฟ้าที่ใช้กับหลอดไส้โดยเฉพาะ ซึ่งชื่อที่เรียกว่าซาลาเปาก็เนื่องมาจากรูปร่างของโคมเอง ซึ่งส่วนใหญ่มักจะใช้ในห้องน้ำหรือบริเวณระเบียงนอกห้อง มีขนาดตั้งแต่ 6 , 8 , 10 , 12 นิ้ว ตามขนาดของหลอดไฟฟ้าที่ใช้ว่าเป็นหลอดชนิดใด



โคมซาลาเปา 6" , 8" , 10" , 12"

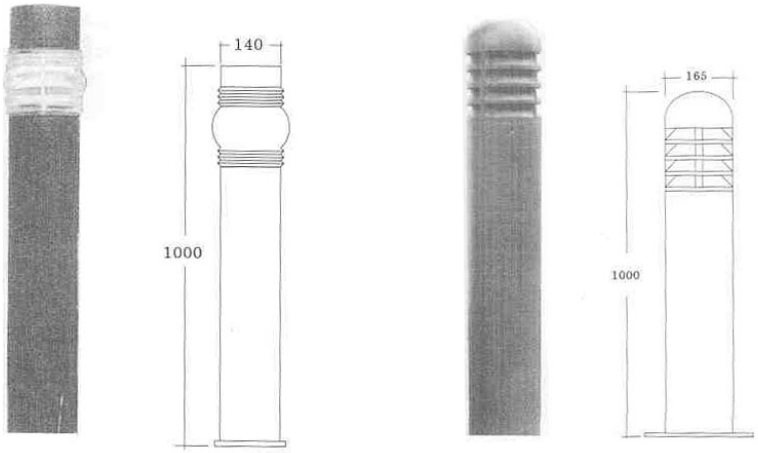
เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เงาเดช

โคมระย้า

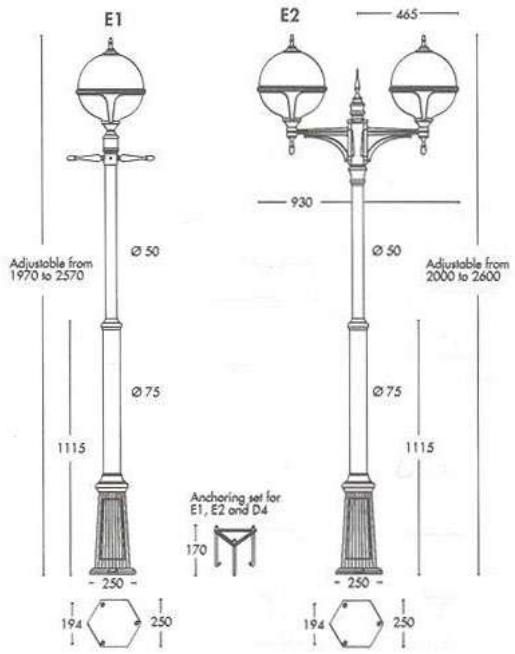
เป็นโคมไฟที่ใช้กับงานที่ต้องการความสวยงาม งานประดับตกแต่ง มักจะแขวนบริเวณที่เพดานสูง หรือ บริเวณบันได ส่วนใหญ่ที่พบมักจะใช้กับหลอดไส้ ทั้งแบบหลอดกลม หลอดปิงปอง หรือ หลอดทรงจำปา และจะติดตั้งจำนวนของหลอดไฟฟ้าเป็นจำนวนมาก มักใช้คู่กับอุปกรณ์หรี่ไฟ (Dimmer) ในส่วนของราคาจะมีตั้งแต่ไม่กี่ร้อยจนถึงหลักแสนก็มี

โคมไฟสนาม

เป็นโคมที่ติดตั้งภายนอกอาคารที่ติดตั้งบริเวณส่วนที่เป็นสนามหรือทางเดิน เพื่อให้แสงสว่างเวลากลางคืน มักนิยมใช้กับหลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ มีทั้งแบบเสาที่มีความสูงไม่มากนักจนไปถึงเสาที่มีความสูงประมาณ 2 เมตร

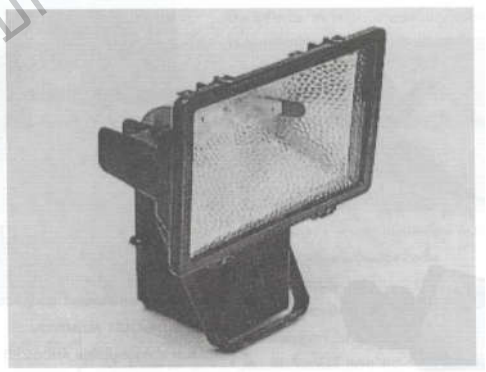


เอกสารประกอบการสอนอาจารย์ณัฐวุฒิ



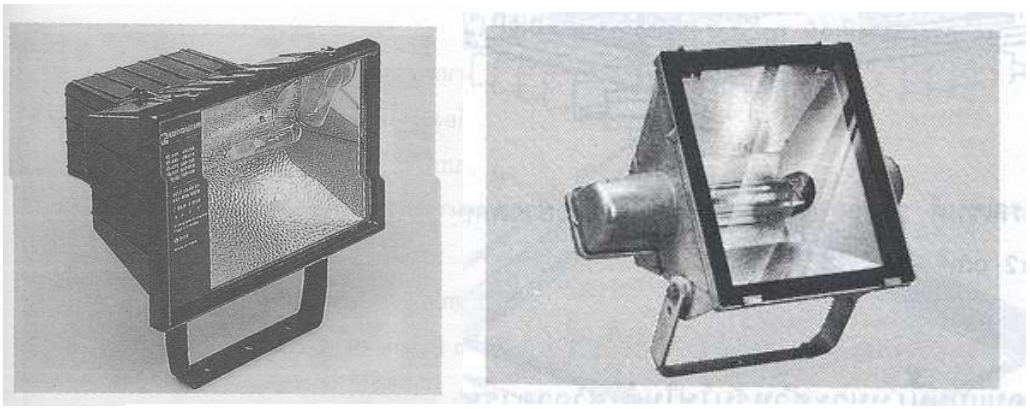
โคมไฟ Flood Light (โคมฉาย)

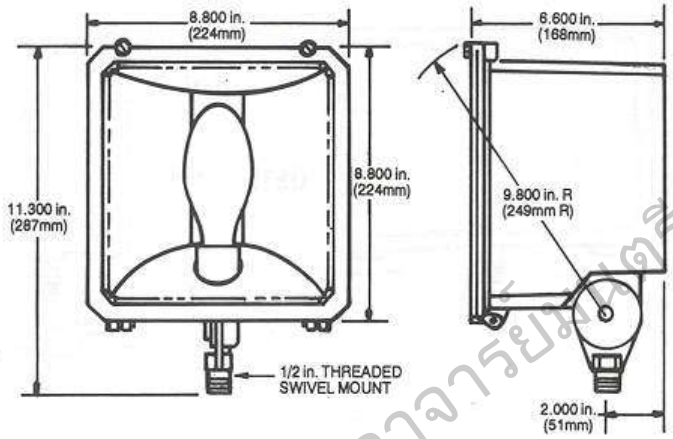
เป็นโคมที่ติดตั้งภายนอกอาคาร ใช้ส่องอาคาร ในสนามกีฬา หรือสิ่งที่ต้องการให้เห็นชัดเจนในเวลากลางคืน และเป็นโคมที่ต้องใช้กับหลอดประเภท HID ส่วนมากมักจะเป็นหลอดแสงจันทร์และหลอดเมทัลฮาไลด์ และบางโคมจะใช้กับหลอดทังสเตนฮาโลเจนแบบสองขั้ว ซึ่งมีราคาถูกกว่าหลอด HID แต่แสงจะสว่างสู้หลอด HID ไม่ได้ โคมแบบนี้จะมีคุณสมบัติในด้านการป้องกันน้ำเข้าภายในโคมไฟฟ้าเนื่องจากติดตั้งบริเวณนอกอาคาร



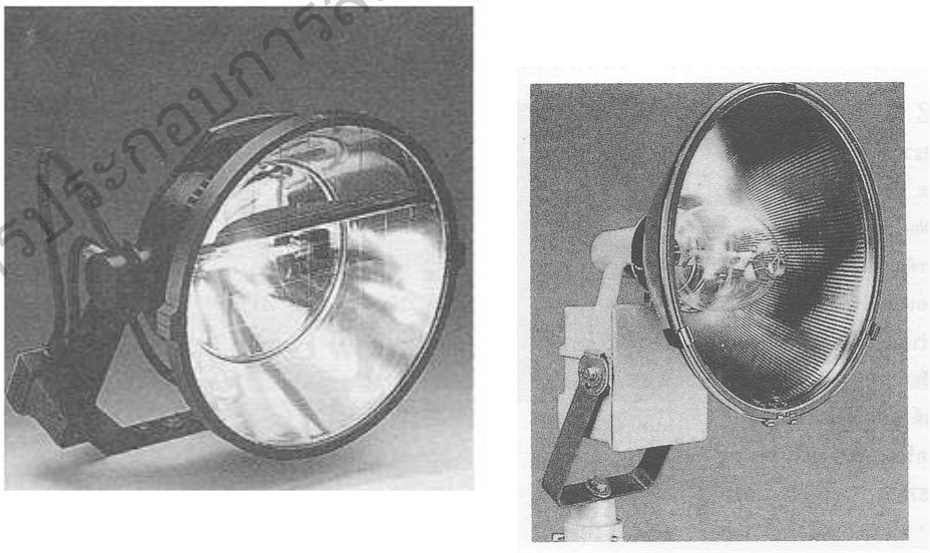
โคม Flood Light แบบใช้กับหลอดทังสเตนฮาโลเจน

เอกสารประกอบการสอน กรมสามัญศึกษา กระทรวงศึกษาธิการ





โคม Flood Light แบบใช้กับหลอดHID



โคม Flood Light ชนิดที่นิยมใช้ในสนามกีฬา

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์ณัฐวุฒิ เงาเดช

โคม High Bay

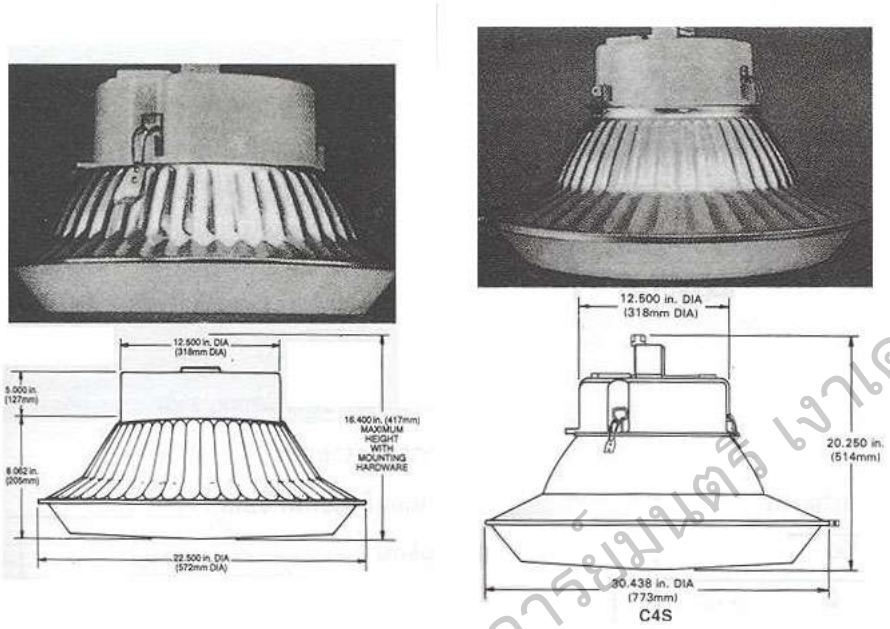
เป็นโคมไฟที่ใช้กับห้องที่มีเพดานสูงตั้งแต่ 5 เมตรขึ้นไป และเป็นโคมไฟฟ้าที่ใช้กับหลอดในกลุ่มของ HID ซึ่งได้แก่ หลอดแสงจันทร์ , หลอดเมทัลฮาไลด์ และ หลอดโซเดียมความดันสูง ใช้กับหลอดที่มีขนาดวัตต์ต่ำๆ ไปจนถึงหลอดที่มีวัตต์สูงๆ ได้ การติดตั้งมีทั้งแบบที่ติดตั้งห้อยลงจากฝ้าเพดานและแบบที่ติดตั้งฝังฝ้าเพดาน แต่ส่วนใหญ่มักจะพบเป็นแบบห้อยลงจากเพดานมากว่า มักจะพบโคมไฟฟ้าชนิดนี้ ในโรงงาน , ห้างสรรพสินค้าขายส่ง , หรือ อาคารที่มีเพดานสูงๆ โดยที่โคมชนิดนี้จะมีกล่องสำหรับเก็บอุปกรณ์ประกอบการจุดหลอด (บัลลาสต์และอินิกเตอร์) ห้อยติดอยู่ด้วย

โคมไฟฟ้าแบบ High Bay แบบต่างๆ

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์ณัฐเตรี เงาเดช

โคม Low Bay

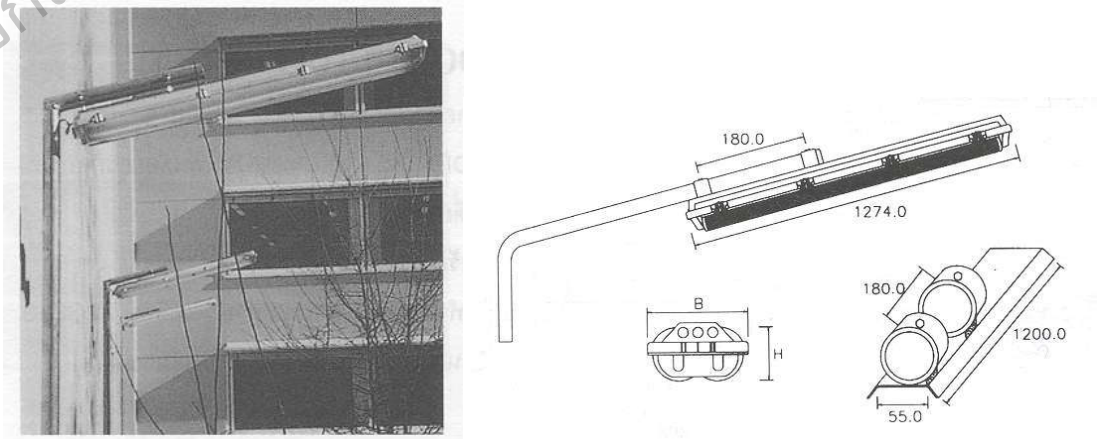
ลักษณะการใช้งานจะเหมือนกับโคม High Bay แต่จะต่างกันตรงที่ขนาดวัตต์ของโคม Low Bay จะมีขนาดไม่เกิน 400 วัตต์ และระยะการติดตั้งจะไม่สูงมากนักไม่เท่ากับโคม High Bay



โคม Low Bay

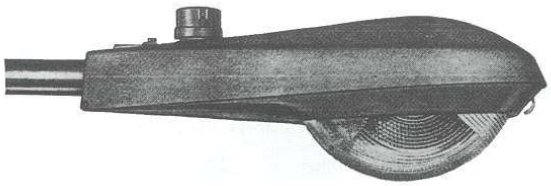
โคมไฟถนน

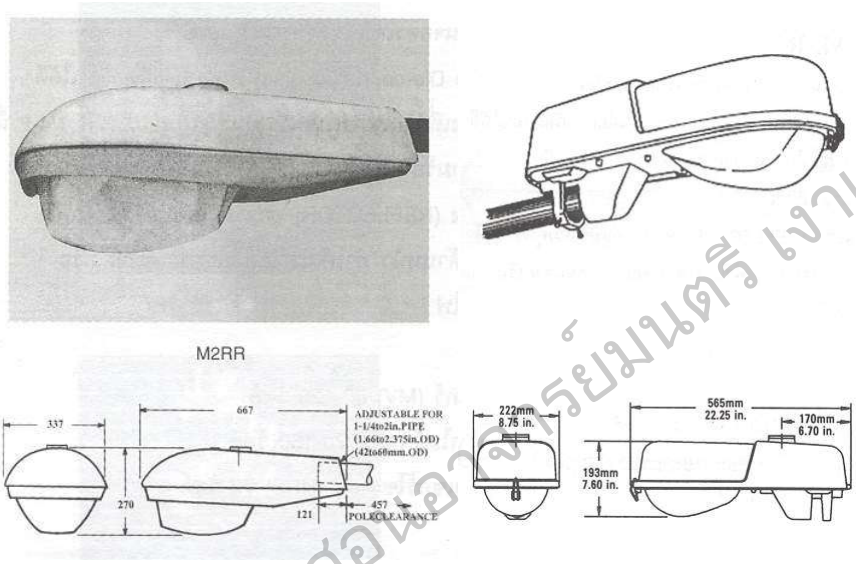
โคมชนิดนี้จะใช้ภายนอกอาคารบริเวณถนนที่ต้องการความสว่างของแสง ซึ่งมีให้เลือกทั้งแบบที่ใช้กับหลอดฟลูออเรสเซนต์ หรือ แบบที่ใช้กับหลอด HID ซึ่งมักจะเป็นหลอดโซเดียมความดันต่ำ หรือ โซเดียมความดันสูง การติดตั้งจะต้องติดตั้งบนเสาไฟฟ้าหรือไม่ก็ต้องมีเสาไฟถนนเฉพาะโคมไฟถนน ซึ่งการใช้งานภายนอกอาคารโคมไฟถนนจึงต้องมีคุณสมบัติในด้านการป้องกันน้ำเข้าภายในโคมไฟเป็นอย่างดีด้วย



โคมไฟถนน ใช้กับหลอดฟลูออเรสเซนต์

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เงาไดชี





โคมไฟถนน หลอด HID

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เงาเดช

4.7 การทดสอบโคม

การทดสอบโคมควรมีเพื่อให้มีความปลอดภัยและไม่รบกวนการทำงานในระบบอื่นด้วย นอกจากนี้เพื่อให้เกิดความเป็นธรรมกับผู้ซื้อไปใช้งาน การทดสอบโคมมีด้วยกันหลายแบบแล้วแต่ความจำเป็นมากน้อยเพียงใด มาตรฐานมักกำหนดวิธีการทดสอบไว้ละเอียดตั้งแต่วิธีการทดสอบ การวัด รวมทั้งการตัดสินในการให้ผ่านการทดสอบหรือไม่

การทดสอบที่สำคัญจะกล่าวไว้ในที่นี้เพียงหัวข้อของการทดสอบเท่านั้น ส่วนรายละเอียดอย่างอื่นของวิธีการทดสอบสามารถหาได้ในมาตรฐานต่างประเทศ การทดสอบดังกล่าวมีดังนี้

4.7.1 การทดสอบทางด้านแสง

ประกอบด้วยการทดสอบเพื่อหากราฟกระจายแสงของโคมเพื่อให้ผู้ใช้สามารถใช้คำนวณการให้แสงได้อย่างถูกต้อง อุปกรณ์ดังกล่าวเรียกว่า Goniophotometer ซึ่งต้องมีความถูกต้องสูงและต้องต่อรวมกับคอมพิวเตอร์ที่สามารถเขียนกราฟได้ทั้งทีในขณะวัด และต้องมีซอฟฟ์แวร์เพื่อคำนวณ กราฟลูมิแนนซ์หรือกราฟแสงบาดตาได้ด้วย

4.7.2 การทดสอบด้านความร้อน

เพื่อหาค่าความร้อนที่ออกมาจากโคมไฟฟ้าและจะมีอันตรายหรือไม่ อุปกรณ์ทดสอบจะเป็นแผงรับความร้อนนำไปวัดค่าความร้อนที่เกิดขึ้นรอบ ๆดวงโคมไฟฟ้า

4.7.3 การทดสอบทางด้านคลื่นรบกวนวิทยุ

เพื่อพิจารณาว่าโคมที่มีอยู่ได้สร้างคลื่นออกมาไปรบกวนระบบวิทยุหรือไม่ เพราะมาตรฐานจะกำหนดไม่ให้โคมสร้างคลื่นออกไปรบกวนสัญญาณวิทยุมากเกินไป

4.6.4 การทดสอบทางด้านคลื่นรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า

เพื่อพิจารณาว่าโคมเมื่อใช้งานได้กำเนิดแม่เหล็กไฟฟ้าออกมารบกวนอุปกรณ์ไฟฟ้าที่อยู่รอบข้างหรือไม่ ลักษณะของอุปกรณ์ด้วยตัวนำทองแดงทำเป็นวงกลมขนาดประมาณ 1.5 เมตร จำนวน 3 วง เพื่อวัดศักดาไฟฟ้าเหนี่ยวนำ วางให้แกนกลางตั้งฉากกันเหมือนแกน XYZ โดยมีโคมอยู่ศูนย์กลาง แล้ววัดศักดาไฟฟ้าที่เกิดขึ้นเนื่องจากโคมไฟฟ้าและไม่ควรมีค่ามากกว่าค่าที่กำหนดในมาตรฐาน

4.7.5 การทดสอบทางด้านความต้านทาน UV และ IR

การทดสอบนี้โดยการวางอุปกรณ์หรือชิ้นส่วนของตัวโคมเข้าในภาชนะหรือตู้ปิดที่มีแหล่งกำเนิดแสง UV และ IR โดยทั่วไปก็ใช้หลอดไฟฟ้า UV และขดลวดไฟฟ้าที่ให้ความร้อนออกมาบรรจุในภาชนะปิดหมดทุกด้าน ใส่ไว้ประมาณ 48 ชม. แล้วนำออกมาดูผลว่าวัสดุทดสอบมีการเปลี่ยนแปลงทางด้านกายภาพหรือไม่ (ใช้ทดสอบกับโคมที่ติดตั้งภายนอกอาคาร)

4.7.7 การทดสอบทางด้านการติดไฟ

ทำโดยการจุดไฟด้วยก๊าซและลนไปที่วัสดุหรือตัวโคมและดูว่ามีการติดไฟได้หรือไม่ โคมไฟฟ้าควรประกอบด้วยวัสดุที่ไม่ติดไฟเพื่อป้องกันการเกิดไฟฟไหม้เมื่อมีความร้อนสูงเกิดขึ้นที่โคม

4.7.8 การทดสอบโคมกันน้ำ

การทดสอบประกอบด้วยอุปกรณ์ 3 อย่างคือ

อุปกรณ์ที่ 1 เป็นอุปกรณ์ทดสอบโคมกันน้ำที่หยดน้ำลงมาจากด้านบนซึ่งประกอบด้วยท่อน้ำวงแหวนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2 เมตร และเจาะรูตามวงแหวนเพื่อให้น้ำไหลออกมาโดยมีทิศทางพุ่งเข้าสู่วงกลางของวงแหวนและท่อน้ำนี้สามารถเคลื่อนที่โดยมีเส้นผ่านศูนย์กลางเป็นแกนหมุนและควบคุมด้วยมอเตอร์ ให้หมุนรอบโคมอยู่ตลอดเวลาโดยมีน้ำฉีดที่โคมตลอดเวลา

เอกสารประกอบการเรียนวิชาวิศวกรรมแสงสว่าง

อุปกรณ์ที่ 2 ประกอบด้วยปั๊มน้ำและหัวฉีดเพื่อทดสอบว่าโคมสามารถป้องกันน้ำฉีดอย่างแรงเข้าโคมได้หรือไม่ มีการกำหนดมาตรฐานความแรงของน้ำเอาไว้ด้วย

อุปกรณ์ที่ 3 ประกอบด้วยบ่อน้ำลึกประมาณ 1 เมตร เพื่อไว้ทดสอบโคมที่ใช้งานในน้ำ โดยวางโคมลงไปในบ่อน้ำเพื่อดูว่ามีน้ำเข้าโคมหรือไม่

4.7.9 การทดสอบโคมกันฝุ่น

เพื่อดูว่าสามารถป้องกันฝุ่นได้หรือไม่ ทำได้โดยใส่อุปกรณ์เข้าไปในอุปกรณ์ที่มีฝุ่นอย่างละเอียดและมีเครื่องเป่าฝุ่นให้ฟุ้งกระจายและพิจารณาว่ามีฝุ่นเข้าไปที่โคมหรือไม่

4.8 สรุป

โคมไฟฟ้ามีด้วยกันหลายแบบทั้งโคมภายนอกและโคมภายใน ถ้าเป็นโคมภายนอกก็ต้องเป็นชนิดกันน้ำและมีความปลอดภัยในเรื่องการรั่วของกระแสไฟฟ้าด้วยการต่อโคมลงดิน ส่วนโคมภายในต้องเข้าใจการเลือกเพื่อใช้ได้ประสิทธิภาพและได้ตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการ โคมที่ดีไม่ใช่เพียงแต่ให้แสงได้ประหยัดหรือมีประสิทธิภาพเท่านั้น แต่ต้องให้ความสบายตาด้วย คือมีแสงบาดตาน้อยหรือไม่มีเลย วัสดุที่ใช้ประกอบต้องไม่กรอบหรือเสียได้ง่ายเนื่องจากความร้อนหรือแสง UV ที่สะสมแล้วทำให้เสียหายในระยะเวลาสั้น การเลือกใช้โคมถ้าว่าเป็นเรื่องง่ายก็ง่าย คือเลือกเพื่อให้มีความสว่างแต่อย่างเดียว แต่ถ้าต้องการเลือกโคมเพื่อให้เกิดความปลอดภัย ความสบายตาและประหยัดก็เป็นเรื่องพิถีพิถันพอสมควรเพราะต้องพิจารณาองค์ประกอบหลายๆอย่างประกอบกัน

เอกสารประกอบการสอนมหาวิทยาลัยนเรศวร

บทที่ 5

การออกแบบระบบแสงสว่าง

การออกแบบระบบแสงสว่างถึงเป็นจุดเริ่มต้นในการออกแบบระบบไฟฟ้า หากมีการออกแบบระบบไฟฟ้าภายในอาคาร การออกแบบระบบแสงสว่างมักจะถูกออกแบบเป็นลำดับแรกเสมอก่อนที่จะไปออกแบบระบบไฟฟ้าในส่วนอื่นต่อไป โดยการออกแบบระบบแสงสว่างนั้นจะต้องเอาภาระโหลดของโคมไฟฟ้าไปรวมอยู่ในตารางโหลดด้วย

ในการออกแบบระบบแสงสว่างสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ คือ

1. การออกแบบระบบแสงสว่างภายในอาคาร
2. การออกแบบระบบแสงสว่างภายนอกอาคาร

5.1 การออกแบบระบบแสงสว่างภายในอาคาร

การออกแบบระบบแสงสว่างภายในอาคารยังสามารถแยกแยะตามลักษณะของอาคารว่าเป็นอาคารที่ใช้งานในลักษณะใด เช่น อาคารที่อยู่อาศัย , อาคารสำนักงาน , อาคารพาณิชย์ หรือ อาคารอุตสาหกรรม ซึ่งจะมีผลต่อการออกแบบและการเลือกใช้โคมไฟฟ้าให้เหมาะสมกับลักษณะอาคารที่ใช้งานนั้น

ผลของการออกแบบระบบแสงสว่างที่ดีและเหมาะสม

1. ทำงานได้รวดเร็วขึ้น
2. ลดข้อบกพร่องของงานให้น้อยลง
3. ลดอุบัติเหตุในการทำงานให้น้อยลง
4. ระบบการทำงานของกล้ามเนื้อตาดีขึ้น
5. ประหยัดค่าไฟฟ้า
6. ลดความเครียดอันเกิดจากการเพ่งสายตา
7. ให้ความสวยงามประทับใจผู้พบเห็น

ฯลฯ

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เจาะดี

วิธีการออกแบบระบบแสงสว่างภายในอาคาร
แบ่งได้ 2 วิธีคือ

1. คำนวณวิธีลูเมนต์ (Lumen Method)
2. คำนวณวิธีจุดต่อจุด (Point By Point Method)

5.1.1 คำนวณวิธีลูเมนต์ (Lumen Method)

แบ่งออกได้เป็น 2 แบบคือ

- Zonal Cavity Method
- Room Index Method (Room Ratio Method)

การคำนวณในการออกแบบระบบแสงสว่างในอาคารนั้น สิ่งที่เราต้องการทราบคือจำนวนของดวงโคม ที่จะติดตั้งภายในห้องนั้น โดยชนิดของโคมและชนิดของหลอดไฟฟ้าเราสามารถกำหนดชนิดได้ด้วยตนเองตามความเหมาะสมของแต่ละห้องที่ต้องการออกแบบ ซึ่งต้องทราบค่าของปริมาณความส่องสว่างทั้งหมดของห้องตามมาตรฐานของ IES เป็นตัวกำหนดค่ามาตรฐานของความส่องสว่างของห้องนั้นๆ ใน ตารางที่ 1 (ในหน่วย Lux หากใช้ระยะเป็น เมตร , ในหน่วย fc หากใช้ระยะเป็นฟุต) หากต้องการเปลี่ยนหน่วยระหว่าง Lux กับ fc ก็สามารถทำได้จากความสัมพันธ์

$$1\ \text{Lux} = 0.0929\ \text{fc}$$

$$1\ \text{fc} = 10.76\ \text{Lux}$$

วิธี Zonel Cavity Method

ค่าความส่องสว่างรวมทั้งหมดของห้องสามารถหาได้จากสมการดังนี้

$$TL = \frac{E.A}{CU.LLD.LDD} \qquad \textit{สมการที่ 1}$$

TL	=	ค่าฟลักซ์ส่องสว่างรวมของห้อง (Lumen) (TL=Total Luminaire)
E	=	ค่าปริมาณความส่องสว่างตามมาตรฐาน IES (Lux ; fc) ดูตารางที่ 1
A	=	พื้นที่ของห้องที่ออกแบบ กว้าง x ยาว (ตารางเมตร ; ตารางฟุต)
CU	=	ค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์ (Coefficient of Utilization) ดูตารางที่ 3 หรือ กำหนดค่าโดยการประมาณค่า
LLD	=	ค่าความเสื่อมของหลอดไฟ (Lamp Lumen Depreciation) ดูคู่มือของหลอดไฟฟ้าจากโรงงานผู้ผลิต

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี ไชยเดช

LDD = ค่าความเสื่อมจากความสกปรกของดวงโคม (Luminaire Dirt Depreciation)
ดูกราฟที่ 1 (บทที่ 4)

หลังจากได้ค่า TL แล้ว สิ่งที่เราต้องการทราบค่าก็คือ จำนวนดวงโคมที่ใช้ติดตั้งในห้องนี้ว่ามีจำนวนเท่าไร (N) โดยใช้สมการที่ 2 ในการหาจำนวนดวงโคมที่ใช้

$$N = \frac{TL}{\text{จำนวนลูเมนต่อโคม}} \qquad \textit{สมการที่ 2}$$

<u>ค่าปริมาณความส่องสว่าง</u> เป็นค่าที่แสดงค่าความส่องสว่างที่เป็นมาตรฐานของห้องที่เราต้องการออกแบบระบบแสงสว่างนั้น โดยจะต้องพิจารณาการใช้งานของห้องนั้นว่ามีลักษณะการใช้งานในลักษณะใด แล้วเปิดตารางที่ 1 หาค่ามาตรฐานของความส่องสว่างที่ IES ได้กำหนดเอาไว้โดยต้องดูด้วยว่าห้องนั้นมีขนาดในหน่วยใด หากหน่วยในการวัดขนาดห้องเป็น *เมตร* เราก็จะต้องเลือกค่าความส่องสว่างในหน่วย *ลักซ์ (LUX)*

<u>พื้นที่ของห้องที่ออกแบบ</u> เป็นพื้นที่ทั้งหมดของห้องที่เราต้องการที่จะออกแบบระบบแสงสว่าง โดยมีทั้งที่เป็นหน่วย ตารางเมตร และ หน่วย ตารางฟุต ซึ่งจะสัมพันธ์กับการเลือกค่าความส่องสว่างตามมาตรฐานของ IES ที่จะต้องเลือกใช้ให้ถูกต้อง แต่ในหน่วยวัดระยะในบ้านเราที่ใช้กันอยู่มักจะใช้หน่วยเป็น *เมตร* ดังนั้นส่วนใหญ่แล้วก็จะใช้หน่วยของพื้นที่เป็น *ตารางเมตร* และใช้ค่าความส่องสว่างเป็น *ลักซ์ (LUX)*

<u>ค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์</u> (Coefficient of Utilization)

ค่า CU เป็นค่าที่มีขั้นตอนในการหาที่ยุ่งยากมากที่สุดในปรรดาค่าทั้งหมดในสมการที่ 1 จะเป็นค่าที่ใช้ตารางที่ 3 ในการหาค่าซึ่งจะต้องทราบค่าอื่นๆ มาประกอบในการหาค่า CU ก่อน ซึ่งได้แก่

- ค่าอัตราส่วนโพรง (Cavity Ratio)
- ค่าความสามารถในการสะท้อนแสงของเพดาน,ผนัง และพื้น (Effective Cavity Reflectance)
- ขนาดของห้องที่แบ่งเป็นส่วน (Zonal Cavity)(Zone Cavity)

โดยค่า CU สามารถหาได้ตามผังการหาค่า CU ดังนี้

เอกสารประกอบการสอนวิชาวิศวกรรมแสงสว่าง

ค่าความเสื่อมของหลอดไฟ (Lamp Lumen Depreciation) (LLD)

เป็นค่าที่เคยเรียนผ่านมาแล้วในบทก่อนหน้านี้ว่า เมื่อเราใช้งานหลอดไฟไปนานๆ ปริมาณแสงที่เปล่งออกมาจากหลอดไฟฟ้านั้นจะค่อยๆ ลดลงไปเรื่อยๆ ซึ่งเราเรียกว่า ค่าความเสื่อมของหลอดไฟฟ้า ซึ่งจะต้องคำนึงถึงในการออกแบบระบบแสงสว่าง

การหาค่าความเสื่อมของหลอดไฟนั้น เราสามารถหาได้จากคู่มือของหลอดที่โรงงานผู้ผลิตกำหนดเอาไว้ โดยพิจารณาจากค่าปริมาณแสงเฉลี่ย หารด้วยค่าปริมาณแสงเริ่มแรก

$$\text{ความเสื่อมของหลอดไฟฟ้า (LLD)} = \frac{\text{ค่าปริมาณจำนวนเส้นแรงของแสงสว่างเฉลี่ย (ลูเมน)}}{\text{ค่าปริมาณจำนวนเส้นแรงของแสงสว่างเริ่มแรก (ลูเมน)}}$$

ค่าความเสื่อมจากความสกปรกของดวงโคม (Luminaire Dirt Depreciation)(LDD)

เราได้ศึกษาในเรื่องของโคมไฟฟ้ามาแล้ว และทราบว่าเมื่อเราใช้ดวงโคมไฟฟ้านั้นไปนานๆ มันก็จะเริ่มมีการสะสมของฝุ่นละอองมากขึ้น ซึ่งจะมีผลทำให้ขีดความสามารถในการสะท้อนแสงน้อยลงไป โคมแต่ละชุดนั้นจะมีการสะสมฝุ่นละอองมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับสภาพของห้องที่ทำการติดตั้งโคมนั้น ซึ่งเราเรียกว่า ค่าความเสื่อมจากความสกปรกของดวงโคม

การหาค่า LDD นั้นสามารถหาได้จากกราฟที่ 1 ซึ่งเป็นกราฟแสดงค่าความเสื่อมจากความสกปรกของดวงโคม ที่มีอยู่ 6 กราฟ ตามประเภทของโคมไฟฟ้า การหาค่าต้องพิจารณาชนิดของ ดวงโคมว่าอยู่ในประเภทไหน และพิจารณาว่าห้องที่ติดตั้งโคมชนิดนั้นมีสภาพบรรยากาสของห้องและระยะเวลาในการทำความสะอาดของห้องนั้น

เมื่อเราหาค่าได้ครบแล้วเราก็จะสามารถหาจำนวนดวงโคมที่ต้องการติดตั้งภายในห้องที่ออกแบบระบบแสงสว่างได้

หากจำนวนของดวงโคมไฟฟ้ามีจำนวนที่ไม่สามารถจัดลงให้ห้องแล้วทำให้เกิดความสวยงามได้ เราสามารถที่จะเพิ่มจำนวนดวงโคมให้มากขึ้นได้อีก 1 ดวงโคมได้

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์เมนตรี เงาเดช

ตารางที่ใช้ในการออกแบบระบบแสงสว่างในอาคาร

ตารางที่ 1 : ตารางแสดงค่าระดับความส่องสว่าง ตามมาตรฐานสมาคนแสงสว่างแห่งประเทศไทย

ประเภทของพื้นที่และกิจกรรม	`E_m Lux	UGR_L	$R_{a(min)}$	หมายเหตุ
1. พื้นที่ภายในอาคารทั่วไป				
โถงทางเข้าอาคาร	100	22	60	
โถงนั่งพัก	200	22	80	
พื้นที่ทางเดินภายในอาคาร	100	28	40	ระหว่างทางเข้า-ออกให้ระวังการเปลี่ยนระดับ ความเข้มการส่องสว่างแบบทันที
บันได บันไดเลื่อน ทางเลื่อน	150	25	40	
พื้นที่ขนถ่ายสินค้าภายในอาคาร	150	25	40	
ห้องอาหารทั่วไปภายในอาคาร	200	22	80	
ห้องพักผ่อนทั่วไป	100	22	80	
ห้องออกกำลังกาย	300	22	80	
ห้องน้ำ ห้องสุขา ห้องรับฝากของ	200	25	80	
ห้องปฐมพยาบาล	500	19	80	
ห้องตรวจคนไข้ทั่วไป	500	16	80	อุณหภูมิสีอย่างต่ำ 4000 K
ห้องอุปกรณ์ Switch gear	200	25	60	
ห้องชุมสายโทรศัพท์ / ไปรษณีย์ / พัสดุ	500	19	80	
ห้องเก็บของ	50	25	60	
ห้องบรรจุหีบห่อ ขนถ่ายวัสดุ	300	25	60	
ห้องควบคุม	200	22	60	
2. อุตสาหกรรมด้านการเกษตร ปศุสัตว์				
ห้องขนถ่ายสินค้า อุปกรณ์ เครื่องจักร	200	25	80	
พื้นที่ปศุสัตว์ภายในตึก	50	28	40	
พื้นที่รักษาสัตว์	200	25	80	
พื้นที่เตรียมอาหารสัตว์ ทำความสะอาดสัตว์	200	25	80	

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เจนเดช

ประเภทของพื้นที่และกิจกรรม	`E_m Lux	UGR_L	$R_{a(min)}$	หมายเหตุ
3. อุตสาหกรรมทำขนม Bakeries				
พื้นที่เตรียมส่วนผสม และอบขนม	300	22	80	
พื้นที่ตกแต่งหน้าขนม	500	22	80	
4. อุตสาหกรรมซิเมนต์ คอนกรีต และ อิฐ				
พื้นที่สำหรับทำการอบแห้งวัตถุดิบ	50	28	20	สีทางด้านความปลอดภัยควรจะมองเห็นเด่นชัด
พื้นที่เตรียมและผสมวัตถุดิบ	200	28	40	
พื้นที่ทำงานของเครื่องจักรทั่วไป	300	25	80	
5. อุตสาหกรรมเซรามิคและแก้ว				
พื้นที่สำหรับทำการอบแห้ง	50	28	20	
พื้นที่เตรียมงาน และการปฏิบัติงานของ				
เครื่องจักรทั่วไป	300	25	80	
พื้นที่ขึ้นรูปชิ้นส่วน เคลือบเงา และ เป่าแก้ว	300	25	80	
พื้นที่ขัดแต่งผิว และ แกะสลัก	750	19	80	
พื้นที่ประดับตกแต่งชิ้นงาน	500	19	80	
พื้นที่ขัดแต่งกระจกสำหรับแว่นตา เจียรนัย	750	16	80	
พื้นที่งานเจียรนัยละเอียด	1000	16	90	อุณหภูมิสีอย่างต่ำ 4000 K
พื้นที่ผลิตเครื่องแก้วเทียม เพชร พลอยเทียม	1500	16	90	
6. อุตสาหกรรมเคมี พลาสติก ยาง				
พื้นที่การผลิตที่ไม่มีการสัญจร	50		20	สีทางความปลอดภัยควรจะมองเห็นเด่นชัด
พื้นที่การผลิตที่เข้าถึงค่อนข้างลำบาก	150	28	40	
พื้นที่การผลิตที่มีคนประจำเกือบตลอดเวลา	300	25	80	
ห้องทดสอบที่ต้องการความละเอียดสำหรับการ				
อ่านมาตราวัด	500	19	80	
สายการผลิตที่เกี่ยวข้อกับเวชภัณฑ์	500	22	80	

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เงาเดช

ประเภทของพื้นที่และกิจกรรม	`E_mLux	UGR_L	$R_{a(min)}$	หมายเหตุ
สายการผลิตยางรถยนต์	500	22	80	
พื้นที่ตรวจสอบสี	1000	16	90	อุณหภูมิสีอย่างต่ำ 6500 K
ขั้นตอนตรวจสอบ ตัดเจาะ ขั้นสุดท้าย	750	19	80	
7. อุตสาหกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์				
พื้นที่ผลิตลวด สายไฟฟ้า	300	25	80	
พื้นที่สำหรับการพันขดลวดขนาดใหญ่	300	25	80	
พื้นที่สำหรับการพันขดลวดขนาดกลาง	500	22	80	
พื้นที่สำหรับการพันขดลวดขนาดเล็ก	750	19	80	
พื้นที่ชุบน้ำขดลวด Coil impregnating	300	25	80	
พื้นที่สำหรับการชุบเคลือบผิว	300	25	80	
พื้นที่ประกอบชิ้นส่วน :				
ขนาดใหญ่ เช่น หม้อแปลงไฟฟ้า	300	25	80	
ขนาดกลาง เช่น สวิตช์บอร์ด	500	22	80	
ขนาดเล็ก เช่น เครื่องโทรศัพท์	750	19	80	
ขนาดเล็กมากที่ต้องการความละเอียดมาก เช่น อุปกรณ์มาตราวัดต่างๆ	1000	16	80	
ห้องทดสอบทางด้านไฟฟ้า อิเล็กทรอนิกส์				
ที่ต้องมีการปรับแต่ง	1500	16	80	
8. อุตสาหกรรมอาหาร				
พื้นที่สำหรับขบวนการผลิตทั่วๆ ไป	200	25	80	
พื้นที่ล้าง คัดเลือกขนาดวัตถุดิบ ผสมวัตถุดิบ บรรจุหีบห่อ	300	25	80	
พื้นที่สำหรับการตัดแยกชิ้นส่วนเนื้อสัตว์ ผสมนมเนย โรงกรองสำหรับโรงงานน้ำตาล	500	25	80	
พื้นที่ตัดแยกผัก ผลไม้	300	25	80	

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เงาเดช

ประเภทของพื้นที่และกิจกรรม	`E_mLux	UGR_L	$R_{a(min)}$	หมายเหตุ
พื้นที่ผลิตสำหรับผลิตอาหารสำเร็จรูป ห้องครัว	500	22	80	
พื้นที่ผลิตบุหรี่ ซิการ์	500	22	80	
พื้นที่ตรวจสอบบรรจุภัณฑ์ เช่น แก้ว ขวด ห้องควบคุมคุณภาพ ห้องตกแต่งอาหาร	500	22	80	
ห้องทดสอบคุณภาพอาหาร	500	19	80	
ห้องตรวจสอบสี	1000	16	90	อุณหภูมิสีอย่างต่ำ 4000 K
9. อุตสาหกรรมหล่อ หลอม โลหะ :				
อุโมงค์ใต้พื้น	50	28	20	สีทางด้านความปลอดภัยควรจะมองเห็นเด่นชัด
แท่น ขนถ่ายโลหะ	100	25	40	
พื้นที่เตรียมพิมพ์ทรายสำหรับการหล่อ	200	25	80	
พื้นที่ตกแต่งโลหะ	200	25	80	
พื้นที่ผสมโลหะ	200	25	80	
แท่นหล่อโลหะ	200	25	80	
พื้นที่ถอดพิมพ์	200	25	80	
พื้นที่เครื่องจักรหล่อโลหะ	200	25	80	
พื้นที่หล่อด้วยมือ	300	25	80	
พื้นที่หล่อโลหะด้วยพิมพ์	300	25	80	
พื้นที่ทำแบบจำลอง	500	22	80	
10. ร้านแต่งผม	500	19	90	
11. อุตสาหกรรมเพชรพลอย				
พื้นที่คัดเลือกเพชรพลอย	1500	16	90	อุณหภูมิสีอย่างต่ำ 4000 K
พื้นที่ผลิตตัวเรือนเพชรพลอย	1000	16	90	
พื้นที่ผลิตนาฬิกาด้วยมือ	1500	16	80	
พื้นที่ผลิตนาฬิกาด้วยเครื่องจักร	500	19	80	

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์ยนต์รี เจาะเดช

ประเภทของพื้นที่และกิจกรรม	`E_m Lux	UGR_L	$R_{a(min)}$	หมายเหตุ
12. อุตสาหกรรมซัก อบ รีด				
พื้นที่ขนถ่าย คัดเลือกสินค้า	300	25	80	
พื้นที่ซักแห้ง	300	25	80	
พื้นที่ซัก อบ รีด	300	25	80	
พื้นที่ตรวจเช็ค ซ่อมแซม	750	19	80	
13. อุตสาหกรรมเครื่องหนัง				
พื้นที่ขนถ่ายวัตถุดิบ	200	25	40	
พื้นที่ลอกขัดหนัง	300	25	80	
พื้นที่ตัดแต่ง เย็บ ขัดเงา เครื่องหนัง	500	22	80	
พื้นที่คัดเลือกชิ้นส่วน	500	22	90	อุณหภูมิสีอย่างต่ำ 4000 K
พื้นที่ย้อมสีหนัง	500	22	80	
พื้นที่ตรวจสอบคุณภาพ	1000	19	80	
พื้นที่ตรวจสอบสี	1000	16	90	อุณหภูมิสีอย่างต่ำ 4000 K
พื้นที่ประกอบเครื่องหนัง	500	22	80	
14. อุตสาหกรรมแปรรูปโลหะ				
Open die forging	200	25	60	
Drop forging welding cold forming	300	25	60	
งานเครื่องจักรที่ไม่ต้องการความละเอียด ค่าผิดพลาด > 0-1 mm.	300	22	60	
งานเครื่องจักรที่ต้องการความละเอียด ค่าผิดพลาด < 0-1 mm.	500	19	60	
พื้นที่ตรวจสอบ	750	19	60	
พื้นที่รีด ดึงลวด ท่อ	300	25	60	
พื้นที่งานแผ่นโลหะหนา > 5 mm.	200	25	60	
พื้นที่งานแผ่นโลหะบาง < 5 mm.	300	22	60	
พื้นที่งานสร้างแบบ พิมพ์ตัดเจาะ	750	19	60	

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เงาเดช

ประเภทของพื้นที่และกิจกรรม	`E_m Lux	UGR_L	$R_{a(min)}$	หมายเหตุ
พื้นที่ประกอบชิ้นส่วน :				
ขนาดใหญ่	200	25	80	
ขนาดกลาง	300	25	80	
ขนาดเล็ก	500	22	80	
ขนาดเล็ก และรายละเอียดมาก	750	19	80	
พื้นที่ชุดสังกะสี	300	25	80	
พื้นที่ตกแต่งพื้นผิว เคลือบสี	750	25	80	
พื้นที่สร้างพิมพ์ปั๊ม ตัดเจาะสำหรับเครื่องจักร				
ขนาดเล็ก	1000	19	80	ป้องกันเรื่อง Stroboscopic effects
15. อุตสาหกรรมกระดาษ				
พื้นที่ปั่นเยื่อกระดาษ	200	25	80	
พื้นที่ผลิตกระดาษ	300	25	80	
พื้นที่เข้าเล่ม เข้าปกทั่วไป พับ ตัดขอบ เย็บเล่ม	500	22	60	
16. อุตสาหกรรมผลิตไฟฟ้า				
พื้นที่เก็บเชื้อเพลิง	50	28	20	สีด้านความปลอดภัยควรจะมองเห็นชัด
พื้นที่หม้อน้ำ	100	28	40	
พื้นที่เครื่องจักร	200	25	80	
พื้นที่อื่นๆ	200	25	60	
ห้องควบคุม	500	16	80	1.แผงควบคุมโดยทั่วไปอยู่ในแนวตั้ง 2.อาจจะต้องหรี่แสง 3.สำหรับพื้นที่ที่มีจอภาพให้ดู TIEA-GD002(WD)
17. อุตสาหกรรมการพิมพ์				
พื้นที่ทั่วไปเช่น ตัด เคลือบ ปั๊มนูนบนกระดาษ	500	19	80	
พื้นที่แท่นพิมพ์	500	19	80	
พื้นที่ตกแต่งงานพิมพ์	1000	19	80	

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เจาะดช

ประเภทของพื้นที่และกิจกรรม	`E_mLux	UGR_L	$R_{a(min)}$	หมายเหตุ
พื้นที่ตรวจสอบสี	1500	16	90	อุณหภูมิสีอย่างต่ำ 5000 K
พื้นที่ตกแต่งเพลท	2000	16	80	
18. อุตสาหกรรมหลอมเหล็ก				
พื้นที่ที่คนไม่สามารถสัญจรไปมาได้	50	28	20	สีทางด้านความปลอดภัยควรจะมองเห็นเด่นชัด
พื้นที่ที่คนสัญจรไปมาไม่บ่อยนัก	150	28	40	
พื้นที่ที่คนสัญจรไปมาตลอดเวลา	200	25	80	
พื้นที่เก็บ SLAB	50	28	20	สีทางด้านความปลอดภัยควรจะมองเห็นเด่นชัด
พื้นที่เตาหลอม	200	25	20	
พื้นที่ขนถ่าย ตัด รีดเหล็ก	300	25	40	
พื้นที่หรือแท่นควบคุมการผลิต	300	22	80	
พื้นที่ทดสอบควบคุมคุณภาพ	500	22	80	
อุโมงค์ขนส่ง	50	28	20	สีทางด้านความปลอดภัยควรจะมองเห็นเด่นชัด
19. อุตสาหกรรมทอผ้า				
พื้นที่ทั่วไป	200	25	60	
พื้นที่แต่ง ซัก รีด ดึงฝ้าย	300	22	80	
พื้นที่ปั่นด้าย ทอผ้า ถักผ้า	500	22	80	ป้องกันเรื่อง Stroboscopic cffects
พื้นที่เย็บ ถัก ปัก ละเอียด	750	22	90	
พื้นที่ออกแบบลวดลาย	750	22	90	อุณหภูมิสีอย่างต่ำ 4000 K
พื้นที่ย้อมผ้า	500	22	80	
พื้นที่อบแห้ง	100	28	60	
พื้นที่พิมพ์ผ้าด้วยเครื่องจักร	500	25	80	
พื้นที่พับ แต่งขอบ ผ้า	1000	19	80	
พื้นที่ตรวจสอบสี คุณภาพผ้า	1000	16	90	อุณหภูมิสีอย่างต่ำ 4000 K
พื้นที่ซ่อมแซมผ้า	1500	19	90	อุณหภูมิสีอย่างต่ำ 4000 K

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์ยงยุทธ เจาะเกษ

ประเภทของพื้นที่และกิจกรรม	`E_mLux	UGR_L	$R_{a(min)}$	หมายเหตุ
พื้นที่ตัดเย็บทั่วไป	500	22	80	
20. อุตสาหกรรมรถยนต์				
พื้นที่งานตัวถัง ประกอบรถยนต์	500	22	80	
ห้องพ่นสี เคลือบสี ขัดเงา	750	22	80	
พื้นที่ตกแต่งสี	1000	16	90	อุณหภูมิสีอย่างต่ำ 4000 K
พื้นที่ผลิตทำงานใต้ท้องรถโดยคน	1000	19	80	
พื้นที่ตรวจเช็คครั้งสุดท้าย	750	19	80	
21. อุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์และไม้				
พื้นที่ทำงานโดยเครื่องจักรอัตโนมัติ เช่น				
ย้อมสีไม้ ผลิตไม้อัด	50	28	40	
พื้นที่อบไอน้ำ	150	28	40	
พื้นที่เลื่อย ตัด เจาะ	300	25	60	ป้องกันเรื่อง Stroboscopic effects
พื้นที่ประกอบชิ้นส่วนหลัก	300	25	80	
พื้นที่ขัดเงา เคลือบสี ประกอบติดตั้งชิ้นส่วนตกแต่ง	750	22	80	
พื้นที่ทำงานการผลิตบนเครื่องจักรโดยคน	500	19	80	ป้องกันเรื่อง Stroboscopic effects
พื้นที่คัดเลือกชิ้นส่วน	750	22	90	อุณหภูมิสีอย่างต่ำ 4000 K
พื้นที่ตรวจสอบคุณภาพ	750	19	90	อุณหภูมิสีอย่างต่ำ 4000 K
22. อาคารสำนักงาน				
พื้นที่เก็บเอกสาร ถ่ายเอกสาร และพื้นที่ทั่วไปที่มีการสัญจร	300	19	80	
พื้นที่ที่มีการเขียน พิมพ์ อ่าน ใช้คอมพิวเตอร์และ data processing	500	19	80	สำหรับพื้นที่มีจอคอมพิวเตอร์ให้ดู TIEA-GD 002
พื้นที่ที่ใช้สำหรับเขียนแบบ	750	16	80	
พื้นที่ทำงานด้าน CAD	500	19	80	สำหรับพื้นที่มีจอคอมพิวเตอร์ให้ดู TIEA-GD 002
ห้องประชุม	300	19	80	

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เงาเดช

ประเภทของพื้นที่และกิจกรรม	`E_m Lux	UGR_L	$R_{a(min)}$	หมายเหตุ
พื้นที่เคาน์เตอร์ประชาสัมพันธ์ ต้อนรับ	300	22	80	
ห้องเก็บเอกสารสำคัญ	200	25	80	
23. ร้านค้าปลีก				
พื้นที่ขาย (ขนาดเล็ก)	300	22	80	
พื้นที่ขาย (ขนาดใหญ่)	500	22	80	
พื้นที่เก็บเงิน /ห่อ บรรจุ	500	19	80	
24. ห้องอาหารและโรงแรม				
พื้นที่ต้อนรับ เคาน์เตอร์เก็บเงินม บริการของโรงแรม	300	22	80	
ครัว	500	22	80	
พื้นที่ภัตตาคาร ห้องอาหาร ห้องจัดเลี้ยง	200	22	80	แสงสว่างควรออกแบบเพื่อสร้างบรรยากาศ
ห้องอาหารแบบบริการตัวเอง	200	22	80	
ห้องอาหารแบบบุฟเฟ่ท์	300	22	80	
ห้องจัดงานประชุม สัมนา	500	19	80	ระบบแสงสว่างควรจะเป็นระบบปรับแต่ง
พื้นที่ทางเดิน	100	25	80	ความสว่างได้ในเวลากลางคืน ความเข้มส่อง สว่างสามารถต่ำลงได้
25. พื้นที่สำหรับการแสดงและการบันเทิง				
โรงละคร พื้นที่แสดงคอนเสิร์ต	200	22	80	
พื้นที่สำหรับงานแสดงทั่วไป	300	22	80	
ห้องซ้อม ห้องเปลี่ยนเสื้อผ้า	300	22	80	ควรใช้กระจกเงาแต่งหน้าควรใช้แบบ Glare free
พิพิธภัณฑ์	300	19	80	ระบบแสงสว่างควรจะออกแบบให้เหมาะกับ การตั้งแสดงและป้องกันการแผ่รังสีจากหลอด

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์ยงยุทธ เงาเดช

ประเภทของพื้นที่และกิจกรรม	`E_mLux	UGR_L	$R_{a(min)}$	หมายเหตุ
26. ห้องสมุด				
พื้นที่ชั้นวางหนังสือ	200	19	80	(500 Lux สำหรับพื้นที่มีการใช้งานมาก)
พื้นที่อ่านหนังสือ	500	19	80	
เคาน์เตอร์	500	19	80	
27. พื้นที่จอดรถภายในตึกทั่วไป				
ทางเข้า-ออก (ช่วงกลางวัน)	300	25	20	สีทางด้านความปลอดภัยควรจะมองเห็นเด่นชัด
ทางเข้า-ออก (ช่วงกลางคืน)	50	25	20	
ช่องทางรถวิ่ง (ทางลาดชัน/หัวมุม)	75	25	20	
พื้นที่จอดรถ	50	28	20	ความเข้มส่องสว่างในแนวตั้งที่สูงขึ้นสามารถทำให้มองเห็นหน้าคนได้ชัดขึ้นและมีความปลอดภัยมากขึ้น
ห้องจ่าย/ เก็บบัตรจอดรถ	300	19	80	1.หลีกเลี่ยงแสงสะท้อนจากกระจก 2.ป้องกันแสงบาดตาจากข้างนอก
28. อาคารสำหรับสถาบันการศึกษา				
พื้นที่สำหรับการเรียนการศึกษาทั่วๆ ไป	300	19	80	
พื้นที่สำหรับเรียนภาคค่ำ และการศึกษาผู้ใหญ่	500	19	80	
ห้องบรรยาย	500	19	80	ระบบแสงสว่างควรจะควบคุมปรับแต่งได้
พื้นที่หน้ากระดานดำ	500	19	80	ควรระวังแสงสะท้อนถ้าอยู่ในห้องบรรยาย 750K
พื้นที่โต๊ะสาธิตงาน	500	19	80	(2000 Lux)
ห้องเรียนทางด้านศิลปะและหัตถกรรม	500	19	80	
ห้องแสดงศิลปะในโรงเรียนสอนศิลปะ	750	19	90	อุณหภูมิสีอย่างต่ำ 5000 K
ห้องเขียนแบบ	750	16	80	
ห้องทดสอบและฝึกหัด	500	19	80	
ห้องฝึกหัดทางดนตรี	300	19	80	

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์ยนต์ รี เจาะเซ

ประเภทของพื้นที่และกิจกรรม	`E_mLux	UGR_L	$R_{a(min)}$	หมายเหตุ
ห้องฝึกหัดทางคอมพิวเตอร์	500	19	80	สำหรับพื้นที่มีจอคอมพิวเตอร์ให้ดู TIEA-GD 002
ห้องฝึกหัดทางด้านภาษา	300	19	80	
ห้องเตรียมงานและฝึกหัดทั่วไป	500	22	80	
ห้องพักนักเรียนทั่วไป	200	22	80	
ห้องทำงานครู อาจารย์	300	22	80	
พื้นที่ออกกำลังกายในร่วม	300	22	80	
29. โรงพยาบาล				
พื้นที่รอรับการรักษา	200	22	80	ความเข้มส่องสว่างที่ระดับพื้น
ทางเดินทั่วไปเวลากลางวัน	200	22	80	
ทางเดินทั่วไปเวลากลางคืน	50	22	80	
ห้องพักรักษาผู้ป่วยนอก	200	22	80	
ห้องทำงานแพทย์	500	19	80	
ห้องพักแพทย์	300	19	80	
พื้นที่ห้องพักผู้ป่วยใน :				
พื้นที่ทั่วไป	100	19	80	ความเข้มส่องสว่างที่ระดับพื้น
แสงสว่างสำหรับการอ่านหนังสือ	300	19	80	
พื้นที่ตรวจทั่วไปในห้องพักผู้ป่วย	300	19	80	
พื้นที่ตรวจโรคและรักษาโรค	1000	19	80	
ความสว่างในเวลากลางคืน	5	19	80	
ห้องน้ำผู้ป่วย	200	22	80	
พื้นที่ตรวจโรคทั่วไป	500	19	90	
ห้องตรวจหูและตา	1000		90	ควงโคม ณ จุดตรวจ
พื้นที่ตรวจสอบสายตาโดยการอ่านและ				
ดูแผ่นภาพทางสายตา	500	16	90	
ห้องดูภาพจากจอภาพของเครื่อง Scanners	50	19	80	สำหรับพื้นที่มีจอคอมพิวเตอร์ให้ดู TIEA-GD 002

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เงาเดช

ประเภทของพื้นที่และกิจกรรม	`E_mLux	UGR_L	$R_{a(min)}$	หมายเหตุ
ห้องถ่ายเลือด/เครื่องรักษาไตเทียม	500	19	80	
พื้นที่ตรวจรักษาโรคผิวหนัง	500	19	90	
ห้องส่องกล้องตรวจอวัยวะภายในร่างกาย	300	19	80	
ห้องเข้าเฝือก	500	19	80	
ห้องจ่ายยา	300	19	80	
ห้องสำหรับการรักษาโดยการนวดและแผ่รังสี	300	19	80	
ห้องพักฟื้นก่อนและหลังผ่าตัด	500	19	80	
ห้องผ่าตัด	1000	19	90	
พื้นที่ใต้โคมผ่าตัด	จำเพาะ			E_m = 10K - 100K Lux
พื้นที่สำหรับห้องดูแลพิเศษ ICU :				
พื้นที่ทั่วไป	100	19	90	
แสงสว่างใช้ในการตรวจทั่วไป	300	19	90	ความเข้มส่องสว่างที่ระดับพื้น
พื้นที่สำหรับการตรวจรักษา	1000	19	90	
ความสว่างสำหรับการเฝ้าไข้กลางคืน	20	19	90	
พื้นที่ห้องทันตแพทย์:				
แสงสว่างโดยทั่วไป	500	19	90	แสงสว่างไม่ควรจะมีแสงบาดตาเลย
แสงสว่าง ณ ตัวผู้ป่วย	1000		90	ควงโคม ณ จุดรักษา
ใต้ควงโคมผ่าตัด	5000		90	อาจจะสูงกว่า 5000 Lux
แสงสว่างสำหรับเปรียบเทียบ สีพื้น	5000		90	อุณหภูมิสีอย่างต่ำ 6000K
พื้นที่ทดสอบและตรวจสอบสี	1000	19	90	
ห้องต่าเชื้อ	300	22	80	
ห้องปลอดเชื้อ	300	22	80	
ห้องชันสูตรพลิกศพ/ห้องเก็บศพ	750	19	90	
โต๊ะชันสูตรพลิกศพ	5000		90	อาจจะสูงกว่า 5000 Lux
30. สนามบิน				
พื้นที่สำหรับผู้โดยสารขาเข้า ขาออก พื้นที่รับกระเป๋าเดินทาง บันไดเลื่อน ทางเลื่อน และพื้นที่ทั่วไป	200	22	80	

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เงาเดช

ประเภทของพื้นที่และกิจกรรม	`E_m Lux	UGR_L	$R_{a(min)}$	หมายเหตุ
เคาน์เตอร์ประชาสัมพันธ์ ติดต่อสอบถาม ตรวจเช็คบัตรโดยสาร ตรวจหนังสือเดินทาง จุดตรวจผ่านศุลกากร	500	19	80	สำหรับพื้นที่มีจอคอมพิวเตอร์ให้ดู TIEA-GD 002
พื้นที่นั่งรอ	200	22	80	
ห้องเก็บกระเป๋าเดินทาง	200	28	60	
พื้นที่ควบคุมของเจ้าหน้าที่รักษาความปลอดภัย	300	19	80	สำหรับพื้นที่มีจอคอมพิวเตอร์ให้ดู TIEA-GD 002
หอควบคุมจราจรทางอากาศ	500	16	80	1. ระบบการส่องส่องสว่างควรจะสามารถควบ คุมปรับหรี่แสงได้ 2. สำหรับพื้นที่มีจอคอมพิวเตอร์ให้ดู TIEA-GD 002 3. หลีกเลี่ยงแสงบาดตาจากแสงแดด
พื้นที่ทดสอบตรวจซ่อมอากาศยาน ทดสอบเครื่องยนต์ เครื่องวัดสำหรับอากาศยาน พื้นที่ชานชาลาสถานีสำหรับผู้โดยสาร	500	22	80	
ขึ้นรถไฟ (ใต้ดิน)	50	28	40	
พื้นที่ขายตั๋วโดยสาร	300	19	80	
พื้นที่นั่งรอ	200	22	80	
31. วัด โบสถ์				
พื้นที่โดยรอบ	100	25	80	
ที่นั่ง แท่นบูชา แท่นยืน นั่งเทศน์	300	22	80	
การส่องเน้น (พระพุทธรูป พระรูป)	750		90	ประมาณ 3 เท่าของแสงสว่างรอบข้าง

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มหาวิทยาลัยแห่งชาติ

สถานที่	ความส่องสว่าง (Lux)
• ที่จอดรถ	50
• ห้องน้ำ ห้องส้วม ห้องเก็บของ	100
• ทางเดิน บันได	100
• ห้องรับแขกหรือห้องนั่งเล่น	100
• ห้องประกอบอาหาร	300
• ห้องรับประทานอาหาร	100
• ห้องนอน	50
• บริเวณทำงาน	300

ข้อมูลจาก : คู่มือแบบประเมินอาคารประหยัดพลังงาน (อาคารพักอาศัย)

หน้า ๑๕
เล่ม ๑๓๕ ตอนพิเศษ ๓๙ ง ราชกิจจานุเบกษา ๒๑ กุมภาพันธ์ ๒๕๖๑

ประกาศกรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน
เรื่อง มาตรฐานความเข้มของแสงสว่าง

โดยที่กฎกระทรวงกำหนดมาตรฐานในการบริหาร จัดการ และดำเนินการด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงานเกี่ยวกับความร้อน แสงสว่าง และเสียง พ.ศ. ๒๕๕๙ กำหนดให้นายจ้างจัดให้สถานประกอบกิจการมีความเข้มของแสงสว่างไม่ต่ำกว่ามาตรฐานตามที่อธิบดีประกาศกำหนด

อาศัยอำนาจตามความในข้อ ๔ แห่งกฎกระทรวงกำหนดมาตรฐานในการบริหาร จัดการและดำเนินการด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงานเกี่ยวกับความร้อน แสงสว่าง และเสียง พ.ศ. ๒๕๕๙ อธิบดีกรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงานจึงออกประกาศไว้ดังต่อไปนี้

ข้อ ๑ ประกาศนี้เรียกว่า “ประกาศกรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน เรื่อง มาตรฐานความเข้มของแสงสว่าง”

ข้อ ๒ ประกาศนี้ให้ใช้บังคับตั้งแต่วันถัดจากวันประกาศในราชกิจจานุเบกษา

ข้อ ๓ ในประกาศนี้

“ความเข้มของแสงสว่าง” หมายความว่า ปริมาณแสงที่ตกกระทบต่อหนึ่งหน่วยตารางเมตร ซึ่งในประกาศนี้ใช้หน่วยความเข้มของแสงสว่างเป็นลักซ์ (lux)

ข้อ ๔ นายจ้างต้องจัดให้สถานประกอบกิจการมีความเข้มของแสงสว่างไม่ต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ตามตารางแนบท้ายประกาศนี้

ประกาศ ณ วันที่ ๒๗ พฤศจิกายน พ.ศ. ๒๕๖๐
อนันต์ชัย อุทัยพัฒนาชีพ
ผู้ตรวจราชการกระทรวง รักษาราชการแทน
อธิบดีกรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน

เอกสารประกอบการสอนวิชาวิศวกรรมนครี เงาเดช

ตารางที่ ๑ มาตรฐานความเข้มของแสงสว่าง ณ บริเวณพื้นที่ทั่วไปและบริเวณการผลิตภายในสถานประกอบกิจการ

บริเวณพื้นที่และ/หรือลักษณะงาน	ลักษณะพื้นที่เฉพาะ	ตัวอย่างบริเวณพื้นที่ และ/หรือลักษณะงาน	ค่าเฉลี่ยความเข้มของแสงสว่าง (ลักซ์)	จุดที่ความเข้มของแสงสว่างต่ำสุด (ลักซ์)
บริเวณพื้นที่ทั่วไปที่มีการสัญจรของบุคคลและ/หรือยานพาหนะในภาวะปกติ และบริเวณที่มีการสัญจรในภาวะฉุกเฉิน	ทางสัญจรในภาวะฉุกเฉิน	ทางออกฉุกเฉิน เส้นทางหนีไฟ บันไดทางฉุกเฉิน (กรณีเกิดเหตุฉุกเฉินไฟดับ โดยวัดตามเส้นทางของทางออกที่ระดับพื้น)	๑๐	-
	ภายนอกอาคาร	ลานจอดรถ ทางเดิน บันได	๕๐	๒๕
		ประตูทางเข้าใหญ่ของสถานประกอบกิจการ	๕๐	-
	ภายในอาคาร	ทางเดิน บันได ทางเข้าห้องโถง	๑๐๐	๕๐
		ลิฟท์	๑๐๐	-
บริเวณพื้นที่ใช้ประโยชน์ทั่วไป		ห้องพักฟื้นสำหรับการปฐมพยาบาล ห้องพักผ่อน	๕๐	๒๕
		ป้อมยาม	๑๐๐	-
		- ห้องสุขา ห้องอาบน้ำ ห้องเปลี่ยนเสื้อผ้า - ห้องลอบบี้หรือบริเวณต้อนรับ - ห้องเก็บของ	๑๐๐	๕๐
		โรงอาหาร ห้องปรุงอาหาร ห้องตรวจรักษา	๓๐๐	๑๕๐
บริเวณพื้นที่ใช้ประโยชน์ในสำนักงาน		- ห้องสำนักงาน ห้องฝึกอบรม ห้องบรรยาย ห้องสืบค้นหนังสือ/เอกสาร ห้องถ่ายเอกสาร ห้องคอมพิวเตอร์ ห้องประชุม บริเวณโต๊ะประชาสัมพันธ์หรือติดต่อลูกค้า พื้นที่ห้องออกแบบ เขียนแบบ	๓๐๐	๑๕๐

เอกสารอ้างอิงประกอบการเรียนการสอนเท่านั้น ห้ามนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

บริเวณพื้นที่และ/หรือลักษณะงาน	ลักษณะพื้นที่เฉพาะ	ตัวอย่างบริเวณพื้นที่และ/หรือลักษณะงาน	ค่าเฉลี่ยความเข้มของแสงสว่าง (ลักซ์)	จุดที่ความเข้มของแสงสว่างต่ำสุด (ลักซ์)
บริเวณพื้นที่ใช้ประโยชน์ในกระบวนการผลิตหรือการปฏิบัติงาน		ห้องเก็บวัตถุดิบ บริเวณห้องอบหรือห้องทำให้แห้งของโรงงานวัด	๑๐๐	๕๐
		- จุด/ลานขนถ่ายสินค้า - คลังสินค้า - ใกล้ระเบียงไว้เพื่อการเคลื่อนย้าย - อาคารหม้อน้ำ - ห้องควบคุม - ห้องสวิตช์	๒๐๐	๑๐๐
		- บริเวณเตรียมการผลิต การเตรียมวัตถุดิบ - บริเวณพื้นที่บรรจุภัณฑ์ - บริเวณกระบวนการผลิต/บริเวณที่ทำงานกับเครื่องจักร - บริเวณการก่อสร้าง การขุดเจาะ การขุดตัน - งานทาสี	๓๐๐	๑๕๐

เอกสารประกอบการสอนมหาวิทยาลัยนเรศวร เงาเดช

ตารางที่ ๒ มาตรฐานความเข้มของแสงสว่าง ณ บริเวณที่ลูกจ้างต้องทำงาน โดยใช้สายตามองเฉพาะจุดหรือต้องใช้สายตาอยู่กับที่ในการทำงาน

การใช้สายตา	ลักษณะงาน	ตัวอย่างลักษณะงาน	ค่าความเข้มของแสงสว่าง (ลักซ์)
งานหยาบ	งานที่ชิ้นงานมีขนาดใหญ่สามารถมองเห็นได้อย่างชัดเจน มีความแตกต่างของสีชัดเจนมาก	- งานหยาบที่ทำที่โต๊ะหรือเครื่องจักร ชิ้นงานมีขนาดใหญ่กว่า ๗๕๐ ไมโครเมตร (๐.๗๕ มิลลิเมตร) - การตรวจงานหยาบด้วยสายตา การประกอบ การนับ การตรวจเช็คสิ่งของที่มีขนาดใหญ่ - การรีดเส้นด้าย - การอัดเบล การผสมเส้นใย หรือการสางเส้นใย - การซักรีด ซักแห้ง การอบ - การปั๊มขึ้นรูปแก้ว เป่าแก้ว และขัดงานแก้ว - งานตี และเชื่อมเหล็ก	๒๐๐ – ๓๐๐
งานละเอียดเล็กน้อย	งานที่ชิ้นงานมีขนาดปานกลาง สามารถมองเห็นได้และมีความแตกต่างของสีชัดเจน	- งานรับจ่ายเสื้อผ้า - การทำงานไม้ที่ชิ้นงานมีขนาดปานกลาง - งานบรรจุน้ำลงขวดหรือกระป๋อง - งานเจาะรู ทากาว หรือเย็บเล่มหนังสือ งานบันทึกและคัดลอกข้อมูล - งานเตรียมอาหาร ปรุงอาหาร และล้างจาน - งานผสมและตกแต่งขนมปัง - การทอผ้าดิบ	๓๐๐ – ๕๐๐
	งานที่ชิ้นงานมีขนาดปานกลางหรือเล็ก สามารถมองเห็นได้ชัดเจน และมีความแตกต่างของสีปานกลาง	- งานประจำในสำนักงาน เช่น งานเขียน งานพิมพ์ งานบันทึกข้อมูล การอ่านและประมวลผลข้อมูล การจัดเก็บเอกสาร - การปฏิบัติงานที่ชิ้นงานมีขนาดตั้งแต่ ๑๒๕ ไมโครเมตร (๐.๑๒๕ มิลลิเมตร) - งานออกแบบและเขียนแบบ โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ - งานประกอบรถยนต์และตัวถัง - งานตรวจสอบแผ่นเหล็ก - การทำงานไม้อย่างละเอียดบนโต๊ะหรือที่เครื่องจักร - การทอผ้าลายย่อย ทอละเอียด	๔๐๐ - ๕๐๐

เอกสารประกอบการสอนวิชาการส่องสว่างและการประยุกต์ใช้งาน

การใช้สายตา	ลักษณะงาน	ตัวอย่างลักษณะงาน	ค่าความเข้มของแสงสว่าง (ลักซ์)
		- การตัดเกรดแป้ง - การเตรียมอาหาร เช่น การทำความสะอาด การต้มฯ - การสับด้าย การแต่ง การบรรจุในงานท่อผ้า	
งานละเอียดปานกลาง	งานที่ชิ้นงานมีขนาดเป็นกลางหรือเล็ก สามารถมองเห็นได้แต่ไม่ชัดเจน และมีความแตกต่างของสีบ้างและต้องใช้สายตาในการทำงานค่อนข้างมาก	- งานระบายสี พ่นสี ตกแต่งสี หรือตัดตกแต่งละเอียด - งานพิสูจน์อักษร - งานตรวจสอบขั้นสุดท้ายในโรงผลิตรถยนต์	๕๐๐ - ๖๐๐
		- งานออกแบบและเขียนแบบ โดยไม่ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ - งานตรวจสอบอาหาร เช่น การตรวจอาหารกระป๋อง - การตัดเกรดน้ำตาล	๖๐๐ – ๗๐๐
งานละเอียดสูง	งานที่ชิ้นงานมีขนาดเล็ก สามารถมองเห็นได้แต่ไม่ชัดเจน และมีความแตกต่างของสีน้อย ต้องใช้สายตาในการทำงานมาก	- ควบคุมปริมาณที่ชิ้นงานมีขนาดตั้งแต่ ๒๕ ไมโครเมตร (๐.๐๒๕ มิลลิเมตร) - งานปรับเทียบมาตรฐานความถูกต้องและความแม่นยำของอุปกรณ์ - การระบายสี พ่นสี และตกแต่งชิ้นงานที่ต้องการความละเอียดมากหรือต้องการความแม่นยำสูง - งานย้อมสี	๗๐๐ - ๘๐๐
	งานที่ชิ้นงานมีขนาดเล็ก สามารถมองเห็นได้แต่ไม่ชัดเจน และมีความแตกต่างของสีน้อย ต้องใช้สายตาในการทำงานมากและใช้เวลาในการทำงาน	- การตรวจสอบ การติดป้ายเสื้อผ้าด้วยมือ - การตรวจสอบและคัดแยกสิ่งทอ สิ่งทอ หรือเสื้อผ้าที่มีสีอ่อนขึ้นสุดท้ายด้วยมือ - การคัดแยกและเทียบสีหนังที่มีสีเข้ม - การเทียบสีในงานย้อมผ้า - การทอผ้าสีเข้ม ทอละเอียด - การร้อยตะกร้อ	๘๐๐ - ๑,๒๐๐

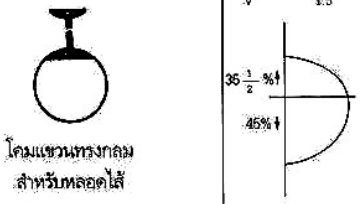
เอกสารประกอบการสอนวิชาการออกแบบระบบแสงสว่าง

การใช้สายตา	ลักษณะงาน	ตัวอย่างลักษณะงาน	ค่าความเข้มของแสงสว่าง (ลักซ์)
งานละเอียดสูงมาก	งานที่ชิ้นงานมีขนาดเล็กมาก ไม่สามารถมองเห็นได้อย่างชัดเจน และมีความแตกต่างของสีน้อยมากหรือมีสีไม่แตกต่างกัน ต้องใช้สายตาเพ่งในการทำงานมากและใช้เวลาในการทำงานระยะเวลานาน	- งานละเอียดที่ทำที่โต๊ะหรือเครื่องจักร ชิ้นงานที่มีขนาดเล็กกว่า ๒๕ ไมโครเมตร (๐.๐๒๕ มิลลิเมตร) - งานตรวจสอบชิ้นส่วนที่มีขนาดเล็ก - งานซ่อมแซม สิ่งทอ สิ่งทอที่มีสีอ่อน - งานตรวจสอบและตกแต่งชิ้นส่วนของสิ่งทอ สิ่งทอที่มีสีเข้มด้วยมือ - การตรวจสอบและตกแต่งผลิตภัณฑ์สีเข้มและสีอ่อนด้วยมือ	๑,๖๐๐ - ๓,๖๐๐
งานละเอียดสูงมากเป็นพิเศษ	งานที่ชิ้นงานมีขนาดเล็กมากเป็นพิเศษ ไม่สามารถมองเห็นได้อย่างชัดเจน และมีความแตกต่างของสีน้อยมากหรือมีสีไม่แตกต่างกัน ต้องใช้สายตาเพ่งในการทำงานมากหรือใช้ทัศนะและความชำนาญสูง และใช้เวลาในการทำงานระยะเวลานาน	- การปฏิบัติงานตรวจสอบชิ้นงานที่มีขนาดเล็กมากเป็นพิเศษ - การเจียระไนเพชร พลอย การทำนาฬิกาข้อมือสำหรับกระบวนการผลิตที่มีขนาดเล็กมากเป็นพิเศษ - งานทางการแพทย์ เช่น งานผ่าตัด ห้องผ่าตัด	๒,๔๐๐ หรือมากกว่า

เอกสารประกอบการสอนปาลวรรย์นันทรี เงาเดช

ตารางที่ 3 : ตารางแสดงค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์ของดวงโคมชนิดต่าง ๆ (CU) โดยวิธี Zonal Cavity Method

ลักษณะของดวงโคม	ลักษณะการกระจายความเข้มแสงและอัตราส่วนภูมิแสงของหลอดไฟ	ρ_{cc}→	80			70			50			30			10			0
		ρ_w→	50	30	10	50	30	10	50	30	10	50	30	10	50	30	10	0
	ประเภทของดวงโคม / SC*	RCR ↓	ค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์เมื่อค่าประสิทธิผลของการสะท้อนแสงของโพรงพื้นมีค่าเท่ากับ 20 เปอร์เซ็นต์ (ρ_{fc} = 20)															
1 โคมแขวนทรงกลม สำหรับหลอดไส้	V 1.5	0	.87	.87	.87	.81	.81	.81	.70	.70	.70	.59	.59	.59	.49	.49	.49	.45
		1	.71	.67	.63	.66	.62	.59	.56	.53	.50	.47	.45	.42	.38	.37	.35	.31
		2	.60	.54	.49	.56	.50	.45	.47	.43	.39	.39	.36	.33	.32	.29	.27	.23
		3	.52	.45	.39	.48	.42	.37	.41	.36	.31	.34	.30	.26	.27	.24	.22	.18
		4	.46	.38	.33	.42	.35	.30	.36	.33	.26	.30	.26	.22	.24	.21	.18	.15
		5	.40	.33	.27	.37	.30	.25	.31	.26	.22	.26	.22	.18	.21	.18	.15	.12
		6	.36	.28	.23	.33	.26	.21	.28	.23	.19	.23	.19	.16	.19	.15	.13	.10
		7	.32	.25	.20	.29	.23	.18	.25	.20	.16	.21	.16	.13	.17	.13	.11	.09
		8	.29	.22	.17	.26	.20	.16	.23	.17	.14	.19	.15	.12	.15	.12	.09	.07
		9	.26	.19	.15	.24	.18	.14	.20	.15	.12	.17	.13	.10	.14	.11	.08	.06
		10	.23	.17	.13	.22	.16	.12	.19	.14	.10	.16	.12	.09	.13	.09	.07	.05
2 โคมแขวนแบบวงแหวนหลายวง สำหรับหลอดไส้ชนิดเคลือบเงิน	II NA	0	.83	.83	.83	.72	.72	.72	.50	.50	.50	.30	.30	.30	.12	.12	.12	.03
		1	.72	.69	.66	.62	.60	.57	.43	.42	.40	.26	.25	.25	.10	.10	.10	.03
		2	.63	.58	.54	.54	.50	.47	.38	.36	.33	.23	.22	.21	.09	.09	.08	.02
		3	.56	.49	.45	.48	.43	.39	.33	.30	.28	.20	.19	.17	.08	.08	.07	.02
		4	.48	.42	.37	.42	.37	.33	.29	.26	.24	.18	.16	.15	.07	.07	.06	.02
		5	.43	.36	.32	.37	.32	.28	.26	.23	.20	.16	.14	.13	.06	.06	.05	.01
		6	.38	.32	.27	.33	.28	.24	.23	.20	.17	.14	.12	.11	.06	.05	.04	.01
		7	.34	.28	.23	.30	.24	.21	.21	.17	.15	.13	.11	.09	.05	.04	.04	.01
		8	.31	.25	.20	.27	.21	.18	.19	.15	.13	.12	.10	.08	.05	.04	.03	.01
		9	.28	.22	.18	.24	.19	.16	.17	.14	.11	.10	.09	.07	.04	.03	.03	.01
		10	.25	.20	.16	.22	.17	.14	.16	.12	.10	.10	.08	.06	.04	.03	.03	.01
3 โคมแขวนกระเบื้องเคลือบ สำหรับหลอดไส้	IV 1.3	0	.99	.99	.99	.97	.97	.97	.93	.93	.93	.89	.89	.89	.85	.85	.85	.83
		1	.88	.86	.82	.86	.83	.81	.83	.80	.78	.79	.78	.76	.77	.75	.73	.72
		2	.78	.73	.68	.76	.72	.67	.73	.69	.66	.71	.67	.64	.68	.65	.63	.61
		3	.69	.62	.57	.67	.61	.57	.65	.60	.56	.63	.58	.55	.61	.57	.54	.52
		4	.61	.54	.49	.60	.53	.48	.58	.52	.48	.56	.51	.47	.54	.50	.46	.45
		5	.54	.47	.41	.53	.46	.41	.51	.45	.41	.50	.44	.40	.48	.43	.40	.38
		6	.48	.41	.35	.47	.40	.35	.46	.39	.35	.43	.38	.34	.32			
		7	.43	.35	.30	.42	.35	.30	.41	.34	.30	.39	.34	.30	.38	.33	.29	.28
		8	.38	.31	.26	.38	.31	.26	.37	.30	.26	.36	.30	.26	.35	.30	.26	.24
		9	.35	.28	.23	.34	.27	.23	.33	.27	.23	.32	.27	.23	.31	.26	.22	.21
		10	.31	.25	.20	.31	.24	.20	.30	.24	.20	.29	.24	.20	.29	.23	.20	.18
4 โคมสี่เหลี่ยมจัตุรัสมีการกระจายแสงแบบเกล็ดแก้ว	V 1.3	0	.89	.89	.89	.85	.85	.85	.77	.77	.77	.70	.70	.70	.63	.63	.63	.60
		1	.78	.76	.72	.74	.72	.69	.68	.66	.64	.62	.60	.58	.56	.55	.54	.51
		2	.69	.65	.61	.66	.62	.58	.61	.57	.54	.56	.53	.50	.51	.49	.47	.44
		3	.62	.57	.52	.60	.55	.50	.55	.51	.47	.50	.47	.44	.46	.43	.41	.39
		4	.56	.50	.46	.54	.49	.44	.50	.45	.42	.46	.42	.39	.42	.39	.37	.35
		5	.51	.45	.40	.49	.43	.39	.45	.41	.37	.42	.38	.35	.39	.36	.33	.31
		6	.46	.40	.36	.45	.39	.35	.42	.37	.33	.39	.35	.31	.36	.32	.30	.28
		7	.42	.36	.32	.41	.35	.31	.38	.33	.29	.35	.31	.28	.33	.29	.27	.25
		8	.38	.32	.28	.37	.32	.28	.35	.30	.26	.32	.28	.25	.30	.27	.24	.22
		9	.35	.29	.25	.34	.29	.25	.32	.27	.24	.30	.26	.23	.28	.24	.22	.20
		10	.32	.27	.23	.31	.26	.22	.29	.25	.21	.27	.23	.20	.26	.22	.20	.18
5 โคมฝังแบบไม่มีตัวกันแสง ใช้กับหลอด R-40	IV 0.6	0	1.19	1.19	1.19	1.18	1.18	1.18	1.11	1.11	1.11	1.06	1.06	1.06	1.02	1.02	1.02	1.00
		1	1.09	1.07	1.04	1.07	1.05	1.02	1.03	1.01	.99	.99	.98	.96	.96	.95	.93	.92
		2	1.01	.97	.93	.99	.96	.92	.96	.93	.90	.93	.90	.88	.90	.88	.86	.84
		3	.93	.88	.84	.92	.87	.83	.89	.85	.81	.87	.83	.80	.84	.81	.79	.77
		4	.87	.87	.76	.85	.80	.75	.83	.78	.75	.81	.77	.74	.79	.76	.73	.71
		5	.80	.74	.69	.79	.73	.69	.77	.72	.68	.76	.71	.67	.74	.70	.67	.65
		6	.74	.68	.63	.73	.67	.63	.72	.66	.62	.69	.65	.61	.60			
		7	.69	.62	.57	.68	.62	.57	.67	.61	.57	.65	.60	.56	.64	.60	.56	.55
		8	.64	.57	.53	.63	.57	.52	.62	.56	.52	.61	.56	.52	.60	.55	.52	.50
		9	.59	.52	.48	.58	.52	.48	.58	.52	.48	.57	.51	.48	.56	.51	.47	.46
		10	.55	.49	.44	.55	.48	.44	.54	.48	.44	.53	.48	.44	.52	.47	.44	.42
6 โคมฝังชนิดมีตัวสะท้อนแสง 45° แบบติดออกใช้กับหลอด R-40	IV 0.7	0	1.01	1.01	1.01	.99	.99	.99	.94	.94	.94	.90	.90	.90	.87	.87	.87	.85
		1	.96	.94	.92	.94	.92	.91	.90	.89	.88	.87	.86	.85	.84	.84	.83	.82
		2	.91	.88	.86	.90	.87	.85	.87	.85	.83	.84	.83	.82	.82	.81	.80	.79
		3	.87	.84	.81	.86	.83	.81	.84	.81	.79	.82	.80	.78	.80	.78	.77	.76
		4	.83	.80	.77	.82	.79	.77	.81	.78	.76	.79	.77	.75	.78	.76	.74	.73
		5	.79	.76	.73	.79	.75	.73	.77	.74	.72	.76	.73	.71	.75	.73	.71	.70
		6	.76	.73	.70	.76	.72	.70	.75	.72	.69	.74	.71	.69	.73	.70	.68	.67
		7	.73	.69	.66	.73	.69	.66	.72	.68	.66	.71	.68	.66	.70	.67	.65	.64
		8	.70	.66	.63	.70	.66	.63	.69	.65	.63	.68	.65	.63	.67	.65	.63	.62
		9	.67	.63	.60	.67	.63	.60	.66	.62	.60	.65	.62	.60	.65	.62	.60	.59
		10	.64	.60	.58	.64	.60	.58	.63	.60	.58	.63	.60	.57	.62	.59	.57	.56



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

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

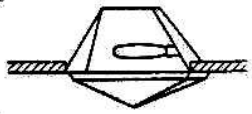
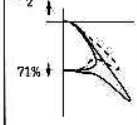
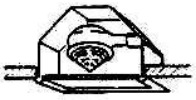
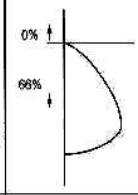
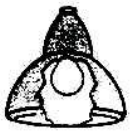
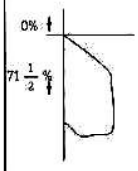
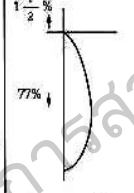
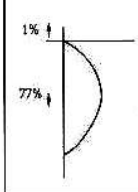
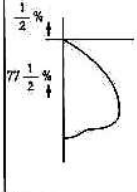
เอกสารประกอบการสอนสาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้า

ลักษณะของดวงโคม	ลักษณะการกระจายความสว่างและอัตราส่วนผลของหลอดไฟ			ρ_{cc}→	80			70			50			30			10			0
				ρ_w↓	50	30	10	50	30	10	50	30	10	50	30	10	50	30	10	0
	ประเภทของดวงโคม	SC*	RCR ↓	ค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์เมื่อค่าประสิทธิผลของการสะท้อนแสงของโพรงพื้นมีค่าเท่ากับ 20 เปอร์เซ็นต์ (ρ_{fc} = 20)															
7	IV	0.7	0	.52	.52	.52	.51	.51	.51	.48	.48	.48	.46	.46	.46	.45	.45	.45	.44
			1	.49	.48	.48	.48	.48	.47	.47	.46	.46	.45	.45	.44	.44	.43	.43	.42
			2	.47	.46	.45	.46	.45	.44	.45	.44	.43	.44	.43	.42	.43	.42	.42	.41
			3	.45	.44	.43	.45	.43	.42	.44	.42	.42	.43	.42	.41	.42	.41	.40	.40
			4	.43	.42	.41	.43	.41	.40	.42	.41	.40	.41	.40	.39	.41	.40	.39	.38
			5	.42	.40	.39	.41	.40	.38	.41	.39	.38	.40	.39	.38	.39	.38	.38	.37
			6	.40	.39	.37	.40	.38	.37	.39	.38	.37	.39	.38	.37	.38	.37	.36	.36
			7	.39	.37	.36	.39	.37	.36	.38	.37	.35	.38	.36	.35	.37	.36	.35	.35
			8	.37	.36	.34	.37	.35	.34	.37	.35	.34	.36	.35	.34	.36	.35	.34	.33
			9	.36	.34	.33	.36	.34	.33	.35	.34	.33	.35	.34	.33	.35	.33	.33	.32
			10	.35	.33	.32	.35	.33	.32	.34	.33	.32	.34	.33	.32	.34	.32	.31	.31
โคมฝังแบบมีช่องเปิดให้แสงออก 51 มม.																			
8	V	1.0	0	.65	.65	.65	.63	.63	.63	.60	.60	.60	.58	.58	.58	.55	.55	.55	.54
			1	.60	.58	.57	.58	.57	.56	.56	.55	.54	.54	.53	.52	.52	.52	.51	.50
			2	.55	.53	.51	.54	.52	.50	.52	.50	.49	.51	.49	.48	.49	.48	.47	.46
			3	.51	.49	.48	.50	.47	.45	.49	.46	.44	.47	.45	.44	.46	.44	.43	.42
			4	.47	.44	.41	.47	.44	.41	.45	.43	.41	.44	.42	.40	.43	.41	.40	.39
			5	.44	.40	.38	.43	.40	.38	.42	.39	.37	.41	.39	.37	.40	.38	.37	.36
			6	.41	.37	.35	.40	.37	.35	.39	.36	.34	.39	.36	.34	.38	.36	.34	.33
			7	.38	.34	.32	.37	.34	.32	.37	.34	.31	.36	.33	.31	.35	.33	.31	.30
			8	.35	.32	.29	.35	.31	.29	.34	.31	.29	.34	.31	.29	.33	.30	.29	.28
			9	.33	.29	.27	.32	.29	.27	.32	.29	.26	.31	.28	.26	.31	.28	.26	.25
			10	.30	.27	.25	.30	.27	.24	.30	.27	.24	.29	.26	.24	.29	.26	.24	.23
โคมฝังแบบกระจายแสงปานกลางผ่านแลนส์ใช้กับหลอดเคลือบสาร																			
9	IV	0.5	0	.82	.82	.82	.80	.80	.80	.76	.76	.76	.73	.73	.73	.70	.70	.70	.69
			1	.78	.77	.76	.77	.76	.75	.74	.74	.73	.72	.71	.71	.69	.69	.69	.68
			2	.76	.74	.73	.75	.73	.72	.73	.71	.70	.71	.70	.69	.69	.68	.67	.67
			3	.74	.72	.70	.73	.71	.70	.71	.70	.69	.70	.69	.68	.68	.67	.67	.66
			4	.72	.70	.68	.71	.69	.68	.70	.68	.67	.69	.67	.66	.67	.66	.66	.65
			5	.70	.68	.68	.69	.67	.66	.68	.67	.65	.67	.66	.65	.67	.65	.64	.64
			6	.69	.66	.65	.68	.66	.65	.67	.66	.64	.67	.65	.64	.66	.65	.64	.63
			7	.67	.65	.63	.67	.65	.63	.66	.64	.63	.65	.64	.63	.65	.64	.64	.62
			8	.66	.64	.62	.65	.63	.62	.65	.63	.62	.64	.63	.62	.64	.62	.61	.61
			9	.65	.63	.61	.64	.62	.61	.64	.62	.61	.63	.62	.61	.63	.62	.61	.60
			10	.63	.61	.60	.63	.61	.60	.63	.61	.60	.62	.61	.60	.62	.61	.60	.59
โคมฝังชนิดส่องแสงด้านล่างแบบเปิดช่องขนาด 140 มม. ใช้กับหลอด 150 PAR/FL																			
10	IV	0.5	0	1.01	1.01	1.01	.99	.99	.99	.95	.95	.95	.91	.91	.91	.87	.87	.87	.86
			1	.97	.96	.94	.95	.94	.92	.92	.91	.90	.88	.88	.87	.86	.85	.84	.83
			2	.93	.91	.89	.91	.89	.88	.89	.87	.86	.86	.88	.84	.84	.83	.82	.81
			3	.90	.87	.85	.89	.86	.84	.87	.85	.83	.85	.83	.82	.83	.82	.81	.79
			4	.87	.84	.82	.86	.83	.81	.84	.82	.80	.83	.81	.79	.81	.80	.79	.78
			5	.84	.81	.79	.83	.80	.78	.82	.79	.78	.81	.79	.77	.80	.78	.78	.75
			6	.82	.79	.76	.81	.78	.76	.80	.78	.76	.79	.77	.75	.78	.76	.75	.74
			7	.79	.76	.74	.79	.76	.74	.78	.75	.73	.77	.75	.73	.76	.74	.73	.72
			8	.77	.74	.72	.77	.74	.72	.76	.73	.71	.75	.73	.71	.75	.72	.71	.70
			9	.75	.72	.70	.75	.72	.70	.74	.71	.69	.73	.71	.69	.73	.71	.69	.68
			10	.73	.70	.68	.73	.70	.68	.72	.69	.68	.72	.69	.67	.71	.69	.67	.67
โคมฝังชนิดส่องแสงลงด้านล่างแบบช่องขนาด 140 มม. ใช้กับหลอด 75 ER 30																			
11	V	1.4	0	.63	.63	.63	.62	.62	.62	.59	.59	.59	.57	.57	.57	.54	.54	.54	.53
			1	.58	.56	.54	.57	.55	.54	.54	.53	.52	.52	.51	.50	.50	.50	.49	.48
			2	.53	.50	.48	.52	.49	.47	.50	.48	.46	.48	.47	.46	.47	.45	.44	.43
			3	.48	.45	.42	.47	.44	.42	.46	.43	.41	.44	.42	.40	.43	.41	.40	.39
			4	.44	.40	.37	.43	.40	.37	.42	.39	.37	.41	.38	.36	.40	.37	.36	.35
			5	.40	.36	.33	.39	.36	.33	.38	.35	.33	.37	.35	.32	.36	.34	.32	.31
			6	.36	.32	.30	.36	.32	.29	.35	.32	.29	.34	.31	.29	.33	.31	.29	.28
			7	.33	.29	.26	.33	.29	.26	.32	.28	.26	.31	.28	.26	.30	.28	.26	.25
			8	.30	.26	.23	.30	.26	.23	.29	.26	.23	.28	.25	.23	.28	.25	.23	.22
			9	.27	.23	.21	.27	.23	.21	.026	.23	.21	.26	.23	.20	.25	.22	.20	.19
			10	.25	.21	.18	.25	.21	.18	.24	.21	.18	.24	.20	.18	.23	.20	.28	.17
โคมฝังชนิดกระจายแสงกว้างผ่านแลนส์ใช้กับหลอดเคลือบสาร																			
12	V	1.3	0	.62	.62	.62	.60	.60	.60	.57	.57	.57	.54	.54	.54	.52	.52	.52	.51
			1	.53	.51	.48	.52	.49	.47	.49	.47	.46	.47	.45	.44	.45	.43	.42	.41
			2	.46	.42	.39	.45	.42	.39	.43	.40	.38	.41	.39	.36	.39	.37	.35	.34
			3	.41	.36	.33	.40	.35	.32	.38	.34	.31	.36	.33	.31	.35	.32	.30	.29
			4	.36	.31	.28	.35	.31	.28	.34	.30	.27	.32	.29	.26	.31	.28	.26	.25
			5	.32	.27	.24	.31	.27	.24	.30	.26	.23	.29	.26	.23	.28	.26	.22	.21
			6	.29	.24	.20	.28	.24	.20	.27	.23	.20	.26	.22	.20	.25	.22	.19	.18
			7	.26	.21	.18	.25	.21	.18	.24	.20	.17	.23	.20	.17	.22	.19	.17	.16
			8	.23	.19	.15	.23	.18	.15	.22	.18	.15	.21	.18	.15	.20	.17	.15	.14
			9	.21	.17	.14	.21	.16	.14	.20	.16	.13	.19	.16	.13	.19	.16	.13	.12
			10	.19	.16	.152	.19	.15	.12	.18	.14	.12	.18	.14	.12	.17	.14	.12	.11
โคมฝังชนิดมีกระจกแก้วกระจายแสงทั้น																			

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

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

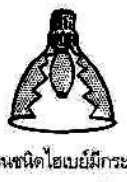
เอกสารประกอบการเรียนการสอนวิชาการส่องสว่างและการประหยัดพลังงาน

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

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

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

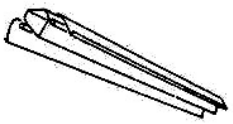
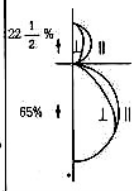
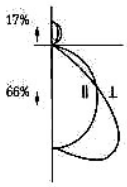
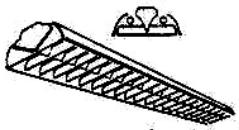
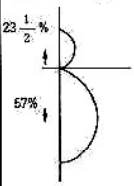
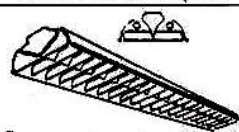
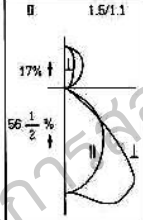
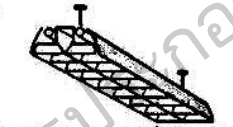
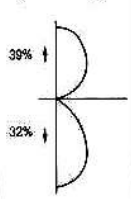
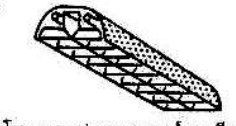
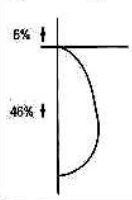
เอกสารประกอบการสอนวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าแสงสว่าง

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

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

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

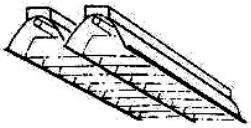
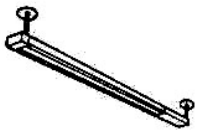
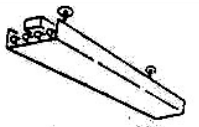
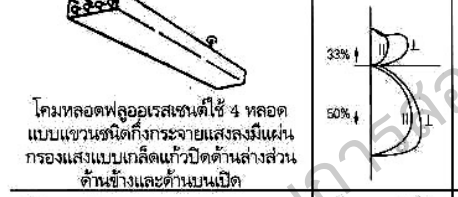
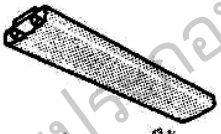
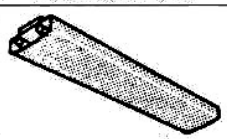
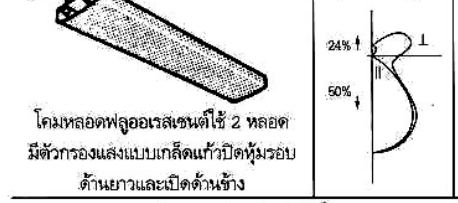
เอกสารประกอบการสอน มหาวิทยาลัยราชภัฏ

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

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

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

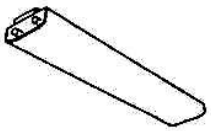
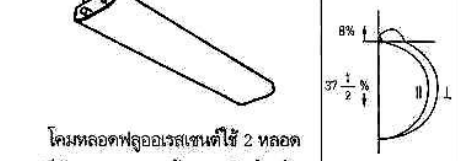
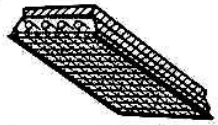
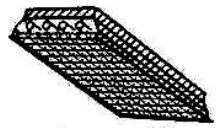
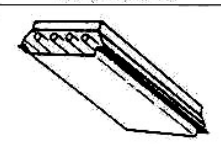
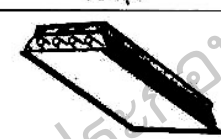
เอกสารประกอบการเรียนการสอน

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

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

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

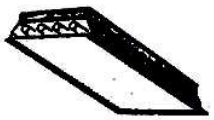
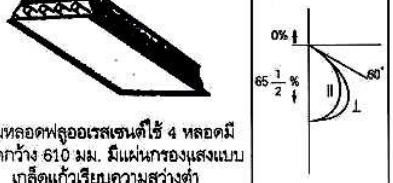
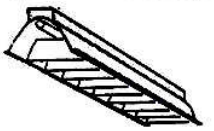
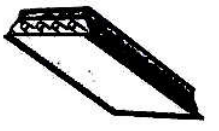
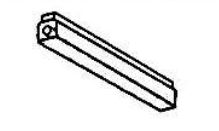
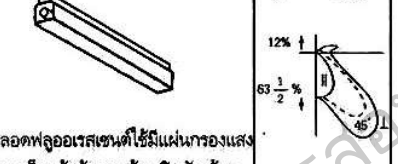
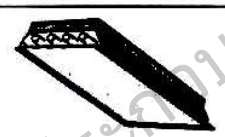
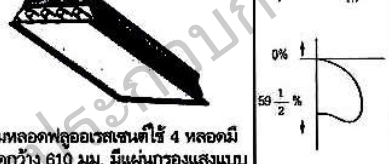
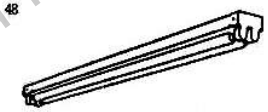
เอกสารประกอบการสอนมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ลักษณะของดวงโคม	ลักษณะการกระจายความเข้มแสงและอัตราส่วนอุณหภูมิของหลอดไฟ		ρ_{cc} →	80			70			50			30			10			0
			ρ_w →	50	30	10	50	30	10	50	30	10	50	30	10	50	30	10	0
	ประเภทของดวงโคม	SC*	RCR ↓	ค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์เมื่อค่าประสิทธิผลของการสะท้อนแสงของโพรงพื้นมีค่าเท่ากับ 20 เปอร์เซ็นต์ (ρ_{fc} = 20)															
37  โคมหลอดฟลูออเรสเซนต์ใช้ 2 หลอด มีตัวกรองแสงรอบด้านยาวเปิดด้านข้าง	V  8% 37 1/2 %	1.3	0	.52	.52	.52	.50	.50	.50	.46	.46	.46	.43	.43	.43	.39	.39	.39	.38
			1	.45	.43	.41	.43	.41	.39	.40	.38	.37	.38	.35	.34	.34	.33	.32	.30
			2	.39	.35	.33	.37	.34	.32	.34	.32	.30	.32	.30	.28	.29	.28	.25	.25
			3	.34	.30	.27	.33	.29	.26	.30	.27	.25	.28	.26	.24	.26	.24	.22	.20
			4	.30	.26	.23	.29	.25	.22	.27	.24	.21	.25	.22	.20	.23	.21	.19	.18
			5	.26	.22	.19	.25	.21	.19	.23	.20	.18	.22	.19	.17	.20	.18	.16	.15
			6	.23	.19	.16	.23	.19	.16	.21	.18	.15	.19	.17	.14	.18	.16	.14	.13
			7	.21	.17	.14	.20	.16	.14	.19	.16	.13	.18	.15	.13	.16	.14	.12	.11
			8	.19	.15	.12	.18	.14	.12	.17	.14	.11	.16	.13	.11	.15	.12	.10	.09
			9	.17	.13	.10	.16	.13	.10	.15	.12	.10	.14	.11	.09	.13	.11	.09	.08
			10	.15	.12	.09	.15	.11	.09	.14	.11	.09	.13	.10	.08	.12	.10	.08	.07
38  โคมหลอดฟลูออเรสเซนต์ใช้ 4 หลอดมีขนาดกว้าง 610 มม. มีแผ่นกรองแสงพลาสติกกั้น 45°	IV 0% 50%	1.0	0	.60	.60	.60	.58	.58	.58	.56	.56	.56	.53	.53	.53	.51	.51	.51	.50
			1	.54	.52	.50	.52	.51	.49	.50	.49	.48	.48	.47	.46	.47	.46	.45	.44
			2	.48	.45	.43	.47	.44	.42	.45	.43	.41	.44	.42	.40	.42	.41	.39	.39
			3	.43	.40	.37	.42	.39	.37	.41	.38	.35	.40	.37	.36	.39	.37	.35	.34
			4	.39	.35	.32	.38	.35	.32	.37	.34	.32	.36	.33	.31	.35	.33	.31	.30
			5	.35	.31	.28	.35	.31	.28	.34	.30	.28	.33	.30	.28	.32	.29	.27	.26
			6	.32	.28	.25	.32	.28	.25	.31	.27	.25	.30	.27	.25	.29	.26	.24	.23
			7	.29	.25	.22	.29	.25	.22	.28	.25	.22	.27	.24	.22	.27	.24	.22	.21
			8	.26	.22	.20	.26	.2	2.20	.25	.22	.20	.25	.22	.19	.24	.21	.19	.18
			9	.24	.20	.17	.24	.20	.17	.23	.20	.17	.23	.19	.17	.22	.19	.17	.16
			10	.22	.18	.16	.22	.18	.16	.21	.18	.16	.21	.18	.15	.20	.17	.15	.15
39  โคมหลอดฟลูออเรสเซนต์ใช้ 4 หลอดมีขนาดกว้าง 610 มม. มีแผ่นกรองแสงโลหะสีขาวกั้น 45°	IV 0% 46%	0.9	0	.55	.55	.55	.54	.54	.54	.51	.51	.51	.49	.49	.49	.47	.47	.47	.46
			1	.50	.48	.47	.49	.47	.46	.47	.46	.45	.45	.44	.43	.43	.43	.42	.41
			2	.45	.43	.41	.44	.42	.40	.43	.41	.39	.41	.40	.38	.40	.39	.37	.37
			3	.41	.38	.36	.40	.38	.35	.39	.37	.35	.38	.36	.34	.37	.35	.34	.33
			4	.37	.34	.32	.37	.34	.31	.36	.33	.31	.35	.32	.31	.34	.32	.30	.29
			5	.34	.30	.28	.33	.30	.28	.32	.30	.27	.32	.29	.27	.31	.29	.27	.26
			6	.31	.28	.25	.31	.27	.25	.30	.27	.25	.29	.27	.25	.29	.26	.24	.24
			7	.29	.25	.23	.28	.25	.23	.28	.25	.22	.27	.24	.22	.26	.24	.22	.21
			8	.26	.23	.20	.26	.23	.20	.26	.22	.20	.25	.22	.20	.24	.22	.20	.19
			9	.24	.20	.18	.24	.20	.18	.23	.20	.18	.23	.20	.18	.22	.20	.18	.17
			10	.22	.19	.16	.22	.19	.16	.21	.18	.16	.21	.18	.16	.20	.18	.16	.15
40  โคมหลอดฟลูออเรสเซนต์ใช้ 4 หลอดมีขนาดกว้าง 610 มม. มีแผ่นกรองแสงสีขาวขุ่น	V 1% 60 1/2 %	1.2	0	.73	.73	.73	.71	.71	.71	.68	.68	.68	.65	.65	.65	.62	.62	.62	.60
			1	.64	.61	.59	.62	.60	.58	.60	.58	.56	.57	.56	.54	.55	.54	.52	.51
			2	.56	.52	.49	.55	.51	.48	.52	.49	.47	.50	.48	.46	.48	.46	.44	.43
			3	.50	.45	.41	.49	.44	.41	.47	.43	.40	.45	.42	.39	.43	.41	.38	.37
			4	.44	.39	.35	.43	.38	.35	.42	.37	.34	.40	.36	.33	.39	.36	.33	.32
			5	.39	.34	.30	.38	.33	.29	.37	.32	.29	.36	.32	.29	.34	.31	.28	.27
			6	.35	.30	.26	.34	.29	.25	.33	.29	.25	.32	.28	.25	.31	.27	.25	.23
			7	.31	.26	.22	.31	.26	.22	.30	.25	.22	.29	.25	.22	.28	.24	.22	.20
			8	.28	.23	.19	.28	.23	.19	.27	.22	.19	.26	.22	.19	.25	.22	.19	.18
			9	.25	.20	.17	.25	.20	.17	.24	.20	.17	.23	.19	.16	.23	.19	.16	.15
			10	.23	.18	.15	.23	.18	.15	.22	.18	.15	.21	.17	.15	.21	.17	.14	.13
41  โคมหลอดฟลูออเรสเซนต์ใช้ 4 หลอดมีขนาดกว้าง 610 มม. มีแผ่นกรองแสงแบบเรียบ	V 0% 57 1/2 %	1.2	0	.69	.69	.69	.67	.67	.67	.64	.64	.64	.61	.61	.61	.59	.59	.59	.58
			1	.61	.58	.56	.59	.57	.56	.57	.55	.54	.55	.53	.52	.53	.52	.51	.49
			2	.53	.50	.47	.52	.49	.46	.50	.48	.45	.49	.46	.44	.47	.45	.43	.42
			3	.47	.43	.40	.47	.42	.39	.45	.41	.38	.43	.40	.38	.42	.38	.37	.36
			4	.42	.37	.34	.41	.37	.33	.40	.36	.33	.39	.35	.33	.37	.35	.33	.31
			5	.37	.32	.29	.37	.32	.28	.35	.31	.28	.34	.31	.28	.33	.30	.27	.26
			6	.33	.28	.25	.33	.28	.25	.32	.28	.24	.31	.27	.24	.30	.27	.24	.23
			7	.30	.25	.22	.30	.25	.21	.29	.24	.21	.28	.24	.21	.27	.24	.21	.20
			8	.27	.22	.19	.27	.22	.19	.26	.22	.18	.25	.21	.18	.24	.21	.18	.17
			9	.24	.19	.16	.24	.19	.16	.23	.19	.16	.23	.19	.16	.22	.18	.16	.15
			10	.22	.17	.14	.22	.17	.14	.21	.17	.14	.21	.17	.14	.20	.17	.14	.13
42 โคมหลอดฟลูออเรสเซนต์ใช้ 4 หลอดมีขนาดกว้าง 610 มม. มีแผ่นกรองแสงแบบเกล็ดแก้วเรียบ	V 0% 63% 60°	1.4/1.2	0	.75	.75	.75	.73	.73	.73	.70	.70	.70	.67	.67	.67	.64	.64	.64	.63
			1	.67	.65	.63	.66	.64	.62	.63	.62	.60	.61	.60	.58	.59	.58	.57	.55
			2	.60	.57	.54	.59	.56	.53	.57	.54	.52	.55	.53	.51	.53	.51	.50	.49
			3	.54	.50	.47	.53	.49	.46	.52	.48	.45	.50	.47	.45	.48	.46	.44	.43
			4	.49	.44	.40	.48	.44	.40	.47	.43	.40	.45	.42	.39	.44	.41	.39	.37
			5	.44	.39	.35	.43	.38	.35	.42	.38	.34	.41	.37	.34	.40	.36	.34	.33
			6	.40	.34	.31	.39	.34	.31	.38	.34	.30	.37	.33	.30	.36	.32	.30	.29
			7	.36	.30	.27	.35	.30	.27	.34	.30	.27	.33	.29	.26	.32	.29	.26	.25
			8	.32	.27	.23	.32	.27	.23	.32	.26	.23	.30	.26	.23	.29	.26	.23	.22
			9	.29	.24	.20	.28	.23	.20	.28	.23	.20	.27	.23	.20	.26	.23	.20	.19
			10	.26	.21	.18	.26	.21	.18	.25	.21	.18	.24	.20	.18	.24	.20	.18	.16

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

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

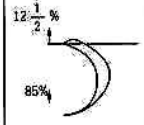
เอกสารประกอบการสอนวิชาการส่องสว่าง

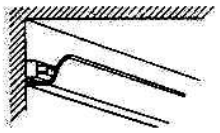
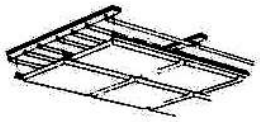
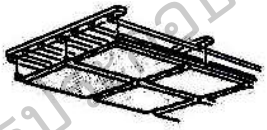
ลักษณะของดวงโคม	ลักษณะการกระจายความเข้มแสงและตัดราส่วนอุมณของหลอดไฟ		ρ_{cc}→	80			70			50			30			10			0
			ρ_w→	50	30	10	50	30	10	50	30	10	50	30	10	50	30	10	0
	ประเภทของดวงโคม	SC*	RCR ↓	ค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์เมื่อค่าประสิทธิผลของการสะท้อนแสงของโพรงพื้นมีค่าเท่ากับ 20 เปอร์เซ็นต์ (ρ_{fc} = 20)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

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

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

เอกสารประกอบการสอนวิชาการประหยัดพลังงานไฟฟ้าในอาคาร

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

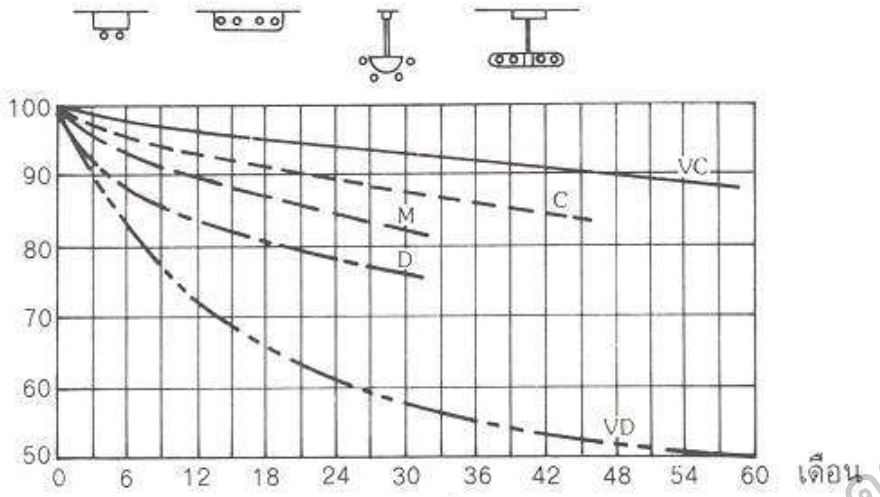
ลักษณะของดวงโคม	ρ_{cc}→	80			70			50			30			10			0
	ρ_w→	50	30	10	50	30	10	50	30	10	50	30	10	50	30	10	0
	RCR ↓	ค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์เมื่อค่าประสิทธิผลของการสะท้อนแสงของโพรงพื้นมีค่าเท่ากับ 20 เปอร์เซ็นต์ (ρ_{fc} = 20)															
50  โคมหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิดแถวเดียว พร้อมตัวสะท้อนแสง	1	.42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

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

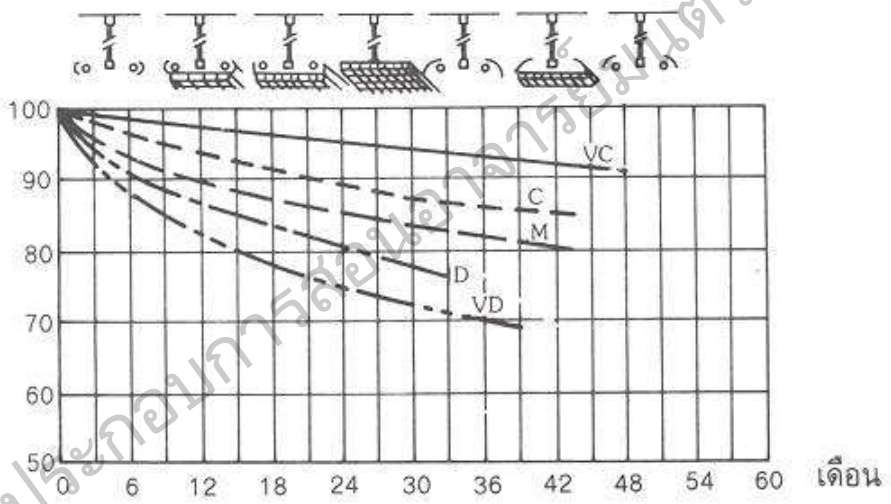
$$SC = \frac{S}{MH} = \frac{\text{ระยะห่างระหว่างดวงโคม}}{\text{ความสูงของดวงโคมเหนือพื้นงาน}}$$

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์ปิยะ เบาใจดี

กราฟที่ 1 : ตารางแสดงค่าความเสื่อมจากความสกปรกของดวงโคม (LDD)

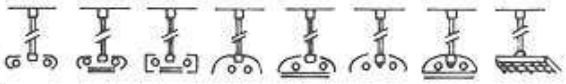


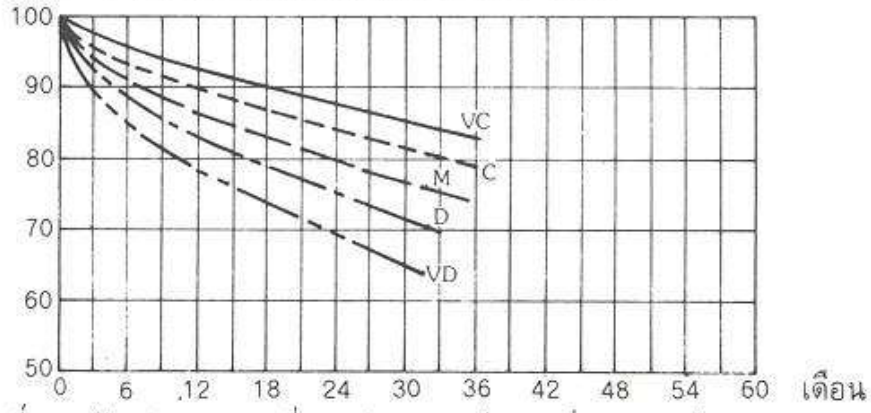
ประเภทที่ 1 เป็นดวงโคมแบบกึ่งกระจายแสงลง ดวงโคมเป็นแบบเปิด



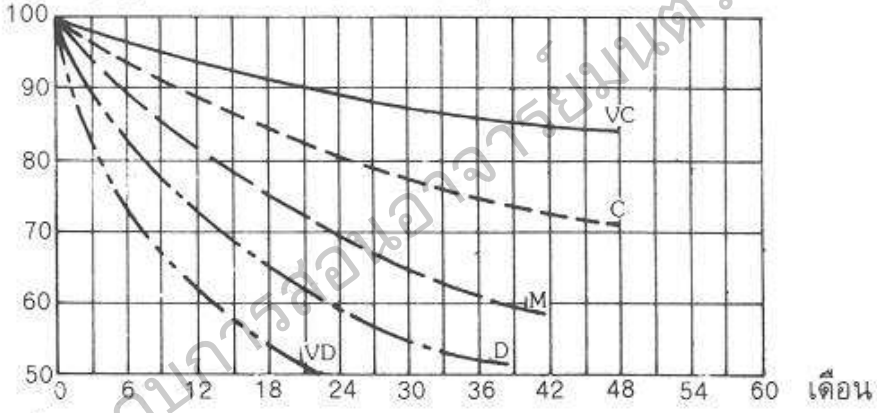
ประเภทที่ 2 ด้านบนเป็นแบบเปิดเช่นกัน แต่มีตะแกรงอยู่ด้านล่าง

เอกสารประกอบการสอนมหาวิทยาลัยรังสิต ไฟเดช

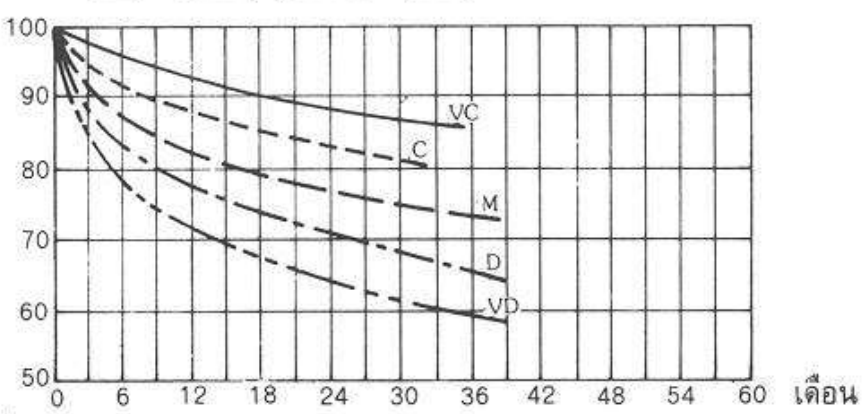




ประเภทที่ 3 คล้ายกับประเภทที่ 2 แต่ตะแกรงมีความถี่มากกว่าคือ ระยะระหว่างตะแกรงน้อยกว่า 1 นิ้ว

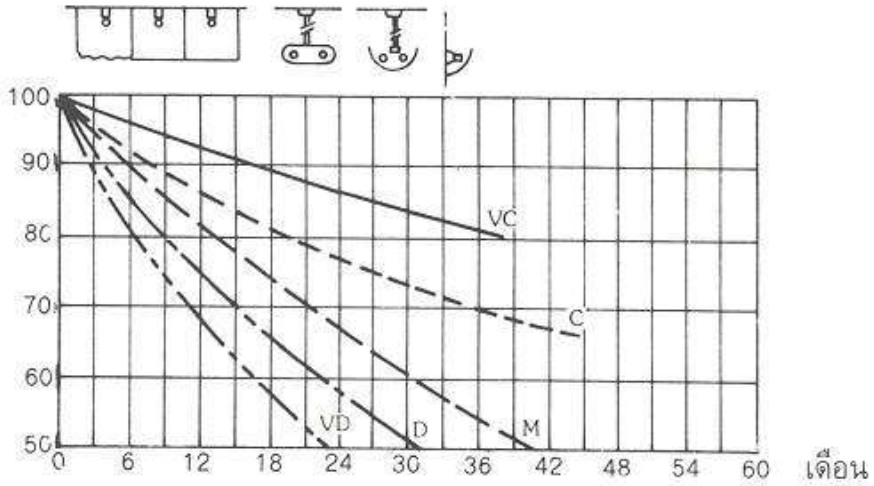


ประเภทที่ 4 เป็นแบบกระจายแสงลง ด้านบนปิด และอาจมีตะแกรงอยู่ด้านล่าง



ประเภทที่ 5 เป็นแบบกระจายแสงลงหรือกึ่งกระจายแสงลง ตัวดวงโคมปิดมิดชิด

เอกสารประกอบการสอนโดย อาจารย์มนตรี เงาเดช



ประเภทที่ 6 เป็นแบบกระจายแสงลงหรือกึ่งกระจายแสงลง ใช้ส่องสว่างเพดานหรือแนวเพดานเป็นส่วนใหญ่

หมายเหตุ :	VC	หมายถึง	สภาพห้องที่มีความสะอาดมาก (Very Clean)
	C	หมายถึง	สภาพห้องที่มีความสะอาด (Clean)
	M	หมายถึง	สภาพห้องที่มีความสะอาดปานกลาง (Medium)
	D	หมายถึง	สภาพห้องที่มีความสกปรก (Dirty)
	VD	หมายถึง	สภาพห้องที่มีความสกปรกมาก (Very Durty)

เอกสารประกอบการสอนโดย อ.ธนินทร์ เงาเดช

ตัวอย่างการออกแบบระบบแสงสว่างภายในอาคาร

ห้องทำงานทั่วไป ขนาดกว้าง 6 เมตร ยาว 10 เมตร สูง 3.5 เมตร ดวงโคมถูกแขวนต่ำลงมาจากเพดาน 60 เซนติเมตร และโต๊ะทำงานอยู่สูงจากพื้น 90 เซนติเมตร

ใช้ดวงโคมเบอร์ที่ 36 ซึ่งจัดอยู่ในดวงโคมชนิดที่ 5 โดยใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ 36 วัตต์ โคมละ 2 หลอด และแต่ละหลอดมีค่าปริมาณจำนวนเส้นแรงของแสงเฉลี่ย 2500 ลูเมน และค่าปริมาณจำนวนเส้นแรงของแสงสว่างเริ่มแรก 3500 ลูเมน กำหนดค่า CU = 0.5

บรรยากาศในห้องนี้จัดอยู่ในประเภทที่สะอาดและดวงโคมจะถูกทำความสะอาดทุกๆ ระยะ 24 เดือน (2ปี) จงหาค่าจำนวนดวงโคมที่ใช้ในห้องนี้ โดยวิธี Zonal Cavity Method

วิธีทำ

จากสูตร $$TL = \frac{E.A}{CU.LLD.LDD}$$

ค่า E หาได้จากการเปิดตารางที่ 1 (IES) = 500 Lux

A = ความกว้าง x ความยาว = 6 x 10 = 60 ตารางเมตร

CU = 0.5

LLD = $\frac{2500}{3500}$ = 0.714

LDD = หาค่าจากกราฟที่ 1 โคมประเภทที่ 5 = 0.84

แทนค่าลงในสมการ

TL = $\frac{500x60}{0.5x0.714x0.84}$

= 100,040.016 ลูเมน

หาจำนวนดวงโคมทั้งหมด

N = $\frac{TL}{\text{จำนวนลูเมนต่อโคม}}$

= $\frac{100,040.016}{2x2500}$

= 20.008 โคม

เลือกใช้ดวงโคมทั้งสิ้น 20 ดวงโคม

เอกสารประกอบการสอนวิทยาลัยเทคนิคเมืองเจาเดช

วิธี Room Index Method

สามารถหาได้จากสูตร

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

TL = ปริมาณฟลักซ์ส่องสว่างรวมทั้งหมดของห้อง (Lumen)

E = ค่าความส่องสว่างของห้องที่ต้องการออกแบบตามมาตรฐาน IES (ลักซ์ , ฟุตแคนเดล)

A = พื้นที่ห้อง (ตารางเมตร , ตารางฟุต)

CU = ค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์ของดวงโคม

MF = ค่าการบำรุงรักษา (Mainternance Factor)

$$N = \frac{TL}{\text{จำนวนลูเมนต่อโคม}}$$

N = จำนวนดวงโคมทั้งหมดที่ติดตั้งในห้อง

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เงาเดช

ตารางที่ 4 : ตารางแสดงค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์ของดวงโคมชนิดต่าง ๆ (CU) ด้วยวิธี Room Index Method

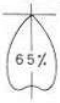
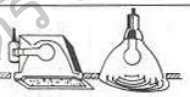
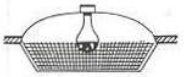
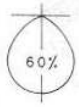
ชนิดการกระจายแสงและระยะห่างดวงโคมสูงสุด*	% เพดาน (ρC)	80			70			50			30		0	ชนิดของดวงโคม และ ค่าการบำรุงรักษา(MF)
	% ผนัง (ρW)	50	30	10	50	30	10	50	30	10	30	10	0	
	ดัชนีห้อง (Kr)	ค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์(CU) สำหรับสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงพื้น 10% (ρF)												
1	0.6	.30	.26	.25	.29	.26	.23	.29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

โคมฟลูออเรสเซนต์ติดซ่อน

* S = ระยะห่างระหว่างดวงโคม
MH = ความสูงของดวงโคมเหนือพื้นที่ทำงาน

เอกสารประกอบการสอนวิชาการส่องสว่างและแสงสีเบื้องต้น

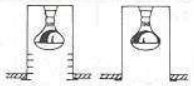
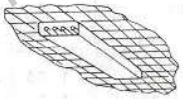
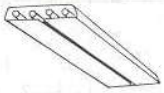
โคมหลอดไส้ติดซ่อน

ชนิดการกระจายแสงและระยะห่างดวงโคมสูงสุด*	%เพดาน (ρC)	80			70			50			30		0	ชนิดของดวงโคม และ ค่าการบำรุงรักษา(MF)
	% ผนัง (ρW)	50	30	10	50	30	10	50	30	10	30	10	0	
	ดัชนีห้อง (Kr)	ค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์(CU) สำหรับสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงพื้น 10% (ρF)												
6	0.6	.26	.20	.17	.26	.20	.17	.25	.20	.17	.20	.17	.15	
0%	0.8	.32	.26	.22	.32	.26	.22	.31	.26	.22	.25	.22	.21	
	1.0	.37	.31	.27	.36	.31	.27	.35	.30	.27	.30	.27	.26	
60%	1.25	.42	.36	.32	.41	.36	.32	.40	.35	.32	.35	.32	.30	
	1.5	.45	.40	.36	.44	.39	.36	.43	.38	.35	.38	.35	.34	โคม 3 หลอด ฝาครอบกว้าง 60 cm
	2.0	.49	.44	.41	.48	.44	.41	.47	.43	.40	.42	.40	.38	ด้วยแผ่นพลาสติกกระจายแสง
	2.5	.52	.48	.44	.51	.47	.44	.49	.46	.43	.45	.43	.42	
	3.0	.54	.50	.47	.53	.50	.47	.51	.49	.46	.48	.46	.44	MF { ดี .70
S/MH = 1.2	4.0	.56	.54	.51	.56	.53	.51	.54	.52	.50	.51	.49	.48	ปานกลาง .65
สูงสุด	5.0	.58	.56	.54	.58	.56	.54	.56	.54	.53	.53	.53	.50	ต่ำ .55 }
7	0.6	.40	.35	.32	.39	.35	.32	.39	.35	.32	.35	.32	.31	
0%	0.8	.46	.42	.39	.46	.42	.39	.45	.41	.39	.41	.39	.38	
	1.0	.50	.46	.44	.50	.46	.44	.49	.46	.45	.46	.45	.42	
65%	1.25	.54	.51	.48	.54	.50	.48	.53	.50	.48	.50	.47	.46	
	1.5	.57	.54	.51	.56	.53	.51	.55	.53	.50	.52	.50	.49	กระจายแสงลำแสงปานกลาง
	2.0	.60	.58	.55	.60	.57	.55	.59	.56	.54	.56	.54	.53	และเลนส์
	2.5	.62	.60	.58	.62	.60	.58	.60	.59	.57	.58	.56	.55	
	3.0	.64	.62	.60	.63	.61	.59	.62	.60	.59	.59	.58	.57	MF { ดี .75
S/MH = 1.1	4.0	.65	.63	.62	.65	.63	.62	.63	.62	.61	.61	.60	.58	ปานกลาง .65
สูงสุด	5.0	.66	.65	.63	.66	.64	.63	.64	.63	.62	.62	.61	.60	ต่ำ .55 }
8	0.6	.28	.24	.21	.27	.24	.21	.27	.24	.21	.23	.21	.20	
0%	0.8	.33	.29	.26	.32	.29	.26	.32	.29	.26	.28	.26	.26	
	1.0	.36	.33	.30	.36	.33	.30	.36	.32	.30	.32	.30	.29	
50%	1.25	.40	.37	.34	.40	.36	.34	.39	.36	.34	.36	.34	.33	
	1.5	.42	.39	.37	.42	.39	.37	.41	.39	.36	.38	.36	.35	กระจายแสงลำแสงกว้าง
	2.0	.45	.43	.40	.44	.42	.40	.44	.42	.40	.41	.40	.39	เลนส์หรือบานเกล็ด
	2.5	.47	.45	.43	.46	.44	.43	.45	.44	.42	.43	.42	.41	บานเกล็ด เลนส์
	3.0	.48	.46	.44	.48	.46	.44	.47	.45	.44	.44	.43	.42	MF { ดี .80 .75
S/MH = 1.1	4.0	.50	.48	.48	.49	.48	.46	.48	.47	.46	.46	.45	.44	ปานกลาง .70 .65
สูงสุด	5.0	.50	.49	.48	.50	.49	.48	.49	.48	.47	.47	.46	.45	ต่ำ .65 .55 }
9	0.6	.29	.24	.21	.29	.24	.21	.29	.24	.21	.24	.21	.20	
0%	0.8	.36	.31	.27	.36	.31	.27	.35	.30	.27	.30	.27	.26	
	1.0	.41	.36	.32	.40	.35	.32	.39	.35	.32	.35	.32	.31	
60%	1.25	.45	.40	.37	.44	.40	.37	.43	.40	.37	.39	.36	.35	
	1.5	.48	.44	.41	.47	.44	.40	.46	.43	.40	.42	.40	.39	โคมตะแกรงบานเกล็ดด้วย
	2.0	.52	.48	.45	.51	.48	.45	.50	.47	.45	.46	.44	.43	หลอดฉาบเงิน
	2.5	.54	.51	.48	.54	.51	.48	.52	.50	.48	.49	.47	.46	
	3.0	.56	.53	.51	.55	.53	.51	.54	.52	.50	.51	.50	.48	MF { ดี .70
S/MH = 1.2	4.0	.58	.56	.54	.58	.56	.54	.56	.55	.53	.54	.52	.51	ปานกลาง .60
สูงสุด	5.0	.60	.58	.56	.59	.58	.56	.58	.57	.55	.56	.54	.53	ต่ำ .55 }
10	0.6	.53	.50	.48	.53	.50	.48	.52	.50	.48	.49	.48	.47	
0%	0.8	.57	.55	.53	.57	.55	.53	.57	.55	.53	.54	.53	.52	
	1.0	.60	.57	.55	.60	.57	.55	.60	.57	.55	.57	.55	.54	
70%	1.25	.63	.60	.58	.62	.60	.58	.62	.60	.58	.59	.57	.56	
	1.5	.65	.63	.61	.65	.62	.60	.64	.62	.60	.61	.60	.59	โคมสปอร์ตไลต์ PAR-38
	2.0	.68	.66	.64	.67	.65	.64	.66	.65	.63	.64	.63	.62	
	2.5	.69	.67	.66	.68	.67	.65	.67	.66	.65	.65	.64	.63	ตะแกรงเกล็ดโลหะ
	3.0	.70	.69	.67	.69	.68	.67	.68	.67	.66	.66	.65	.64	MF { ดี .65
S/MH = 0.6	4.0	.71	.70	.68	.70	.69	.68	.69	.68	.67	.67	.66	.65	ปานกลาง .60
สูงสุด	5.0	.72	.71	.70	.70	.70	.69	.70	.69	.68	.68	.67	.66	ต่ำ .55 }

* S = ระยะห่างระหว่างดวงโคม

MH = ความสูงของดวงโคมเหนือพื้นที่ทำงาน

เอกสารประกอบการเรียนการสอนวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าเบื้องต้น

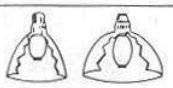
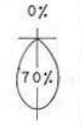
ชนิดการกระจายแสงและระยะห่างดวงโคมสูงสุด*	% เพดาน (ρC)	80			70			50			30		0	ชนิดของดวงโคม และ ค่าการบำรุงรักษา(MF)
	% ผนัง (ρW)	50	30	10	50	30	10	50	30	10	30	10	0	
	ดัชนีห้อง (Kr)	ค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์(CU) สำหรับสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงพื้น 10% (ρF)												
11	0.6	.27	.25	.24	.27	.25	.24	.27	.25	.24	.25	.24	.24	
0%	0.8	.29	.28	.27	.29	.28	.27	.29	.28	.27	.28	.27	.27	
	1.0	.31	.30	.29	.31	.30	.29	.30	.29	.28	.29	.28	.28	
35%	1.25	.32	.31	.30	.32	.31	.30	.32	.31	.30	.30	.30	.29	
	1.5	.33	.32	.31	.33	.32	.31	.32	.32	.31	.31	.31	.30	โคมสปอร์ตไลต์ทรงกระบอก R40
	2.0	.34	.33	.32	.34	.33	.32	.34	.33	.32	.32	.32	.31	
	2.5	.35	.34	.33	.35	.34	.33	.34	.34	.33	.33	.33	.32	
	3.0	.36	.35	.34	.35	.34	.34	.35	.34	.34	.34	.33	.33	MF { ดี .70
S/MH = 0.6	4.0	.36	.36	.35	.36	.35	.35	.35	.35	.34	.34	.34	.33	MF { ปานกลาง .65
สูงสุด	5.0	.36	.36	.35	.36	.35	.35	.36	.35	.35	.34	.34	.33	MF { ต่ำ .60
12	0.6	.54	.52	.50	.54	.52	.50	.53	.51	.50	.51	.50	.50	
0%	0.8	.58	.56	.54	.58	.55	.54	.57	.55	.54	.55	.54	.53	
	1.0	.60	.58	.56	.60	.58	.56	.59	.57	.56	.57	.56	.56	
65%	1.25	.62	.60	.58	.61	.59	.58	.61	.59	.58	.59	.58	.57	
	1.5	.63	.61	.60	.63	.61	.60	.62	.60	.59	.60	.59	.58	โคมสปอร์ตไลต์ทรงกระบอก PAR-38
	2.0	.65	.63	.62	.64	.63	.62	.63	.62	.61	.61	.61	.60	
	2.5	.66	.65	.63	.65	.64	.63	.64	.63	.62	.63	.62	.61	
	3.0	.67	.66	.64	.66	.65	.64	.65	.64	.63	.63	.63	.62	MF { ดี .70
S/MH = 0.6	4.0	.68	.67	.66	.67	.66	.65	.66	.65	.64	.64	.64	.62	MF { ปานกลาง .65
สูงสุด	5.0	.68	.67	.66	.68	.67	.66	.66	.66	.66	.65	.64	.63	MF { ต่ำ .60
13	0.6	.18	.14	.11	.17	.14	.11	.17	.13	.11	.13	.11	.09	
10%	0.8	.23	.19	.16	.22	.19	.16	.21	.18	.15	.17	.15	.13	
	1.0	.27	.23	.20	.26	.22	.20	.25	.21	.19	.20	.18	.16	
50%	1.25	.31	.27	.24	.30	.26	.23	.28	.25	.22	.23	.21	.19	
	1.5	.34	.30	.27	.33	.29	.26	.30	.27	.25	.26	.23	.21	
	2.0	.38	.34	.31	.37	.33	.31	.34	.31	.29	.29	.27	.24	
	2.5	.40	.37	.34	.39	.36	.33	.36	.34	.32	.31	.30	.26	โคมพลาสติกครอบ 2 และ 4 หลอด
	3.0	.42	.39	.36	.40	.38	.35	.37	.35	.34	.33	.31	.28	
S/MH = 1.3	4.0	.45	.44	.39	.43	.40	.38	.40	.37	.36	.35	.34	.30	MF { ดี .70
สูงสุด	5.0	.46	.44	.42	.45	.43	.40	.42	.40	.38	.37	.36	.32	MF { ปานกลาง .65
														MF { ต่ำ .55
14	0.6	.28	.23	.20	.27	.23	.20	.26	.23	.19	.22	.19	.18	
10%	0.8	.34	.31	.26	.34	.29	.26	.32	.29	.26	.28	.25	.24	
	1.0	.39	.34	.31	.38	.34	.31	.37	.32	.29	.32	.29	.27	
55%	1.25	.45	.38	.36	.44	.38	.36	.41	.37	.34	.36	.34	.32	
	1.5	.47	.43	.40	.46	.42	.39	.44	.41	.38	.40	.39	.35	โคมครอบแก้วพริสเมติก
	2.0	.52	.47	.45	.50	.47	.44	.48	.45	.43	.43	.41	.39	ฝาครอบ ฝาครอบ
	2.5	.55	.51	.47	.53	.50	.47	.50	.48	.46	.47	.44	.42	ปิด บานเกล็ด
	3.0	.57	.53	.51	.55	.51	.49	.52	.50	.48	.48	.46	.44	MF { ดี .70 .75
S/MH = 1.3	4.0	.59	.55	.53	.58	.55	.53	.55	.53	.50	.50	.49	.46	MF { ปานกลาง .65 .70
สูงสุด	5.0	.61	.58	.56	.59	.57	.55	.57	.55	.54	.52	.51	.48	MF { ต่ำ .55 .65
15	0.6	.28	.24	.20	.27	.24	.20	.27	.24	.20	.24	.19	.17	
10%	0.8	.35	.31	.29	.35	.31	.29	.34	.31	.28	.30	.27	.25	
	1.0	.41	.37	.34	.40	.37	.34	.40	.36	.34	.35	.33	.31	
60%	1.25	.46	.41	.39	.46	.41	.39	.45	.40	.38	.39	.37	.35	
	1.5	.50	.46	.43	.49	.45	.42	.48	.45	.41	.43	.40	.38	ฝาครอบพริสเมติกกระจาย
	2.0	.56	.51	.49	.55	.51	.48	.54	.50	.47	.48	.46	.43	ด้านข้างและด้านล่าง
	2.5	.59	.55	.51	.58	.54	.51	.55	.52	.50	.51	.48	.45	
	3.0	.62	.58	.55	.60	.57	.54	.58	.55	.53	.54	.51	.48	MF { ดี .70
S/MH = 1.4	4.0	.65	.61	.59	.63	.60	.58	.60	.58	.56	.56	.54	.50	MF { ปานกลาง .65
สูงสุด	5.0	.66	.63	.61	.64	.62	.60	.63	.60	.59	.58	.57	.53	MF { ต่ำ .55

โคมหลอดไส้ติดซ่อน

โคมฟลูออเรสเซนต์แบบกึ่งตรงติดเสมอผิว

* S = ระยะห่างระหว่างดวงโคม
MH = ความสูงของดวงโคมเหนือพื้นที่ทำงาน

เอกสารประกอบการสอนของมหาวิทยาลัยนเรศวร

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

โคมหลอดไส้ติดแนวนอน

โคมหลอดดิสชาร์จความเข้มแสงสูง(HID)

* S = ระยะห่างระหว่างดวงโคม

MH = ความสูงของดวงโคมเหนือพื้นที่ทำงาน

เอกสารประกอบการเรียนการสอนวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าอาคาร ผศ.ดร.ไชวัฒน์

โคมหลอดดิสชาร์จความเข้มแสงสูง (HID)

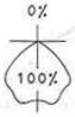
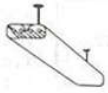
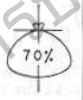
ชนิดการกระจายแสงและระยะห่างดวงโคมสูงสุด*	%เพดาน (ρC)	80	70	50	30	0	ชนิดของดวงโคม และ ค่าการบำรุงรักษา (MF)
	% ผนัง (ρW)	50 30 10	50 30 10	50 30 10	30 10	0	
	ดัชนีห้อง (Kr)	ค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์ (CU) สำหรับสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงพื้น 10% (ρF)					
21 0% 70% S/MH = 1.3 สูงสุด	0.6	.36 .32 .28	.36 .32 .28	.36 .31 .28	.31 .28	.28	 โคมอะลูมิเนียมหลอดแสงจันทร์ชุด MF ดี .60 ปานกลาง .55 ต่ำ .50
	0.8	.44 .39 .36	.44 .39 .36	.43 .39 .36	.39 .36	.35	
	1.0	.50 .45 .42	.49 .45 .41	.48 .44 .41	.44 .41	.39	
	1.25	.54 .50 .47	.54 .50 .47	.53 .49 .46	.49 .46	.43	
	1.5	.58 .54 .50	.57 .53 .50	.56 .53 .50	.52 .50	.46	
	2.0	.62 .59 .56	.62 .58 .56	.60 .58 .55	.57 .55	.51	
	2.5	.65 .62 .59	.64 .61 .59	.63 .60 .58	.60 .58	.53	
	3.0	.67 .64 .62	.66 .63 .62	.64 .62 .60	.62 .60	.55	
	4.0	.69 .67 .65	.68 .66 .64	.67 .65 .63	.64 .63	.58	
	5.0	.70 .68 .67	.70 .68 .66	.68 .67 .65	.66 .65	.59	
22 0% 100% S/MH = 1.3 สูงสุด	0.6	.51 .45 .42	.51 .45 .41	.50 .45 .41	.45 .41	.40	 โคมกระจายแสงพร้อมหลอด HID ขนิดสปอร์ตไลต์ลำแคบ MF ดี .80 ปานกลาง .75 ต่ำ .70
	0.8	.62 .56 .52	.61 .56 .52	.60 .55 .51	.55 .51	.50	
	1.0	.69 .63 .59	.68 .63 .59	.67 .62 .59	.62 .59	.57	
	1.25	.75 .70 .66	.75 .70 .66	.73 .69 .66	.68 .66	.64	
	1.5	.80 .75 .71	.79 .75 .71	.78 .74 .70	.73 .70	.68	
	2.0	.86 .81 .78	.85 .80 .77	.83 .80 .77	.79 .76	.75	
	2.5	.89 .85 .82	.88 .85 .82	.87 .83 .81	.83 .80	.78	
	3.0	.92 .88 .85	.90 .87 .85	.89 .86 .84	.85 .83	.81	
	4.0	.95 .92 .89	.94 .91 .88	.92 .90 .88	.88 .86	.85	
	5.0	.97 .94 .92	.95 .93 .91	.94 .92 .90	.91 .89	.87	
23 0% 100% S/MH = 1.3 สูงสุด	0.6	.56 .51 .47	.56 .51 .47	.56 .50 .47	.50 .47	.46	 โคมกระจายแสงพร้อมหลอด HID ขนิดสปอร์ตไลต์ลำกว้าง MF ดี .80 ปานกลาง .75 ต่ำ .70
	0.8	.66 .60 .57	.66 .60 .57	.65 .60 .57	.60 .57	.56	
	1.0	.73 .67 .64	.73 .67 .64	.72 .67 .64	.67 .64	.62	
	1.25	.78 .73 .70	.78 .73 .70	.77 .73 .69	.72 .69	.68	
	1.5	.82 .78 .74	.82 .77 .74	.80 .76 .74	.76 .73	.72	
	2.0	.88 .83 .80	.87 .83 .80	.85 .82 .79	.81 .79	.77	
	2.5	.90 .87 .84	.90 .86 .83	.88 .85 .83	.84 .82	.81	
	3.0	.93 .89 .87	.92 .89 .86	.90 .88 .86	.87 .85	.83	
	4.0	.96 .93 .90	.95 .92 .90	.93 .91 .89	.90 .88	.86	
	5.0	.97 .95 .93	.97 .94 .92	.95 .93 .91	.92 .90	.88	
24 0% 70% S/MH = 0.6 สูงสุด	0.6	.57 .54 .51	.56 .53 .51	.56 .53 .51	.52 .51	.49	 โคมไฮเบย์อะลูมิเนียม หลอดแสงจันทร์ MF ดี .65 ปานกลาง .60 ต่ำ .55
	0.8	.63 .60 .57	.62 .59 .57	.61 .58 .56	.58 .56	.54	
	1.0	.67 .63 .61	.66 .62 .61	.64 .62 .60	.60 .59	.57	
	1.25	.71 .67 .65	.70 .66 .64	.67 .65 .63	.63 .62	.60	
	1.5	.73 .70 .67	.72 .69 .67	.69 .67 .65	.65 .64	.62	
	2.0	.76 .73 .71	.75 .72 .70	.72 .70 .68	.67 .66	.64	
	2.5	.78 .75 .73	.77 .74 .72	.74 .72 .70	.69 .68	.65	
	3.0	.79 .77 .75	.78 .76 .74	.75 .73 .72	.70 .69	.66	
	4.0	.81 .79 .77	.79 .78 .76	.76 .75 .74	.72 .71	.67	
	5.0	.82 .80 .79	.80 .78 .77	.77 .75 .75	.72 .71	.68	
25 10% 60% S/MH = 1.3 สูงสุด	0.6	.39 .35 .32	.38 .34 .32	.38 .34 .31	.33 .31	.30	 โคมโลว์เบย์หลอดแสงจันทร์ MF ดี .65 ปานกลาง .60 ต่ำ .55
	0.8	.48 .43 .40	.47 .42 .40	.46 .42 .39	.41 .38	.37	
	1.0	.53 .49 .46	.52 .48 .45	.51 .47 .45	.46 .44	.41	
	1.25	.58 .54 .51	.57 .53 .50	.55 .51 .49	.50 .48	.45	
	1.5	.62 .58 .54	.61 .57 .54	.58 .55 .52	.53 .51	.48	
	2.0	.66 .62 .59	.64 .61 .58	.61 .59 .57	.56 .55	.52	
	2.5	.68 .65 .63	.67 .64 .62	.64 .61 .60	.59 .57	.54	
	3.0	.70 .67 .65	.69 .66 .64	.65 .63 .61	.60 .59	.56	
	4.0	.72 .70 .68	.70 .69 .67	.67 .66 .64	.63 .61	.58	
	5.0	.73 .71 .70	.71 .70 .68	.68 .67 .66	.64 .63	.59	

* S = ระยะห่างระหว่างดวงโคม
MH = ความสูงของดวงโคมเหนือพื้นที่ทำงาน

เอกสารประกอบการสอน อ.ชาญณรงค์ ไชยศิริ

โคมหลอดดีสชาร์จความเข้มแสงสูง(HID)

โคมหลอดเรสเซนต์แบบกึ่งทางตรงผสมทางอ้อม

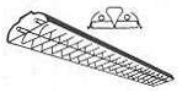
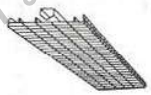
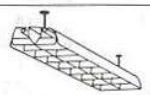
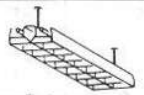
ชนิดการกระจายแสงและระยะห่างดวงโคมสูงสุด*	%เพดาน (ρC)	80			70			50			30		0	ชนิดของดวงโคมและค่าการบำรุงรักษา(MF)
	% ผนัง (ρW)	50	30	10	50	30	10	50	30	10	30	10	0	
	ดัชนีห้อง (Kr)	ค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์(CU) สำหรับสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงพื้น 10% (ρF)												
26	0.6	.66	.62	.60	.66	.62	.60	.65	.62	.59	.62	.59	.58	
0%	0.8	.75	.71	.68	.75	.71	.68	.74	.71	.68	.70	.68	.67	
	1.0	.80	.76	.73	.80	.76	.73	.79	.76	.73	.76	.73	.72	
	1.25	.85	.81	.80	.85	.81	.80	.84	.81	.78	.80	.78	.77	
100%	1.5	.88	.86	.82	.88	.85	.82	.88	.84	.82	.84	.82	.81	โคมกระจายแสงลำแคบพร้อมหลอด HID ชนิดสปอร์ตไลต์
	2.0	.94	.90	.88	.93	.90	.88	.92	.89	.87	.88	.87	.85	
	2.5	.96	.93	.92	.96	.93	.91	.94	.92	.90	.91	.89	.88	
	3.0	.99	.95	.94	.98	.95	.93	.96	.94	.92	.93	.91	.89	
S/MH = 0.9	4.0	1.01	.99	.96	1.00	.98	.96	.98	.97	.95	.95	.94	.92	MF { ดี .80
สูงสุด	5.0	1.02	1.01	.99	1.01	1.00	.98	1.00	.98	.97	.97	.96	.94	ปานกลาง .75
														ต่ำ .70
27	0.6	.37	.32	.29	.37	.32	.29	.37	.32	.29	.32	.29	.28	
0%	0.8	.47	.42	.38	.46	.42	.38	.46	.41	.38	.41	.38	.37	
	1.0	.54	.48	.45	.54	.48	.45	.53	.48	.45	.48	.45	.43	
	1.25	.60	.56	.52	.60	.55	.52	.60	.55	.52	.54	.52	.50	
85%	1.5	.66	.61	.57	.65	.60	.57	.64	.60	.57	.59	.56	.55	โคมกระจายแสงพร้อมหลอด แสงจันทร์ชนิดสปอร์ตไลต์
	2.0	.72	.67	.64	.71	.67	.64	.70	.66	.63	.66	.63	.62	
	2.5	.76	.71	.68	.75	.71	.68	.73	.71	.68	.70	.67	.65	400 W 1000 W
	3.0	.79	.75	.72	.78	.75	.71	.77	.73	.71	.72	.71	.69	
S/MH = 1.4	4.0	.82	.79	.77	.81	.79	.76	.80	.77	.75	.76	.75	.73	MF { ดี .65 .60
สูงสุด	5.0	.84	.82	.79	.83	.81	.78	.82	.79	.77	.78	.77	.75	ปานกลาง .60 .55
														ต่ำ .55 .50
28	0.6	.41	.37	.34	.40	.36	.34	.40	.36	.34	.36	.33	.32	
15%	0.8	.49	.44	.42	.49	.44	.42	.47	.44	.41	.43	.41	.40	
	1.0	.55	.51	.48	.54	.51	.47	.53	.49	.47	.46	.45	.44	
	1.25	.59	.56	.53	.59	.56	.53	.57	.54	.52	.53	.50	.48	
70%	1.5	.64	.60	.57	.64	.59	.57	.61	.57	.56	.56	.55	.52	โคมกระจายแสงเปิดตอนบน หลอดแสงจันทร์ชนิดสปอร์ตไลต์
	2.0	.69	.65	.64	.68	.64	.62	.65	.62	.59	.60	.58	.55	
	2.5	.72	.68	.65	.70	.67	.65	.67	.64	.62	.63	.60	.57	400 W 1000 W
	3.0	.74	.71	.69	.73	.70	.67	.70	.67	.64	.64	.62	.59	
S/MH = 1.3	4.0	.76	.74	.71	.75	.72	.70	.71	.70	.67	.65	.64	.60	MF { ดี .65 .60
สูงสุด	5.0	.79	.76	.74	.76	.75	.72	.72	.71	.70	.67	.65	.62	ปานกลาง .60 .55
														ต่ำ .55 .50
29	0.6	.18	.14	.11	.17	.14	.11	.17	.14	.11	.14	.11	.10	
15%	0.8	.23	.19	.16	.23	.19	.16	.22	.18	.16	.18	.15	.14	
	1.0	.28	.24	.20	.27	.23	.19	.26	.23	.19	.21	.19	.18	
	1.25	.33	.28	.24	.31	.27	.24	.30	.26	.24	.25	.23	.21	
45%	1.5	.36	.31	.28	.35	.31	.28	.33	.30	.26	.28	.27	.23	โคมกรอบพลาสติก
	2.0	.41	.36	.32	.40	.36	.32	.37	.33	.31	.32	.29	.27	
	2.5	.44	.39	.36	.43	.38	.35	.40	.36	.34	.34	.32	.29	
	3.0	.46	.43	.39	.45	.41	.38	.42	.39	.37	.37	.34	.32	
S/MH = 1.3	4.0	.50	.46	.43	.48	.45	.42	.45	.42	.41	.39	.38	.34	MF { ดี .70
สูงสุด	5.0	.52	.49	.46	.50	.48	.45	.47	.44	.48	.41	.40	.36	ปานกลาง .60
														ต่ำ .50
30	0.6	.31	.25	.23	.31	.25	.23	.29	.25	.21	.25	.21	.20	
10%	0.8	.40	.34	.30	.39	.34	.30	.38	.33	.30	.33	.30	.28	
	1.0	.47	.41	.37	.47	.40	.37	.45	.40	.36	.39	.36	.34	
	1.25	.54	.48	.44	.54	.48	.43	.52	.46	.43	.45	.42	.40	
70%	1.5	.60	.54	.49	.58	.53	.49	.56	.51	.48	.50	.47	.45	โคมโรงงาน สารเคลือบกระเบื้อง
	2.0	.67	.61	.57	.65	.60	.56	.62	.58	.54	.56	.54	.50	
	2.5	.71	.65	.61	.69	.64	.60	.66	.62	.59	.60	.58	.54	
	3.0	.74	.69	.65	.72	.67	.65	.69	.66	.62	.62	.61	.57	
S/MH = 1.3	4.0	.78	.74	.70	.75	.73	.69	.73	.69	.67	.67	.64	.61	MF { ดี .75
สูงสุด	5.0	.81	.77	.75	.79	.76	.74	.76	.72	.70	.70	.67	.64	ปานกลาง .70
														ต่ำ .65

* S = ระยะห่างระหว่างดวงโคม

MH = ความสูงของดวงโคมเหนือพื้นที่ทำงาน

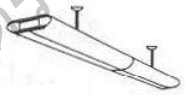
เอกสารประกอบการสอน ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

โคมพุ่งลงเป็นส่วนใหญ่ — กระจายแสงเป็นส่วนใหญ่ — โคมพุ่งขึ้นเป็นส่วนใหญ่

ชนิดการกระจายแสงและระยะห่างดวงโคมสูงสุด*	%เพดาน (ρC)	80			70			50			30		0	ชนิดของดวงโคม และ ค่าการบำรุงรักษา(MF)
	% ผนัง (ρW)	50	30	10	50	30	10	50	30	10	30	10	0	
	ดัชนีห้อง (Kr)	ค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์(CU) สำหรับสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงพื้น 10% (ρF)												
31 20% 70% S/MH = 1.3 สูงสุด	0.6	.32	.27	.24	.31	.26	.23	.30	.25	.22	.25	.22	.21	 โคมโรงงาน สารเคลือบกระเบื้อง MF { ดี .75 ; ปานกลาง .70 ; ต่ำ .65 }
	0.8	.41	.36	.32	.40	.35	.31	.38	.34	.30	.33	.30	.27	
	1.0	.49	.43	.39	.47	.42	.38	.45	.40	.37	.38	.36	.32	
	1.25	.56	.50	.45	.54	.48	.44	.51	.46	.43	.44	.41	.36	
	1.5	.61	.55	.50	.59	.53	.49	.55	.51	.47	.48	.45	.40	
	2.0	.68	.62	.58	.65	.60	.56	.61	.57	.53	.54	.51	.44	
	2.5	.72	.67	.63	.69	.65	.61	.65	.61	.58	.57	.55	.47	
	3.0	.75	.71	.67	.72	.68	.65	.67	.64	.61	.60	.58	.49	
	4.0	.79	.75	.72	.76	.73	.70	.71	.68	.66	.63	.62	.54	
	5.0	.82	.79	.76	.78	.76	.73	.73	.71	.69	.66	.64	.53	
32 20% 60% S/MH = 1.2 สูงสุด	0.6	.31	.26	.23	.30	.25	.22	.28	.24	.22	.24	.22	.20	 โคมโรงงาน สารเคลือบกระเบื้อง MF { ดี .75 ; ปานกลาง .70 ; ต่ำ .60 }
	0.8	.39	.34	.31	.38	.33	.28	.36	.32	.28	.31	.27	.25	
	1.0	.45	.40	.37	.44	.39	.36	.41	.38	.35	.36	.34	.31	
	1.25	.52	.46	.42	.49	.45	.41	.46	.43	.40	.41	.38	.35	
	1.5	.55	.50	.46	.54	.49	.46	.50	.47	.44	.44	.41	.39	
	2.0	.61	.56	.52	.59	.55	.51	.55	.52	.49	.49	.47	.43	
	2.5	.65	.60	.57	.62	.59	.56	.58	.55	.53	.52	.50	.45	
	3.0	.68	.64	.60	.65	.62	.59	.61	.58	.56	.54	.52	.47	
	4.0	.71	.68	.65	.68	.65	.63	.63	.61	.57	.57	.55	.49	
	5.0	.73	.70	.68	.70	.68	.66	.65	.63	.62	.59	.57	.51	
33 30% 35% S/MH = 1.4 สูงสุด	0.6	.20	.16	.13	.20	.16	.13	.19	.16	.13	.15	.13	.12	 โคมบานเกล็ดตอนล่าง MF { ดี .75 ; ปานกลาง .70 ; ต่ำ .65 }
	0.8	.25	.22	.18	.25	.20	.18	.23	.19	.17	.19	.17	.16	
	1.0	.31	.27	.24	.30	.26	.23	.28	.24	.22	.22	.21	.18	
	1.25	.35	.31	.28	.34	.30	.28	.30	.28	.26	.26	.24	.21	
	1.5	.37	.33	.30	.36	.32	.29	.32	.30	.27	.27	.25	.23	
	2.0	.42	.38	.35	.40	.37	.34	.37	.33	.31	.31	.29	.25	
	2.5	.44	.41	.39	.42	.40	.37	.39	.36	.34	.33	.32	.27	
	3.0	.47	.44	.41	.45	.42	.40	.40	.38	.36	.34	.33	.28	
	4.0	.50	.47	.45	.47	.45	.43	.42	.40	.39	.36	.35	.29	
	5.0	.51	.49	.47	.49	.47	.46	.43	.42	.40	.39	.36	.30	
34 30% 40% S/MH = 1.3 สูงสุด	0.6	.22	.18	.16	.21	.18	.16	.20	.17	.15	.16	.15	.13	 โคมบานเกล็ดโลหะ มุมกันแสง 40 องศา MF { ดี .75 ; ปานกลาง .70 ; ต่ำ .65 }
	0.8	.29	.24	.21	.27	.24	.21	.25	.23	.20	.22	.19	.18	
	1.0	.33	.29	.26	.33	.29	.25	.31	.27	.24	.26	.23	.21	
	1.25	.39	.34	.31	.37	.33	.31	.35	.31	.29	.29	.28	.24	
	1.5	.43	.38	.35	.41	.36	.34	.38	.34	.32	.32	.30	.26	
	2.0	.48	.44	.40	.46	.42	.39	.41	.39	.35	.34	.33	.28	
	2.5	.51	.47	.44	.49	.45	.43	.44	.40	.39	.37	.35	.30	
	3.0	.53	.50	.48	.51	.47	.45	.46	.44	.41	.40	.38	.32	
	4.0	.57	.53	.51	.53	.51	.49	.48	.46	.45	.41	.40	.34	
	5.0	.59	.56	.54	.55	.53	.51	.49	.47	.46	.42	.41	.35	
35 45% 35% S/MH = 1.5 สูงสุด	0.6	.24	.19	.16	.23	.19	.16	.22	.18	.15	.17	.14	.13	 โคมบานเกล็ดโลหะ มุมกันแสง 45 องศา MF { ดี .75 ; ปานกลาง .70 ; ต่ำ .65 }
	0.8	.31	.26	.22	.30	.25	.21	.27	.24	.20	.22	.19	.17	
	1.0	.37	.30	.27	.34	.29	.26	.32	.27	.24	.25	.23	.19	
	1.25	.42	.36	.32	.40	.35	.32	.36	.32	.29	.29	.26	.22	
	1.5	.46	.40	.35	.44	.39	.34	.38	.35	.31	.31	.28	.23	
	2.0	.53	.46	.42	.49	.44	.40	.43	.39	.30	.34	.33	.26	
	2.5	.57	.51	.47	.52	.48	.45	.47	.43	.40	.37	.34	.28	
	3.0	.60	.55	.50	.56	.51	.48	.49	.45	.43	.39	.37	.29	
	4.0	.63	.59	.55	.59	.56	.53	.51	.49	.45	.41	.40	.30	
	5.0	.66	.63	.60	.62	.58	.57	.53	.51	.49	.43	.42	.32	

* S = ระยะห่างระหว่างดวงโคม
MH = ความสูงของดวงโคมเหนือพื้นที่ทำงาน

เอกสารประกอบการสอน อ.ธีรยุทธ เงาเดช

ชนิดการกระจายแสงและระยะห่างดวงโคมสูงสุด*	%เพดาน (ρC)	80	70	50	30	0	ชนิดของดวงโคม และ ค่าการบำรุงรักษา(MF)
	% ผนัง (ρW)	50 30 10	50 30 10	50 30 10	30 10	0	
	ดัชนีห้อง (K)	ค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์(CU) สำหรับสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงพื้น 10% (ρF)					
36 36% 58% S/MH = 1.3 สูงสุด	0.6	.25 .18 .15	.24 .18 .15	.23 .18 .14	.17 .14	.12	 โคมเปลือย 4 หลอด MF ดี .80 ปานกลาง .75 ต่ำ .70
	0.8	.32 .26 .21	.31 .25 .21	.29 .24 .20	.23 .19	.17	
	1.0	.40 .32 .27	.38 .31 .26	.36 .30 .25	.27 .24	.21	
	1.25	.46 .39 .33	.45 .38 .32	.40 .35 .30	.33 .29	.25	
	1.5	.51 .43 .41	.49 .41 .37	.45 .39 .34	.35 .32	.28	
	2.0	.58 .52 .45	.56 .50 .44	.51 .46 .41	.41 .38	.33	
	2.5	.63 .57 .51	.62 .55 .50	.56 .50 .46	.45 .42	.36	
	3.0	.69 .62 .56	.65 .60 .55	.59 .57 .50	.48 .45	.38	
	4.0	.74 .69 .63	.70 .65 .60	.63 .59 .56	.53 .51	.42	
	5.0	.77 .74 .68	.74 .69 .66	.67 .63 .61	.56 .54	.45	
37 35% 25% S/CH = 1.3 สูงสุด	0.6	.17 .13 .11	.16 .13 .11	.15 .12 .10	.12 .10	.08	 โคมช่อ MF ดี .80 ปานกลาง .75 ต่ำ .70
	0.8	.23 .18 .16	.21 .18 .15	.19 .17 .14	.15 .14	.11	
	1.0	.27 .22 .20	.25 .22 .19	.23 .20 .18	.18 .16	.13	
	1.25	.31 .27 .24	.30 .26 .23	.27 .23 .21	.21 .19	.15	
	1.5	.34 .30 .26	.32 .29 .25	.29 .25 .23	.22 .20	.17	
	2.0	.39 .35 .32	.37 .34 .31	.32 .29 .27	.25 .23	.19	
	2.5	.43 .41 .35	.39 .36 .34	.35 .32 .30	.28 .26	.20	
	3.0	.45 .42 .38	.42 .39 .36	.36 .34 .32	.29 .28	.21	
	4.0	.48 .45 .42	.44 .42 .40	.39 .36 .34	.31 .30	.23	
	5.0	.49 .47 .44	.46 .44 .42	.39 .38 .36	.32 .31	.23	
38 60% 15% S/CH = 1.5 สูงสุด	0.6	.16 .11 .07	.15 .10 .06	.12 .08 .06	.07 .06	.03	 โคมโปร่งแสง MF ดี .70 ปานกลาง .60 ต่ำ .50
	0.8	.21 .15 .12	.19 .15 .12	.16 .12 .08	.09 .07	.04	
	1.0	.26 .20 .16	.23 .19 .15	.19 .15 .12	.12 .10	.05	
	1.25	.32 .25 .20	.28 .23 .19	.23 .18 .15	.14 .12	.06	
	1.5	.36 .30 .24	.33 .26 .22	.25 .21 .18	.16 .13	.07	
	2.0	.42 .36 .31	.38 .33 .27	.29 .25 .22	.18 .16	.08	
	2.5	.46 .40 .36	.41 .36 .33	.32 .29 .25	.20 .19	.09	
	3.0	.50 .44 .40	.44 .40 .36	.34 .31 .28	.22 .20	.09	
	4.0	.54 .50 .45	.48 .44 .41	.37 .34 .32	.25 .22	.10	
	5.0	.57 .53 .50	.51 .48 .44	.39 .36 .34	.25 .25	.10	
39 65% 10% S/CH = 1.5 สูงสุด	0.6	.16 .11 .08	.15 .10 .07	.13 .09 .06	.08 .06	.03	 โคมตาข่าย MF ดี .70 ปานกลาง .60 ต่ำ .50
	0.8	.22 .16 .12	.20 .15 .11	.17 .13 .10	.10 .08	.04	
	1.0	.27 .21 .17	.25 .19 .15	.20 .16 .13	.12 .10	.05	
	1.25	.32 .26 .21	.29 .24 .19	.23 .19 .16	.15 .12	.06	
	1.5	.37 .30 .26	.33 .28 .23	.26 .22 .19	.16 .14	.07	
	2.0	.43 .37 .32	.39 .34 .29	.30 .26 .23	.19 .16	.08	
	2.5	.48 .42 .36	.43 .38 .34	.33 .29 .26	.21 .19	.09	
	3.0	.51 .46 .39	.46 .41 .38	.35 .32 .29	.22 .21	.09	
	4.0	.56 .51 .43	.49 .46 .43	.38 .35 .33	.25 .24	.10	
	5.0	.58 .55 .51	.52 .49 .46	.39 .37 .35	.26 .25	.10	
40 65% 5% S/CH = 1.5 สูงสุด	0.6	.11 .07 .04	.10 .07 .04	.08 .06 .03	.05 .03		 โคมโดยอ้อม MF ดี .70 ปานกลาง .60 ต่ำ .50
	0.8	.14 .10 .07	.13 .09 .07	.10 .07 .06	.06 .04		
	1.0	.19 .14 .10	.17 .13 .09	.13 .10 .07	.08 .05		
	1.25	.23 .18 .15	.21 .16 .14	.15 .13 .10	.09 .07		
	1.5	.26 .20 .17	.24 .19 .16	.18 .14 .12	.10 .08		
	2.0	.31 .26 .23	.28 .24 .20	.20 .18 .16	.12 .11		
	2.5	.35 .30 .26	.31 .26 .24	.24 .20 .18	.13 .12		
	3.0	.37 .34 .29	.33 .30 .26	.25 .21 .20	.14 .13		
	4.0	.39 .37 .34	.36 .33 .30	.27 .25 .23	.16 .16		
	5.0	.44 .40 .37	.37 .35 .33	.28 .26 .25	.17 .17		

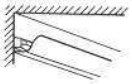
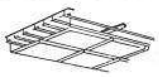
แบบโคมติดตั้งแนบ — แบบโคมแขวนต่ำกว่าแนว — แบบโคมติดตั้งแนบ — แบบโคมแขวนต่ำกว่าแนว

* S = ระยะห่างระหว่างดวงโคม

MH = ความสูงของดวงโคมเหนือพื้นที่ทำงาน

CH = ความสูงของเพดานเหนือพื้นที่ทำงาน

เอกสารประกอบการเรียนการสอน

ชนิดการกระจายแสงและระยะห่างดวงโคมสูงสุด*	%เพดาน (ρC)	80			70			50			30		0	ชนิดของดวงโคม และ ค่าการบำรุงรักษา(MF)
	% ผนัง (ρW)	50	30	10	50	30	10	50	30	10	30	10	0	
	ดัชนีห้อง (Kr)	ค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์(CU) สำหรับสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงพื้น 10% (ρF)												
41 80% 5% S/CH = 1.5 สูงสุด	0.6	.15	.09	.06	.13	.08	.05	.10	.07	.04	.05	.03	.01	โคมโดยอ้อมหลอดไส้ MF { ดี .70 ปานกลาง .60 ต่ำ .50
	0.8	.20	.13	.09	.19	.12	.08	.15	.09	.07	.07	.04	.01	
	1.0	.25	.18	.13	.23	.17	.12	.17	.13	.09	.09	.06	.01	
	1.25	.30	.23	.19	.27	.22	.17	.20	.16	.12	.11	.08	.02	
	1.5	.35	.28	.23	.31	.25	.20	.23	.19	.15	.12	.10	.02	
	2.0	.42	.35	.30	.38	.31	.26	.28	.23	.19	.14	.12	.02	
	2.5	.47	.41	.35	.41	.36	.31	.31	.26	.23	.15	.14	.02	
	3.0	.51	.46	.41	.45	.40	.36	.32	.29	.27	.18	.15	.02	
	4.0	.56	.51	.46	.49	.45	.41	.35	.32	.31	.20	.19	.03	
	5.0	.59	.55	.50	.51	.48	.45	.37	.35	.32	.21	.20	.03	
42 85% 0% S/CH = 1.5 สูงสุด	0.6	.14	.08	.04	.13	.07	.04	.11	.06	.03	.05	.02	0	โคมโดยอ้อมหลอดไส้ฉาบเงิน MF { ดี .75 ปานกลาง .70 ต่ำ .65
	0.8	.19	.12	.07	.17	.11	.07	.14	.09	.05	.07	.04	0	
	1.0	.24	.16	.11	.22	.15	.11	.17	.12	.08	.09	.05	0	
	1.25	.30	.22	.16	.27	.20	.14	.21	.15	.10	.10	.06	.01	
	1.5	.35	.26	.20	.31	.24	.18	.23	.17	.13	.11	.08	.01	
	2.0	.42	.34	.28	.37	.30	.24	.27	.22	.17	.14	.11	.01	
	2.5	.48	.40	.34	.41	.35	.31	.29	.25	.21	.16	.13	.01	
	3.0	.52	.45	.38	.45	.39	.34	.32	.27	.25	.17	.15	.01	
	4.0	.57	.52	.46	.50	.45	.41	.36	.32	.29	.20	.18	.01	
	5.0	.61	.56	.51	.52	.49	.45	.40	.35	.32	.21	.20	.01	
43 ติดใต้เพดาน 30 ถึง 45 cm	0.6	.11	.09	.06	.09	.07	.06	.07	.05	.04				 กระบังแสงหลอดฟลูออเรสเซนต์ MF { ดี .70 ปานกลาง .60 ต่ำ .50
	0.8	.15	.12	.10	.13	.10	.08	.09	.07	.06				
	1.0	.18	.15	.12	.16	.13	.10	.10	.09	.07				
	1.25	.22	.18	.16	.20	.16	.14	.13	.11	.10				
	1.5	.25	.21	.19	.21	.19	.17	.15	.13	.11				
	2.0	.29	.26	.22	.25	.22	.20	.17	.15	.14				
	2.5	.33	.30	.28	.28	.26	.24	.20	.19	.17				
	3.0	.35	.32	.30	.31	.28	.26	.21	.20	.19				
	4.0	.36	.34	.32	.32	.30	.28	.22	.21	.20				
	5.0	.39	.38	.36	.35	.34	.32	.24	.23	.23				
44	0.6	.19	.15	.13	การสะท้อนแสงเพดาน 75% การสะท้อนแสงของแก้วหรือพลาสติก 45% การส่งผ่านแสงของแก้วหรือพลาสติก 45%									 ตารางส่งผ่านแสงจากเพดาน แก้วหรือพลาสติกกระจายแสง MF { ดี .65 ปานกลาง .55 ต่ำ .45
	0.8	.25	.22	.19										
	1.0	.31	.26	.23										
	1.25	.35	.32	.29										
	1.5	.40	.35	.33										
	2.0	.45	.42	.38										
	2.5	.49	.46	.42										
	3.0	.52	.49	.46										
	4.0	.56	.54	.52										
	5.0	.58	.57	.55										

แบบโคมอ้อมผิดผนัง — แบบโคมอ้อมผิดผนัง

*S = ระยะห่างระหว่างดวงโคม
CH = ความสูงของเพดานเหนือพื้นที่ทำงาน

เอกสารประกอบการสอนวิชาการส่องสว่างโดยสมนึก เงาเดช

ตัวอย่าง ห้องทำงานส่วนตัวทั่วๆ ไป ขนาดกว้าง 3.5 เมตร ยาว 4 เมตร สูง 2.70 เมตร ใช้โคมฟลูออเรสเซนต์ชนิดติดซ่อนบนทีบาร์ขนาดโคม 60x120 เซนติเมตร เลือกใช้โคมในตารางที่ 4 เบอร์แคตาล็อคเบอร์ 6 หลอด 36 วัตต์ สีเดย์ไลต์เบอร์ 54 ฟลักซ์แสงสว่าง 2600 ลูเมนต่อหลอด จำนวน 3 หลอดต่อโคม และห้องมีการบำรุงรักษาดี

จงคำนวณหาจำนวนดวงโคมที่ใช้ในการออกแบบระบบแสงสว่างโดยวิธี Room Index เมื่อกำหนดค่า CU = 0.5

วิธีทำ

จากสูตร $TL = \frac{E \cdot A}{CU \cdot MF}$

$E = 500$ Lux

$A = 3.5 \times 4 = 14$ ตารางเมตร

$CU = 0.5$

$MF =$ จากตารางที่ 4 $= 0.70$

$TL = \frac{500 \times 14}{0.5 \times 0.7}$

$= 20{,}000$ Lumen

จำนวนดวงโคม $N = \frac{TL}{\text{จำนวนลูเมนต่อโคม}}$

$= \frac{20{,}000}{3 \times 2600}$

$= 2.56$

เลือกใช้ดวงโคม 3 ดวงโคม

เอกสารประกอบการสอนโดย อาจารย์มนตรี เงาเดช

5.1.2 วิธีคำนวณแบบจุดต่อจุด (Point by Point Method)

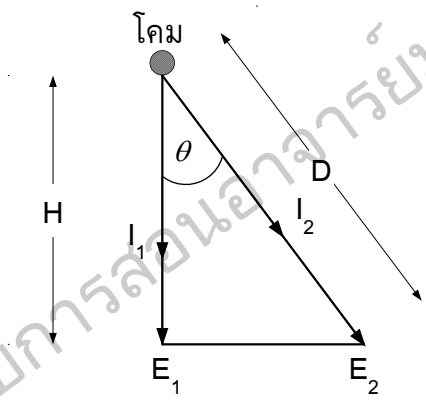
คือการคำนวณหาความส่องสว่างทีละจุดที่จุดที่ต้องการโดยวิธีที่จะใช้ในการออกแบบที่เฉพาะเจาะจงลงไปบริเวณจุดเล็กๆ บริเวณใดบริเวณหนึ่งหรือจุดใดจุดหนึ่งบนพื้นงาน

การคำนวณแบบนี้จำเป็นต้องทราบกราฟกระจายแสงของโคมมาประกอบในการคำนวณด้วยวิธีนี้ ซึ่งกราฟการกระจายแสงของโคมจะแสดงค่า ความเข้มของแสง (I) ที่กระจายในทิศทางต่างๆของหลอดหรือดวงโคมนั้นๆ ข้อมูลดังกล่าวสามารถค้นหาได้จากบริษัทผู้ผลิตหลอดไฟหรือดวงโคมนั้น

ดังรูปตัวอย่างของกราฟการกระจายแสงของหลอดสปอตไลต์ แสดงความเข้มของแสงของหลอดขนาด 75 วัตต์ (เส้นประ) และ 100 วัตต์ (เส้นทึบ)

<u>สูตรการคำนวณแบบจุดต่อจุด</u>

แบ่งเป็น 2 ลักษณะคือ จุดที่อยู่ในแนวดิ่งตั้งฉากกับโคมและจุดที่ห่างจากจุดตั้งฉากกับโคม



$$E_1 = \frac{I_1}{H^2}$$

E_1 = ความส่องสว่างในแนวตั้งฉากกับแสงจากดวงโคม (ลักซ์ , ฟุตแคนเดล)

I_1 = ความเข้มแสงในแนวตั้งฉาก (แคนเดลา)

H = ความสูงดวงโคมในแนวดิ่งไปยังพื้นงาน (เมตร , ฟุต)

$$E_2 = \frac{I_2}{H^2}(\cos\theta)^3 \quad \text{หรือ} \quad E_2 = \frac{I_2}{D^2}\cos\theta$$

E_2 = ความส่องสว่างในแนวเฉียงกับแสงจากดวงโคม (ลักซ์ , ฟุตแคนเดล)

I_2 = ความเข้มแสงในแนวตั้งเฉียง (แคนเดลา)

H = ความสูงดวงโคมในแนวดิ่งไปยังพื้นงาน (เมตร , ฟุต)

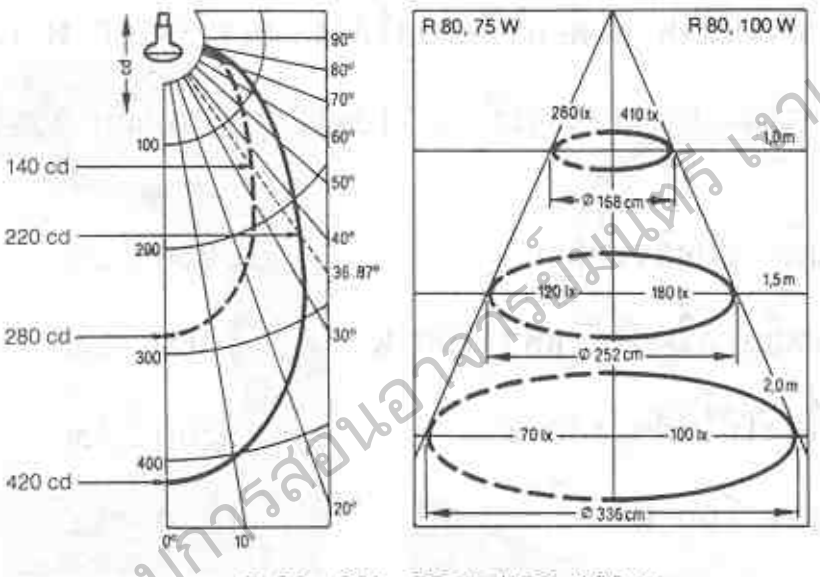
เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เจดเดช

D = ระยะห่างจากดวงโคมไปยังจุดที่ต้องการหาความส่องสว่าง (เมตร , ฟุต)

θ = มุมที่แสงโคมกระทำกับจุดที่ต้องการหาค่าความส่องสว่าง (องศาเซนเซียส)

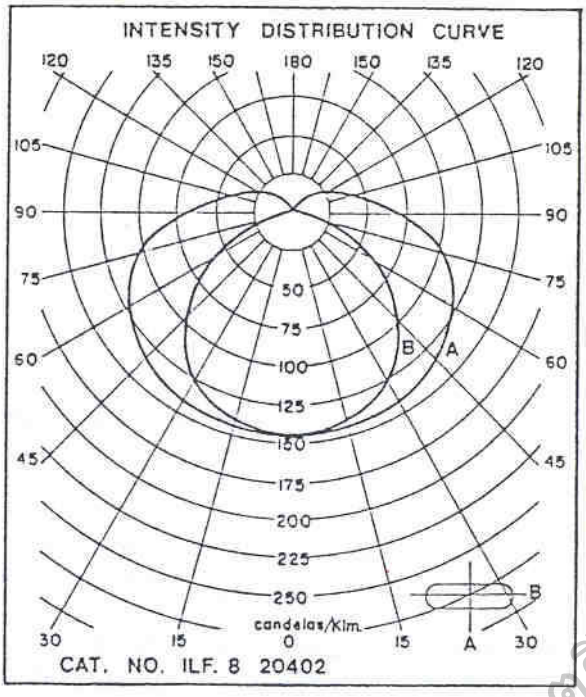
กราฟการกระจายแสงของหลอดไฟหรือดวงโคมไฟฟ้าจะมี 2 แบบ คือ

- บอกค่าเป็นแคนเดลา (cd) สามารถนำค่าที่อ่านได้ไปใช้งานได้ทันที
- บอกค่าเป็นแคนเดลาต่อกิโลลูเมน (cd/Klm) ซึ่งจะต้องนำค่าลูเมนของหลอดในหน่วยกิโลมาคูณกับค่าที่อ่านได้ก่อนเพื่อให้ได้ค่า ความเข้มของแสงสว่างในหน่วยของ แคนเดลา (cd)



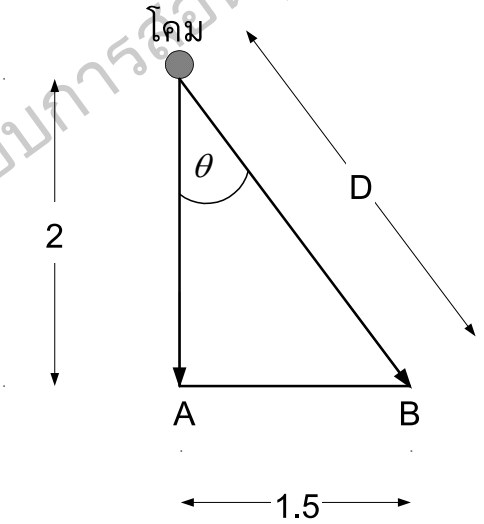
R 80, 80°, 75 W และ 100 W
แบบบอกค่าเป็นแคนเดลา

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เขาไดช



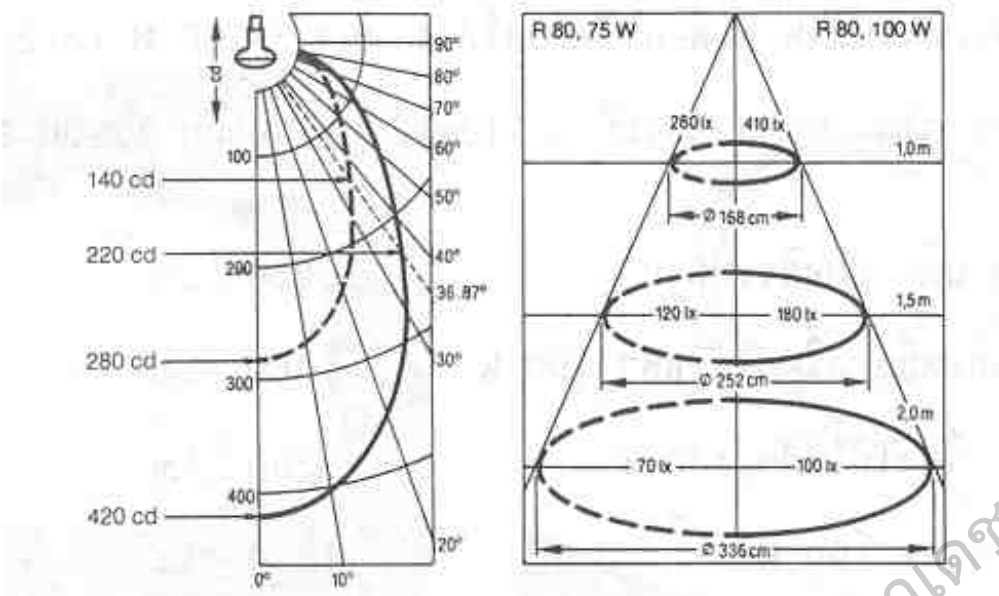
บอกค่าเป็นแคนเดลาต่อกิโลลูเมน

ตัวอย่าง โคมหลอดสปอตไลต์ 75 วัตต์ และ 100 วัตต์ ติดตั้งโคมไฟ ณ ตำแหน่งดังรูป จงหาความส่องสว่างที่จุด A และจุด B ของโคมหลอด 75 วัตต์ และโคมหลอด 100 วัตต์



กราฟกระจายแสงของโคมหลอดสปอตไลต์ 75 วัตต์ และ 100 วัตต์

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เงาเดช



R 80, 80°, 75 W และ 100 W

จากรูป $\tan\theta = \frac{\text{ตรงมุม}}{\text{ประชิดมุม}}$

$$\theta = \tan^{-1}\frac{\text{ตรงมุม}}{\text{ประชิดมุม}}$$

$$\theta = \tan^{-1}\frac{1.5}{2} = 36.87$$

$$D = \sqrt{(2^2 + 1.5^2)} = 2.5$$

<u>ค่าความส่องสว่างที่จุด A</u>

ใช้สูตร $E_1 = \frac{I_1}{H^2}$

<u>หลอด 75 วัตต์</u>

ค่า I อ่านจากกราฟกระจายแสงของโคมไฟในแนวดิ่ง 0 องศา = 280 cd

$$E_1 = \frac{220}{2^2} = 70 \text{ lux}$$

<u>หลอด 100 วัตต์</u>

ค่า I อ่านจากกราฟกระจายแสงของโคมไฟในแนวดิ่ง 0 องศา = 420 cd

$$E_1 = \frac{420}{2^2} = 105 \text{ lux}$$

เอกสารประกอบการสอน อ.การัยมนตรี เงาเดช

ค่าความส่องสว่างที่จุด B

ใช้สูตร

$$E_2 = \frac{I_2}{H^2}(\cos\theta)^3 \quad \text{หรือ} \quad E_2 = \frac{I_2}{D^2}\cos\theta$$

หลอด 75 วัตต์

ค่า I อ่านจากกราฟกระจายแสงของโคมไฟที่มุม 36.87 องศา = 140 cd

$$E_2 = \frac{I_2}{H^2}(\cos\theta)^3$$

$$E_2 = \frac{140}{2^2}(\cos 36.87)^3 = \frac{140}{2^2}(0.8)^3 = 17.9 \text{ lux}$$

หรือหาจากสูตร

$$E_2 = \frac{I_2}{D^2}\cos\theta$$

$$E_2 = \frac{140}{2.5^2}(\cos 36.87) = \frac{140}{2.5^2}(0.8) = 17.9 \text{ lux}$$

หลอด 100 วัตต์

ค่า I อ่านจากกราฟกระจายแสงของโคมไฟที่มุม 36.87 องศา = 220 cd

$$E_2 = \frac{I_2}{H^2}(\cos\theta)^3$$

$$E_2 = \frac{220}{2^2}(\cos 36.87)^3 = \frac{220}{2^2}(0.8)^3 = 28.2 \text{ lux}$$

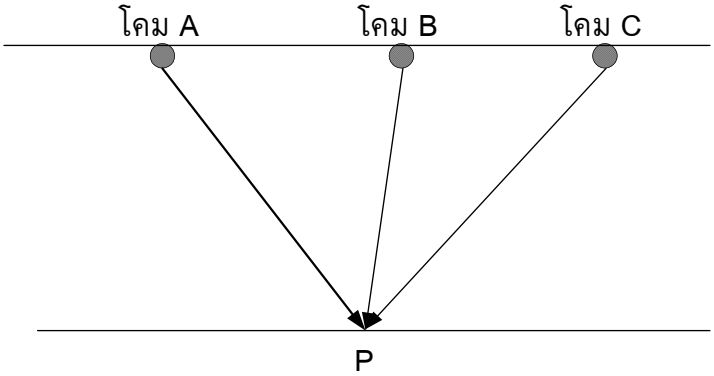
หรือหาจากสูตร

$$E_2 = \frac{I_2}{D^2}\cos\theta$$

$$E_2 = \frac{220}{2.5^2}(\cos 36.87) = \frac{220}{2.5^2}(0.8) = 28.2 \text{ lux}$$ ตอบ

หากจุดที่เราต้องการทราบค่าความส่องสว่างมีโคมติดตั้งอยู่หลายโคม เราจะต้องทำการคำนวณหาค่าความส่องสว่างอันเนื่องมาจากโคมเหล่านั้นทุกโคมที่มีผลกระทบต่อความส่องสว่างในจุดที่เราต้องการทราบค่าแล้วจึงนำค่าที่คำนวณได้จากทุกดวงโคมมารวมกัน

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เงาเดช

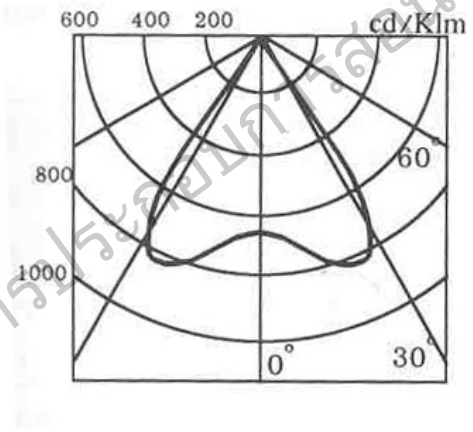


จากรูปจะต้องคำนวณค่าความส่องสว่างจากดวงโคมทุกดวงโคมแล้วนำมารวมกัน ซึ่งค่าของมุมที่กระทำกับจุด P ในรูปของแต่ละโคมจะไม่เท่ากัน

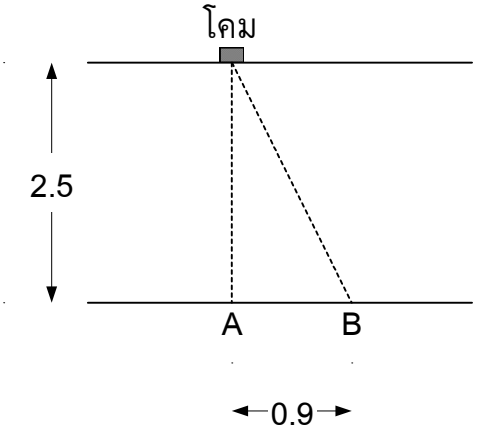
<u>หมายเหตุ</u> หากโคมนั้นบอกค่าเป็นค่าลูเมนจะต้องทำการเปลี่ยนเป็นค่าแคนเดลาเสียก่อนจึงจะสามารถคำนวณตามสูตรได้ โดยใช้ความสัมพันธ์

1 แคนเดลา = 12.57 ลูเมน

<u>ตัวอย่าง</u> จากกราฟการกระจายแสงของโคมไฟฟ้าหลอด 100W GLS มีปริมาณแสง 1300 ลูเมน ดังรูป ก. หากโคมติดตั้งไว้ที่ตำแหน่งในรูป ข. จงหาค่าความส่องสว่าง ณ จุด A และ จุด B



ก) กราฟการกระจายแสงโคม



ข) การติดตั้งโคม

<u>วิธีทำ</u>

<u>ที่จุด A</u> อ่านค่าความเข้มจากกราฟได้ 625cd/Klm ทำหน่วยให้เป็น แคนเดลา (cd) โดยนำค่าลูเมนในหน่วยของกิโลลูเมน (Klm) ของดวงโคมมาคูณ 1300 lm = 1.3 Klm

ความเข้มของดวงโคม = 625x1.3 = 813 แคนเดลา

ความส่องสว่างใต้โคม = $\frac{813}{2.5^2}$ = 130 ลักซ์

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์เมตรี เงาเดช

ที่จุด B อ่านค่าความเข้มจากกราฟที่ 20 องศาได้ 810cd/Klm ทำหน่วยให้เป็น แคนเดลา (cd) โดยนำค่าลูเมนในหน่วยของกิโลลูเมน (Klm) ของดวงโคมมาคูณ 1300 lm = 1.3 Klm

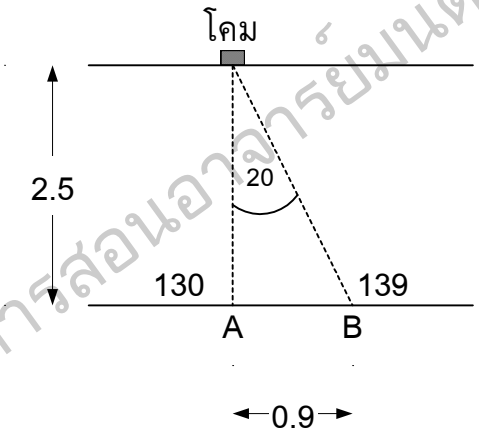
ความเข้มของดวงโคม = 810x1.3 = 1053 แคนเดลา

มุมของแสงที่กระทำกับจุด B

$$\theta = \tan^{-1}\frac{\text{ตรงมุม}}{\text{ประชิดมุม}}$$

$$= \frac{0.9}{2.5} = 20$$

ความส่องสว่างใต้โคม $= \frac{1053}{2.5^2}(\cos 20)^3 =$ 139 ลักซ์

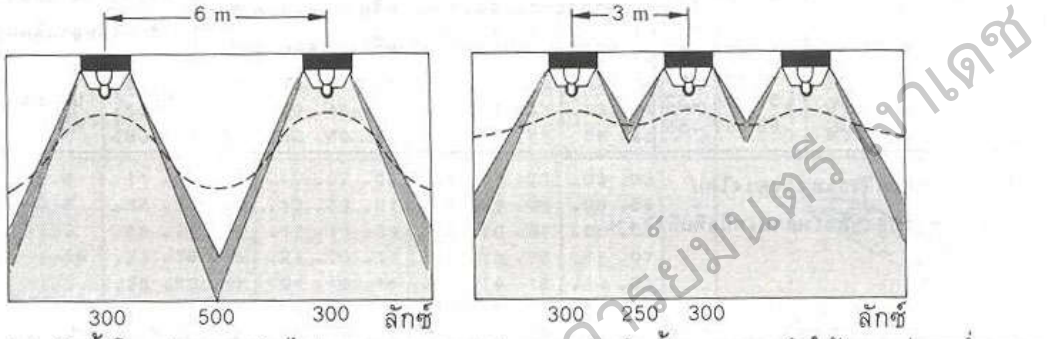


เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เงาเดช

5.2 การจัดวางดวงโคมและความสม่ำเสมอของแสงสว่าง

การจัดวางดวงโคมถือว่าเป็นเรื่องที่สำคัญอย่างหนึ่งในการออกแบบระบบแสงสว่างในห้องที่ออกแบบ เพราะว่าจากการคำนวณข้างต้นเราได้จำนวนดวงโคมมาแล้วว่าจะต้องใช้ดวงโคมจำนวนเท่าใด จึงจะให้ค่าความส่องสว่างตามมาตรฐานของ IES ที่ใช้อ้างอิงในการออกแบบ แต่หากเราติดตั้งและจัดวางดวงโคมไม่เหมาะสมแล้วจะส่งผลทำให้ค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่างไม่เท่ากันทั้งห้องและอาจจะเกิดเงามืดขึ้นได้ และบางจุดก็อาจจะมีแสงสว่างจ้าเกินไป ทำให้การมองเห็นไม่ดี

ดังนั้นในพื้นที่ที่ต้องการให้แสงสว่างอย่างสม่ำเสมอนั้น การติดตั้งระยะห่างระหว่างดวงโคมต้องอยู่ในระยะที่เหมาะสมด้วย



(ก) ติดตั้งโคมห่างมากเกินไป (ข) ระยะห่างติดตั้งเหมาะสมทำให้แสงสว่างสม่ำเสมอ

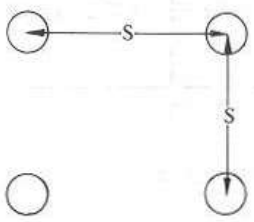
ในการกำหนดระยะห่างระหว่างดวงโคมนั้นจำเป็นจะต้องอาศัย ค่าระยะห่างระหว่างการติดตั้งดวงโคมต่อความสูงของดวงโคมเหนือพื้นงาน (Spacing per Mounting Hight Ratio : S/MH) ซึ่งจะระบุตามตารางที่ 3 และ ตารางที่ 4 ที่ใช้ในการหาค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์ของดวงโคม หรือจากแคลตาล็อคของบริษัทผู้ผลิตดวงโคมนั้นได้

S (Spacing) = อัตราส่วนระยะห่างระหว่างดวงโคม

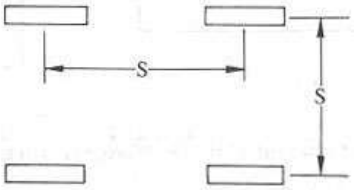
MH (Mounting Hight) = ความสูงของดวงโคมเหนือพื้นงาน

เราสามารถดูลักษณะการวางดวงโคมไฟฟ้าลักษณะต่างๆ ได้ดังรูป

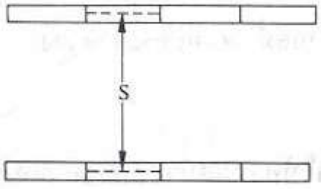
เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี งาเดช



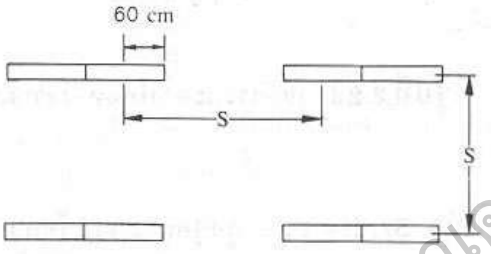
(ก) หลอดไส้หรือ HID



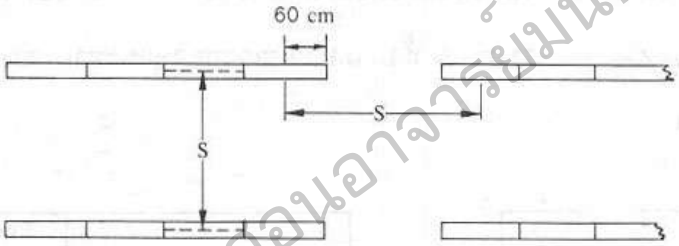
(ข) หลอดฟลูออเรสเซนต์ 40 W



(ค) หลอดฟลูออเรสเซนต์ติดยาวตลอด



(ง) หลอดฟลูออเรสเซนต์จัดเป็นคู่ ๆ

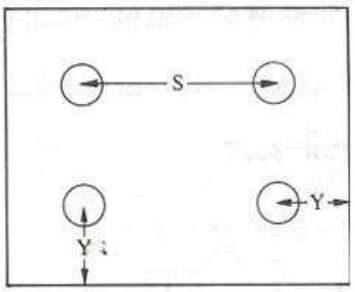


(จ) หลอดฟลูออเรสเซนต์จัดเป็นกลุ่ม

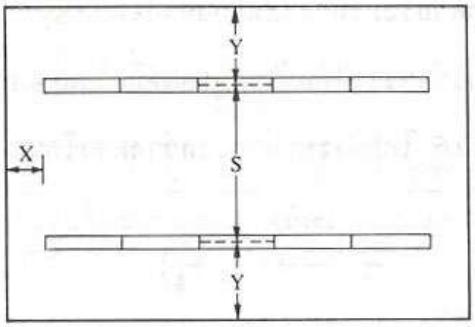
ระยะห่างจากดวงโคมถึงผนังก็เป็นค่าที่ควรคำนึงถึงเช่นกัน โดยจะต้องมีระยะห่างจากผนังไปยังดวงโคม ไม่เกินครึ่งหนึ่งของค่าระยะห่างระหว่างดวงโคม (S/2)

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี ฉาไธช

หากเป็นโคมไฟฟ้าที่มีลักษณะการวางดวงโคมต่างไปจากนี้ก็สามารถดูลักษณะการวางไปจากรูป



(ก)



(ข)

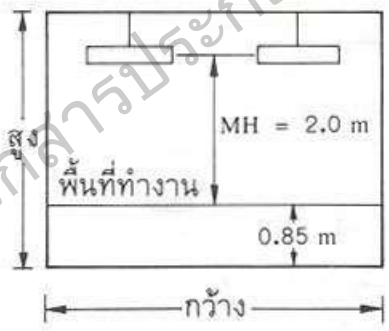
ระยะ	แนะนำใช้	สูงสุด
X	15-30 cm	60 cm
Y	79-90 cm	S/2

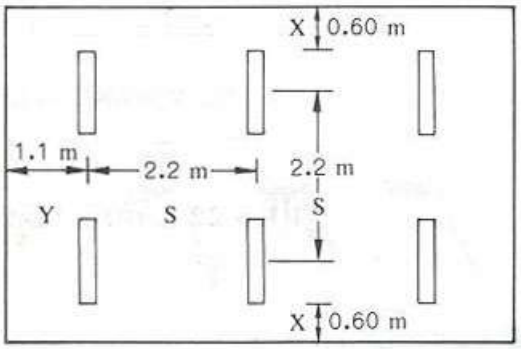
<u>ตัวอย่าง</u> โคมมีค่า S/MH=1.1 วางสูงจากพื้นงาน 2 เมตร จะต้องวางดวงโคมไฟฟ้าอย่างไร

โคมมีค่า MH=2 ดังนั้น ค่า S=1.1x2=2.2 เมตร

และวางห่างผนังสูงสุด S/2 = 2.2/2 = 1.1 เมตร

แสดงการวางดวงโคมดังรูป





เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี ขาเดช

บทที่ 6

การออกแบบระบบไฟฟ้า

การออกแบบระบบไฟฟ้านั้นมีความสำคัญอย่างมากสำหรับผู้ออกแบบที่จำเป็นจะต้องพิจารณาและจะต้องพิจารณาอย่างรอบคอบต่อการต้องการใช้พลังงานซึ่งจะแตกต่างกันตามการใช้งานในแต่ละอาคาร ปัจจัยพื้นฐานสำหรับการออกแบบระบบไฟฟ้าคือ

1. ความปลอดภัย (Safety) ควรเลือกใช้อุปกรณ์ที่มาตรฐานและสามารถป้องกันระบบไฟฟ้าได้ดีและปลอดภัย

2. ความเชื่อถือได้ (Reliability) ระบบไฟฟ้าควรจะมีความแน่นอนในการใช้งานระบบไฟฟ้าที่ดีและสามารถใช้งานได้อย่างต่อเนื่อง และลดข้อบกพร่องของจุดบกพร่องในระบบให้น้อยที่สุด เพื่อให้ความวางใจในระบบสูงสุดและมีราคาพอสมควร

3. ความง่ายในการใช้งาน (Simplicity of Operation) ระบบจะต้องง่ายในการใช้งานมากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้และตรงตามความต้องการของผู้ใช้

4. ความสม่ำเสมอของแรงดัน (Voltage Regulation) แรงดันที่ไม่สม่ำเสมอจะทำให้อายุของอุปกรณ์ไฟฟ้าสั้นลง จะต้องรักษาระดับแรงดันไม่ให้เกินขีดจำกัด

5. การดูแลรักษา (Maintenance) ระบบไฟฟ้าที่ออกแบบจะต้องสามารถดูแลรักษา ตรวจสอบซ่อมแซม และทำความสะอาดได้ง่าย

6. ความคล่องตัว (Flexibility) ระบบไฟฟ้าจะต้องสามารถดัดแปลง ปรับปรุง และขยายได้ในอนาคต ข้อที่จำเป็นต้องพิจารณาคือแรงดันไฟฟ้า และเผื่อที่ว่างสำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้าให้เหมาะสมกับโหลดที่จะมีเพิ่มขึ้น

7. ค่าใช้จ่ายเริ่มต้น (First Cost) ค่าใช้จ่ายเริ่มต้นนับเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับความปลอดภัย ความเชื่อถือได้ ความสม่ำเสมอของแรงดัน การดูแลรักษา และเพื่อการขยายในอนาคต ดังนั้นจะต้องพิจารณาเลือกแบบที่ดีที่สุดเพื่อลดต้นทุน

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เงาเดช

6.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับระบบไฟฟ้า

6.1.1 การไฟฟ้า

ประเทศไทยมีหน่วยงานที่รับผิดชอบ และเกี่ยวข้องกับระบบการผลิต และส่งจ่ายไฟฟ้ากำลังใหญ่ๆ รวม 3 หน่วยงาน ได้แก่

- การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย , กฟผ.
  (Electricity Generating Authority of Thailand , EGAT)
- การไฟฟ้านครหลวง , กฟน.
  (Metropolitan Electricity Authority , MEA)
- การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค , กฟภ.
  (Provincial Electricity Authority , PEA)

1. การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย , กฟผ.

การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย เป็นหน่วยงานของรัฐวิสาหกิจที่มีหน้าที่ในการวางแผนการเตรียมระบบผลิตไฟฟ้าของทั้งประเทศไทย เช่น สร้างโรงผลิตไฟฟ้าพลังน้ำ , พลังงานความร้อน จากก๊าซธรรมชาติ เป็นต้น ระบบที่ผลิตจะมีการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าที่แรงดัน 500 กิโลโวลต์ (500KV), 230 กิโลโวลต์ (230KV) และ 115 กิโลโวลต์ (115KV) ขายต่อการไฟฟ้านครหลวงและการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์เนตร พาเดช

ในปัจจุบันการใช้กำลังไฟฟ้าได้เติบโตอย่างรวดเร็วจนการสร้างโรงงานผลิตไฟฟ้า ไม่สามารถทำได้ทันต่อการใช้งานโดยการ ไฟฟ้าฝ่ายผลิตเพียงหน่วยงานเดียวจึงมีการเปิดโอกาสให้บริษัทเอกชน ทำการสร้างโรงผลิตไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วม (Co-Generation plant) โดยขายไฟฟ้าให้โรงงานอุตสาหกรรมภายในนิคม พร้อมทั้งขายไอน้ำ (Steam) น้ำเย็น (Chilled Water) เพื่อทำความเย็นโดยทั้งไอน้ำ และน้ำเย็นจะผลิตได้จากพลังงานส่วนเหลือทิ้งจากากรผลิตไฟฟ้าและเมื่อไฟฟ้าเหลือใช้งานจึงจะขายต่อให้การไฟฟ้าฝ่ายผลิตต่อไป

2. การไฟฟ้านครหลวง , กฟน.

การไฟฟ้านครหลวงเป็นหน่วยงานรัฐวิสาหกิจ ที่มีหน้าที่รับผิดชอบในการรับซื้อไฟฟ้าจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย เพื่อทำการส่งขายให้ลูกค้าทั้งเอกชน และหน่วยงานรัฐบาล ภายในกรุงเทพมหานคร , นนทบุรี , สมุทรปราการ

การไฟฟ้านครหลวง
Metropolitan Electricity Authority

ระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าของการไฟฟ้านครหลวง มีทั้งระบบเดินลอยบนเสาไฟฟ้า และระบบสายใต้ดิน ระบบส่งจ่ายไฟฟ้ามีหลายระดับแรงดันดังนี้

1. ระบบ 220V. , 1 Phase และ 220/380V. , 3 Phase 50 Hz มีขนาดมิเตอร์สูงสุด 400A.
2. ระบบ 12KV., 3 Phase เป็นระบบแรงดันไฟฟ้าเดิมที่ใช้ปัจจุบันยังมีใช้อยู่แต่จะยกเลิกในอนาคต สำหรับลูกค้ารายใหม่ที่จะขอใช้ไฟฟ้าที่อยู่ในเขตการจ่ายไฟฟ้า 12KV. จะต้องเตรียมระบบภายในอาคารให้รับไฟฟ้าได้ทั้งระบบ 12KV. และ 24KV.
3. ระบบไฟฟ้า 24KV. , 3Phase เป็นระบบแรงดันไฟฟ้าที่เริ่มทำการจ่ายไฟฟ้า และทยอยเปลี่ยนเขตการฟ้าจ่ายไฟฟ้า 12KV. เป็น 24KV. การขอใช้ไฟฟ้าหากลูกค้าอยู่ในเขตสายส่งไฟฟ้าใต้ดิน การไฟฟ้านครหลวงจะจ่ายไฟฟ้าให้ในระบบ Ring Main โดยลูกค้าจำเป็นต้องจัดเตรียมห้องให้การไฟฟ้านครหลวง ที่ระดับชั้นพื้นดินที่มีทางเข้าออกห้องได้จากภายนอกอาคาร ขนาดของการใช้ไฟฟ้าสำหรับระบบจ่ายไฟฟ้า24KV. จะต้องมีขนาดความต้องการไฟฟ้าไม่เกิน 15,000 KVA.
4. ระบบไฟฟ้า 69KV. , 3Phase เป็นระบบไฟฟ้าที่การไฟฟ้านครหลวงทำการจ่ายให้ลูกค้าที่มีขนาดความต้องการไฟฟ้าเกิน 15,000KVA. ระบบจ่ายไฟฟ้า มีทั้งระบบสายเดินลอยบนเสาไฟฟ้า และระบบสายใต้ดิน

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เงาเดช

3. การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค , กฟภ.

การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เป็นหน่วยงานรัฐวิสาหกิจที่รับซื้อไฟฟ้าจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตเพื่อส่งขายให้ลูกค้าทั่วประเทศ โดยยกเว้นเขตการจ่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้านครหลวง

การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคได้แบ่งพื้นที่รับผิดชอบออกเป็น 4 ภาค คือ ภาคกลาง , ภาคเหนือ , ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคใต้ โดยแต่ละภาคแบ่งดังนี้

3.1 ภาคกลาง ประกอบด้วย 3 เขต 14 จังหวัด

ก. ภาคกลางเขต 1

สำนักงานอยู่ที่ อำเภอเมืองพระนครศรีอยุธยา รับผิดชอบ 6 จังหวัด คือ พระนครศรีอยุธยา , อ่างทอง , ปทุมธานี , สระบุรี , นครนายก และปราจีนบุรี

ข. ภาคกลางเขต 2

สำนักงานอยู่ที่ อำเภอเมืองชลบุรี รับผิดชอบ 4 จังหวัด คือ ชลบุรี , ฉะเชิงเทรา , ระยอง , จันทบุรี และตราด

ค. ภาคกลางเขต 3

สำนักงานอยู่ที่ อำเภอเมืองนครปฐม รับผิดชอบ 4 จังหวัด คือ นครปฐม , สมุทรสาคร , สุพรรณบุรี , และกาญจนบุรี

3.2 ภาคเหนือ ประกอบด้วย 3 เขต 20 จังหวัด

ก. ภาคเหนือเขต 1

สำนักงานอยู่ที่ อำเภอเมืองเชียงใหม่ รับผิดชอบ 6 จังหวัด คือ เชียงใหม่ , ลำพูน , ลำปาง , เชียงราย , พะเยา และแม่ฮ่องสอน

ข. ภาคเหนือเขต 2

สำนักงานอยู่ที่ อำเภอเมืองพิษณุโลก รับผิดชอบ 8 จังหวัด คือ พิษณุโลก , พิจิตร , ตาก , กำแพงเพชร , สุโขทัย , แพร่ , น่าน และอุตรดิตถ์

ค. ภาคเหนือเขต 3

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เจาเดช

สำนักงานอยู่ที่ อำเภอเมืองลพบุรี รับผิดชอบ 6จังหวัด คือ ลพบุรี , สิงห์บุรี , เพชรบูรณ์ , นครสวรรค์ , อุทัยธานี และชัยนาท

3.2 ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ประกอบด้วย 3 เขต 17 จังหวัด

ก. ภาคตะวันออกเฉียงเหนือเขต 1

สำนักงานอยู่ที่ อำเภอเมืองอุดรธานี รับผิดชอบ 6 จังหวัด คือ อุดรธานี , หนองคาย , ขอนแก่น , เลย , สกลนคร และนครพนม

ข. ภาคตะวันออกเฉียงเหนือเขต 2

สำนักงานอยู่ที่ อำเภอเมืองอุบลราชธานี รับผิดชอบ 7 จังหวัด คือ อุบลราชธานี , ยโสธร , ร้อนเอ็ด , กาฬสินธุ์ , มหาสารคาม , ศรีษะเกษ และมุกดาหาร

ค. ภาคตะวันออกเฉียงเหนือเขต 3

สำนักงานอยู่ที่ อำเภอเมืองนครราชสีมา รับผิดชอบ 4 จังหวัด คือ นครราชสีมา , ชัยภูมิ , บุรีรัมย์ และสุรินทร์

3.3 ภาคใต้ ประกอบด้วย 3 เขต 14 จังหวัด

ก. ภาคใต้เขต 1

สำนักงานอยู่ที่ อำเภอเมืองเพชรบุรี รับผิดชอบ 6 จังหวัด คือ เพชรบุรี , ประจวบคีรีขันธ์ , ราชบุรี , สมุทรสงคราม , ชุมพร และระนอง

ข. ภาคใต้เขต 2

สำนักงานอยู่ที่ อำเภอเมืองนครศรีธรรมราช รับผิดชอบ 6 จังหวัด คือ นครศรีธรรมราช , ตรัง ,กระบี่ , สุราษฎร์ธานี , ภูเก็ต และพังงา

ค. ภาคใต้เขต 3

สำนักงานอยู่ที่ อำเภอเมืองยะลา รับผิดชอบ 6 จังหวัด คือ ยะลา , ปัตตานี , นราธิวาส , สงขลา , สูตล และพัทลุง

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี ยาเดช

รูป INDOOR SUBSTATION

รูป OUTDOOR SUBSTATION

เนื่องจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค รับผิดชอบพื้นที่เกือบทั่วประเทศไทย ระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าจึงเป็นระบบเดินลอยบนเสาไฟฟ้า และมีระบบแรงดันไฟฟ้า และมีระบบแรงดันไฟฟ้าต่างจากการไฟฟ้านครหลวง ดังนี้

ก) ระบบ 230V. 1Phase และ 230/400V. 3Phaes มีขนาดมิเตอร์สูงสุด 400A.

ข) ระบบ 22KV. 3Phase โดยสามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้ไม่เกิน 10,000 KVA. ต่อ 1 สายป้อน

ค) ระบบ 33KV. 3Phase เป็นระบบที่ใช้เฉพาะจังหวัดเชียงราย พะเยา และภาคใต้นับตั้งแต่จังหวัดระนองลงไป ขนาดไม่เกิน 10,000 KVA. ต่อ 1 สายป้อน

ง) ระบบ 69KV. หรือ 115KV. , 3Phase จะจ่ายกำลังไฟฟ้าให้เฉพาะลูกค้าที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้าเกิน 10,000 KVA.

6.1.2 ระบบจำหน่ายไฟฟ้า

ระบบไฟฟ้ากำลังสามารถจำแนกได้ 3 ส่วนได้แก่

ก) ระบบการผลิตไฟฟ้า (Generating System) ได้แก่ เครื่องกำเนิดไฟฟ้า หรือ โรงจักรกลไฟฟ้า คือส่วนที่ผลิตไฟฟ้าขึ้นมา อาจมาจากพลังงานเชื้อเพลิงหลายส่วนที่นำมาใช้การผลิตไฟฟ้า เช่น พลังงานน้ำ , พลังงานไอน้ำ , น้ำมัน หรือ พลังงานนิวเครียส์

ข) ระบบสายส่งกำลังไฟฟ้า (Transmission System) ได้แก่ สายส่งไฟฟ้าแรงสูงและสถานีเปลี่ยนแปลงแรงดัน (Substation) ระบบสายส่งไฟฟ้าแรงสูงนี้จะส่งด้วยแรงดันไฟฟ้า 3 ระดับ คือ

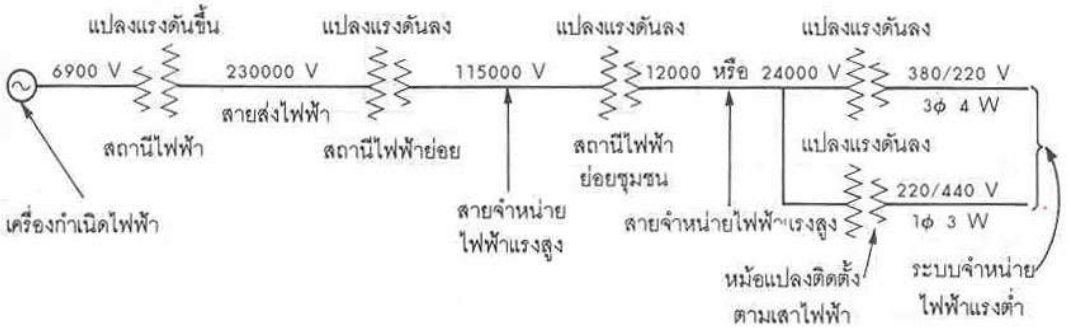
- ไฟฟ้าแรงสูง (High Voltage) , HV. ได้แก่ ระบบแรงดันไฟฟ้าไม่เกิน 230KV
- ไฟฟ้าแรงสูงเอ็กซ์ตร้า (Extra High Voltage),EHV. ได้แก่ ระดับแรงดันไฟฟ้าตั้งแต่ 230-1000KV. ขึ้นไป
- ไฟฟ้าแรงสูงอัลตร้า (Ultra High Voltage) , UHV. ได้แก่ ระดับแรงดันไฟฟ้าสูงกว่า 1000KV. ขึ้นไป ซึ่งในประเทศไทยยังไม่มีใช้

ค) ระบบจำหน่ายไฟฟ้า (Distribution System) ได้แก่ สายจำหน่ายไฟฟ้าแรงสูงจากสถานีเปลี่ยนแรงดัน (สถานีไฟฟ้าย่อย) ให้ต่ำลงเพื่อส่งไปยังผู้ใช้ไฟฟ้า โดยทั่วไประบบจำหน่ายไฟฟ้า แบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ ระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงสูง และระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงต่ำ

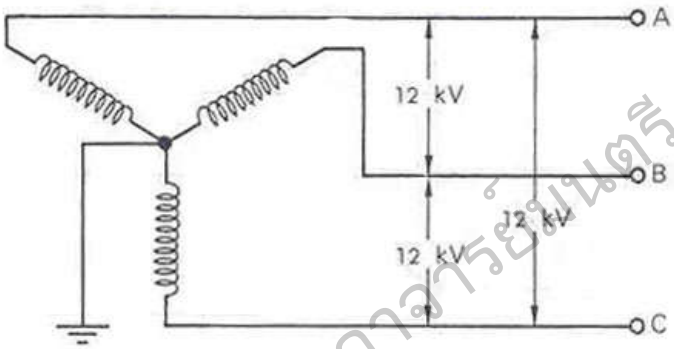
<u>ระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงสูง</u>

ระบบนี้จะเริ่มตั้งแต่สถานีไฟฟ้าย่อยทำหน้าที่แปลงระดับแรงดันฟ้าให้ลดลงเหลือ 115KV. หรือ 69KV. และจะถูกแยกจ่ายออกเป็นสายส่งออกเป็นชุดๆ ส่งไปตามยังสถานีไฟฟ้าย่อยในชุมชน ดังรูป

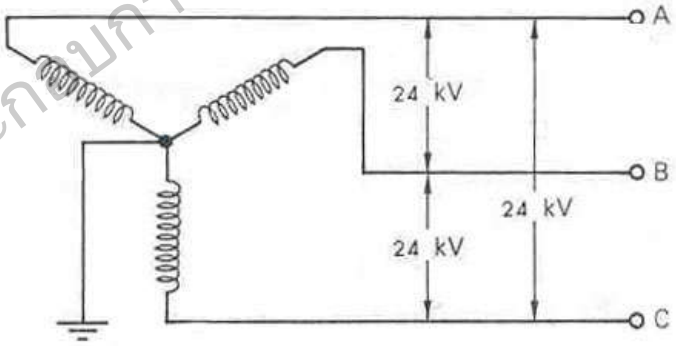
เอกสารประกอบการสอนอาจารย์เมธี เงาเดช



ที่สถานีไฟฟ้าย่อยชุมชนจะลดแรงดันไฟฟ้าเหลือ 12KV. , 24KV. ในเขตจำหน่ายไฟฟ้าแรงสูงของการไฟฟ้านครหลวง



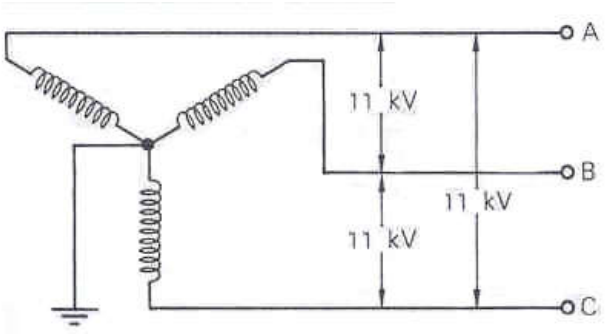
ระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงสูง 12KV. 3 เฟส 3 สาย



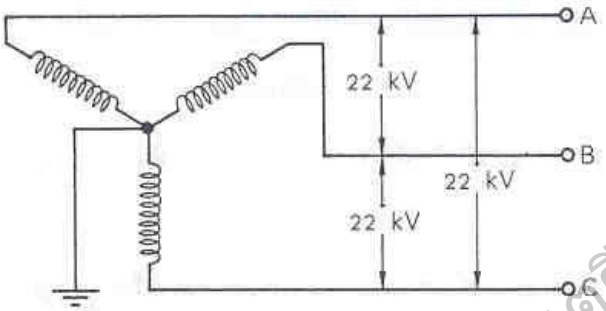
ระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงสูง 24KV. 3 เฟส 3 สาย

และจะลดระดับแรงดันไฟฟ้าเป็น 11KV. , 22KV. และ 33KV. ในเขตจำหน่ายไฟฟ้าแรงสูงของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

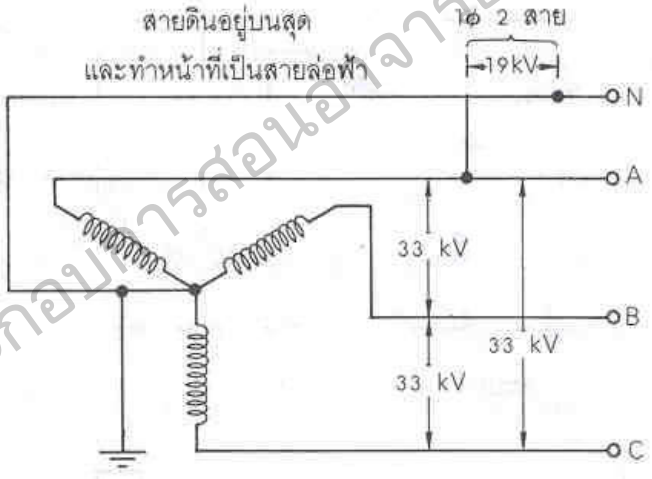
เอกสารประกอบการสอนอาจารย์นเตรี เงาเดช



ระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงสูง 11KV. 3 เฟส 3 สาย



ระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงสูง 22KV. 3 เฟส 3 สาย



ระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงสูง 33KV. 3 เฟส 3 สาย

ระดับ 11KV. ในปัจจุบันเหลือเพียง 3 จังหวัด ได้แก่ เชียงใหม่ , ลำพูนและลำปาง ส่วนระดับ 22KV. เป็นระบบจำหน่ายเกือบทั้งประเทศ ยกเว้นภาคเหนือและภาคใต้ในบางจังหวัดเท่านั้น สำหรับระบบแรงดัน 33Kv. การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคมีจำนวนในภาคเหนือที่จังหวัดเชียงรายและพะเยา ส่วนในภาคใต้ตั้งแต่ จังหวัดระนองลงไป

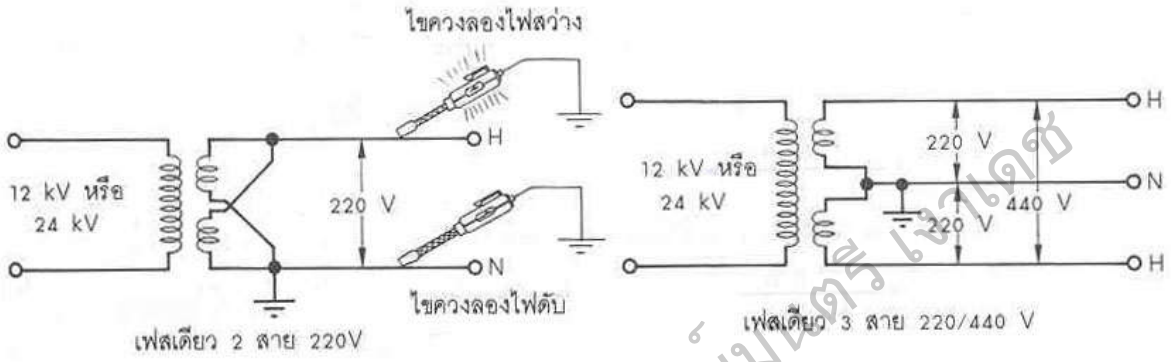
เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เงาเดช

ระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงต่ำ

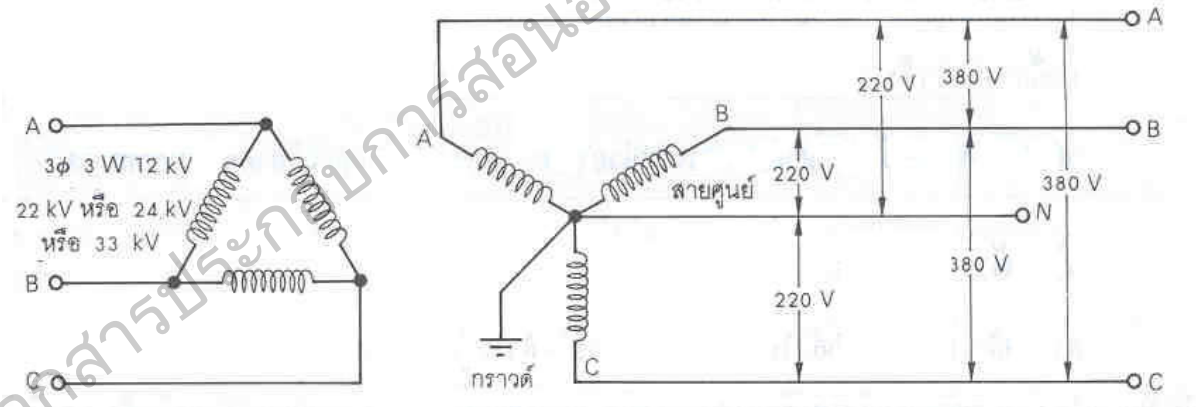
การไฟฟ้านครหลวงและการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคแบ่งระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงต่ำออกเป็น 2 ระบบ คือ

- ระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงต่ำเฟสเดียว
- ระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงต่ำสามเฟส

1. ระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงต่ำเฟสเดียว แบ่งเป็นเฟสเดียว 2 สาย 220V. และเฟสเดียว 3 สาย 220/440V.



2. ระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงต่ำสามเฟส ทั้งการไฟฟ้านครหลวงและการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เป็นชนิด 3 เฟส 4 สาย 380/220V.



ในระบบ 3 เฟส 3 สาย ปัจจุบันการไฟฟ้าฯ ทั้งสองแห่งเลิกใช้แล้ว

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เชาเดช

6.1.3 สายไฟฟ้า

สายไฟฟ้าเป็นสื่อนำหรือตัวนำกำลังไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไปยังจุดที่ใช้ไฟฟ้า ลักษณะที่สำคัญของสายไฟฟ้าจะดูจากประสิทธิภาพของสายไฟที่ยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลได้สูงสุด โดยที่ไม่เป็นอันตรายต่อสายไฟฟ้า แรงเคลื่อนไฟฟ้าทนได้ขณะใช้งาน ค่าแรงดันไฟฟ้าตกในสาย เป็นต้น วัสดุที่ใช้ทำตัวนำไฟฟ้าในปัจจุบันคือสายทองแดงและสายอลูมิเนียม

สายไฟฟ้ามีหน้าที่สำหรับนำพลังงานไฟฟ้า จากแหล่งจ่ายไฟไปยังบริภัณฑ์ไฟฟ้าต่างๆ ในปัจจุบันได้มีผู้ผลิตสาย ไฟฟ้าขึ้นมากมายหลายชนิด ตามความต้องการสำหรับการติดตั้งในรูปแบบต่างๆ ดังนั้นการ

เลือกใช้สายไฟฟ้า เพื่อให้มี ความเหมาะสมปลอดภัย ประหยัด และ เชื่อถือได้ จะต้องพิจารณาถึงปัจจัยหลายประการด้วยกัน ได้แก่ ความเหมาะสม กับสภาพแวดล้อมที่ติดตั้ง ความสามารถในการนำกระแสของตัวนำ ขนาดแรงดันตกที่เกิดขึ้น ความสามารถในการทนต่อ ความร้อนที่เกิดขึ้นทั้งในขณะใช้งานปกติและขณะเกิดการลัดวงจร

ความต้านทานของสายไฟฟ้า จะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับองค์ประกอบดังนี้

ก. พื้นที่หน้าตัดของสาย สายไฟฟ้าที่มีพื้นที่หน้าตัดของตัวนำใหญ่จะมีค่าความต้านทานของสายไฟฟ้าน้อยกว่าสายไฟฟ้าที่มีพื้นที่หน้าตัดของตัวนำเล็ก

ข. ความยาวของสาย สายไฟฟ้าที่มีความยาวยิ่งมาก ความต้านทานของสายไฟก็จะมากขึ้นตาม

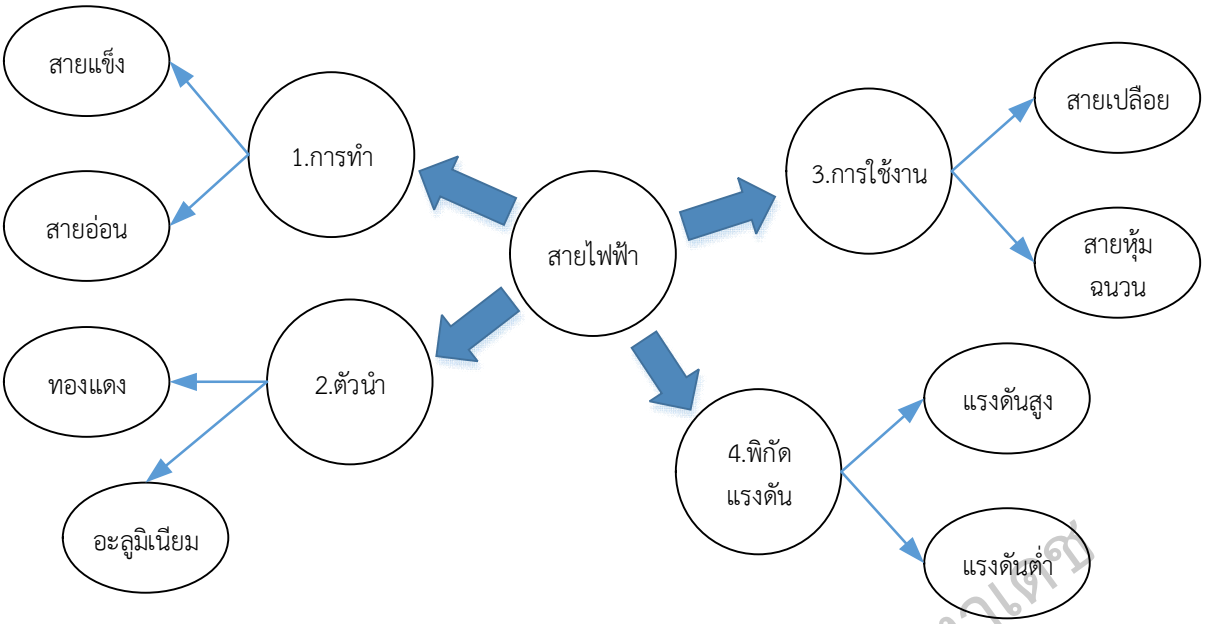
ค. อุณหภูมิ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ความต้านทานของสายไฟก็จะเพิ่มขึ้น

ง. ความต้านทานของสายไฟจะขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุที่ใช้ทำสายไฟ

เมื่อสายไฟมีค่าความต้านทานมากจะทำให้แรงเคลื่อนไฟฟ้าตกในสายไฟมาก ซึ่งจะมีผลให้แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ตกคร่อมโหลดหรือภาระทำงานได้ไม่เต็มพิกัด ประสิทธิภาพในการทำงานก็จะลดลงด้วย

1. แบ่งตามลักษณะการทำได้ 2 แบบ
   - 1.1 สายแข็ง (SOLID WIRE)
   - 1.2 สายอ่อน (STRANDED WIRE)
2. แบ่งตามชนิดของวัสดุตัวนำ 2 ชนิด
   - 2.1 สายทองแดงมีความบริสุทธิ์ของทองแดง 98 %
   - 2.2 สายอลูมิเนียมมีความบริสุทธิ์ของทองแดง 99.3 %
3. แบ่งตามลักษณะการใช้งาน
   - 3.1 สายเปลือย (BARE WIRE)
   - 3.2 สายหุ้มฉนวน (INSULATED WIRE)
4. แบ่งตามพิกัดแรงดัน มี 2 ประเภท
   - 4.1 สายไฟฟ้าแรงดันสูง
   - 4.2 สายไฟฟ้าแรงดันต่ำ

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์สมเกียรติ เงาเกษ



รูปที่ 3.1 สายไฟฟ้าแบ่งตามเงื่อนไขต่างๆ

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เงาเดช

6.1.4 ส่วนประกอบของสายไฟฟ้า

สายไฟฟ้าประกอบด้วยส่วนประกอบที่สำคัญ 3 ส่วน ได้แก่ ตัวนำ ฉนวน และเปลือก

6.1.4.1 ตัวนำ

ตัวนำของสายไฟฟ้าทำมาจากโลหะที่มีความนำไฟฟ้าสูง อาจจะอยู่ในรูปของตัวนำเดี่ยว (Solid) หรือตัวนำตีเกลียว (Strand) ซึ่งประกอบไปด้วยตัวนำเล็กๆ ตีเข้าด้วยกันเป็นเกลียวซึ่งมีข้อดีคือ การนำกระแสต่อพื้นที่สูงขึ้น เนื่องจาก ผลของ Skin Effect ลดลง และการเดินสายทำได้ง่าย เพราะมีความอ่อนตัวกว่า โลหะที่นิยมใช้เป็นตัวนำได้แก่ ทองแดง และอะลูมิเนียม โดยโลหะทั้งสองชนิดมีข้อดีข้อเสียเสียต่างกันไปตามแต่ลักษณะของงาน

ทองแดง ทองแดงเป็นโลหะที่มีความนำไฟฟ้าสูงมาก มีความแข็งแรง เหนียว ทนต่อการกัดกร่อนได้ดี แต่มีข้อเสียอยู่คือ มีน้ำหนักมากและราคาสูง จึงไม่เหมาะสำหรับงานด้านแรงดันสูง แต่จะเหมาะกับการใช้งานโดยทั่วไป โดย เฉพาะงานในอาคาร

อะลูมิเนียม เป็นโลหะมีความนำไฟฟ้าสูงรองจากทองแดง แต่เมื่อเปรียบเทียบในกรณีกระแสเท่ากันแล้ว พบว่าอะลูมิเนียมจะมีน้ำหนักเบาและราคาถูกกว่า จึงเหมาะกับงานเดินสายไฟนอกอาคารและแรงดันสูง ถ้าทิ้งอะลูมิเนียมไว้ในอากาศจะเกิดออกไซด์ของอะลูมิเนียม ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นฉนวนฟิล์มบางๆ เกาะตามผิวช่วยป้องกันการสึกกร่อน แต่จะมีข้อเสียคือ ทำให้การเชื่อมต่อทำได้ยาก

สภาพต้านทานไฟฟ้า (อังกฤษ: electrical resistivity) คือปริมาณการวัดของการต่อต้านการไหลของกระแสไฟฟ้าในวัสดุ ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าต่ำบ่งชี้ว่าวัสดุยินยอมให้ประจุไฟฟ้าเคลื่อนที่ได้ง่าย หน่วยในระบบหน่วยวัดระหว่างประเทศของสภาพต้านทานไฟฟ้าคือ โอห์ม เมตร (Ωm) ซึ่งจะแสดงในรูปแบบอักษรกรีกตัว ρ (โร)

ค่าต้านทานไฟฟ้าของโลหะ (ที่ 20 °C)

1) เงิน-Silver = 1.59×10^{-8} Ωm

2) ทองแดง-Cupper = 1.68×10^{-8} Ωm

3) ทองคำ-Gold = 2.44×10^{-8} Ωm

4) อลูมิเนียม-Aluminum 2.82×10^{-8} Ωm

• โลหะที่นำกระแสไฟฟ้าได้ดีที่สุดเรียงลำดับจากมากไปน้อย 4 อันดับแรก คือ เงิน - ทองแดง - ทอง - อลูมิเนียม

• โลหะที่ราคาแพงเรียงลำดับจากมากไปน้อย 4 อันดับแรก คือ ทอง - เงิน - ทองแดง - อลูมิเนียม

6.1.4.2 ฉนวน

ฉนวนทำหน้าที่ห่อหุ้มตัวนำ เพื่อป้องกันการสัมผัสกันโดยตรงระหว่างตัวนำหรือระหว่างตัวนำกับส่วนที่ต่อลงดิน และเพื่อป้องกันตัวนำจากผลกระทบทางกลและทางเคมีต่างๆ ในระหว่างที่ตัวนำ นำกระแสไฟฟ้าจะเกิดพลังงานสูญเสีย ในรูปของความร้อน ความร้อนที่เกิดขึ้นจะถ่ายเทไปยังเนื้อฉนวน ความสามารถในการทนต่อความร้อนของฉนวนจะเป็น ตัวกำหนดความสามารถในการทนต่อความร้อนของสายไฟฟ้านั่นเอง การเลือกใช้ชนิดของฉนวนจะขึ้นกับอุณหภูมิใช้งาน ระดับแรงดันของระบบ และสภาพแวดล้อมในการติดตั้ง วัสดุที่นิยมใช้เป็นฉนวนมากที่สุดในขณะนี้คือ Polyvinyl Chloride (PVC) และ Cross linked Polyethylene (XLPE) ฉนวน XLPE มีความแข็งแรง ทนต่อความร้อนและถ่ายเทความร้อนได้ดีกว่าฉนวน PVC ปัจจุบันจึง มีการใช้ฉนวน XLPE เพิ่มมากขึ้น

PVC อุณหภูมิใช้งาน 70°C และ 90°C

XLPE อุณหภูมิใช้งาน 90°C

6.1.4.3 เปลือก

เปลือกทำหน้าที่หุ้นแกนหรือหุ้มสายชั้นนอกสุด อาจจะมี 1 หรือ 2 ชั้นก็ได้เพื่อป้องกันความเสียหายทาง กายภาพที่อาจเกิดขึ้นในขณะติดตั้งหรือใช้งาน การเสือกใช้ชนิดของเปลือกจะขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมในการติดตั้งวัสดุที่ นิยมใช้ทำเป็นเปลือกมากที่สุด คือ Polyvinyl Chloride (PVC) และ Polyethylene (PE) ส่วนกรณีสายที่ต้องการคุณสมบัติ พิเศษก็อาจใช้วัสดุ เช่น Flame Retardant Polyvinyl Chloride (FR-PVC) หรือ Low Smoke Halogen Free (LSHF) ก็ได้

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เจาะตะ

- สายไฟฟ้าที่ห่อหุ้มภายนอกด้วยด้ายถัก ได้แก่ สายไฟฟ้าที่ห่อหุ้มด้วยยาง แต่ภายนอกจะถักด้ายห่อหุ้มอีกชั้นหนึ่ง ใช้กับเตารีดและเครื่องให้ความร้อน

- สายหุ้มยาง เป็นสายไฟฟ้าที่หุ้มด้วยยางที่มีทั้งแบบธรรมดาและแบบทนความร้อน สายไฟฟ้าแบบนี้จะเปื่อยและเสื่อมคุณภาพเร็ว ปัจจุบันไม่ค่อยนิยมใช้งาน

- สายหุ้ม PVC ชนิดนี้มีความทนทานต่อดินฟ้าอากาศ ไม่ติดไฟ ทนความร้อน แข็งเหนียว ไม่เปื่อยง่าย นิยมใช้งานมากที่สุด

- สายหุ้มพลาสติกธรรมดา เป็นสายอ่อนเส้นเล็ก ภายในมีหลายเส้น เป็นสายไฟที่ไม่ถาวร ติดไฟได้ง่าย

- สายเดี่ยว เป็นสายไฟฟ้า 1 เส้น มี 1 แกน ใช้เดินทั้งภายในและภายนอกอาคาร สายไฟฟ้าชนิดนี้ ถ้าเดินในอาคารนิยมใช้ร้อยในท่อแล้วยึดท่อกับผนัง หรือฝังท่อในเสาหรือพื้น บางครั้งก็นำมาใช้เดินภายนอกอาคาร การเดินสายเดี่ยวนี้ไม่นิยมเดินตีคลิป แต่จะเดินในท่อหรือวางรางเหล็กเสมอ หรือยึดติด กับผนังโดยใช้ประกับยึดเป็นช่วง ๆ

- สายคู่ เป็นสายไฟฟ้าที่ใช้เดินภายในอาคาร เป็นสายไฟฟ้าชนิด 1 เส้นมี 2 แกนหรืออาจทำพิเศษให้มี 3 แกน โดยมีสายดินอีก 1 แกน

- สายเคเบิลใต้ดิน เป็นสายไฟฟ้าชนิดที่มีฉนวน PVC หุ้มลวดทองแดงอยู่แล้วยังมีฉนวนหุ้มภายนอกอีกชั้นหนึ่ง

- สายเคลือบน้ำยาหรือสายอีนาเมล เป็นสายเปลือยที่เคลือบน้ำยาเคมี ใช้งานกันมากในงานพันขดลวดไดนาโม มอเตอร์ หม้อแปลง ฯลฯ

- สายที่มีเปลือกโลหะหุ้ม นิยมใช้ฝังเข้ากับผนังตึก สายไฟฟ้าชนิดนี้มีราคาแพง

<u>การเลือกใช้สายไฟฟ้า</u>

ก. ทางไฟฟ้า ต้องพิจารณาในการเลือกใช้สายไฟฟ้าในด้านต่างๆ ต่อไปนี้

- ขนาดสาย
- ชนิดของสาย
- ความหนาแน่นของฉนวน
- การนำไปใช้งาน
- ความแข็งแรงของฉนวนต่อแรงดันไฟฟ้า

ข. ความร้อน ความร้อนจะมีผลต่อความต้านทานของสายไฟฟ้า หากอุณหภูมิสูงขึ้นความตานทานของสายไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้น จึงทำให้ความสารถในการนำไฟฟ้าลดลงด้วย

ค. ทางกล สายจะต้องมีความเหนียวและความยืดหยุ่น

ง. ทางเคมี สายจะต้องทนต่อน้ำมัน , เปลวไฟ , โอโซน , แสงอาทิตย์ กรดต่างๆ

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เจาะดง

การพิจารณาเลือกขนาดสายไฟฟ้า

ก. ขนาดกระแส สายไฟฟ้าต่อทนต่อแรงดันไฟฟ้าและอุณหภูมิ

ข. ภาวะโหลดเกินกะทันหัน โหลดปกติฉนวนของสายไฟฟ้าสามารถมีอายุการใช้งานได้ 20-30 ปี แต่ถ้าโหลดเกินปกติในช่วงเวลาหนึ่งๆ จะทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นส่งผลให้อายุการใช้งานของฉนวนลดลง ดังนั้นโหลดเกินกะทันหันไม่ควรเกิน 100 ชม.ต่อปี

ค. แรงดันตก ขนาดของสายไฟฟ้าต้องใหญ่พอที่จะรับแรงดันตกได้ ซึ่งจะได้กล่าวถึงในหัวข้อต่อไป

ง. กระแสลัดวงจร ภายใต้สภาวะการลัดวงจร อุณหภูมิของสายไฟจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ดังนั้น ฉนวนจะต้องสามารถทนกระแสลัดวงจรไม่เกิน 10 วินาที

6.1.5 สายไฟฟ้าแรงต่ำ

สายไฟฟ้าแรงดันต่ำเป็นสายไฟฟ้าที่ใช้ได้กับแรงดันไม่เกิน 1000V. มีลักษณะเป็นสายไฟฟ้าหุ้มด้วยฉนวน โดยที่ตัวนำสำหรับสายไฟฟ้าชนิดนี้อาจจะใช้ทองแดงหรืออะลูมิเนียม แต่ที่นิยมใช้สำหรับสายไฟฟ้าแรงดันต่ำ คือสายทองแดง สายไฟฟ้าขนาดใหญ่ มีลักษณะเป็นตัวนำตีเกลียว แต่ถ้าเป็นสายไฟฟ้าขนาดเล็ก ตัวนำก็จะเป็นตัวนำเดี่ยว วัสดุฉนวนที่ นิยมใช้กับสายไฟฟ้าแรงดันต่ำ ได้แก่ Polyvinyl Chloride (PVC) และ Cross-linked Polyethylene (XLPE)

1. สายไฟฟ้าอะลูมิเนียมหุ้มด้วยฉนวน PVC

สายไฟฟ้าชนิดนี้จะมีตัวนำเป็นอะลูมิเนียมแบบดีเกลียวไม่อัดแน่นหรือแบบดีเกลียวอัดแน่น และหุ้มด้วยฉนวน PVC โดยอาจจะเป็น PVC ธรรมดา หรือเป็นแบบ Heat Resisting PVC ก็ได้ สามารถใช้ได้กับแรงดันไม่เกิน 750V. สาย ไฟฟ้าชนิดนี้จะเป็นไปตามมาตรฐาน มอก. 293-2541

สายไฟฟ้าอะลูมิเนียมหุ้มด้วยฉนวน PVC สามารถใช้งานในระบบจำหน่ายแรงดันต่ำ เดินภายนอกอาคาร เป็นสายประธาน (Main) หรือสายป้อน (Feeder) โดยจะใช้เดินในอากาศเหนือพื้นดิน ทางการไฟฟ้านครหลวงและการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ใช้สายชนิดนี้เป็นสายประธานแรงต่ำ เดินมาจากหม้อแปลงจำหน่าย (Distribution Transformers) พาดบนลูกถ้วยตามเสาไฟฟ้าหรือใต้ชายคาบ้านหรือตึกแถว เพื่อจ่ายไฟฟ้าให้กับผู้ใช้ สายชนิดนี้มีราคาถูกและรับแรงดึง ได้พอควร

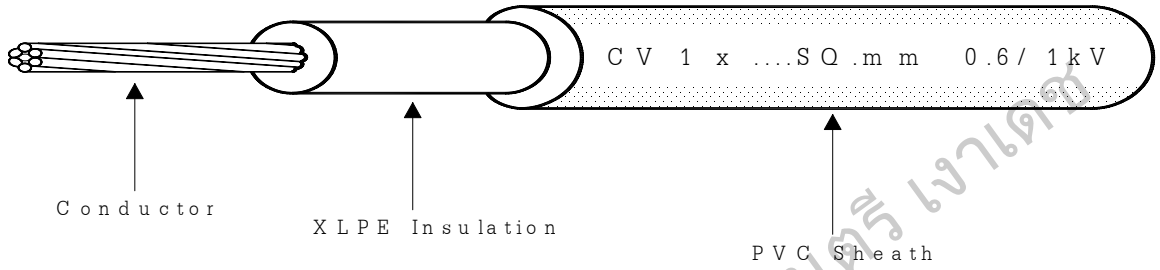
2. สายไฟฟ้าทองแดงหุ้มด้วยฉนวน PVC

เนื่องจากทองแดง มีคุณสมบัติข้อดีที่เหนือกว่าอะลูมิเนียมหลายประการด้วยกัน ไม่ว่าจะเป็นโลหะที่มี ความนำไฟฟ้าสูงกว่า การตัดต่อก็ทำได้ง่ายกว่า จึงนิยมใช้สายไฟฟ้าชนิดนี้กันมาก สายไฟฟ้าทองแดงหุ้มด้วยฉนวน PVC มีมากมายหลายชนิดแต่ละชนิดก็เหมาะกับงานแต่ละแบบ ทำให้สามารถใช้สายไฟฟ้าชนิดนี้กับงานได้กว้างขวาง ตั้งแต่เป็นสายเชื่อมต่อวงจรเล็กๆ จนกระทั่งเป็นสายประธานหรือสายป้อน ในที่นี้จึงจะขอกล่าวถึงสายไฟฟ้า ตาม มอก 11-2553 โดยจะกล่าวถึงสายไฟฟ้าที่ใช้งานในการเดินสายถาวรที่ใช้กันโดยทั่วๆ ไป

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เขาเดช

3. สายไฟฟ้าทองแดงหุ้มด้วยฉนวน XLPE

เนื่องจากคุณสมบัติของฉนวน XLPE ที่สามารถทนต่อความร้อนได้สูง มีความแข็งแรง ทนต่อแรงทางกลและการกัดกร่อนทางเคมีได้ดี ในปัจจุบันจึงมีการใช้สายไฟฟ้าที่หุ้มด้วยฉนวน XLPE มากขึ้น โดยสายชนิดนี้มีชื่อเรียกว่าสาย CV หรือ CVV ซึ่งไม่อยู่ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม แต่จะใช้ตามมาตรฐานอื่นเช่น IEC 60502 โดยทั่วไปสายชนิด สามารถใช้งานได้เหมือนกับสาย NYY จึงนิยมใช้เป็นสายป้อนหรือสายประธาน



รูปที่ 3.8 สาย CV

แรงดันใช้งาน	0.6 / 1kV.
อุณหภูมิใช้งาน	90°C
สถานที่ใช้งาน	สถานที่แห้ง และสถานที่เปียก
CV แกนเดี่ยว	มีขนาด 2.5 mm^2- 1000 mm^2 (630,800,1000)
CV หลายแกน	มีขนาด 2.5 mm^2- 400 mm^2

ลักษณะการติดตั้ง
- ใช้งานได้ทั่วไป
- ฝังดินโดยตรง หรือ ร้อยท่อฝังดิน
- วางบนรางเคเบิล
- การติดตั้งในอาคารต้องเดินในช่องเดินสายที่ปิดมิดชิด ยกเว้น ฉนวนและเปลือกของสายมีคุณสมบัติต้านเปลวเพลิง ตามมาตรฐาน IEC 60332-3 category C (CV-FD)
- ระวัง อุณหภูมิของอุปกรณ์ที่ต่ออยู่กับสายด้วย

4. สายไฟฟ้าทนไฟ (Fire Resistant Cable)

สายไฟฟ้าปกติทั่วไปเปลือกหรือฉนวนทำมาจากวัสดุ เช่น PVC หรือ XLPE เมื่อวัสดุเหล่านี้ถูกเพลิงไหม้ อาจทำให้เกิดอันตรายร้ายแรงได้ เนื่องจากวัสดุเหล่านี้สามารถติดไฟได้และจะลุกลามไปทั่วบริเวณ

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เงาเดช

รวมทั้งตามช่องทางเดิน นอกจากนี้จะทำให้เกิดควันหนาแน่นและอากาศพิษกระจายไปทั่ว ทำให้คนหมดสติและเสียชีวิตในที่สุด เพื่อแก้ปัญหานี้จะต้องเลือกสายไฟฟ้าทีมลักษณะสมบัติที่สำคัญดังต่อไปนี้

1. คุณสมบัติด้านเปลวเพลิง (Flame Propagation or Flame Retardancy)

คือ คุณสมบัติการหน่วงเหนี่ยวลุกลามของการลุกไหม้ของสายไฟฟ้า เมื่อเกิดไฟไหม้สายไฟฟ้าจะช่วยลด ปัญหาลามของไฟไปตามสายไฟฟ้า ดังนั้นบริเวณที่ถูกไฟไหม้จะไม่ขยายเป็นบริเวณกว้างและเมื่อเอาแหล่งไฟออกก็จะดับเอง (Self-extinguish) กำหนดให้ใช้ตามมาตรฐานของ IEC 60332-1 หรือ IEC 60332-3

2. คุณสมบัติการปล่อยก๊าซกรด (Acid and Corrosive Gas Emission)

คือ คุณสมบัติซึ่งแสดงการเกิดกรดหลังจากเกิดไฟไหม้ กรดที่เกิดขึ้นจะกัดโลหะของโครงสร้างและอุปกรณ์ อื่นๆ สายไฟฟ้าที่มีสาร Halogen น้อย หรือไม่มีเลยก็จะลดการเกิดกรดและก๊าซพิษ กำหนดให้ใช้ตามมาตรฐานของ IEC 60754-2

3. คุณสมบัติการปล่อยควัน (Smoke Emission)

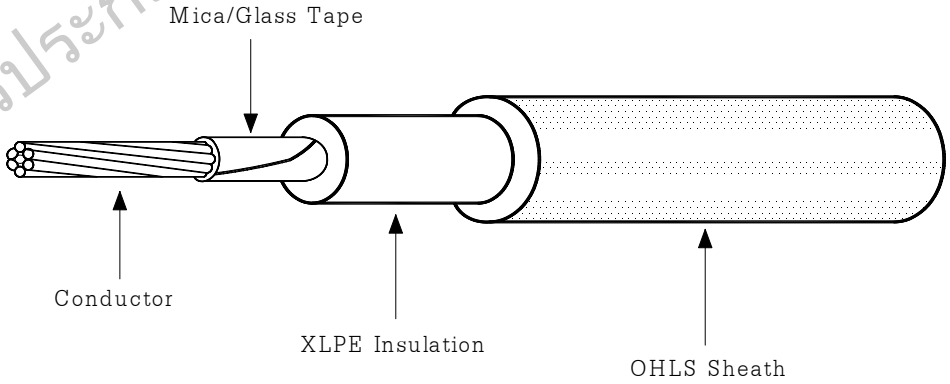
คือ คุณสมบัติซึ่งแสดงปริมาณควันที่เกิดจากการไหม้ของสายไฟฟ้า กำหนดให้ใช้ตามมาตรฐานของ

IEC 61034-2

4. คุณสมบัติต้านทานการติดไฟ (Fire Resistance)

คือ คุณสมบัติที่แสดงว่าภายใต้สถานการณ์ไฟไหม้ สายไฟฟ้ายังสามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าได้ในช่วงเวลาหนึ่ง กำหนดให้ใช้ตามมาตรฐานของ BS 6387 หรือ IEC 60331

ส่วนประกอบของสายทนไฟ (FRC) เป็นดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 สาย FRC

- ตัวนำ (Conductor) : ทองแดง
- เทปยันไฟ (Fire Barrier Tape) : Mica / Glass
- ฉนวน (Insulator) : XLPE
- เปลือกหุ้มชั้นนอก (Outer Sheath) : ทำด้วยสารจำพวก Zero Halogen, Low smoke

เอกสารประกอบการสอนวิชาการย์มนตรี เงาเดช

(OHLS)

สายไฟฟ้าทนไฟ (FRC) ควรใช้ยับระบบและวงจรไฟฟ้าที่มีความสำคัญต่อความปลอดภัย เช่น

1. ระบบสัญญาณเตือนอัคคีภัย (Fire Alarm System)
2. ระบบควบคุมอาคารอัตโนมัติ (Building Automation System)
3. ระบบไฟแสงสว่างฉุกเฉิน (Emergency Lighting System)
4. ระบบเสียงประกาศ (Public Address System)
5. ระบบไฟฟ้าสำรอง (Standby Power System)
6. ระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ (Computer Network System)
7. ระบบโทรทัศน์วงจรปิด (Closed Circuit TV System)
8. ระบบลิฟต์และบันไดเลื่อน (Lifts and Escalators System)
9. ระบบปั๊มน้ำดับเพลิงเพลิงและปั๊มอัดอากาศในช่องบันไดหนีไฟ (Fire Pumps and Pressurized Stairs)
10. ในอุตสาหกรรมต่างๆ ซึ่งต้องการให้ระบบสามารถปฏิบัติงานได้ในขณะที่เกิดไฟไหม้

6.1.6 สายไฟฟ้าตาม มอก. 11-2553

สายไฟฟ้าแรงดันต่ำหุ้มฉนวนพอลิไวนิลคลอไรด์ มีใช้อยู่มากมายและมีมาตรฐานบังคับมานานแล้ว ฉบับแรกคือ มอก. 11- 2518 ต่อมาได้ปรับปรุงเป็น มอก. 11- 2531 ฉบับล่าสุดคือ มอก.11-2553

6.1.6.1 มอก. 11-2553

สายไฟฟ้าหุ้มฉนวนพอลิไวนิลคลอไรด์มีมาตรฐานบังคับคือ มอก. 11-2553

มาตรฐานนี้มี 6 เล่มด้วยกัน

เล่ม 1	ข้อกำหนดทั่วไป
เล่ม 2	วิธีทดสอบ
เล่ม 3	สายไพ่ฟ้าไม่มีเปลือก สำหรับงานติดตั้งยึด
เล่ม 4	สายไพ่ฟ้ามีเปลือก สำหรับงานติดตั้งยึดกับ
เล่ม 5	สายอ่อน
เล่ม 101	สายไพ่ฟ้ามีเปลือก สำหรับงานทั่วไป

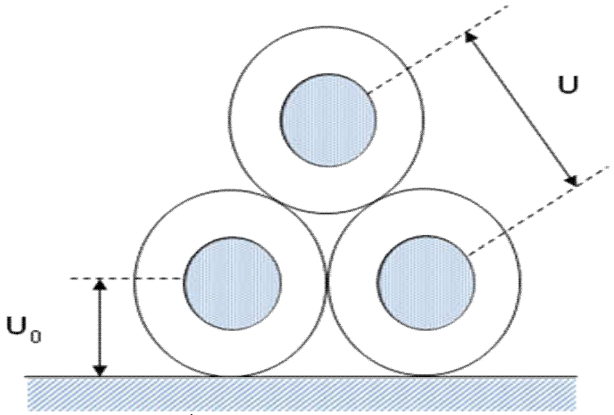
6.1.6.2 เล่มที่ 1 ขอกำหนดทั่วไป

แรงดันไฟฟ้า กำหนดให้ เป็น U_0 / U

U_0 = แรงดัน RMS ระหว่าง ตัวนำ กับ ดิน

U = แรงดัน RMS ระหว่าง ตัวนำ กับ ตัวนำ

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เจาะดช



รูปที่ 3.10 แรงดันไฟฟ้า U_0 / U

ตัวอย่างแรงดัน

แรงดัน 450/750 V.

450 x √3 = 779 V.

= 750 V.

แรงดัน 300/500 V.

300 x √3 = 520 V.

= 500 V.

6.1.6.3 สีฉนวน

สายแกนเดียว ไม่กำหนด

สาย 2 แกน สีฟ้าและสีน้ำตาล

สาย 3 แกน สีเขียวแถบเหลือง, สีฟ้า, สีน้ำตาล หรือ สีน้ำตาล, สีดำ , สีเทา

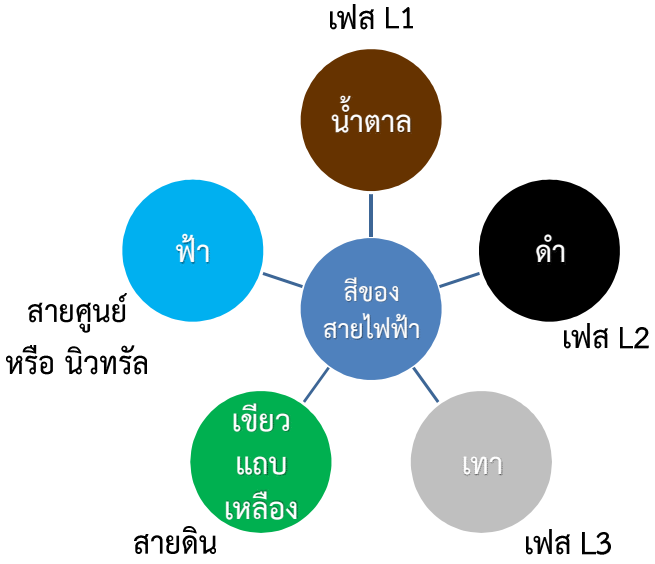
สาย 4 แกน สีเขียวแถบเหลือง, สีน้ำตาล, สีดำ, สีเทาหรือ สีฟ้า, สีน้ำตาล, สีดำ, สีเทา

สาย 5 แกน สีเขียวแถบเหลือง, สีฟ้า, สีน้ำตาล, สีดำ, สีเทา หรือ สีฟ้า,สีน้ำตาล, สีดำ, สีเทา สีดำ

ระบบไฟฟ้า 3 เฟส 4 สาย

สาย สีเขียวแถบเหลือง	สายดิน
สาย สีฟ้า	สาย Neutral
สาย สีน้ำตาล	สายเฟส 1 (L1)
สาย สีดำ	สายเฟส 2 (L2)
สาย สีเทา	สายเฟส 3 (L3)

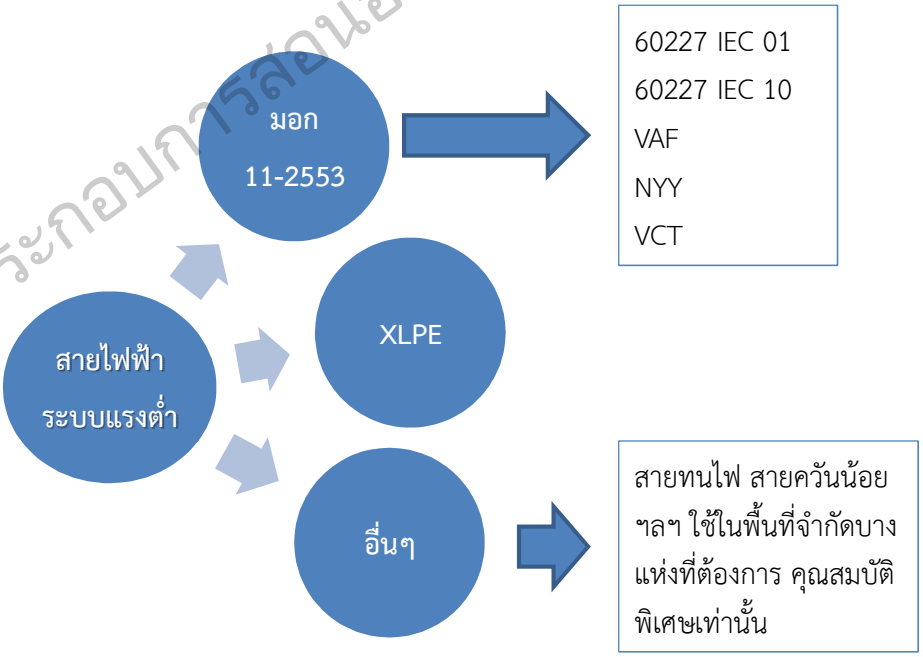
เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เงาเดช



รูปที่ 3.11 สีฉนวนสายไฟฟ้า

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เงาเดช

6.1.6.4 การกำหนดรหัส



รูปที่ การกำหนดรหัสสายไฟฟ้า

การกำหนดรหัส ชนิดของสายไฟฟ้าใช้หมายเลข 2 ตัว

หมายเลข แรก เป็นการระบุขั้นพื้นฐานของสายไฟฟ้า

หมายเลข สอง เป็นการระบุแบบเฉพาะชั้นและแบบของสายไฟฟ้า

ชั้นและแบบของสายไฟฟ้าเป็นดังนี้

0 สายไฟฟ้าไม่มีเปลือกนอก สำหรับงานติดตั้งยึดกับที่

01 สายไฟฟ้าแกนเดี่ยวไม่มีเปลือก ชนิดตัวนำสายแข็ง สำหรับงานทั่วไป (60227 IEC 01)

02 สายไฟฟ้าแกนเดี่ยวไม่มีเปลือก ชนิดตัวนำสายอ่อน (Flexible Conductor) สำหรับงานทั่วไป (60227 IEC 02)

05 สายไฟฟ้าแกนเดี่ยวไม่มีเปลือกนอก ชนิดตัวนำเส้นเดี่ยวสำหรับงานเดินสายไฟฟ้าภายในที่อุณหภูมิ ของตัวนำ 70 องศาเซลเซียส (60227 IEC 05)

06 สายไฟฟ้าเดี่ยวไม่มีเปลือก ชนิดตัวนำสายอ่อน สำหรับงานเดินสายไฟฟ้าภายใน ที่อุณหภูมิของตัวนำ 70 องศาเซลเซียส (60227 IEC 06)

07 สายไฟฟ้าแกนเดี่ยวไม่มีเปลือก ชนิดตัวนำเส้นเดี่ยว สำหรับงานเดินสายไฟฟ้าภายใน ที่อุณหภูมิ ของตัวนำ 90 องศาเซลเซียส (60227 IEC 07)

08 สายไฟฟ้าแกนเดี่ยวไม่มีเปลือก ชนิดตัวนำสายอ่อน สำหรับงานเดินสายไฟฟ้าภายใน ที่อุณหภูมิของ ตัวนำ 90 องศาเซลเซียส (60227 IEC 08)

1 สายไฟฟ้ามีเปลือกสำหรับงานติดตั้งยึดกับที่

10 สายไฟฟ้ามีเปลือกพอลิไวนิลคลอไรด์เบา (60227 IEC 10)

4 สายไฟฟ้าอ่อน (Flexible cable) ไม่มีเปลือกสำหรับการใช้งานเบา

41 สายอ่อนทินเซลแบน (60227 IEC 41)

43 สายอ่อนสำหรับไฟฟ้าประดับตกแต่งภายใน (60227 IEC 43)

5 สายไฟฟ้าอ่อน (Flexible cable) มีเปลือกสำหรับการใช้งานปกติ

52 สายอ่อนมีเปลือกพอลิไวนิลคลอไรด์เบา (60227 IEC 52)

53 สายอ่อนมีเปลือกพอลิไวนิลคลอไรด์ธรรมดา (60227 IEC 53)

7 สายไฟฟ้าอ่อน (Flexible cable) มีเปลือกสำหรับการใช้งานพิเศษ

71c สายลิฟต์กลมมีเปลือกพอลิไวนิลคลอไรด์ และสายสำหรับการเชื่อมต่อแบบอ่อนตัวได้ (60227 IEC71C)

71 f สายลิฟต์แบนมีเปลือกพอลิไวนิลคลอไรด์ และสายสำหรับการเชื่อมต่อแบบอ่อนตัวได้ (60227 IEC 71f)

เอกสารประกอบการสอนวิทยาลัยเทคนิคสมุทรปราการ

6.1.6.5 สายไฟฟ้าตาม มอก. 11-2553 **ที่นิยมใช้งานคือ**

1. สาย 60227 IEC 01

60227 IEC 01 คือ สายไฟฟ้าแกนเดียว ไม่มีเปลือก ชนิดตัวนำสายแข็งสำหรับงานทั่วไป

รหัส 60227 IEC 01

แรงดันไฟฟ้าที่กำหนด 450 / 750 V.

คล้ายสายไฟฟ้า ตารางที่ 4 มอก. 11 - 2531 หรือเรียกทั่วไปว่า สาย THW

มีขนาด 1.5 mm^2 ถึง 400 mm^2

การใช้งาน

- ใช้งานทั่วไป
- เดินในช่องเดินสาย และต้องป้องกันน้ำเข้าช่องเดินสาย
- ห้ามร้อยท่อฝังดินหรือฝังดินโดยตรง
- ห้ามเดินบน Cable Trays

รูปที่ 3.13 สาย 60227 IEC 01

2. สาย 60227 IEC 10

60227 IEC 10 คือ สายไฟฟ้าแกนเดียวหรือหลายแกน ไม่มีเปลือก ชนิดตัวนำสายแข็งสำหรับงานทั่วไป

รหัส 60227 IEC 10

แรงดันไฟฟ้าที่กำหนด 300 / 500 V.

มีขนาด 1.5 mm^2 ถึง 35 mm^2

การใช้งาน

- ใช้งานทั่วไป
- เดินในช่องเดินสาย และต้องป้องกันน้ำเข้าช่องเดินสาย
- วางบนรางเคเบิล
- ห้ามร้อยท่อฝังดินหรือฝังดินโดยตรง

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์ชนตรี เงาเดช

รูปที่ 3.14 สาย 60227 IEC 10

3. สาย VAF

สาย VAF คือ สายไฟฟ้าหุ้มด้วยฉนวนและเปลือก มี 2 แบบ คือ สายแบน 2 แกน และ 2 แกน มีสายดิน

รหัสชนิด กรณีไม่มีสายดิน VAF

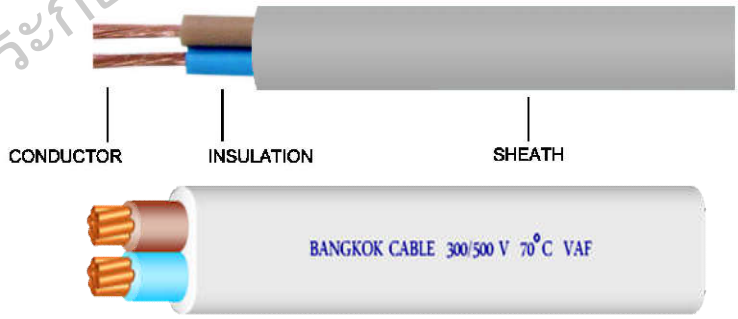
กรณีมีสายดิน VAF-G หรือ VAF/G

แรงดันไฟฟ้าที่กำหนด 300/500 V.

มีขนาด 1 mm^2 ถึง 16 mm^2

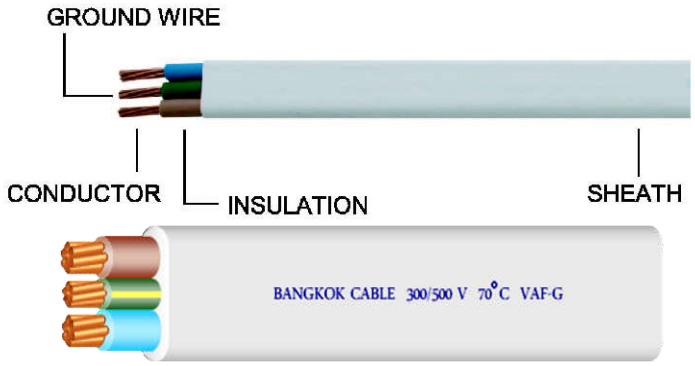
การใช้งาน

- ใช้เดินเกาะผนัง
- เดินในช่องเดินสาย
- ห้ามร้อยท่อ
- ห้ามฝังดิน



รูปที่3.15 สาย VAF

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เงาเดช



รูปที่3.16 สาย VAF-G

4. สาย NYY

สาย NYY คือ สายไฟฟ้าหุ้มฉนวน มีเปลือกในและเปลือกนอก

รหัสชนิด กรณีไม่มีสายดิน NYY

กรณีมีสายดิน NYY - G

แรงดันไฟฟ้าที่กำหนด 450 /750 V.

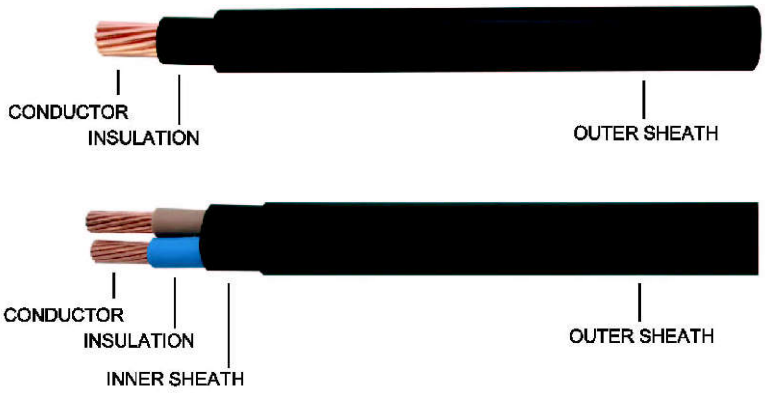
NYY แกนเดี่ยว มีขนาด 1 mm^2 - 500 mm^2

NYY หลายแกน มีขนาด 50 mm^2- 300 mm^2

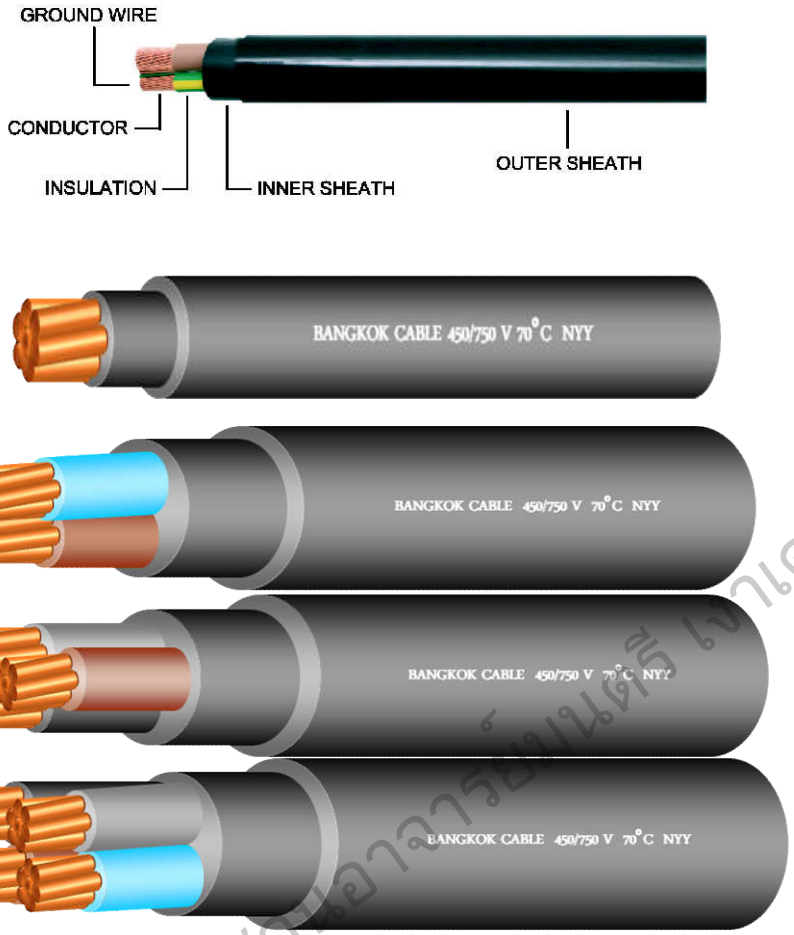
NYY หลายแกนมีสายดิน มีขนาด 25 mm^2- 300 mm^2

การใช้งาน

- ใช้งานทั่วไป
- ร้อยท่อฝังดินหรือฝังดินโดยตรง
- เดินบน Cable Trays



เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เงาเดช



รูปที่3.17 สาย NYY , NYY-G

5.**สาย VCT**

VCT คือ สายไฟฟ้าแกนเดียว หรือ หลายแกน ไม่มีเปลือก ชนิดตัวนำเป็นสายฝอย มีความอ่อนตัว

รหัส VCT

แรงดันไฟฟ้าที่กำหนด 450 / 750 V.

คล้ายสายไฟฟ้า NYY

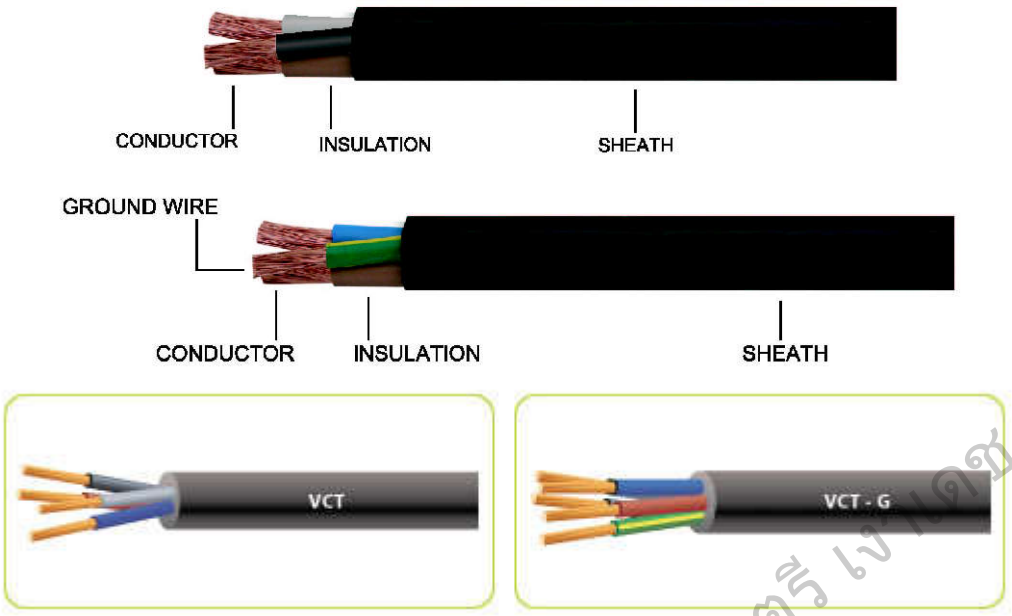
มีขนาด 4 mm^2 ถึง 35 mm^2

การใช้งาน

- ใช้งานทั่วไป
- ใช้ต่อเข้าเครื่องใช้ไฟฟ้า
- วางบนรางเคเบิล

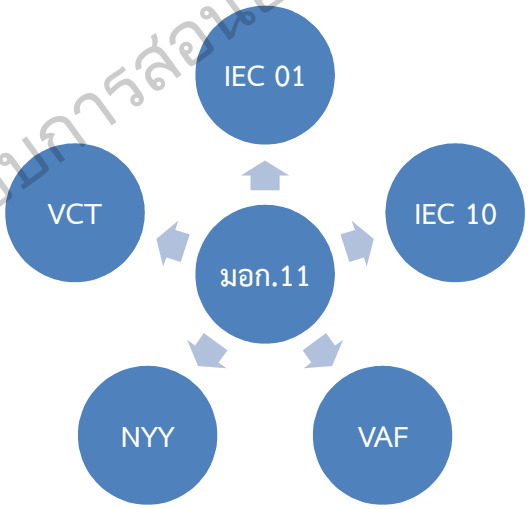
เอกสารประกอบการสอนอาจารย์นนตรี เจกเดช

- ร้อยท่อฝังดินหรือฝังดินโดยตรง



รูปที่3.18 สาย VCT , VCT-G

ที่มา : www.pks2529.com



รูปที่ 3.19 สายไฟฟ้าตาม มอก. 11-2553 ที่นิยมใช้งาน

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เจ๊ะเด๊ะ

ตารางที่ 3.1 สาย PVC มอก.11-2553 ที่มีใช้มาก ตามตาราง 5-48 ของมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้า ของ วสท.

รหัสชนิดเคเบิล / ชื่อเรียก	ขนาดสาย (ตร.มม.)	จำนวนแกน	แรงดัน U_o/U (V.)	การใช้งาน
60227 IEC 01	1.5 - 400	แกนเดียว	450/750	● ใช้งานทั่วไป ● เดินในช่องเดินสายและต้องป้องกันน้ำเข้าช่องเดินสาย ● ห้ามร้อยท่อฝังดินหรือฝังดินโดยตรง
60227 IEC 10	1.5 - 35	หลายแกน	300/500	● ใช้งานทั่วไป ● เดินในช่องเดินสายและต้องป้องกันน้ำเข้าช่องเดินสาย ● วางบนรางเคเบิล ● ห้ามร้อยท่อฝังดินหรือฝังดินโดยตรง
NYY	1 - 500	แกนเดียว	450/750	● ใช้งานทั่วไป ● วางบนรางเคเบิล ● ร้อยท่อฝังดินหรือฝังดินโดยตรง
	50 - 300	หลายแกน		
NYY - G	25 - 300	หลายแกน มีสายดิน	450/750	● ใช้งานทั่วไป ● วางบนรางเคเบิล ● ร้อยท่อฝังดินหรือฝังดินโดยตรง
VAF VAF-G	1 - 16	2 แกน 2 แกน/สายดิน	300/500	● เดินเกาะผนัง ● เดินในช่องเดินสาย ห้ามร้อยท่อ ● ห้ามฝังดิน
VCT VCT - G	4 - 35	แกนเดียว หลายแกน หลายแกนมีสายดิน	450/750	● ใช้งานทั่วไป ● ใช้ต่อเข้าเครื่องใช้ไฟฟ้า ● วางบนรางเคเบิล ● ร้อยท่อฝังดินหรือฝังดินโดยตรง

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์ผู้ชำนาญการ

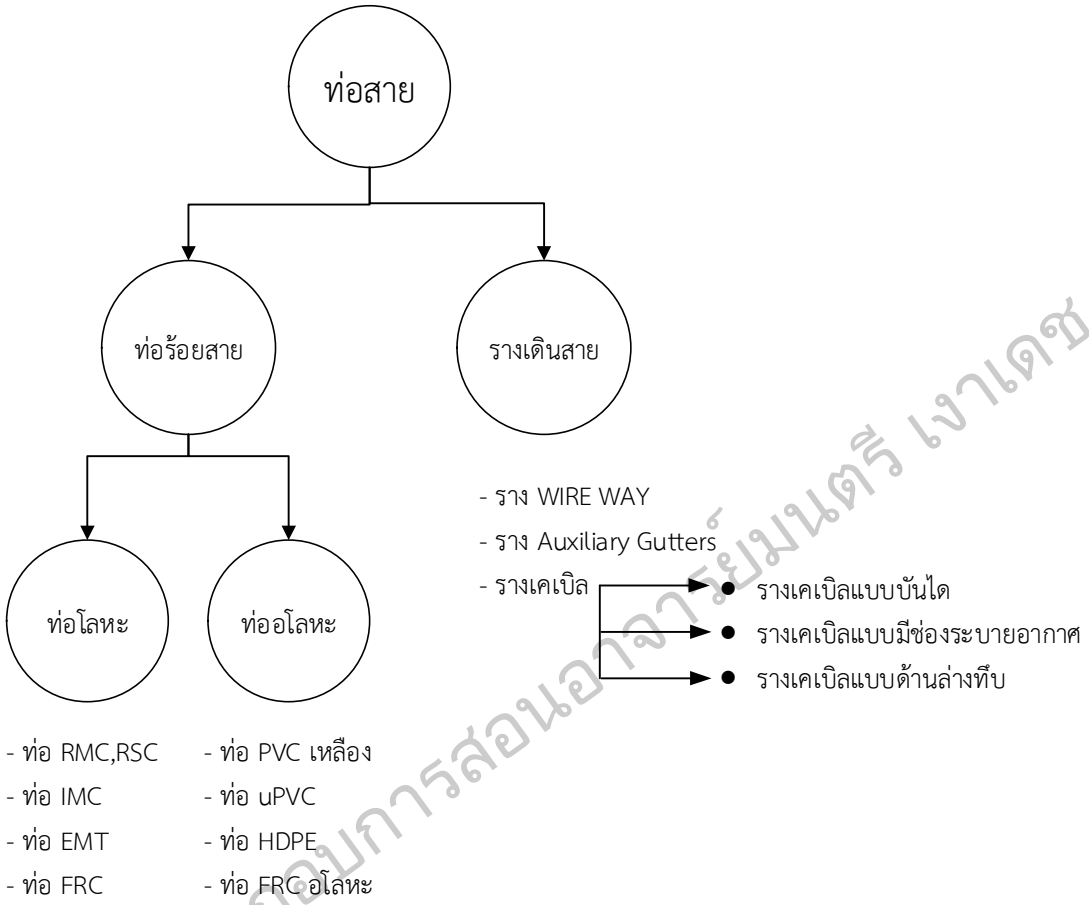
ตารางที่ 3.2 สาย XLPE (CV) IEC 60502

รหัสชนิดเคเบิล / ชื่อเรียก	ขนาดสาย (ตร.มม.)	จำนวนแกน	แรงดัน U_o/U (V.)	การใช้งาน
CV CV-FD	2.5 - 1000	แกนเดียว	600/1000	• ใช้งานทั่วไป • วางบนรางเคเบิล • ร้อยท่อฝังดินหรือฝังดินโดยตรง • การติดตั้งในอาคารต้องเดินในช่องเดินสายที่ปิดมิดชิด ยกเว้น ฉนวนและเปลือกของสายมีคุณสมบัติต้านเปลวเพลิง ตามมาตรฐาน IEC 60332-3 category C (CV-FD)
	2.5 - 400	หลายแกน		

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เขาเดช

6.1.4 ระบบการเดินสายไฟฟ้า

วิธีการเดินสายไฟฟ้าแบบต่างๆ สามารถกระจายความร้อนจากสายได้ เมื่อสายนำกำลังไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไปยังอุปกรณ์ไฟฟ้ารวมทั้งเป็นการป้องกันสายไฟฟ้าจากสภาวะภายนอก และเป็นทางเดินในการจัดวางสายไฟฟ้าให้ดูเรียบร้อย ที่ส่งไปยังอุปกรณ์ไฟฟ้า



ท่อร้อยสายไฟฟ้า

ท่อร้อยสายไฟฟ้าแบ่งเป็น 2 ประเภทคือ

ก. ท่อร้อยสายโลหะ แบ่งเป็น

- ท่อร้อยสายไฟฟ้าโลหะหนา (Rigid Steel Conduit),RSC
- ท่อร้อยสายไฟฟ้าโลหะหนาปานกลาง (Intermediate Metal Conduit) , IMC
- ท่อร้อยสายไฟฟ้าโลหะบาง (Electrical Metallic Tube) , EMT
- ท่อโลหะอ่อน (Flexible Metal Conduit)

ข. ท่อร้อยสายอโลหะ

- ท่อ PVC เหลือง
- ท่อ uPVC
- ท่อ HDPE

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เงาเดช

- ท่อ FRC อโลหะ

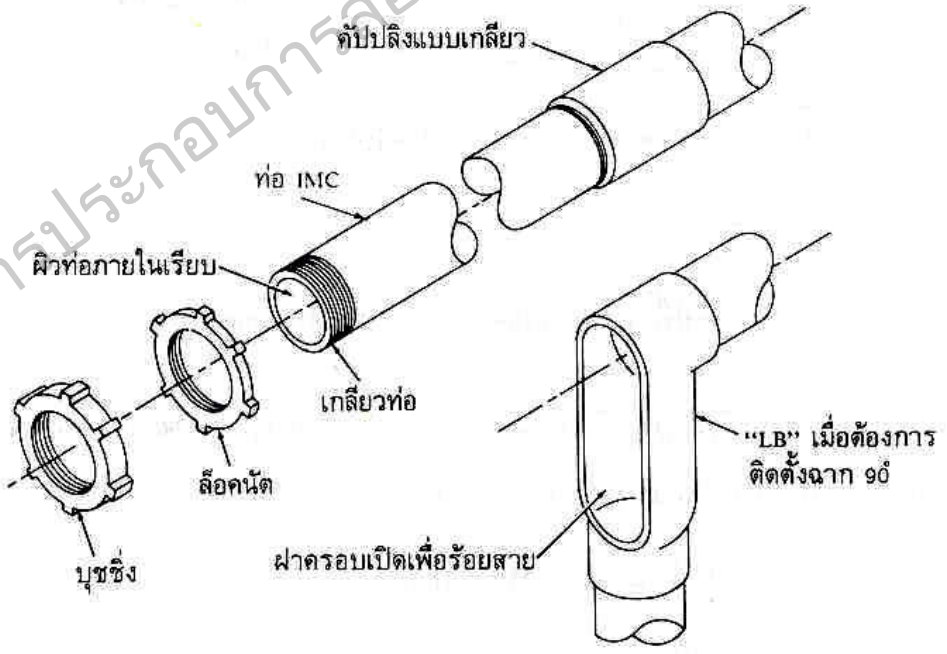
<u>ท่อร้อยสายไฟฟ้าโลหะชนิดหนา (RSC) และหนาปานกลาง (IMC)</u>

หมายถึง ท่อเหล็กที่ทำด้วยเหล็กกล้าเคลือบด้วยสังกะสี ซึ่งมีความแข็งแรงสูงมากและสามารถทนต่อการกัดกร่อนได้ดี สายจะเดินอยู่ภายในท่อนี้ เพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับสายไฟฟ้า และยังให้ดูเรียบร้อย

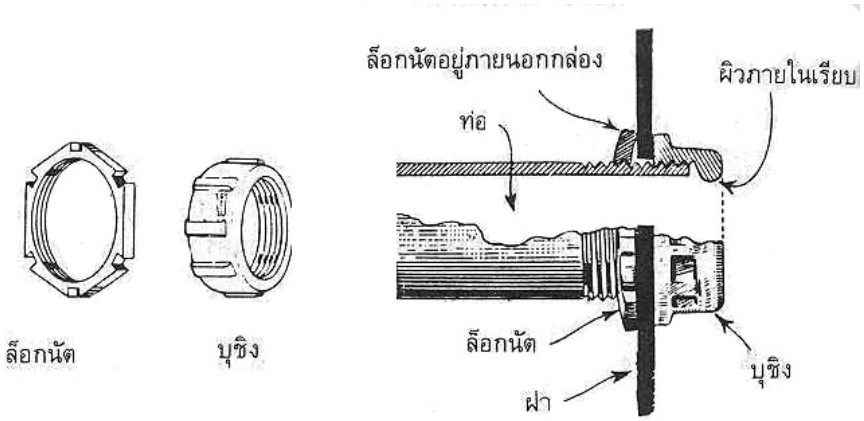
ท่อแบบนี้มีขนาด ½" , ¾" , 1" , 1 ¼" , 1 ½" , 2" , 2 ½" , 3" , 4", 5" , 6" (ท่อ IMC มีขนาดถึงแค่ 4") มีความยาว 3 เมตรต่อเส้น และที่ปลายท่อจะมีเกลียวเพื่อใช้ต่อกับอุปกรณ์ประกอบการติดตั้งหรือใช้ต่อท่อให้ยาวขึ้น

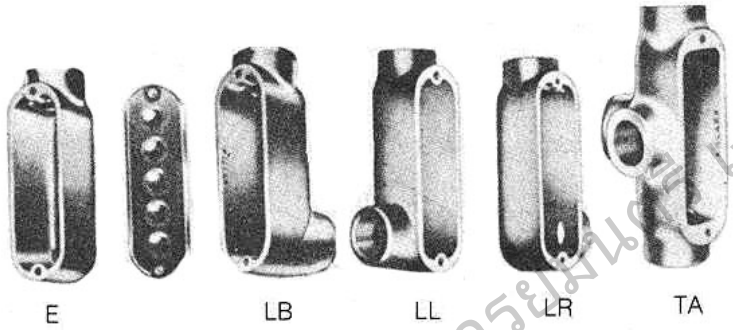
การติดตั้งของท่อชนิดนี้สามารถติดตั้งได้ทุกสภาวะบรรยากาศและทุกสถานที่ต้องหลีกเลี่ยงการสัมผัสโลหะต่างชนิดเพื่อขจัดการผุกร่อน

อุปกรณ์ประกอบ ในการงอท่อชนิดนี้ หากท่อมีขนาดเล็กกว่า 1" จะสามารถทำได้ด้วยเครื่องมือที่เรียกว่า Hickey หรือ Hand Conduit Bender ถ้าท่อมีขนาดเท่ากับหรือใหญ่กว่า 1" จะต้องใช้เครื่องมือดัดท่อแบบไฮดรอลิก (Hydraulic Bending Machine) หากมีการดัดท่องอ 45 องศา หรือ 90 องศา อาจใช้ท่อที่ดัดโค้งสำเร็จรูปที่เรียกว่า Elbows อุปกรณ์ประกอบอื่นๆ ที่ใช้ในการติดตั้งท่อชนิดนี้ได้แก่



เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เจาะจง





- บุชชิ่ง (Bushing) ใช้ติดตั้งท่อกับกล่องต่อสาย เพื่อกันไม่ให้ท่อหรือกล่องต่อสายบาดสายไฟฟ้าในขณะที่ร้อยสายไฟฟ้าเข้าไปในท่อ

- ล็อคนัท (Lock nut) จะใช้ติดตั้งท่อกับกล่องต่อสายเพื่อยึดท่อให้ติดแน่นกับกล่องต่อสายมักใช้ร่วมกับบุชชิ่ง

- คัปปลิ้ง (Coupling) จะใช้ในการต่อท่อเข้าด้วยกันเพื่อเพิ่มความยาวของท่อ ลักษณะของคัปปลิ้งของท่อ RSC,IMC จะมีเกลียวอยู่ด้านใน

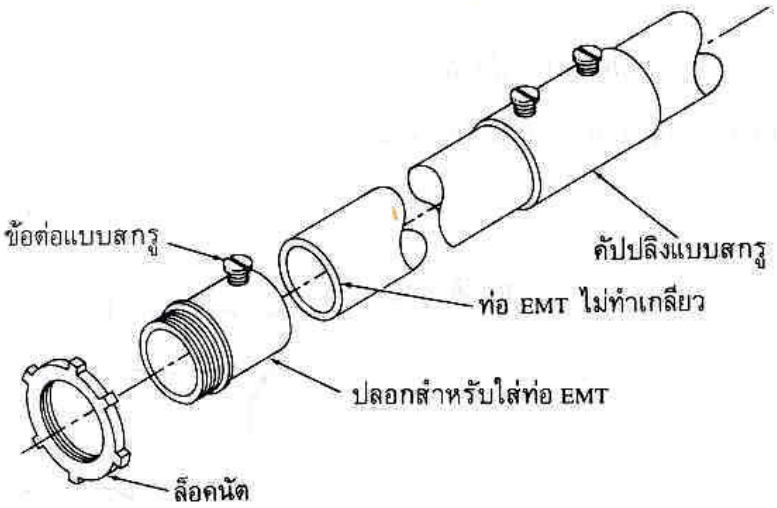
- กล่องต่อสาย , กล่องพักสาย (Condulet) มีให้เลือกใช้หลายๆ ลักษณะตามลักษณะการใช้งานดังรูป

<u>ท่อร้อยสายไฟฟ้าโลหะชนิดบาง (EMT)</u>

จะเป็นท่อซึ่งบางกว่าท่อร้อยสายโลหะแบบหนา จึงมีน้ำหนักเบากว่าและราคาถูกกว่า การใช้งานติดตั้งจะใช้ในบริเวณที่แห้ง เช่น บนเพดาน หรือเดินเกาะบนเพดาน ผนัง หรือใช้งานฝังในผนังคอนกรีต โดยท่อที่ฝังในคอนกรีตจะต้องไม่รับแรง

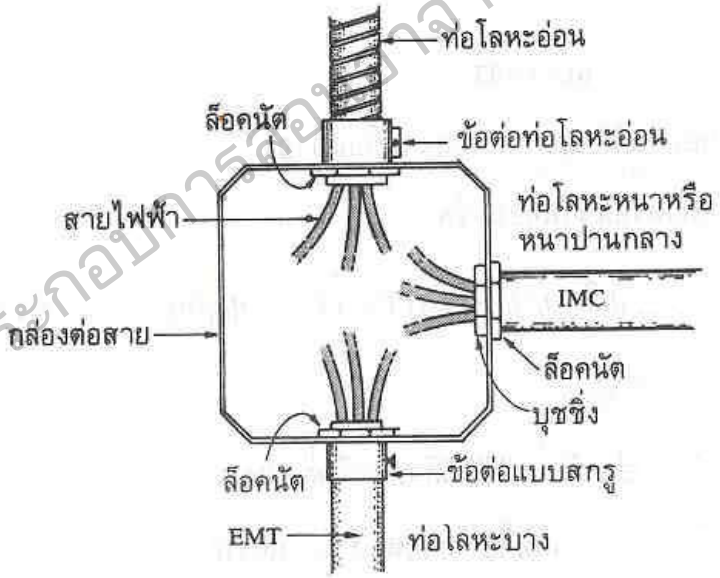
อุปกรณ์ประกอบ จะมีเช่นเดียวกับท่อ RSC,IMC ขนาดของท่อจะมีขนาดตั้งแต่ ½” , ¾” , 1” , 1 ¼” , 1 ½” , 2” และยาวท่อนละ 3 เมตร นอกจากนี้ยังมีอุปกรณ์เพิ่มเติมอีกคือ

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เงาเดช



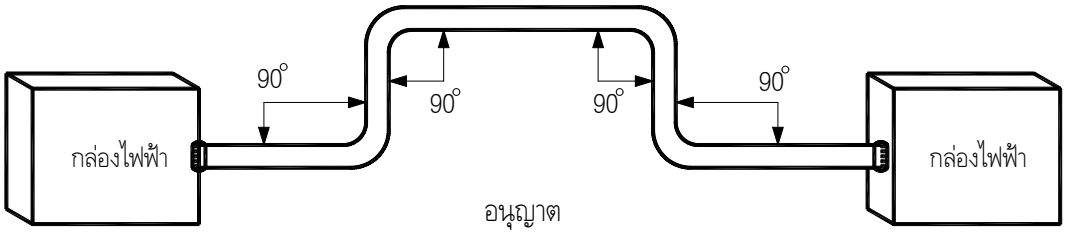
- คอนเนตเตอร์ (Connector) เนื่องจากท่อชนิดนี้ไม่มีเกลียวท่อเช่นเดียวกับท่อโลหะหนา เนื่องจากมีความบางมากกว่าจึงไม่สามารถทำเกลียวท่อได้ คอนเนตเตอร์จึงถูกนำมาใช้ในการนำท่อ EMT ไปต่อเข้ากับกล่องต่อสาย โดยใช้ร่วมกับ ล็อคนัท (Lock nut)

- คัปปลิ้งแบบสกรูยึด ซึ่งจะต่างกับคัปปลิ้งของท่อ RSC,IMC

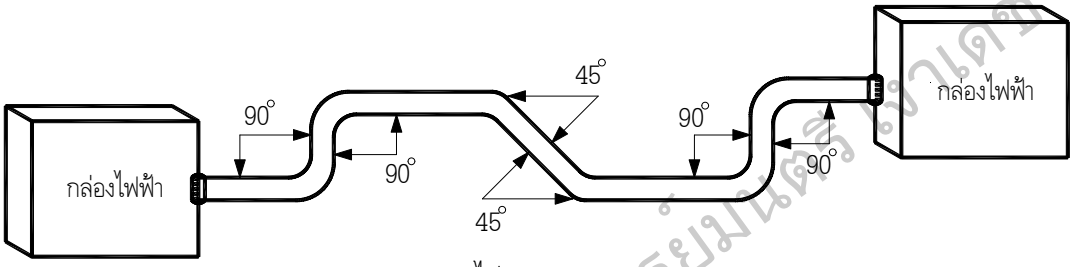


เอกสารประกอบการสอนอาจารย์นเตรี ไม่ทะเดช

มุมดัดโค้งของท่อระหว่างจุดดึงสาย รวมกันจะต้องไม่เกิน 360 องศา



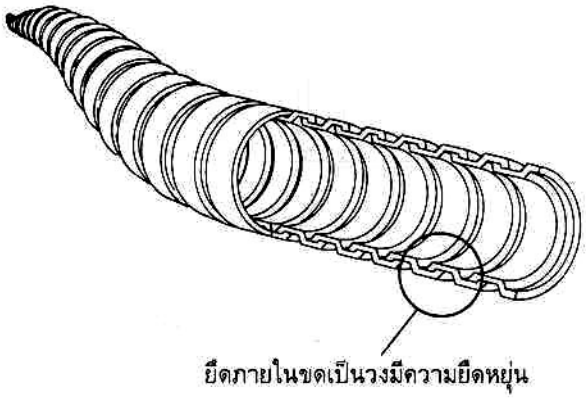
อนุญาต
รวมได้ 90+90+90+90 = 360°



ไม่อนุญาต
รวมได้ 90+90+45+45+90+90 = 450°

<u>ท่อร้อยสายไฟฟ้าโลหะชนิดอ่อน</u>

จะทำด้วยเหล็กกล้าชุบสังกะสีมีลักษณะที่มีความอ่อนตัวโค้งงอได้ มีทั้งแบบธรรมดาและแบบกันน้ำ (Rain tight) การติดตั้งใช้สำหรับเดินเข้ามอเตอร์ , เดินไปยังดวงโคมไฟฟ้าหรืออุปกรณ์ไฟฟ้าอื่นๆ มีขนาด ½” , ¾” , 1” 1 ¼” , 2” , 2 ½” , 3”, 4”



สถานที่ใช้งาน ท่อโลหะอ่อนเหมาะสำหรับใช้งานกับอุปกรณ์ที่มีการสั่นสะเทือนขณะใช้งาน เช่น มอเตอร์ เครื่องจักรต่าง ๆ หรือ ใช้กับงานที่ต้องการความโค้งงอด้วยมุมหักสูงๆ เช่น จุดต่อดวงโคม ท่อโลหะอ่อนไม่อนุญาตให้ใช้ในบางกรณี ดังนี้

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี งามเดช

- ห้ามใช้ในปล่องลิฟต์ หรือ ปล่องขนของ
- ห้ามใช้ในห้องแบตเตอรี่
- ห้ามใช้ในสถานที่อันตราย
- ห้ามใช้ในสถานที่เปียก ยกเว้นเมื่อมีการป้องกันไม่ให้น้ำเข้าไปในท่อ และใช้สายไฟฟ้าที่ เหมาะสม
- ห้ามฝังในดิน หรือ ฝังในคอนกรีต

<u>ท่อร้อยสายไฟฟ้าอโลหะชนิดหนา (Rigid nonmetallic Conduit)</u>

ท่อและอุปกรณ์ชนิดนี้จะทำมาจากวัสดุที่ไม่ใช้โลหะ ซึ่งทนทานต่อการกัดกร่อนและทนการกระแทกได้ การติดตั้งจะใช้ในการติดตั้งใต้ดิน หรือเดินสายลอยเหนือผิวดินก็ได้

โดยปกติท่อชนิดนี้จะมีอยู่ด้วยกันดังนี้ คือ

ก. ไฟเบอร์ (Fiber)

ข. ท่อซีเมนต์แอสเบสตอล (Asbestos Cement)

ค. ท่อพีวีซี ทำมาจากสารพลาสติก

ง. ท่อ HDPE (High Density Polyethylene) ใช้กับงานระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงสูงใต้ดิน

ท่อ PVC เหลือง

ขนาด 3/8” , ½” , ¾” , 1” , 1-1/4” , 1-1/2” , 2” , 2-1/2” , 3” , 4”

ความยาว 4 เมตร (ขนาด 3” และ 4” ยาว 6 เมตร)

รูปที่ 4.15 ท่อ PVC เหลือง

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เงาเดช

ท่อ PVC ขาว (uPVC)

ขนาด 3/8” , ½” , ¾” , 1” , 1-1/4” , 1-1/2” , 2”

ความยาว 2.90 เมตร

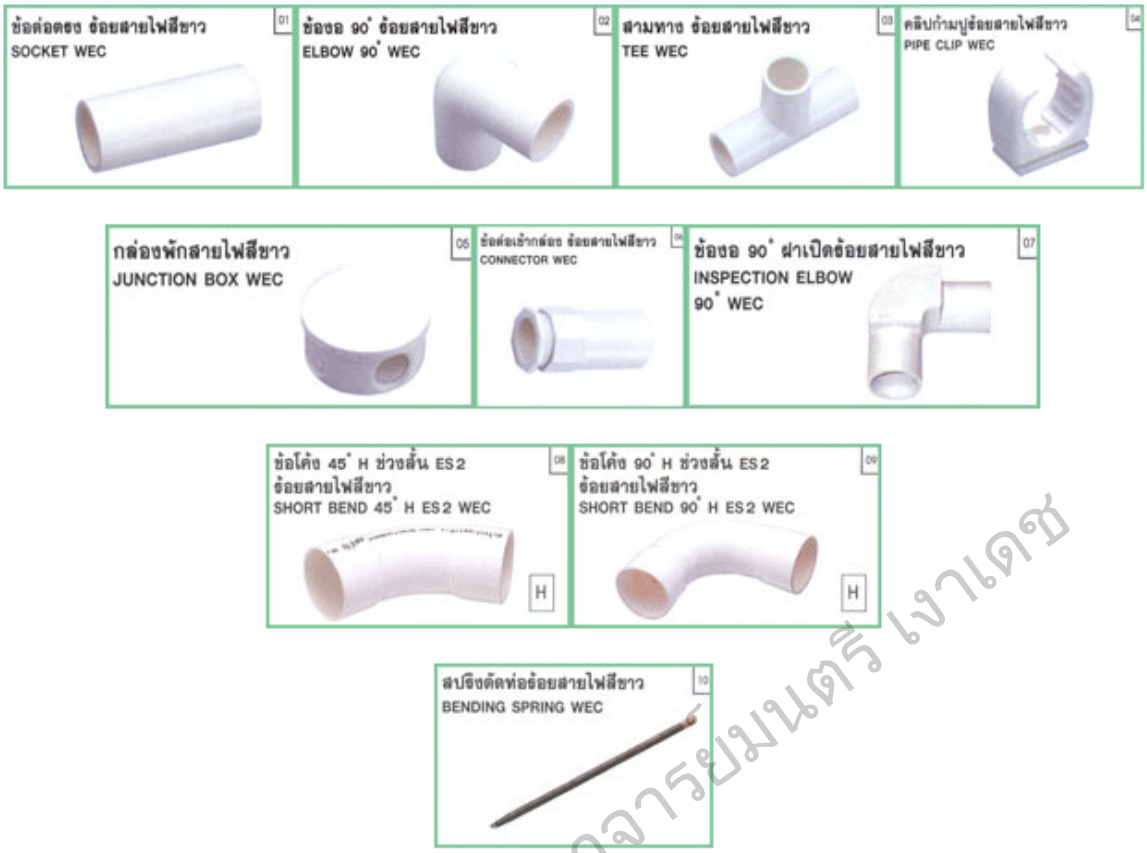
รูปที่ 4.16 ท่อ uPVC ขาว

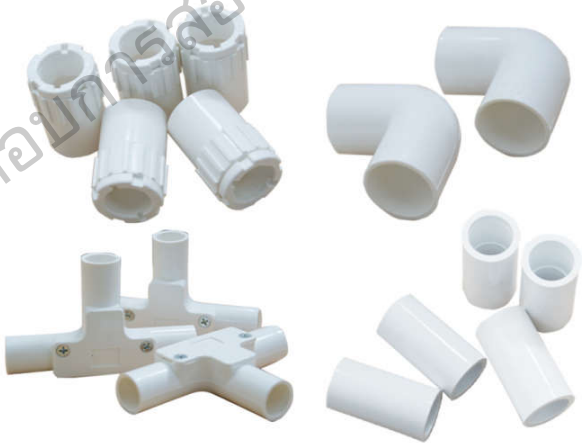
uPVC (Unplasticized Polyvinyl Chloride) ในต่างประเทศมีการใช้งานอย่างกว้างขวาง เนื่องจากมีคุณสมบัติที่ทนต่อการกัดกร่อนจากสารเคมีหลายประเภท อุณหภูมิสูงสุดในการใช้งานของท่ออยู่ที่ +60 องศาเซลเซียสท่อ

uPVC ได้ผ่านการทดสอบเทียบเท่ามาตรฐานเลขที่ มอก.216-2524 ฝ่ายวิจัยและพัฒนากองทดสอบอุปกรณ์ไฟฟ้า โดยการไฟฟ้านครหลวง และผ่านการทดสอบโดยกระทรวงวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี กรมวิทยาศาสตร์การบริการ

ผลิตภัณฑ์ท่อพีวีซีสำหรับใช้ร้อยสายไฟและสายโทรศัพท์ เทียบเท่าตามมาตรฐานเลขที่ มอก.216-2524 เป็นผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีพระราชกฤษฎีกากำหนดให้ต้องเป็นไปตามมาตรฐาน ดังนั้นการนำเข้าผลิตภัณฑ์ดังกล่าวจึงไม่ต้องขอใบอนุญาตนำเข้าตามพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม พ.ศ. 2511 และที่แก้ไขเพิ่มเติม

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เงาเดช





รูปที่ 4.17 อุปกรณ์ประกอบท่อ uPVC ขาว

www.webberthai.com

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เงาเดช

ท่อ HDPE (คาดแถบสีส้ม) PN6

ขนาด ½" , ¾" , 1" , 1-1/4" , 1-1/2" , 2", 2-1/2" , 3" , 4" , 4-1/2" , 5" , 6" , 7" , 8"

ความยาวท่อนละ 6 , 12 เมตร หรือ ยาวเป็นขด ขดละ 50 เมตร , 100 เมตร

รูปที่ 4.18 ท่อ HDPE

www.thk-marketing.com

ท่ออโลหะแข็งไม่อนุญาตให้ใช้ในบางกรณีดังนี้

- ใช้เป็นเครื่องแขวน และ จับยึดดวงโคม
- ในที่มีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิของท่อที่ระบุ

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เงาเดช

ตารางที่ 4.1 ท่อร้อยสาย ที่มีใช้มากของมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้า ของ วสท.

รหัสชนิดท่อร้อย / ชื่อเรียก	ขนาดท่อ (มม./ นิ้ว)	ความยาวต่อท่อน	การใช้งาน
PVC สีเหลือง	15 – 100mm. (1/2” – 4”)	4 เมตร	● ใช้เดินลอยในอากาศ ● ใช้เดินฝังในผนัง ซ่อนบนฝ้าเพดาน ● ห้ามฝังดิน
uPVC สีขาว	15 – 50mm. (1/2” – 2”)	2.9 เมตร	● ใช้เดินลอยในอากาศ ● ใช้เดินซ่อนบนฝ้าเพดาน ● ห้ามฝังดิน
EMT	15 – 50mm. (1/2” – 2”)	3 เมตร	● ใช้งานในอาคารเท่านั้น ● ใช้เดินลอยตามผนัง ● ใช้เดินซ่อนบนฝ้าเพดาน ● ใช้เดินฝังในผนัง ● ห้ามฝังดิน
IMC	15 – 100mm. (1/2” – 4”)	3 เมตร	● ใช้งานได้ทุกสถานที่และสภาพอากาศ ● ใช้งานในสถานที่เปียก ● ใช้ในสถานที่ทนต่อการผุกร่อน ● ใช้ฝังดิน
RSC	15 – 150mm. (1/2” – 6”)	3 เมตร	● ใช้งานได้ทุกสถานที่และสภาพอากาศ ● ใช้งานในสถานที่เปียก ● ใช้ในสถานที่ทนต่อการผุกร่อน ● ใช้ฝังดิน
FRC	15 – 80mm. (1/2” – 3”)	ขดละ 50 เมตร ขดละ 100 เมตร	● ใช้กับงานที่มีการสั่นสะเทือน ● ใช้เดินเข้าอุปกรณ์ไฟฟ้า ● ห้ามใช้ในสถานที่อันตราย ● ห้ามฝังดิน
HDPE	20 – 160mm. (1/2” – 6”)	ท่อนละ 6 เมตร ขด 50 , 100เมตร	● ใช้งานในสถานที่เปียก ● ใช้ฝังดิน ● ถ้าหุ้มคอนกรีต เรียก Duct Bank

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์เมธี งามเดช

ตารางที่ 4.2 ขนาดความยาวของท่อร้อยสายแต่ละชนิด

ขนาดท่อ (นิ้ว)	½”	¾”	1”	1-1/4”	1-1/2”	2”	2-1/2”	3”	3-1/2”	4”	5”	6”
PVC	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☒	☒
uPVC	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☒	☒	☒	☒	☒	☒
EMT	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☒	☒	☒	☒	☒	☒
IMC	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☒	☒
RSC	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
FRC	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☒	☑	☒	☒
HDPE	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑

4.2.6 จำนวนสายไฟฟ้าสูงสุดท่อร้อยสาย

การเดินสายไฟฟ้าในท่อร้อยสาย เป็นแบบการติดตั้งที่มีการใช้มากที่สุด จำนวนสายไฟฟ้าในท่อร้อยสายจะต้องมี จำนวนไม่มากเกินไป ด้วยเหตุผล 2 ประการ คือ

1. เมื่อมีกระแสไหลผ่านสายไฟฟ้าในท่อร้อยสาย จะทำให้เกิดความร้อนขึ้น จึงจำเป็นต้องมีที่ว่างสำหรับการระบายความร้อน

2. พื้นที่หน้าตัดรวมของสายไฟฟ้า ต้องเล็กกว่าพื้นที่หน้าตัดภายในของท่อร้อยสายพอสมควร เพื่อให้การดึงสาย ไฟฟ้าทำได้สะดวก และไม่ทำสายฉนวนของสายไฟฟ้า

เปอร์เซ็นต์สูงสุดของพื้นที่หน้าตัดรวมของสายไฟฟ้า ต่อพื้นที่หน้าตัดของท่อร้อยสาย (% FILL) ต้องได้ตามตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 พื้นที่หน้าตัดรวมของสายไฟฟ้าทุกเส้นเป็นร้อยละเทียบกับพื้นที่หน้าตัดของท่อ

จำนวนสายในท่อสาย	1		2	3	4	มากกว่า 4
สายไฟทุกชนิดยกเว้นสายชนิดปลอกตะกั่วห้ม	53		31	40	40	40
สายไฟชนิดมีปลอกตะกั่วหุ้ม	55		30	40	38	35

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์ยงยุทธ์ ไม่ใช่ตำรา

ตารางที่ 4.4 ขนาดพื้นที่หน้าตัดของท่อร้อยสาย

ขนาด mm.(นิ้ว)	พ.ท. หน้าตัด 100% (mm^2)	1 ตัวนำ 53% (mm^2)	2 ตัวนำ 31% (mm^2)	3 ตัวนำขึ้นไป 40% (mm^2)
15 (1/2)	177	94	55	71
20 (3/4)	314	166	97	126
25 (1)	491	260	152	196
32 (1 1/4)	804	426	249	322
40 (1 1/2)	1257	666	390	503
50 (2)	1964	1041	609	785
65 (2 1/2)	3318	1759	1029	1327
80 (3)	5027	2664	1558	2011
90 (3 1/2)	6362	3372	1972	2545
100 (4)	7854	4163	2435	3142
125 (5)	12272	6504	3804	4909
150 (6)	17672	9366	5478	7069

หมายเหตุ

พื้นที่หน้าตัดท่อร้อยสาย คิดจากสูตร

$$A=\frac{\pi}{4}.d^2$$

โดยที่ A = พื้นที่หน้าตัด (mm^2) / d = เส้นผ่านศูนย์กลาง (mm.)

<u>ตัวอย่างที่ 4.1</u> ท่อขนาด 80 mm. (3 นิ้ว) มีพื้นที่หน้าตัดเท่าใด และถ้าใช้บรรจุสาย 4 เส้น พื้นทีหน้าตัดรวมของสายต้องไม่เกินเท่าใด

<u>วิธีทำ</u> $A = \frac{\pi}{4}.d^2$

$= \frac{\pi}{4}.80^2 = 5{,}027\ mm^2$

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี งามเดช

สาย 4 เส้น ต้องใช้ไม่เกิน 40 %

∴ พื้นที่หน้าตัดรวมของสายต้องไม่เกิน

= 5,027 x 0.4

= 2,011 mm^2

<u>ตัวอย่าง 4.2</u> สาย IEC 01 ขนาด 35 mm^2 มีพื้นที่หน้าตัดเท่าใด

<u>วิธีทำ</u> สาย IEC 01 35 mm^2 มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 10.9 mm.

∴ พื้นที่หน้าตัด

$$A = \frac{\pi}{4}.d^2$$

$$= \frac{\pi}{4}.(10.9)^2$$

= 93.3 mm^2

<u>ตัวอย่าง 4.3</u> สาย NYY 1/C ขนาด 50 mm^2 มีพื้นที่หน้าตัดเท่าใด

<u>วิธีทำ</u> สาย NYY 1/C ขนาด 50 mm^2 มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 17 mm.

∴ พื้นที่หน้าตัด

$$A = \frac{\pi}{4}.d^2$$

$$= \frac{\pi}{4}.(17)^2$$

= 227 mm^2

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์นเตรี เงาเดช

ตารางที่ 4.5 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและพื้นที่หน้าตัดของสายไฟฟ้า

ขนาดสาย	สาย IEC 01		สาย NYY 1/C		สาย NYY 3/C		สาย NYY 4/C		สาย XLPE 1/C	
ขนาดสาย mm^2	เส้นผ่านศูนย์กลาง (mm.)	พื้นที่หน้าตัด (mm^2)	เส้นผ่านศูนย์กลาง (mm.)	พื้นที่หน้าตัด (mm^2)	เส้นผ่านศูนย์กลาง (mm.)	พื้นที่หน้าตัด (mm^2)	เส้นผ่านศูนย์กลาง (mm.)	พื้นที่หน้าตัด (mm^2)	เส้นผ่านศูนย์กลาง (mm.)	พื้นที่หน้าตัด (mm^2)
1	-	-	8.8	60.8			-	-	-	-
1.5	3.3	8.5	9.2	66.5			-	-	6.5	33.1
2.5	4.0	12.5	9.3	75.4			-	-	7.0	38.4
4	4.6	16.6	10.5	B6.6			-	-	7.5	44.1
6	5.2	21.2	11.0	95.0			-	-	3.0	50.2
10	67	35.2	12.0	113			-	-	8.5	56.7
16	7.8	47.7	13.0	133			-	-	9.5	70.8
25	9.7	73.8	14.5	165			-	-	11.5	104
35	10.9	93.9	16.0	201			-	-	12.5	123
50	12.8	129	17.0	227	36.0	1013	39.5	1225	14.0	154
70	14.6	167	19.0	284	40.5	1288	44.5	1555	15.5	189
95	17.1	230	21.5	363	46.0	1662	51.5	2083	17.5	241
120	18.8	278	23.0	416	50.5	2003	56.0	2463	19.5	299
150	20.9	343	26.0	531	56.0	2463	62.0	3019	21.5	363
185	23.3	426	28.0	616	61.5	2971	68.0	3632	23.3	434
240	26.6	556	31.5	779	69.0	3739	76.5	4596	26.5	552
300	29.6	688	35.0	962	76.0	4537	85.0	5675	29.0	661
400	33.2	866	38.5	1164	-	-	-	-	32.5	330
500	-	-	43.0	1452	-	-	-	-	36.5	1046

หมายเหตุ • ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใช้ค่าใน มอก. 11-2553

• ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสาย XLPE ใช้ค่าตามบริษัท Bangkok Cable

เอกสารประกอบการสอนวิทยาลัยเทคนิคสมุทรสงคราม

ตัวอย่างที่ 4.4 ต้องการร้อยสายตาราง IEC 01 จำนวน 5 เส้น ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

3 x 240 mm^2

1 x 120 mm^2

G - 25 mm^2

จะต้องใช้ท่อขนาดเท่าใด

วิธีทำ จากตารางที่ 4.5 ขนาดสาย IEC 01

สาย 240 mm^2 มีพื้นที่หน้าตัด = 3 x 556 = 1,668 mm^2

สาย 120 mm^2 มีพื้นที่หน้าตัด = 278 mm^2

สาย 25 mm^2 มีพื้นที่หน้าตัด = 73.8 mm^2

∴ พื้นที่หน้าตัดรวม = 2,019.8 mm^2

จากตารางที่ 4.4 ขนาดพื้นที่หน้าตัดของท่อร้อยสาย

ท่อขนาด 80 mm. (3”) 40% ของพื้นที่หน้าตัด = 2,011

ท่อขนาด 90 mm. (3 1/2”) 40% ของพื้นที่หน้าตัด = 2,545

∴ เลือกใช้ท่อขนาด 90 mm. (3 1/2")

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เงาถดช

ตารางจำนวนสายสูงสุดของสายไฟฟ้าในท่อร้อย มีชนิดสาย IEC 01 และ NYY และมีการเพิ่มสาย XLPE ดังตาราง ที่ 4.6, 4.7 และ 4.8

ตารางที่ 4.6 จำนวนสายสูงสุดของสายไฟขนาดเดียวกัน มอก. 11-2553
รหัสชนิด 60227 IEC 01 ที่ให้ใช้ในท่อโลหะตาม มอก. 770-2533

ขนาดสายไฟ (mm^2)	จำนวนสายสูงสุดของสายไฟฟ้า (IEC 01) ในท่อร้อยสาย											
1.5	8	14	22	37	-	-	-	-	-	-	-	-
2.5	5	10	15	25	39	-	-	-	-	-	-	-
4	4	7	11	19	30	-	-	-	-	-	-	-
6	3	5	9	15	23	37	-	-	-	-	-	-
10	2	3	5	9	14	22	37	-	-	-	-	-
16	1	2	4	6	10	16	27	42	-	-	-	-
25	-	1	2	4	6	10	17	27	34	-	-	-
35	-	1	2	3	5	8	14	21	27	33	-	-
50	-	-	1	2	3	6	10	15	19	24	38	-
70	-	-	1	1	3	4	7	12	15	18	29	42
95	-	-	-	1	1	3	5	8	11	13	21	30
120	-	-	-	1	1	2	4	7	9	11	17	25
150	-	-	-	-	1	1	3	5	7	9	14	20
185	-	-	-	-	1	1	2	4	5	7	11	16
240	-	-	-	-	1	1	1	3	4	5	8	12
300	-	-	-	-	-	1	1	2	3	4	7	10
400	-	-	-	-	-	1	1	1	2	3	5	8
เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อร้อยสาย mm	15 ½”	20 3/4”	25 1”	32 1 ¼”	40 1 ½”	50 2”	65 2 ½”	80 3”	90 3 ½”	100 4”	125 5”	150 6”

เอกสารประกอบการสอนวิศวกรรมไฟฟ้า เขาเดช

ตารางที่ 4.7 จำนวนสายสูงสุดของสายไฟขนาดเดียวกัน มอก. 11-2553

รหัสชนิด 60227 NYY 1/C ที่ให้ใช้ในท่อโลหะตาม มอก. 770-2533

ขนาดสายไฟ (mm^2)	จำนวนสายสูงสุดของสายไฟฟ้า (NYY) ในท่อร้อยสาย											
1	1	1	3	5	8	12	21	33	-	-	-	-
1.5	1	1	2	4	7	11	19	30	-	-	-	-
2.5	**1**	**1**	2	4	**7**	10	17	26	33	-	-	-
4	1	1	1	3	6	**9**	15	23	29	36	-	-
6	-	**t**	1	3	**5**	8	13	21	26	33	-	-
10	-	1	1	2	4	6	11	17	22	27	-	-
16	-	1	1	1	3	5	10	15	19	23	36	-
25	-	1	1	1	3	4	8	12	15	19	29	-
35	-	-	1	1	1	3	6	10	12	15	24	35
50	-	-	1	1	1	3	5	8	11	13	21	31
70	-	-	-	1	1	2	4	7	8	11	17	24
95	-	-	-	1	1	1	3	5	7	8	13	19
120	-	-	-	1	**1**	**1**	3	4	**6**	7	11	17
150	-	-	-	-	**1**	1	1	3	4	5	9	13
185	-	-	-	-	1	**1**	1	3	4	5	7	11
240	-	-	-	-	-	1	1	2	3	**4**	**6**	9
300	-	-	-	-	-	1	1	1	2	3	5	7
400	-	-	-	-	-	-	**1**	1	**1**	2	**4**	6
500	-	-	-	-	-	-	1	1	1	**1**	3	4
เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อร้อยสาย mm.	15 ½”	20 3/4”	25 1”	32 1 ¼”	40 1 ½”	50 2”	65 2 ½”	80 3”	90 3 ½”	100 4”	125 5”	150 6”

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์ยนต์ ไกเดย

ตารางที่ 4.8 จำนวนสายสูงสุดของสายไฟ XLPE ในท่อร้อยสาย

ขนาดสายไฟ (mm^2)	จำนวนสายสูงสุดของสายไฟฟ้า (XLPE) ในท่อร้อยสาย											
1.5	2	3	5	9	15	23	-	-	-	-	-	-
2.5	1	3	ร	8	13	20	34	-	-	-	-	-
4	1	2	4	7	11	17	30	-	-	-	-	-
6	1	2	3	6	10	15	26	40	-	-	-	-
10	1	2	3	5	8	13	23	35	-	-	-	-
16	1	1	2	4	7	11	18	28	35	-	-	-
25	-	1	1	3	4	7	12	19	24	30	-	-
35	-	1	1	2	4	6	10	16	20	25	39	-
50	-	-	1	2	3	5	8	13	16	20	31	-
70	-	-	1	1	2	4	7	10	13	16	25	37
95	-	-	-	1	2	3	5	8	10	13	20	29
120	-	-	-	1	1	2	4	6	8	10	16	23
150	-	-	-	-	1	2	3	5	7	8	13	19
185	-	-	-	-	1	1	3	4	5	7	11	16
240	-	-	-	-	-	1	2	3	4	5	8	12
300	-	-	-	-	-	1	2	3	3	4	7	10
400	-	-	-	-	-	-	1	2	3	3	5	8
500	-	-	-	-	-	-	1	1	2	3	4	6
เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อร้อยสาย mm. (นิ้ว)	15 ½”	20 3/4”	25 1”	32 1 ¼”	40 1 ½”	50 2”	65 2 ½”	80 3”	90 3 ½”	100 4”	125 5”	150 6”

เอกสารประกอบการสอนโดย อาจารย์ยนต์ ไกโดย

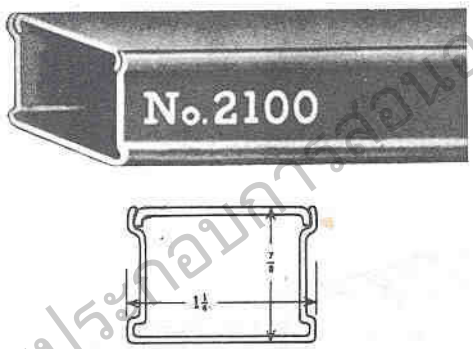
ทางเดินสายไฟฟ้า

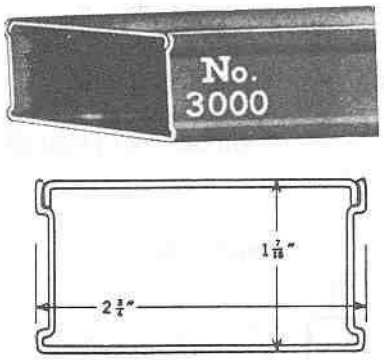
- ช่องเดินสายไฟฟ้าบนพื้นผิว (Surface Raceway)
- ทางเดินสายแบบเป็นเซลล์คอนกรีต
- ทางเดินสายแบบเป็นเซลล์โลหะ
- ทางเดินสายใต้พื้น

- ทางเดินบัส (Busway)
- ไวร์เวย์ (Wireway)
- รางเดินสาย (Cable Tray) แบ่งเป็น รางเดินสายแบบรางต่อ (Trough Type) , รางเดินสายแบบรางบันได (Ladder Type) (Cable Ladder) และรางแบบรางพับ (Channel Type)

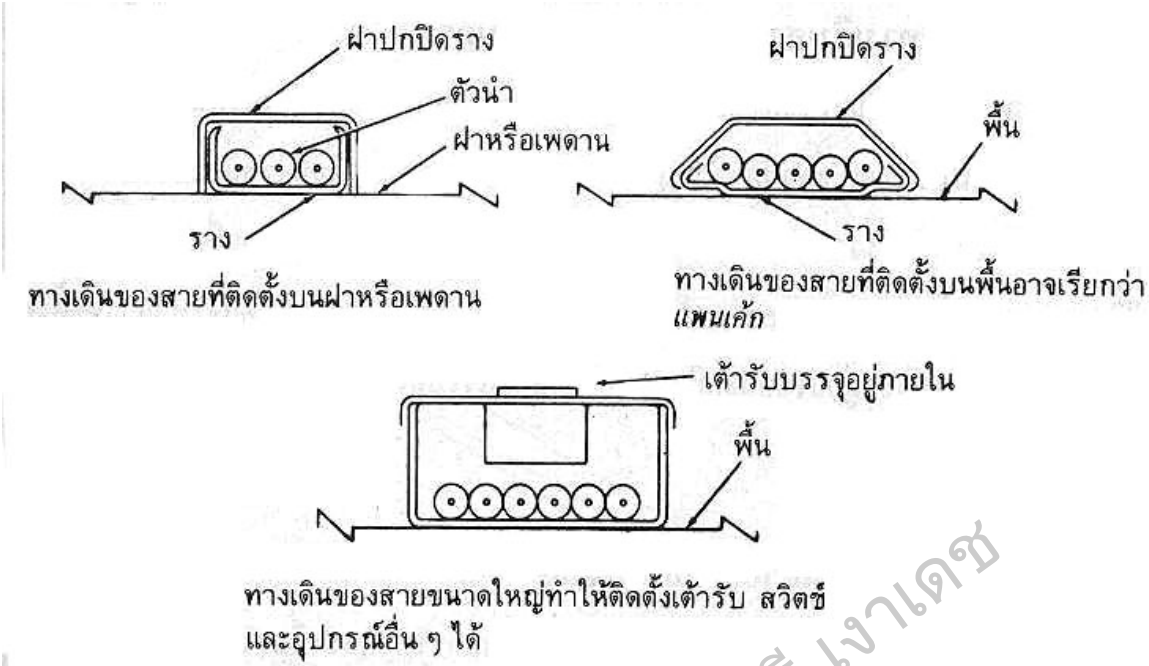
ช่องเดินสายไฟฟ้าบนพื้นผิว (Surface Raceway)

สำหรับใช้งานเดินสายไฟฟ้าบนพื้นผิว อาจทำมาจากโลหะหรืออโลหะก็ได้ ใช้งานในที่แห้ง มีหลายขนาดและชนิดให้เลือกใช้ตามความเหมาะสมและจำนวนของสายไฟฟ้า ไม่ควรติดตั้งในบริเวณที่อาจถูกกระแทก ไม่ควรติดตั้งกับสายที่มีพิกัดแรงดันสูงเกินกว่า 300V. และไอที่ทำให้เกิดการผุกร่อน



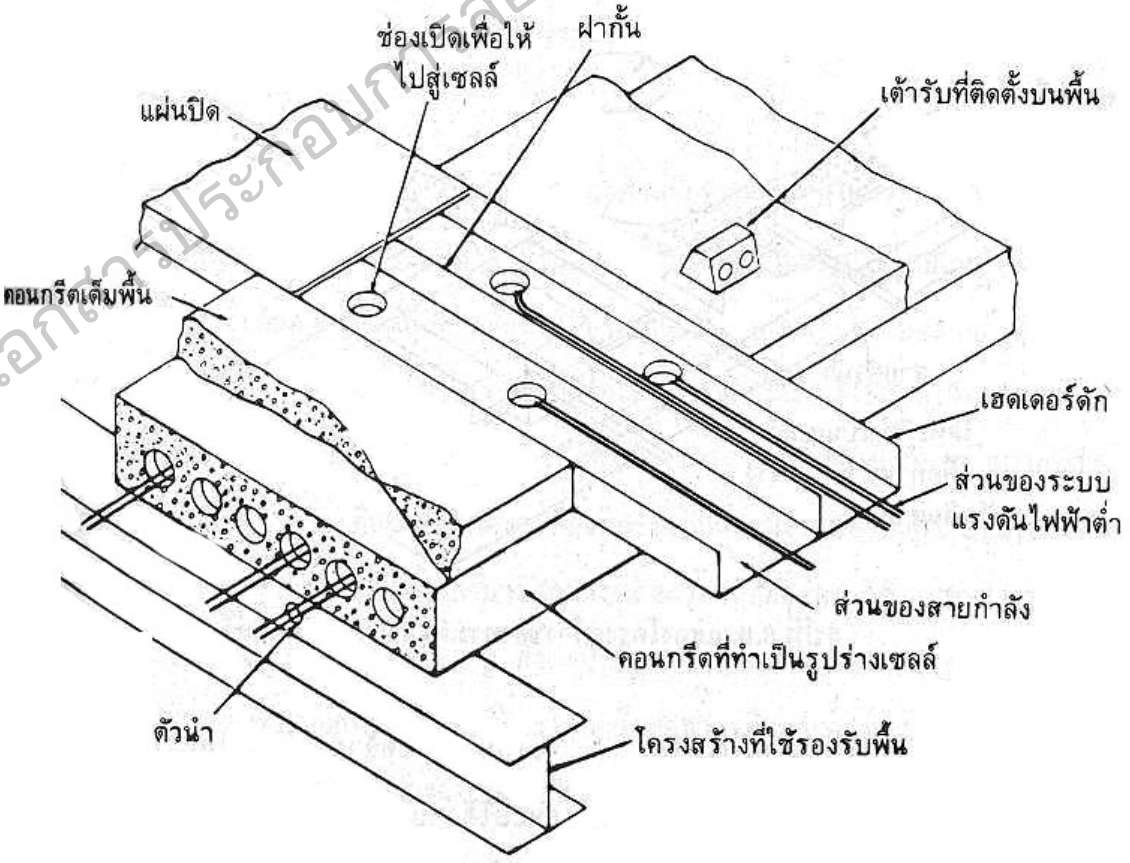


เอกสารประกอบการสอนอาจารย์ยุพเยาว์ เงาเดช



ทางเดินสายแบบเป็นเซลล์คอนกรีต

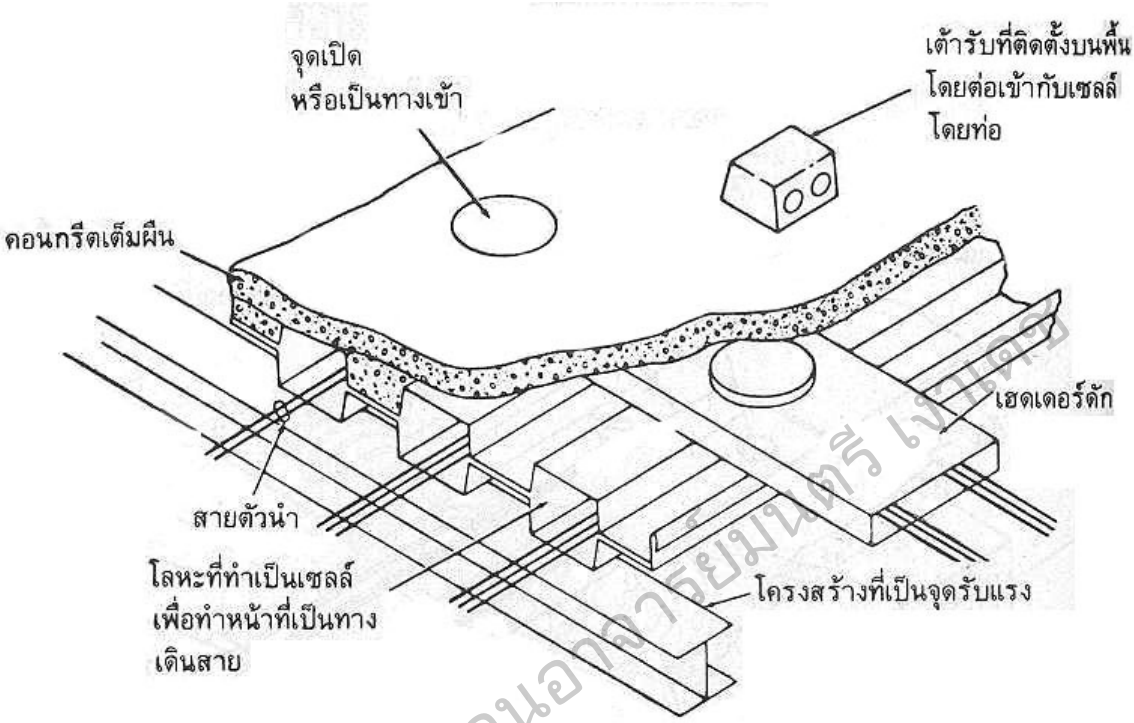
จะเป็นพื้นคอนกรีตสำเร็จรูปที่เปิดช่องว่างไว้เป็นที่เรียบร้อยแล้ว ทั้งนี้เพื่อต้องการให้ช่องว่างนี้เป็นทางเดินของสายไฟฟ้า โดยจะมีเฮดเดอร์ดักติดตั้งทำมุม 90 องศากับเซลล์ เพื่อเชื่อมต่อไปยังอุปกรณ์ไฟฟ้า



เอกสารประกอบการสอนอาจารย์เมนตรี เงาเดช

ทางเดินสายแบบเป็นเซลล์โลหะ

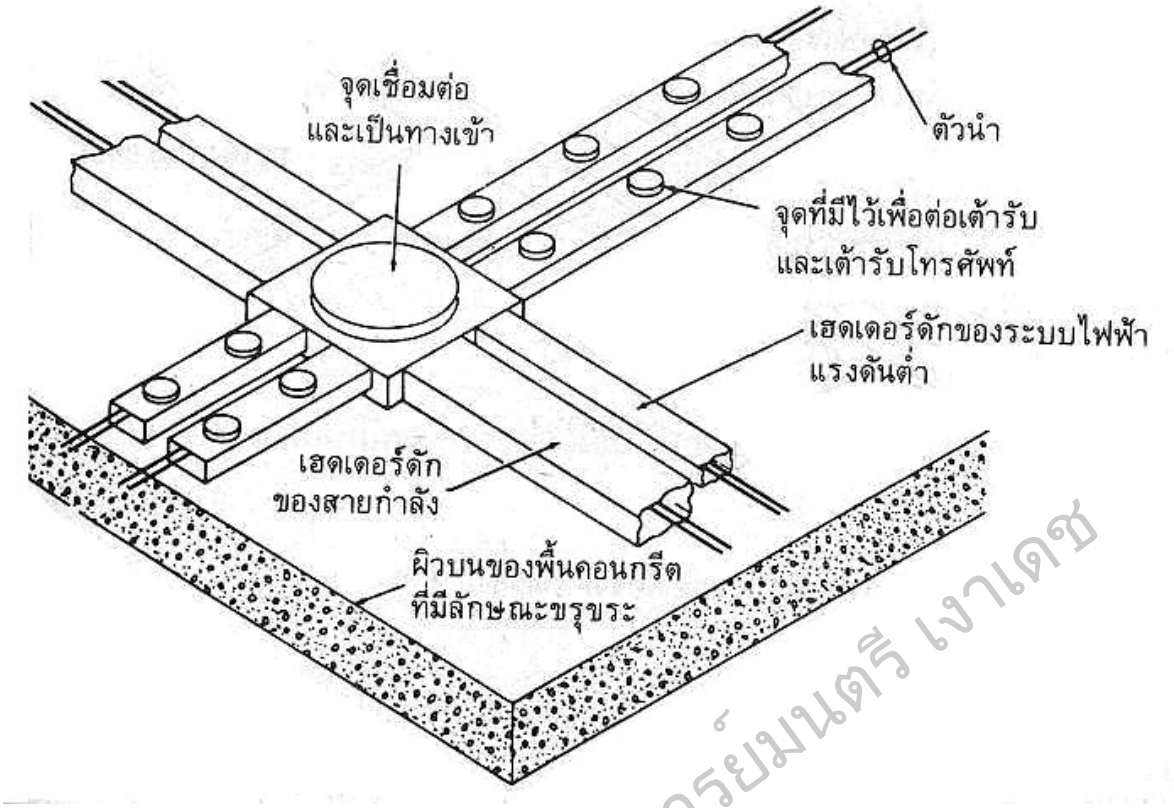
จะคล้ายกับแบบเซลล์คอนกรีต เพียงแต่ช่องว่างจะอยู่ในพื้นโลหะแทน ทำให้สามารถเชื่อมตกแต่งโลหะได้ง่าย



ทางเดินสายใต้พื้น

จะมีลักษณะคล้ายท่อโลหะเพียงแต่จะสามารถเปลี่ยนรูปร่างขนาดของท่อโลหะนี้ได้ง่าย โดยกระทำบนพื้นคอนกรีตที่เทเรียบร้อยแล้วนั่นเอง

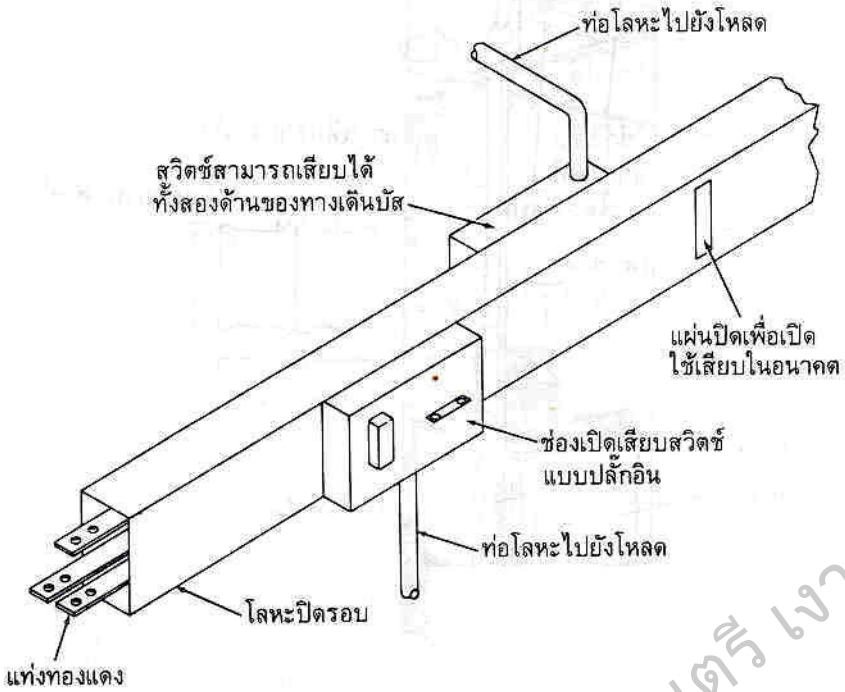
เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เจนเดช

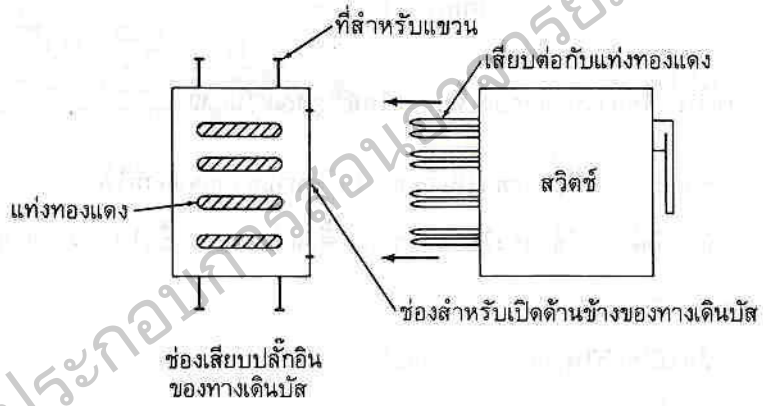


ทางเดินบัส (Busway)

คือ อุปกรณ์สำเร็จรูปโดยทำเป็นส่วนๆ ที่สามารถจะทำมาประกอบร่วมกันได้ โดยทางเดินบัสบาร์ ฉนวน และภาชนะที่เป็นโลหะ เพื่อจะนำมาห่อหุ้มบัสบาร์ดังกล่าว นอกจากนี้ทางเดินบัสบาร์ยังสามารถติดตั้งได้ทุกสถานที่ซึ่งจะขึ้นอยู่กับพิกัดกระแส โดยปกติแล้วความยาวมาตรฐานของทางเดินบัสบาร์จะมีค่าประมาณ 10 ฟุต และอุปกรณ์ในการต่อทางเดินบัสบาร์จะสามารถประกอบได้ง่าย ซึ่งจะเรียกว่าปลั๊กอินบัสบาร์ (Plug in Busbar) แต่ในด้านของราคาแล้วยังมีราคาที่สูงมาก มักใช้ในอาคารที่มีขนาดใหญ่หรืออาคารที่มีความสูงมากๆ และยังไม่เป็นที่นิยมใช้มากนักในบ้านเรา

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เงาเดช

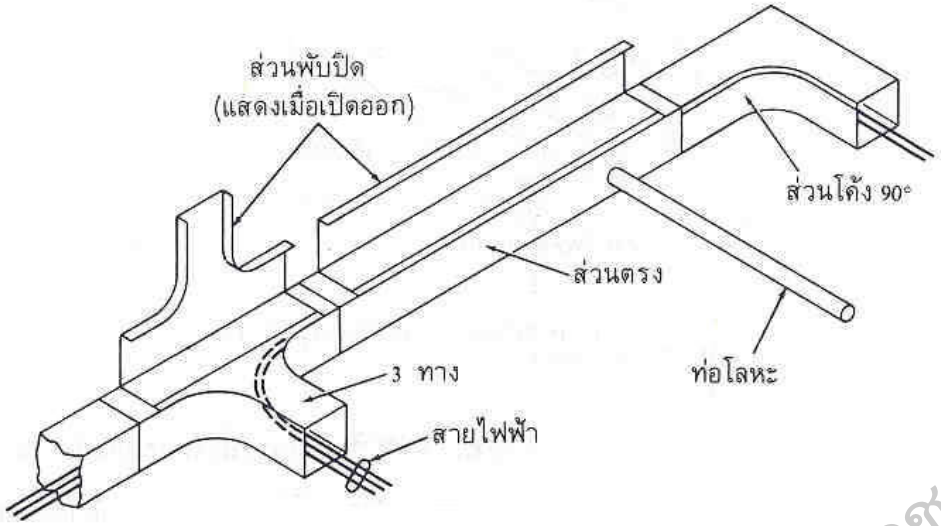




เอกสารประกอบการสอน อ.สุรัยมนตรี เงาเดช

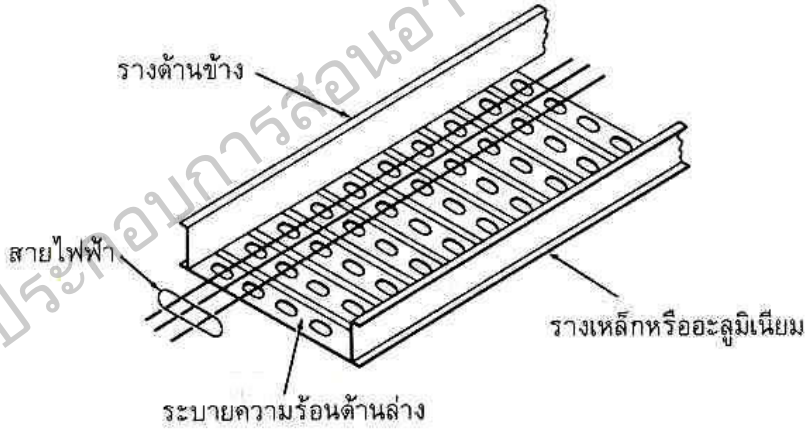
ไวร์เวย์ (Wireway)

ไวร์เวย์สามารถเดินในที่แห้งและที่เปียก แต่ในที่เปียกจำเป็นต้องมีปะเก็นที่ได้รับการยอมรับ ขนาดมาตรฐานของไวร์เวย์ มีหลายขนาด เช่น 2”x3” , 2”x4” , 4”x4” , 6”x6” 8”x8” สำหรับความยาวมาตรฐาน 12” , 24” และ 60”



รางเดินสายแบบรางต่อ (Trough Type)

จะเป็นลักษณะที่โครงสร้างด้านล่างจะเจาะรูหรือไม่เจาะรูเพื่อประโยชน์ในการระบายอากาศก็ได้ ปกติจะมีขนาดมาตรฐานดังนี้ 6”, 9” , 12”, 18” และ 24” ส่วนมากจะใช้กับสายไฟฟ้าขนาดเล็กและสามารถใส่ได้เต็มปริมาตรของราง

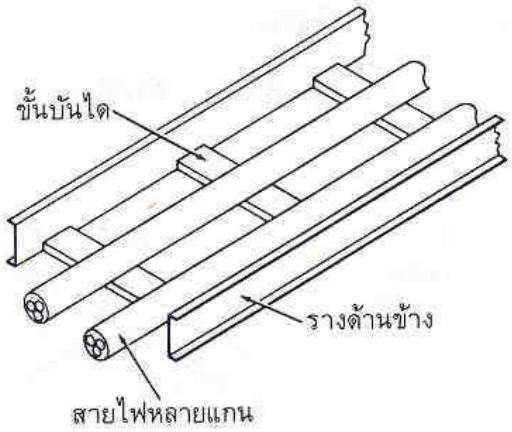


เอกสารประกอบการสอนอาจารย์นันทวี เงาเดช

รางเดินสายแบบรางบันได (Ladder Type) (Cable Ladder)

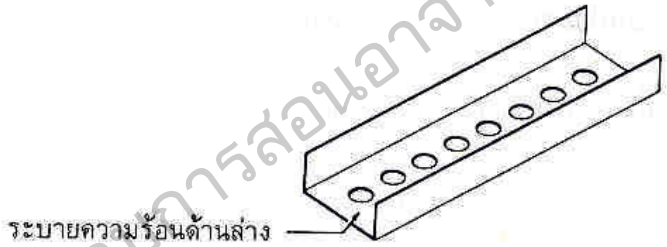
ประกอบด้วยโครงสร้างตมแนวยาว 2 ชุด มายึดติดกันด้วยอุปกรณ์ที่เหมือนขั้นบันได ซึ่งเรียกว่า ขั้นบันได (rung) จะใช้กับสายตัวนำที่เป็นสายชนิดใหญ่หรือสายเคเบิลกำลัง โดยปกติขนาดความ

ห่างของขั้นบันไดจะเปลี่ยนแปลงตามแนวความเหมาะสม ส่วนความกว้างมาตรฐานของรางแบบนี้ได้แก่ 6” , 9” , 12” , 18” , 24” และ 30” จะทำด้วยเหล็กและอลูมิเนียม



รางแบบรางพับ (Channel Type)

เป็นโลหะชิ้นเดียวกันแล้วพับทั้งสองข้าง มีขนาดความกว้างมาตรฐาน 3” และ 4” เหมาะสำหรับเดินสายไฟฟ้าขนาดเล็กและสายไฟในระบบควบคุม



เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เงาเดช

6.1.5 อุปกรณ์ตัดตอน,อุปกรณ์ป้องกันไฟฟ้า

อุปกรณ์ตัดตอนหรืออุปกรณ์ป้องกันไฟฟ้า หมายถึง อุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีหน้าที่ตัดตอนวงจรไฟฟ้าโดยอัตโนมัติ หรือกึ่งอัตโนมัติหรือควบคุมด้วยมือ เมื่อวงจรไฟฟ้านั้นเกิดความผิดพร่องทางไฟฟ้าขึ้น เช่น เกิดการลัดวงจรไฟฟ้า หรือเกิดการรั่วของกระแสไฟฟ้าเป็นต้น นอกจากนั้นอุปกรณ์ป้องกันไฟฟ้ายังสามารถตัดตอนวงจรไฟฟ้าที่มีการใช้กระแสไฟฟ้าเกินพิกัด

อุปกรณ์ป้องกันไฟฟ้าที่ใช้ในการตัดตอนวงจรเมื่อกระแสไฟฟ้าเกิน หรือเกิดการลัดวงจรไฟฟ้าเพื่อป้องกันตัวอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า และสายส่งไฟฟ้า เช่น ป้องกันมอเตอร์ไฟฟ้า ป้องกันสายเคเบิลไม่ให้เกิดความเสียหายจากกระแสไฟฟ้าในระบบแรงดันไฟฟ้าต่ำ ได้แก่ฟิวส์ และสวิตซ์ตัดตอนอัตโนมัติ ซึ่งอุปกรณ์ป้องกันไฟฟ้าเหล่านี้มีหลักการทำงานตัดตอนวงจรโดยอาศัยความร้อนที่เกิดจากขนาดของกระแสไฟฟ้า เช่นการทำงานด้วยโลหะคู่ หรือทำงานด้วยการหลอมตัว และ/หรือ ทำงานตัดตอนวงจรด้วยอำนาจแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดจากกระแสไฟฟ้า

อุปกรณ์ตัดตอนกระแสไฟฟ้า

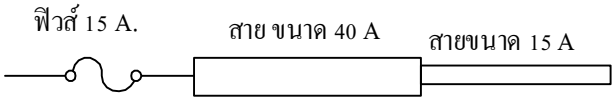
1. ฟิวส์ (FUSE)

เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านสายจะเกิดความร้อน ทั้งนี้เพราะสายไฟมีความต้านทานถ้ากระแสมีจำนวนมากขึ้น ความร้อนที่เกิดขึ้นในสายก็จะเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งความร้อนที่เกิดขึ้นนี้ ถ้าสูงมากๆ จะทำให้ฉนวนหุ้มสายเสียหายและเกิดไฟไหม้ได้

ในวงจรไฟฟ้าหนึ่งๆ หมายความรวมถึงสายไฟที่เดินออกจากสายเมน (Main) ตรงไฟยังเครื่องใช้ไฟฟ้า ซึ่งอาจจะเป็นมอเตอร์ หรือหลอดไฟ หรืออุปกรณ์อื่นๆ ซึ่งเมื่อต่อเข้ากับสายไฟแล้วทำให้จะมีกระแสไฟไหลผ่านสายไฟนั้น ดังนั้นขนาดสายไฟที่ใช้จะต้องมีขนาดที่ทนต่อกระแสของเครื่องใช้ไฟฟ้าได้ อุปกรณ์ป้องกันกระแสไฟฟ้าเบื้องต้นก็คือ ฟิวส์ (Fuse) สมมติว่าหลอดไฟชนิดหนึ่งกินกระแสไฟ 18 A ดังนั้นถ้าเลือกใช้สายไฟ VAF ที่ 60°C ต้องมีขนาด 2.5 มม^2 เป็นอย่างต่ำ ขนาดของฟิวส์ที่ใช้ป้องกันวงจร จะต้องมีขนาดไม่สูงกว่า 18 A ด้วย

Fuse

รูป 6-1 สัญลักษณ์ของฟิวส์

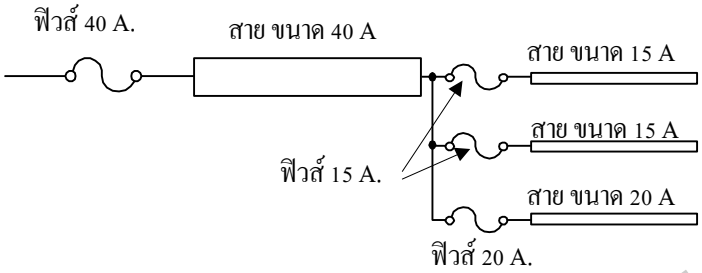


รูป 6-2 ฟิวส์ต้องมีขนาดสูงสุดเท่ากับขนาดของสายไฟเส้นเล็กที่สุดในวงจร

เอกสารประกอบการสอนวิทยาลัยการอาชีพนายกรัฐมนตรี เงาเดช

ถ้าวงจรหนึ่งใช้สายไฟหลายขนาดร่วมกัน ขนาดของฟิวส์ที่เลือกใช้ในวงจรนี้ จะต้องมีขนาดเท่ากับสายไฟเส้นเล็กสุดของวงจรเป็นอย่างสูง ดังรูป 6-2 ขนาดของฟิวส์ซ้ายมือ จะมีขนาดสูงสุดเท่ากับขนาดของสายเส้นเล็กสุดขวามือ

ส่วนรูปที่ 6-3 วงจรย่อยทั้ง 3 ทางขวามือกินกระแสไฟรวมกันเท่ากับ 50 A แต่สายเมนทนกระแสได้ 40 A ดังนั้นขนาดของฟิวส์ที่จะต้องเลือกใช้ เพื่อป้องกันสายเมน จะต้องมีขนาดสูงสุดไม่เกิน 40 A ด้วย



รูปที่ 6-3 การเลือกขนาดของฟิวส์ให้เหมาะสมกับสายเมน

ฟิวส์เป็นอุปกรณ์ป้องกันที่ใช้สำหรับตัดตอนวงจรไฟฟ้าที่เกิดการลัดวงจรขึ้นโดยอาศัยการหลอมละลายโลหะตัวนำที่เป็นสะพานไฟฟ้าของฟิวส์ในสภาวะการใช้งานกระแสไฟฟ้าปกติ ซึ่งสามารถแบ่งชนิดของฟิวส์ตามโครงสร้าง และการใช้งานได้ดังนี้

ฟิวส์เส้น

ใช้ป้องกันวงจรไฟฟ้าทั่วๆ ไป ซึ่งทำด้วยโลหะผสมเป็นเส้นกลมหรือเส้นแบนเล็กมีจุดหลอมเหลวต่ำ ฟิวส์แต่ละขนาดจะยอมให้กระแสไหลผ่านได้จำนวนหนึ่งเท่านั้น ถ้ามีกระแสไหลเกินขนาด ความร้อนที่เกิดขึ้นจะทำให้ฟิวส์ขาด (Blow) ฟิวส์ชนิดนี้จะใช้กับสวิตช์คัทเอ้าท์ (Cut Out) ตามบ้านพักทั่วไป

ฟิวส์หลอด มาตรฐาน VDE 0820

ฟิวส์หลอด เป็นฟิวส์ที่มีความละเอียด มีขนาดพิกัดกระแสไฟฟ้าตั้งแต่ 1 mA ถึง 10 A ใช้สำหรับป้องกันเครื่องใช้ไฟฟ้าจากกระแสไฟฟ้าลัดวงจร และกระแสไฟฟ้าเกินพิกัด

รูปที่ 6-4 ลักษณะโครงสร้างของฟิวส์หลอด

ลักษณะโครงสร้างของตัวหลอดเป็นรูปทรงกระบอกโดยมากทำด้วยแก้ว มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางตั้งแต่ 5 mm ถึง 30 mm ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพิกัดกระแสไฟฟ้า และมีหน้าสัมผัสที่ส่วนหัว

เอกสารประกอบการสอนวิชาการ เมนดี เงาเดช

และส่วนท้ายของตัวหลอดฟิวส์จากฟิวส์หลอดเป็นฟิวส์ขนาดเล็กดังนั้นขีดความสามารถในการตัดตอนวงจรจึงถูกจำกัดให้ต่ำลง ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 5 กลุ่ม คือ

ตารางที่ 6-1 การจัดกลุ่มฟิวส์หลอดตามความสามารถในการตัดตอน

กลุ่มฟิวส์หลอด	ความสามารถในการตัดตอน (IC) หน่วย A
B	50
C	80
D	300
E	1000
G	1500

ฟิวส์หลอดได้แบ่งออกเป็นชนิดตัดไวเป็นพิเศษในการตัดตอนวงจร ใช้ตัวอักษร FF บอกความหมายและชนิดทนเป็นพิเศษได้ใช้ตัวอักษร TT นอกจากนั้นฟิวส์หลอดยังมีชนิดทน T ทนปานกลาง M และตัดไว F ถ้าขนาดของกระแสไฟฟ้าสูงถึง 1.5 เท่าของพิกัดกระแสไฟฟ้าของฟิวส์หลอด หลอดจะใช้เวลาหลอมละลายขาดเป็นชั่วโมง แต่ถ้าเป็นกระแสไฟฟ้าลัดวงจร ฟิวส์หลอดจะใช้เวลาในการหลอมละลายขาดน้อยกว่า 30 ms สำหรับฟิวส์หลอดชนิดไวเป็นพิเศษ และมากกว่า 300 ms สำหรับฟิวส์หลอดชนิดทนเป็นพิเศษ

การบอกข้อมูลทางเทคนิคบนตัวฟิวส์หลอด ตัวอย่างเช่น F 2.5/250 D หมายถึง : ฟิวส์หลอดชนิดตัดไวพิกัดกระแสไฟฟ้า 2.5 A สำหรับแรงดันไฟฟ้า ถึง 250 V และมีความสามารถในการตัดตอนวงจร 300 A

ปลักฟิวส์ (Plug Fuse)

ฟิวส์ชนิดนี้จะบรรจุอยู่ในกระบอกที่ทำด้วยกระเบื้องกลวงปิด ดังรูปที่ 9-5 และแบ่งออกได้เป็น 2 แบบด้วยกันคือ

- ปลักฟิวส์แบบที่ขาดทันที เมื่อมีกระแสไหลเกินขนาด เป็นแบบที่ใช้ร่วมกับสวิตช์คัทเอ้าท์ที่ใช้อยู่ตามบ้านทั่วไป เส้นฟิวส์ในกระบอกกระเบื้องดังกล่าวนี้ จะมีทรายบรรจุอยู่โดยรอบ และมีหลายขนาดด้วยกัน เช่น 10 , 16 , 20 , 25 , 35 , 100 A เป็นต้น เมื่อฟิวส์ขาดแผ่นโลหะเล็กๆ ด้านบนจะหลุดออก

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์นเรศ ภาเดช

(ก) (ข)

รูปที่ 6-5 ก) ปลักฟิวส์ขนาด 35 และ100 A ข) ฝาครอบและฐานฟิวส์

- ปลักฟิวส์แบบขาดช้า (Time-delay Fuse or Slo-lag Fuse) หมายความว่า เมื่อมีกระแสไหลผ่านเกินขนาดจะไม่ขาดทันที มีลักษณะดังรูป 6-6 ปลักฟิวส์แบบนี้เหมาะสำหรับใช้ป้องกันวงจรมอเตอร์ มากกว่าวงจรแสงสว่างธรรมดา

รูปที่ 6-6 ปลักฟิวส์แบบขาดช้า

คาร์ทริดจ์ฟิวส์ (Cartridge Fuse)

ฟิวส์แบบนี้ใช้ร่วมกับเซฟตี้สวิตช์ (Safety Switch) ลักษณะของฟิวส์ชนิดนี้แสดงดังรูปที่ 6-7 แบบหนึ่งเรียกว่า แบบเฟอร์รูล (Ferrule Type) และอีกแบบหนึ่งเรียกว่าแบบใบมีด (Knife Blade Type) ถ้าเป็นชนิดที่ขาดทันที เมื่อมีกระแสไฟเกินขนาดไหลผ่าน แบบเฟอร์รูลขนาดตั้งแต่ 1 – 60 A สำหรับแบบใบมีดมีขนาดตั้งแต่ 70 – 600 A และถ้าเป็นชนิดที่ขาดช้า (Slo-lag) จะมีลักษณะเหมือนกับรูปที่ 6-7 ทุกอย่าง นอกจากนี้คาร์ทริดจ์ฟิวส์ ยังมีทั้งชนิดที่เปลี่ยนฟิวส์ใหม่ได้ และชนิดที่เปลี่ยนฟิวส์ใหม่ไม่ได้ แต่ทั้ง 2 แบบ ก็มีลักษณะเหมือนกัน โดยปลายทั้ง 2 ด้านของกระบอกฟิวส์ สามารถที่จะถอดได้และลักษณะของเส้นฟิวส์ที่ใช้ แสดงดังรูปที่ 6-8 คาร์ทริดจ์ฟิวส์แบบขาดช้าจะใช้ร่วมกับวงจรมอเตอร์มากกว่าวงจรแบบอื่น เพราะเพราะตอนเริ่มหมุนมอเตอร์จะกินกระแสสูง จึงไม่นิยมใช้ชนิดขาดทันที

ก. แบบเฟอร์รูล ข. แบบใบมีด

รูปที่ 6-7 คาร์ทริดจ์ฟิวส์

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์ยนต์ ภูเขาเดช

รูปที่ 6-8 เส้นฟิวส์สำหรับคาร์ทริดจ์ฟิวส์

เมื่อต้องการจะลดขนาดของฟิวส์ ให้ทนกระแสได้น้อยลงเช่นจะลดจากขนาด 60 A เป็น 30 A ทำได้โดยการใช้อะแดพเตอร์ ดังรูปที่ 6-10 เพราะถ้าฟิวส์มีขนาดกระแสต่ำฟิวส์จะมีขนาดเล็กและสั้นลง สำหรับการดังฟิวส์ออกจากฐานฟิวส์ในเซฟตี้สวิตช์ จะต้องใช้ที่ดึงฟิวส์ (Fuse Puller) ซึ่งมีลักษณะดังรูปที่ 6-11 เพราะฐานฟิวส์จะบีบกระบอกฟิวส์หรือใบมีดของกระบอกฟิวส์ไว้แน่นมาก

รูปที่ 6-10 อะแดพเตอร์สำหรับลดขนาดของคาร์ทริดจ์ฟิวส์

รูปที่ 6-11 ที่ดึงฟิวส์

ข้อพิจารณาในการเลือกขนาดของฟิวส์

ฟิวส์ป้องกันข่ายงานไฟฟ้า จะต้องสามารถป้องกันอุปกรณ์ไฟฟ้าของข่ายงานไม่ให้เกิดความเสียหายจากกระแสไฟฟ้าลัดวงจรได้ เช่น ป้องกันสายเคเบิล และสวิตช์แยกวงจร เป็นต้น

ฟิวส์สำหรับป้องกันวงจรที่เป็นมอเตอร์ไฟฟ้า จะต้องคำนึงกระแสไฟฟ้าขณะเริ่มเดินมอเตอร์ด้วยซึ่งฟิวส์ภายใต้สภาวะนี้ต้องไม่เกิดการหลอมละลายเด็ดขาด

เอกสารประกอบการสอน อาจารย์ยนต์ เงาเดช

2. เซอร์กิตเบรคเกอร์ (Circuit Breaker)

เซอร์กิตเบรคเกอร์ หมายถึง " อุปกรณ์ที่ถูกออกแบบมาเพื่อเปิด – ปิด วงจรโดยไม่อัตโนมัติ และสามารถเปิดวงจรโดยอัตโนมัติ เมื่อมีกระแสไหลเกินกว่าค่าที่กำหนด โดยที่ตัวมันเองไม่เกิดความเสียหาย " จากคำนิยามข้างต้นจะเห็นได้ว่าการใช้งานเซอร์กิตเบรคเกอร์จะเกี่ยวข้องกับกระแสเกินเป็นหลัก ดังนั้นก่อนอื่นเราต้องมาทำความเข้าใจกับคำว่า กระแสเกิน ก่อน

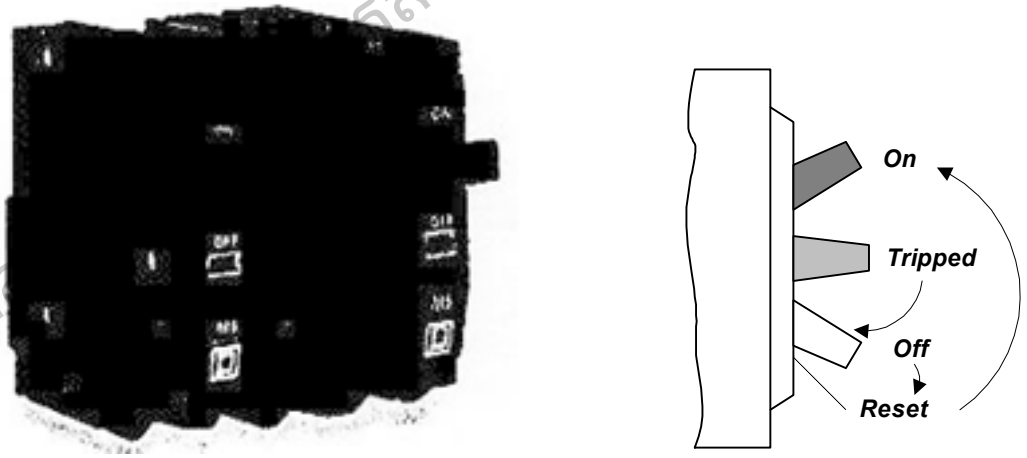
กระแสเกิน (Over Current) กระแสเกินแบ่งออกได้ 2 ประเภท

ก. OVERLOAD CURRENT

เกิดจากการเพิ่ม LOAD เข้าไปในวงจรทำให้วงจรนั้นกินกระแสไฟมากกว่าปกติ ทำให้สายไฟในวงจรร้อนซึ่งสายไฟจะละลายได้ หากไม่มีอุปกรณ์ป้องกันจะทำให้เกิดไฟไหม้ได้

ข. SHORT CIRCUIT CURRENT

เกิดจากตัวนำไฟฟ้าลัดวงจรกันเอง หรือลัดวงจรลงดิน ทำให้เกิดกระแสปริมาณสูงไหลในระบบ ซึ่งทำให้เกิดความเสียหายเนื่องจากเครียดทางความร้อน (Thermal Stress) และความเครียดทางกล (Mechanical Stress) ซึ่งจะทำให้เกิดเพลิงไหม้ได้



รูปที่ 6-12 Circuit Breaker

Molded Case Circuit Breaker (MCCB)

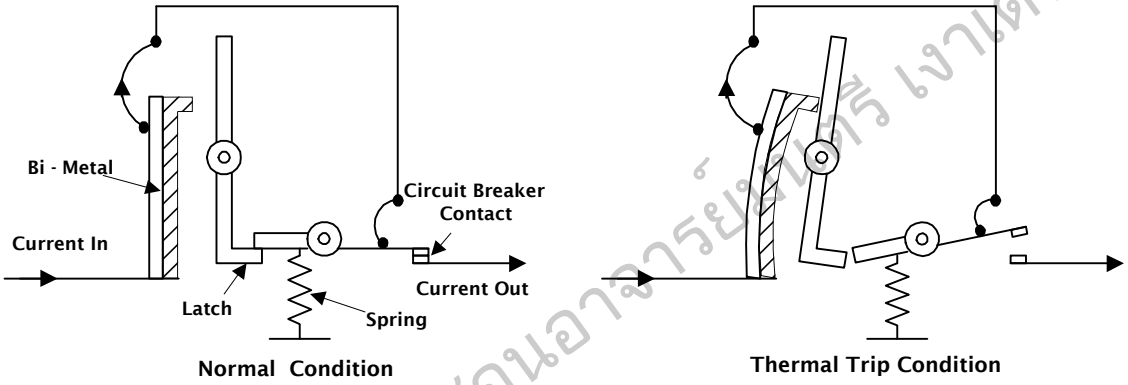
Molded Case Circuit Breaker คือ เซอร์กิตเบรคเกอร์ที่ห่อหุ้มปิดมิดชิดด้วย Molded 2 ส่วน ซึ่งได้ทดสอบ Dielectric Strength ก่อนออกจำหน่าย ตัว Molded ทำหน้าที่เป็นฉนวนห่อหุ้มเซอร์กิตเบรคเกอร์ไว้ โดยส่วนใหญ่ทำจาก Phenolic

เซอร์กิตเบรคเกอร์แบบนี้มีหน้าที่หลักอยู่ 2 อย่าง คือทำหน้าที่เป็นสวิตช์โดยการเปิด – ปิดด้วยมือ และเปิดวงจรโดยอัตโนมัติ เมื่อมีการลัดวงจรหรือกระแสโหลดเกิน เมื่อเซอร์กิตเบรคเกอร์เปิดวงจรเพื่อกำจัดฟอลท์ออกจากกระแสนั้น ด้ามโยกจะเลื่อนมาอยู่ที่ตำแหน่ง Trip ซึ่งจะอยู่กึ่งกลางระหว่าง On และ Off ซึ่งแสดงให้ดูว่าขณะนี้เซอร์กิตเบรคเกอร์กำลังเปิดวงจรอยู่ และเมื่อฟอลท์ได้ถูกกำจัดออกจากระบบแล้วก้สามารถเปิดวงจรใหม่ได้ โดยการ Reset แล้วเลื่อนกลับไปยังตำแหน่ง On อีกครั้ง การทำงานลักษณะนี้เรียกว่า Quick Make , Quick Break

Thermal Magnetic CB

Thermal Magnetic CB คือ MCCB ชนิดหนึ่งที่มีอุปกรณ์สำหรับปลดวงจรอยู่ 2 ส่วนคือ

ก. Thermal Unit ในส่วนนี้ใช้สำหรับปลดวงจรเมื่อเกิดกระแสโหลดเกินดังรูปที่ 6-13

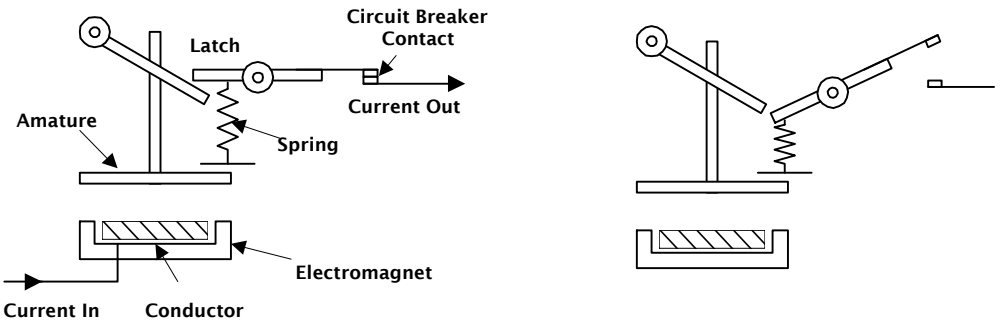


รูปที่ 6-13 แสดงลักษณะการตัดวงจรของ Thermal Unit

จากรูปที่ 6-13 เมื่อกระแสโหลดเกินไหลผ่าน Bimetal (โลหะ 2 ชนิดซึ่งมีสัมประสิทธิ์ทางความร้อนไม่เท่ากัน) จะเกิดความร้อนขึ้นทำให้ Bimetal งอตัวไปปลดอุปกรณ์ทางกลทำให้ CB ปลดวงจร ซึ่งเรียกว่าเซอร์กิตเบรคเกอร์ Trip การปลดวงจรโดยใช้ Thermal Unit จะใช้เวลาในการปลดวงจรพอสมควร ขึ้นกับขนาดของกระแสและความร้อนที่จะทำให้ Bimetal งอตัว ดังนั้นหากเกิดกระแสลัดวงจรขึ้นจะต้องมีอุปกรณ์อีกตัวหนึ่งเพื่อใช้ปลดวงจรอย่างรวดเร็วเพื่อไม่ให้เกิดความเสียหายขึ้น

Magnetic Unit

ส่วนนี้จะใช้สำหรับปลดวงจรเมื่อเกิดกระแสลัดวงจร ดังรูปที่ 6-14



เอกสารประกอบการสอนอาจารย์นเรศ เงาเดช

รูปที่ 6-14 แสดงลักษณะการตัดวงจรของ Magnetic Unit

จากรูปที่ 6-14 เมื่อเกิดกระแสลัดวงจรหรือกระสูงๆ ประมาณมากกว่า 8 – 10 เท่า ขึ้นไปไหลผ่านจะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กและเกิดแรงขึ้นสามารถดึงอุปกรณ์ทางกลทำให้ CB ปลดวงจรโดยใช้เวลาในการปลดวงจรรวดเร็วมากยังไม่ทันที่จะเกิดความเสียหายแก่ระบบ

ดังนั้นจะเห็นได้ว่า จำเป็นต้องมีอุปกรณ์ปลดวงจรทั้ง 2 ตัว เพื่อทำหน้าที่ปลดวงจร ไม่สามารถที่จะมีแค่ Thermal Unit เพียงอย่างเดียว หรือ Magnetic Unit เพียงอย่างเดียว เพื่อป้องกันกระแสเกินทั้งกระแสโหลดเกินและกระแสลัดวงจร

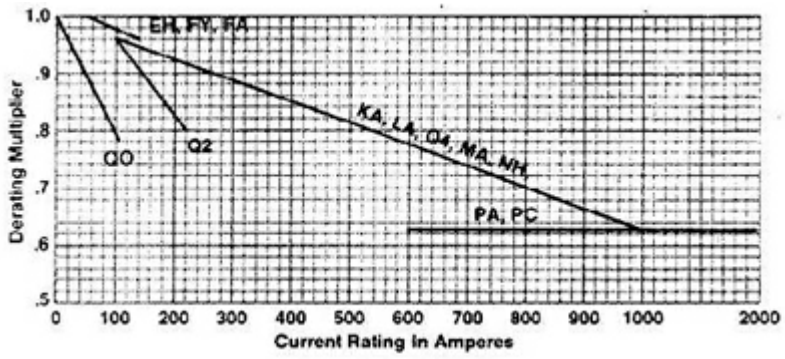
การพิจารณาค่าพิกัดกระแสเมื่อใช้ในสภาวะต่างๆ

เซอร์กิตเบรคเกอร์แบบ Molded Case ถูกออกแบบมาให้ใช้งานที่อุณหภูมิ 40°C และความถี่ที่ 50/60 Hz และหากนำไปใช้ในสภาวะอื่นๆ การทำงานและพิกัดกระแสของเซอร์กิตเบรคเกอร์อาจเปลี่ยนแปลงไปจากภาวะปกติได้

1. ผลเนื่องจากความถี่

ในกรณีของเซอร์กิตเบรคเกอร์ประเภท Thermal Magnetic ผลของความถี่จะแยกพิจารณาในกรณีของ Thermal Unit และ Magnetic Unit

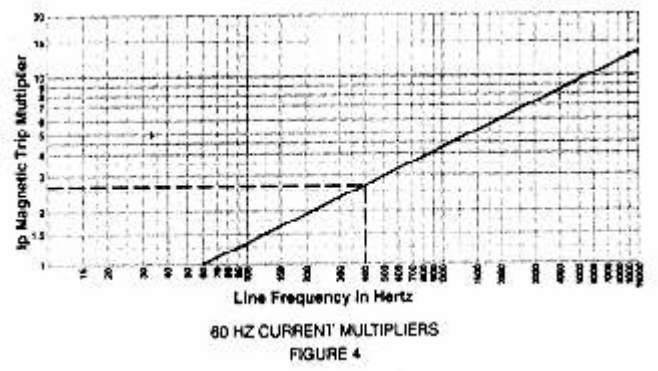
กรณีของ Thermal Unit ที่ความถี่ต่ำกว่า 50/60 Hz เราไม่ต้องนำมาคิดค่าเปลี่ยนแปลงค่ากระแสพิกัดได้ เนื่องจากมีผลน้อย แต่ในกรณีที่ความถี่สูงกว่า 50/60 Hz จำเป็นต้องนำมาคิด และที่นำไปใช้งานในกรณีความถี่สูงๆ ที่ใช้มากคือ 400 Hz เป็นความถี่สำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้าบนเครื่องบิน ดังรูปแสดงกราฟที่ใช้ที่ใช้ในกรณีความถี่ 400 Hz ซึ่งแสดงค่าตัวคูณกับค่ากระแสพิกัด ซึ่งจะเห็นได้ว่าที่ความถี่สูงมากขึ้นค่ากระแสพิกัดจะมีค่าลดลง โดยจะต้องนำเอาค่าตัวคูณที่อ่านได้จากกราฟคูณกับพิกัดกระแสของเซอร์กิตเบรคเกอร์



รูปที่ 6-15 แสดงผลเนื่องจากความถี่ที่มีต่อเซอร์กิตเบรคเกอร์

เอกสารประกอบการสอนเอาสวรย์มนตรีเทคนิค

กรณีของ Magnatic ที่ความถี่สูงกว่า 50/60 Hz ค่ากระแสที่ทำให้ Magnetic Unit ทำงานจะมีค่ามากกว่าปกติ ดังรูปที่ 6-16



รูปที่ 6-16 ผลเนื่องจากความถี่ที่สูงกว่า 50/60 Hz ต่อเซอร์กิตเบรคเกอร์

2. ผลเนื่องจากอุณหภูมิ

2.1 ที่อุณหภูมิระหว่าง 25°C ถึง 40°C ค่ากระแสพิกัดจะไม่เปลี่ยน ใช้ค่าตามที่ระบุได้เลย

2.2 ที่อุณหภูมิระหว่าง - 10°C ถึง 24°C เบรคเกอร์ที่ใช้งานอยู่ในอุณหภูมิช่วงนี้จะรับค่ากระแสพิกัดได้มากขึ้นกว่าที่ระบุได้ โดยไม่ตัดวงจรออก นั่นคือการ Trip ผิดพลาด หากโหลดเกินพิกัดเซอร์กิตเบรคเกอร์จะไม่ปลดวงจรแต่หากว่าต้องการให้เซอร์กิตเบรคเกอร์นี้ป้องกันอุปกรณ์และสายให้ถูกต้อง การที่ค่ากระแสพิกัดเพิ่มที่อุณหภูมิต่ำลงนั้นจะต้องถูกนำมาพิจารณาด้วย

2.3 ที่อุณหภูมิระหว่าง 41°C ถึง 60°C เบรคเกอร์ที่ใช้งานอยู่ในอุณหภูมิช่วงนี้จะมีค่าพิกัดกระแสลดลงจากค่าที่กำหนดไว้ ซึ่งจะทำให้เบรคเกอร์ปลดวงจรก่อนค่าที่กำหนด

3. ผลเนื่องจากความสูงของพื้นที่

เมื่อใช้เซอร์กิตเบรคเกอร์แบบ Thermal – Magnetic Unit ที่ระดับความสูงมากๆ จากระดับน้ำทะเลจะต้องมีการปรับค่าใหม่ทั้งกระแสพิกัด และแรงดันพิกัดด้วย เนื่องจากที่ความสูงมากๆ การระบายความร้อนจะทำได้ยากขึ้นจึงทำให้ค่ากระแสพิกัดลดลง และแรงดันพิกัดก็จะมีค่าลดลงด้วย เนื่องจากค่าไดอิเล็คตริคของอากาศลดลง จากตารางที่ 6-3 เป็นการแสดงค่าความสูงที่มีผลกับค่ากระแสพิกัดและแรงดันพิกัด ซึ่งค่านี้เซอร์กิตเบรคเกอร์แต่ละยี่ห้อจะมีไม่เหมือนกัน

ตารางที่ 9.3 แสดงผลที่เกิดกับค่ากระแสพิกัดและแรงดันพิกัดที่ความสูงต่างๆ กัน

Altitude Multiplier		
Altitude	Current	Voltage
0 – 6,600 ft	1	1

เอกสารประกอบการสอนวิชาเอกวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง

6,600 – 8,500 ft	0.99	0.95
8,500 – 13,000 ft	0.96	0.80
13,000 – 30,000 ft	0.75	0.40

4. ผลเมื่อใช้กับไฟฟ้ากระแสตรง

ในกรณีที่นำเซอร์กิตเบรคเกอร์ไปใช้ในระบบไฟฟ้ากระแสตรง ตัว Thermal Unit จะไม่เปลี่ยนแปลง แต่ตัว Magnetic Unit นั้นจะมีผลเปลี่ยนไปเนื่องจากกราฟคุณลักษณะของส่วน Magnetic Unit สร้างขึ้นโดยใช้ค่า RMS ของกระแสสลับ ในขณะที่เมื่อระบบเป็นไฟฟ้ากระแสตรงจะมีค่าตัวคูณค่าหนึ่ง ซึ่งต้องนำมาคูณเข้ากับค่ากระแสที่ทำให้ตัว Magnetic ทำงาน ซึ่งจะมีผลให้ค่านั้นโดยทั่วไปมีค่ามากกว่าเดิม

คำศัพท์ที่เกี่ยวข้องกับการเลือกใช้เซอร์กิจเบรคเกอร์

ก) AMP TRIP (AT) คือ พิกัดกระแส หรือ Handle Rating ส่วนใหญ่จะแสดงไว้ที่ Name Plate หรือที่ด้ามคันโยกของเซอร์กิตเบรคเกอร์ เฉพาะเซอร์กิตเบรคเกอร์ที่ปรับค่าไม่ได้ จะสังเกตตัวเลขนูนบริเวณด้ามคันโยกได้ การกำหนดค่า AT ของเซอร์กิตเบรคเกอร์ตาม 1990 NEC Paragraph 240 – 6 กำหนดดังนี้

15 , 20 , 25 , 30 , 35 , 40 , 50 , 60 , 70 , 80 , 90 , 100 , 110 , 125 , 150 , 175 , 200 , 225 , 250 , 300 , 350 , 400 , 450 , 500 , 600 , 700 , 800 , 1000 , 1200 , 1600 , 2000 , 2500 , 3000 , 4000 , 5000 , 6000 A

ซึ่งบางครั้งอุปกรณ์ป้องกันของผู้ผลิตไม่มีค่าตรงตามที่ระบุไว้ จะต้องใช้ค่าที่ใกล้เคียง เช่น ระบุในแบบ CB 15 A เวลาเลือกใช้ ขึ้นอยู่กับผลิตภัณฑ์ในท้องตลาด เช่น เลือกใช้ SQUARE D จะต้องใช้ CB 16 A

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์นพรัฐ เมาเดช

ตารางที่ 6-4 แสดงรายละเอียดการเลือกรุ่นต่างๆ เพื่อการใช้งาน

ขนาดแอมป์	AC Magnetic Trip Settings Amperes		One Pole		Two Pole		Three Pole		ขนาดสาย
	Hold	Trip	Catalog No. รุ่น	Unit Price ราคา	Catalog No. รุ่น	Unit Price ราคา	Catalog No. รุ่น	Unit Price ราคา	
FAL 100 Ampere Frame ทนกระแสฉับพลันได้ 18 KA Standard Interrupting 18 KA									
15	275	600	FAL 14015	1,600.-	FAL 24015	3,400.-	FAL 34015	3,600.-	2.5 – 25
20	275	600	FAL 14020		FAL 24020		FAL 34020		
30	275	600	FAL 14030		FAL 24030		FAL 34030		
40	400	850	FAL 14040		FAL 24040		FAL 34040		2.5 – 50
50	400	850	FAL 14050		FAL 24050		FAL 34050		
60	800	1450	FAL 14060		FAL 24060		FAL 34060		
70	800	1450	FAL 14070		FAL 24070		FAL 34070		
80	800	1450	FAL 14080		FAL 24080		FAL 34080		
90	900	1450	FAL 14090		FAL 24090		FAL 34090		
100	900	1450	FAL 14100		FAL 24100		FAL 34100		

ข.) AMP FRAME (AF) คือ ขนาด AT สูงสุดที่ CB ในรุ่นนั้นมีจำหน่ายและเป็นขนาดพิกัดของส่วนประกอบภายนอกหรือว่าโครงของเซอร์กิตเบรคเกอร์ที่สามารถทนกระแสได้ เช่น CB ขนาด 125 AT / 250 AF แสดงว่า CB รุ่นนั้นมี CB รุ่น 250 AT / 250 AF เป็นพิกัดกระแสสูงสุดจำหน่าย ซึ่งจริงๆ แล้วเซอร์กิตเบรคเกอร์ทั้ง 2 รุ่น ใช้ Molded และอุปกรณ์ประกอบชนิดเดียวกัน จะแตกต่างกันก็คือ การตั้งค่าของอุปกรณ์ปลดวงจรซึ่งต้องทำการทดสอบก่อนส่งออกจำหน่าย ซึ่งสรุปได้ว่าค่า AMP FRAME แสดงค่าทางกายภาพด้วย

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตร์ เจาะดี

ค่า AF ระบุโดยค่ามาตรฐาน NEMA มีขนาดดังนี้

50 , 100 , 255 , 250 , 400 , 600 , 800 , 1000 , 1200 , 1600 , 2000 , 2500 , 4000 , 5000 AF

ค.) POLE หรือ **ขั้ว** เป็นตัวบ่งบอกว่า CB นี้เป็น 1 Phase หรือ 3 Phase

1 POLE หมายถึง เซอร์กิตเบรคเกอร์สำหรับระบบ 1 Phase โดยจะใช้ป้องกันสาย Line อย่างเดียว

2 POLE หมายถึง เซอร์กิตเบรคเกอร์สำหรับระบบ 1 Phase โดยจะใช้ป้องกันสาย Line และ Neutral

3 POLE หมายถึง เซอร์กิตเบรคเกอร์สำหรับระบบ 3 Phase โดยจะใช้ป้องกันสาย Line

4 POLE หมายถึง เซอร์กิตเบรคเกอร์สำหรับระบบ 3 Phase โดยจะใช้ป้องกันสาย Line และ Neutral

ง.) IC หรือ INTERUPTING CAPACITY

หมายถึง กระแสลัดวงจรสูงสุดที่ CB นั้นสามารถปลดวงจรได้ โดยตัวมันเองไม่ได้รับความเสียหาย ส่วนใหญ่จะระบุหน่วยเป็น KV สังเกตได้จาก Name Plate ของ CB

ในการเลือกใช้อุปกรณ์ และระบบไฟฟ้านั้น นอกจากจะคำนึงถึงกระแสขณะใช้งานตามปกติแล้ว ยังจะต้องคำนึงถึงกระแสขณะลัดวงจรด้วย การลัดวงจร หมายถึง การที่วงจรไฟฟ้าเกิดความผิดพลาดโดยอุบัติเหตุหรือความไม่ตั้งใจ ทำให้ค่าอิมพีแดนซ์ของวงจรไฟฟ้าที่มีค่าลดลง ส่งผลให้กระแสไหลมากกว่ากระแสปกติหลายเท่า กระแสลัดวงจรจะทำให้เกิดความเครียดทางกล (Mechanical Stress) และความเคลียดทางความร้อน (Thermal Stress) ขึ้น ซึ่งสามารถส่งผลทำให้อุปกรณ์เสียหาย และเป็นอันตรายต่อคนได้ ด้วยเหตุผลดังกล่าวจึงต้องคำนึงถึงผลของกระแสลัดวงจรเพื่อจะได้ป้องกันความเสียหายที่อาจจะเกิดขึ้นได้

จ.) PUSH TO TRIP ปุ่มสำหรับทดสอบอุปกรณ์ทางกลที่ใช้สำหรับปลดวงจร เนื่องจากเซอร์กิตเบรคเกอร์หลังจากที่ติดตั้งภายในแผงไฟฟ้า ภายใน 2 – 3 ปี อาจจะไม่เคยเกิดกระแสเกินขึ้นสักครั้ง สปริงยังมีแรงดึงอุปกรณ์ปลดวงจรได้ทันท่วงทีหรือเปล่า ซึ่งปุ่ม PUSH TO TRIP นี้มีความจำเป็นไว้ทดสอบอุปกรณ์ปลดวงจรภายใน โดยทั่วไปจะทดสอบปีละครั้ง

ฉ.) TRIPPING CURVE คือ กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับเวลาปลดวงจร ซึ่งบางครั้งเราเรียก Curve นี้ว่า I – T Curve โดยกราฟนี้มี Scale ในลักษณะของ Log โดยแกน X แสดงจำนวนเท่าของพิกัดกระแส แกน Y แสดงค่าเวลาในหน่วยวินาที Tripping Curve ของเซอร์กิตเบรคเกอร์แต่ละยี่ห้อแต่ละรุ่นจะไม่เหมือนกัน

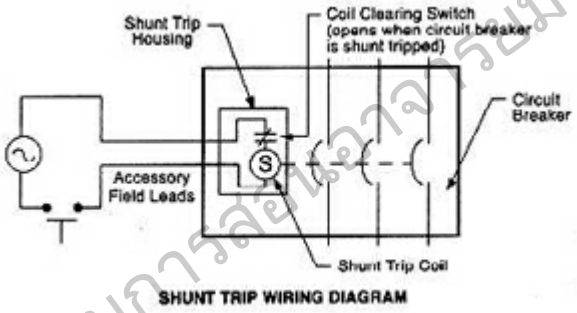
เอกสารประกอบการสอนวิชาเอกวิศวกรรมไฟฟ้า

ช.) COORDINATION คือ การจัดลำดับการปลดวงจรของเซอร์กิตเบรคเกอร์เพื่อที่จะทำให้การป้องกันในระบบไฟฟ้าทำงานได้อย่างมีเสถียรภาพมากที่สุด โดยเลือกขนาดของเซอร์กิตเบรคเกอร์ และการปรับตั้งค่าอุปกรณ์ป้องกันให้เหมาะสม

เมื่อมีการใช้กระแสไฟฟ้าเกินเกิดขึ้นในระบบป้องกันไฟฟ้าที่มีการจัดลำดับการป้องกัน (Coordination) ของเซอร์กิตเบรคเกอร์แล้ว เซอร์กิตเบรคเกอร์ ที่ควบคุมอยู่ในจุดผิดปกติ ควรจะต้องเปิดวงจร แต่ถ้าไม่มีการจัด Coordination ของเซอร์กิตเบรคเกอร์ในระบบไฟฟ้านั้น เมื่อมีการใช้กระแสเกิน (Overcurrent) เกิดขึ้น อาจจะมีผลทำให้ตัวเซอร์กิตเบรคเกอร์ที่อยู่ถัดขึ้นไปด้านบน (Upstream) เปิดวงจรซึ่งจะรบกวนบริเวณอื่นไม่เกี่ยวข้อง

ช.) ACCESSORIES คืออุปกรณ์ประกอบของเซอร์กิตเบรคเกอร์เพื่อเพิ่มความสามารถของเซอร์กิตเบรคเกอร์ โดยทั่วไปที่ใช้อยู่ในท้องตลาดมีดังนี้

- Shunt Trip ทำหน้าที่สั่งปลดวงจรเซอร์กิตเบรคเกอร์เมื่อ Coil Shunt Trip ได้รับศักดาจากระบบอื่น ดังรูปที่ 6-17



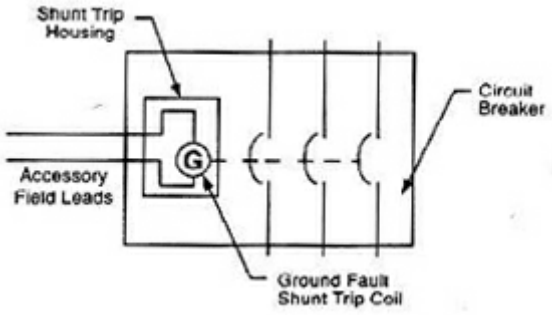
รูปที่ 6-17

จากรูปที่ 6-17 หากนำสายคู่ที่ต่อจาก Coil Shunt Trip ไปต่ออนุกรมกับแหล่งจ่ายและสวิทช์เป็นหน้าสัมผัสช่วยของระบบอื่นก็สามารถทำได้

- UnderVoltage Release (UVR) เป็นอุปกรณ์สั่งปลดวงจรเมื่อศักดาของระบบตกต่ำกว่าค่าที่กำหนดไว้ ส่วนใหญ่จะใช้คู่กับ Under / Over Voltage Relay หากเมนเซอร์กิตเบรคเกอร์ของโครงการติด Under Volt จะต้องมี Relay Time ด้วย เนื่องจากไฟจากการไฟฟ้าเกิน เซอร์กิตเบรคเกอร์จะกระพริบและเซอร์กิตเบรคเกอร์จะยังไม่ควรปลดวงจร โดยควรมี Delay time 3 วินาที

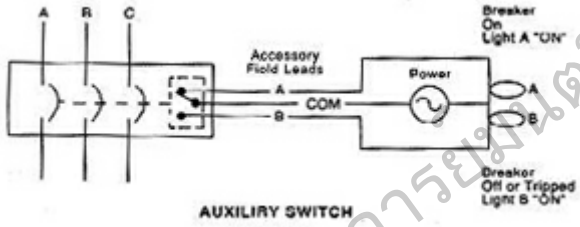
- Ground Fault Shunt Trip เป็นอุปกรณ์สั่งปลดวงจรเมื่อมีกระแสรั่วออกจากระบบเกินกว่าค่าที่ตั้งไว้ โดยมี Coil Ground Fault ต่ออยู่ภายในเซอร์กิตเบรคเกอร์ ซึ่งจะต่อออกมาจากระบบ Sensing

เอกสารประกอบการสอนวิทยาลัยเทคนิคสมุทรปราการ



รูปที่ 6-18 Ground Fault Shunt Trip

- Auxiliary Switch เป็นอุปกรณ์หน้าสัมผัสช่วย ซึ่งอยู่ในเซอร์กิตเบรคเกอร์โดยจะเปลี่ยนสถานะเมื่อเซอร์กิตเบรคเกอร์ ON หรือ OFF/TRIP บางครั้งจะนำเอา Auxiliary Switch ไปใช้งานควบคุมกับวงจร Control หรือวงจร Interlock ต่างๆ ด้วย



รูปที่ 6-19 Auxiliary Switch

- Alarm Switch เป็นอุปกรณ์หน้าสัมผัสช่วยซึ่งจะเปลี่ยนสถานะเมื่อเซอร์กิตเบรคเกอร์ปลดวงจร (Trip)

- Handle Padlock สำหรับล็อคเซอร์กิตเบรคเกอร์ให้อยู่ในตำแหน่ง ON หรือ OFF หากอยู่ในตำแหน่ง ON และเซอร์กิตเบรคเกอร์เกิด Trip ด้ามโยกจะอยู่ในตำแหน่ง Trip Free

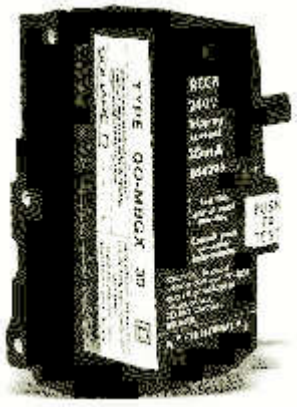
- Motor Operate เป็นมอเตอร์ที่ใช้สำหรับ ON/OFF เซอร์กิตเบรคเกอร์

3. EARTH LEAKAGE CIRCUIT BREAKER (ELCB)

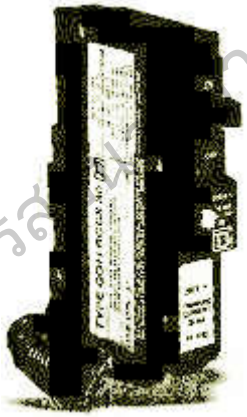
Earth Leakage Circuit Breaker หมายถึง เซอร์กิตเบรคเกอร์แบบ Miniature CB ชนิดหนึ่ง (เซอร์กิตเบรคเกอร์ขนาดเล็กใช้ติดตั้งในตู้ควบคุมไฟฟ้า) ซึ่งภายในตัวเซอร์กิตเบรคเกอร์นอกเหนือจากที่ประกอบด้วย Thermal และ Magnetic แล้ว ยังมีอุปกรณ์สำหรับเช็คกระแสว่ามีรั่วออกจากวงจรหรือไม่ ซึ่งหากมีกระแสไฟรั่วออกจากวงจรมากกว่าค่าที่กำหนดไว้จะสั่งปลดวงจรทันที โดยส่วนใหญ่จะมีขนาด 10 mA

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เงาเดช

โดยทั่วไป Earth Leakage CB. ในท้องตลาดจะมีให้เลือกทั้งชนิดใช้ Main ของแผงไฟฟ้า คือ ELCB 2 Pole ดังรูปที่ 30.1 หรือใช้เป็นอุปกรณ์กันรั่วเฉพาะจุด 1 Pole ดังรูปที่ 30.2 ซึ่งส่วนใหญ่จะต่อกับเครื่องทำน้ำร้อน เครื่องซักผ้า ฯลฯ



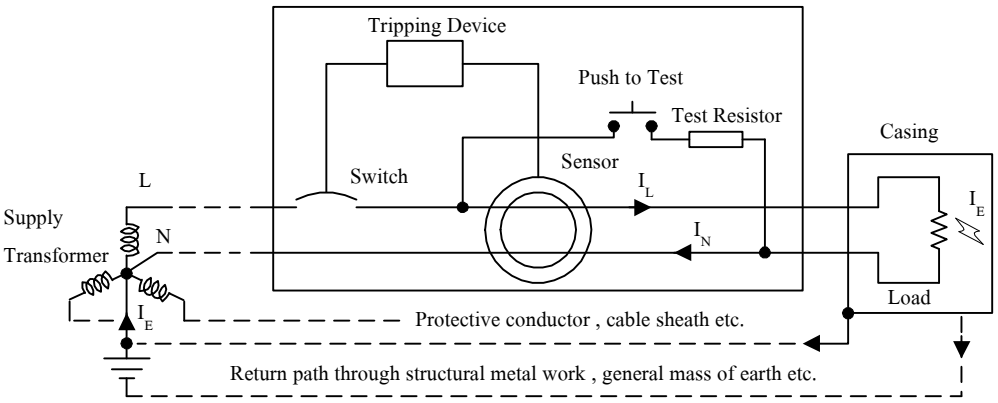
รูปที่ 9-20 Main Earth Leakage 2 Pole



รูปที่ 9-21 Earth Leakage 1 Pole

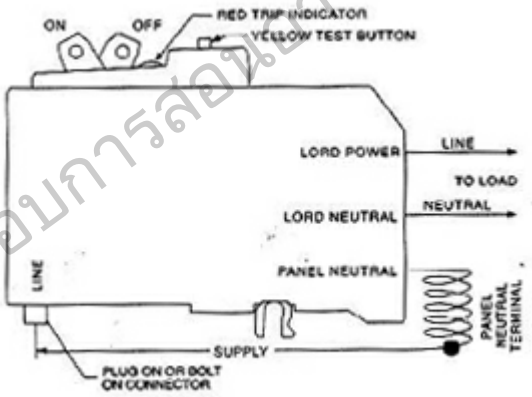
เอกสารประกอบการสอน กรมพัฒนาการยมนตรี เงาเดช

วงจรการทำงานของ Earth Leakage CB.



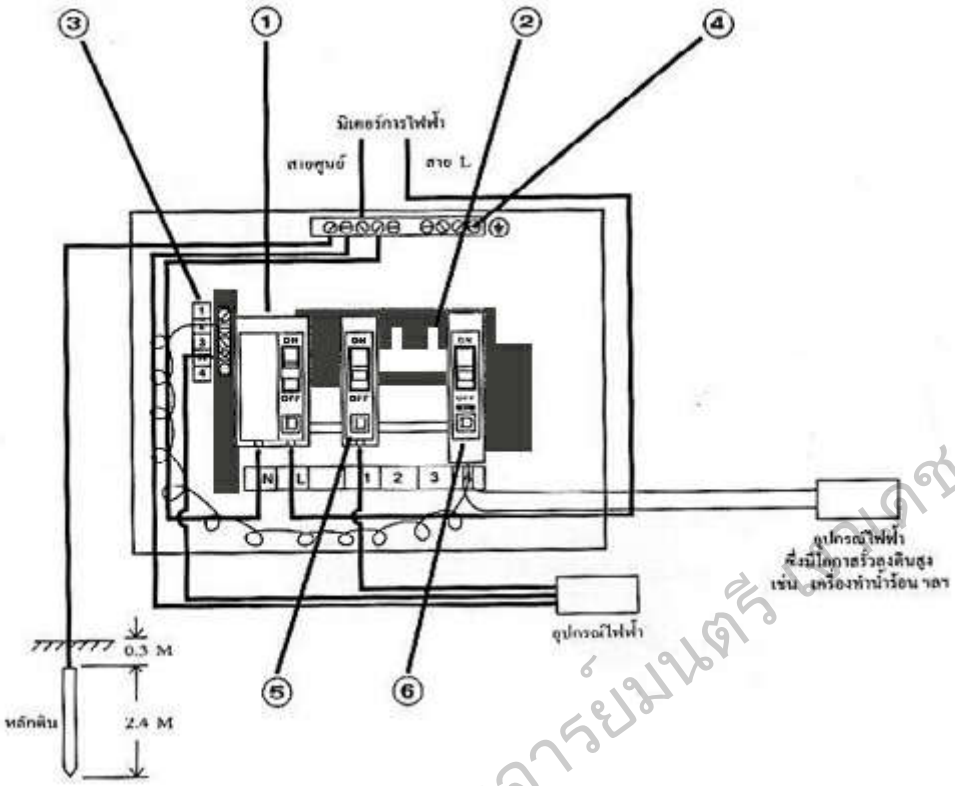
รูปที่ 6-22 วงจรการทำงานของ ELCB

การทำงาน : ภายในตัว CB จะมีตัว Sensor ทำหน้าที่ตรวจสอบกระแสที่จ่ายไปโหลด (I_L) และกระแสไหลกลับ (I_N) ว่ามีค่าเท่ากันหรือไม่ หากมีค่ากระแสรั่วออกจากระบบ I_L จะไม่เท่ากับ I_N ทำให้เกิดผลต่างระหว่างกระแสขึ้นใน Sensor เหนี่ยวนำทำให้ Triping Device สั่งปลดวงจร



รูปที่ 6-23 วิธีการต่อ Earth Leakage CB. ของ SQUARE D

เอกสารประกอบการสอนวิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้า



วิธีการติดตั้ง Consumer Unit ที่มีสายดิน

รูปที่ 6-26 การติดตั้ง Consumer Unit ที่มีสายดิน

1. เมน 2 สาย 10 kA มีขนาดแอมแปร์ให้เลือกตามมิเตอร์ของการไฟฟ้า
2. Bus Bar สำหรับวงจรขนาด 100 A ด้วยระบบ Plug – in
3. Neutral Lug (N) มีช่องเข้าสายเท่ากับจำนวนวงจรย่อยของรุ่นนั้นๆ
4. Ground Bar (G)
5. ลูกย่อย 1 Pole
6. ลูกย่อยกันดูดเฉพาะ 1 Pole

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี ลาภเจริญ

6.1.6 หม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง

ประเภทของหม้อแปลง สามารถแบ่งได้ 2 ประเภทคือ

- Auto Transformer
- Isolating Transformer

Auto Transformer เป็นหม้อแปลงที่ขดลวดทางด้าน Primary มีการเชื่อมต่อวงจรทางไฟฟ้ากับขดลวดทางด้าน Secondary ประโยชน์การใช้งานของหม้อแปลงแบบนี้คือ สามารถปรับค่าแรงดันไฟฟ้าได้ตามต้องการ ใช้ในวงจรหรี่ไฟแสงสว่าง ใช้ในระบบ Motor Control ในวงจร Star Motor คือ Auto Transformer Starter

Isolating Transformer เป็นหม้อแปลงไฟฟ้าที่ใช้กันทั่วไป วงจรของ Primary จะแยกขาดจากขดลวดด้าน Secondary

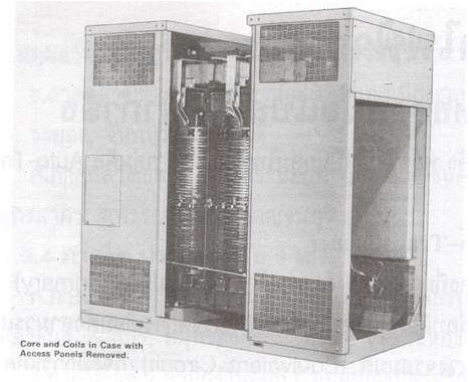
ชนิดของหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง

โดยทั่วไปหม้อแปลงไฟฟ้าที่จะใช้เป็นประเภท Isolating Transformer มีหลายชนิดดังนี้

ก) หม้อแปลงไฟฟ้าชนิดแห้ง (Dry Type)
ข) หม้อแปลงไฟฟ้าชนิดหล่อแห้ง (Cast Rasin Type)
ค) หม้อแปลงไฟฟ้าชนิดก๊าซ (SF_6 Type)
ง) หม้อแปลงไฟฟ้าชนิดแช่ในฉนวนทนไฟไหม้ (Synthetic Liquid Immersed Type)
จ) หม้อแปลงไฟฟ้าชนิดแช่ในน้ำมัน (Oil Immersed Type)

ก) หม้อแปลงไฟฟ้าชนิดแห้ง (Dry Type) เป็นรุ่นแรกๆ ของหม้อแปลงไฟฟ้า ปัจจุบันงานด้านไฟฟ้ากำลังได้เลิกใช้งานแล้ว คงมีใช้ในวงจรควบคุมเล็กๆ และในงานอิเล็กทรอนิกส์เท่านั้น

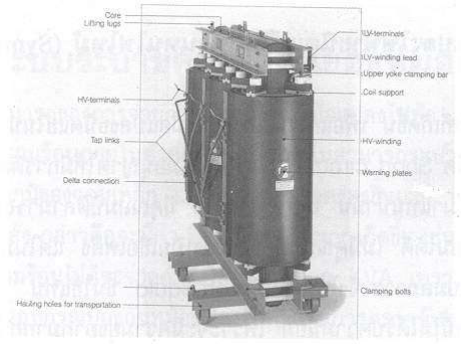
โครงสร้างหม้อแปลงจะมีขนาดใหญ่ ฉนวนเป็นอากาศระบายความร้อนสู่อากาศโดยตรง มีความทนทานในการใช้งานดี แต่มีข้อจำกัดในการที่ไม่สามารถรับแรงดันไฟฟ้าได้สูงๆ



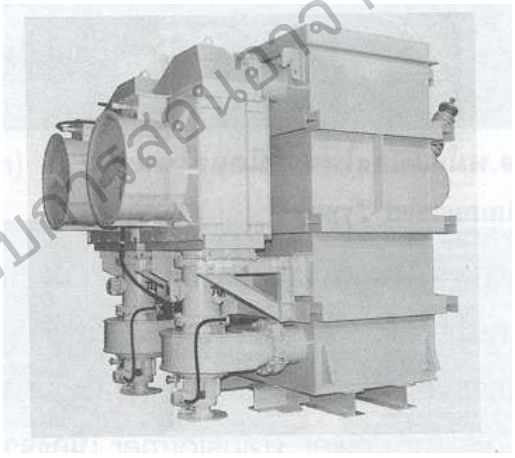
เอกสารประกอบการเรียนวิชาเครื่องกรุยมนตรี เงาเดช

ข) หม้อแปลงไฟฟ้าชนิดหล่อแห้ง (Cast Rasin Type) ใช้เทคนิคการหล่อแห้งแบบเสริมใยแก้ว และ Rasin ให้เหลือน้อยที่สุด เพื่อป้องกันการเกิด Insulation Failure

หม้อแปลงชนิดนี้เหมาะกับการติดตั้งภายในอาคาร ทั้งแบบติดตั้งเปลือยภายในห้องและแบบติดตั้งภายในตู้หม้อแปลง หม้อแปลงไม่ไหม้ไฟ และไม่ก่อให้เกิดก๊าซพิษ



ค) หม้อแปลงไฟฟ้าชนิดก๊าซ (SF_6 Type) ใช้ก๊าซ SF6 มาใช้ฉนวนไฟฟ้า ความนิยมไม่แพร่หลาย เนื่องจากมีราคาสูง ข้อดีของหม้อแปลงชนิดนี้คือ มีขนาดเล็ก รับแรงที่เกิดจาก Short Circuit ได้ดี ลดปัญหาในการซ่อมบำรุง ยกเว้นในส่วนของการตรวจสอบแรงดันก๊าซ ที่ต้องให้อยู่ในระดับปกติ ในกรณีเกิดเกิดก๊าซรั่วจะมีอุปกรณ์เตือนและตัดหม้อแปลงไฟฟ้าออกจากการใช้งาน



เอกสารประกอบการสอนอาจารย์ณัฐวุฒิ ทาเดช

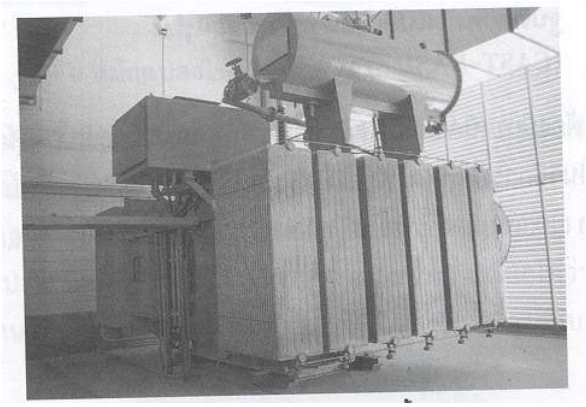
ง) หม้อแปลงไฟฟ้าชนิดแช่ในฉนวนทนไฟไหม้ (Synthetic Liquid Immersed Type) ใช้ฉนวนที่เรียกว่า “Askarel” แทนน้ำมัน ซึ่งเป็นฉนวนไฟฟ้าไม่เป็นเชื้อเพลิง ไม่อนุญาตให้ติดตั้งภายในอาคาร

Askaral มีคุณสมบัติเป็นฉนวนไฟฟ้าและถ่ายเทความร้อนได้ดี ไม่เป็นเชื้อเพลิง แต่ภายหลังพบว่า Askarel จะสร้างปัญหามลภาวะ จึงคิด Silicon Liquid มาใช้แทน

หม้อแปลงชนิดนี้ยังไม่เป็นที่นิยม เพราะมีความยุ่งยากมากกว่าการใช้ Cast Rasin Type

จ) หม้อแปลงไฟฟ้าชนิดแช่ในน้ำมัน (Oil Immersed Type) ใช้ Mineral Oil เป็นฉนวนไฟฟ้าและถ่ายเทความร้อนจากลวดทองแดง แกนเหล็ก ออกสู่ภายนอกใช้แรงดันได้ระดับสูง

หม้อแปลงแบบนี้มีราคาถูกจึงนิยมใช้แพร่หลาย ใช้ติดตั้งภายนอกอาคารทั้งบนเสาและติดตั้งบนพื้น การติดตั้งไม่อนุญาตภายในอาคาร เนื่องจากน้ำมันเป็นเชื้อเพลิงและมีโอกาสลุกไหม้ เมื่อมีการ Shot Circuit รุนแรง



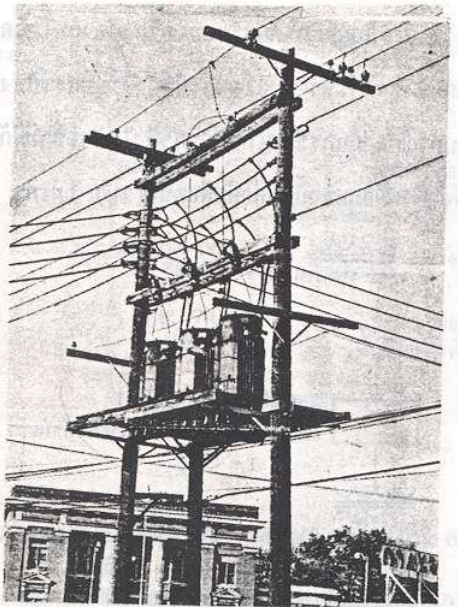
หม้อแปลงชนิดนี้ โดยทั่วไป มี 2 แบบ คือ

- Seal Tank ถังน้ำมันปิดสนิท ภายหลังเติมน้ำมันเรียบร้อยแล้ว
- Conservator Tank คือชนิดเปิดที่ประกอบด้วยถังน้ำมันสำรอง เหนือตัวหม้อแปลง

ปัจจุบันการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคฯ ได้เริ่มกำหนดการใช้หม้อแปลงแบบ Conservator Tank เพราะสะดวกในการดูแล คือไม่ต้องคอยดูระดับน้ำมัน และอุปกรณ์ตรวจจับความชื้น (Silica gel) แต่จะต้องมีระบบการระบายก๊าซที่เกิดขึ้นฉับพลันเมื่อมีการ Short Circuit อย่างรุนแรง

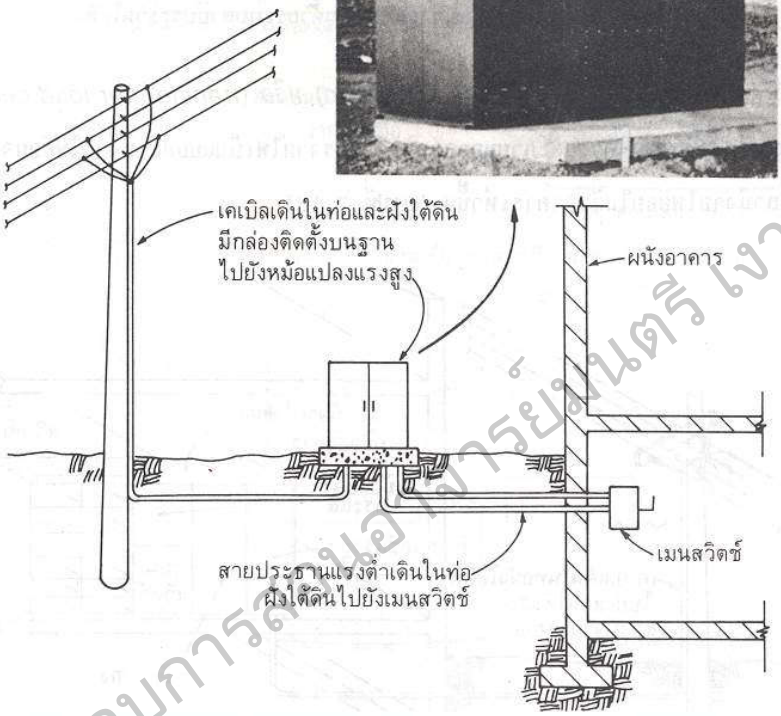
<u>การติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้า</u>

ก) ติดตั้งบนเสาไฟฟ้า



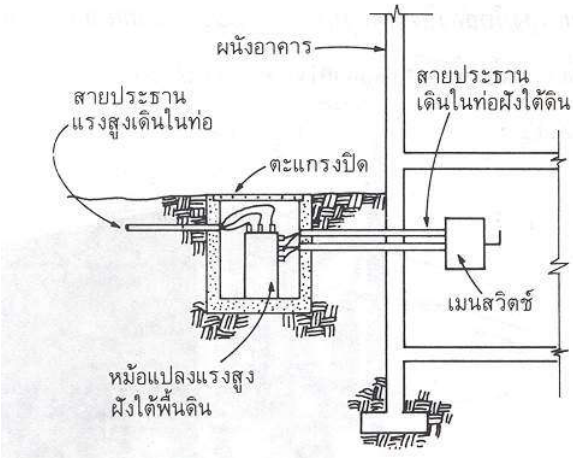
เอกสารประกอบการสอนวิทยาลัยเทคนิคเงาเดช

ข) ติดตั้งบนพื้นดิน

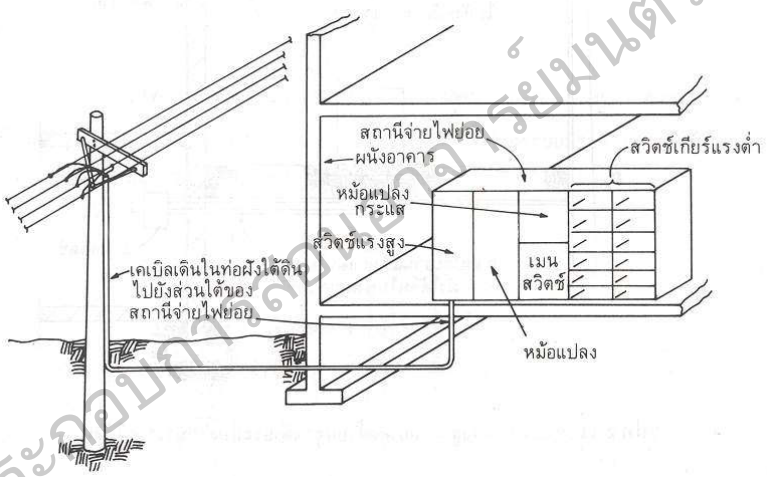


เอกสารประกอบการสอน ภาณุ ภาร์ยมันตรี เงาเดช

ค) ติดตั้งใต้ดิน



ง) ติดตั้งในอาคาร



เอกสารประกอบการสอนของกรมพลศึกษา กระทรวงวัฒนธรรม

6.1.7 แผงควบคุมไฟฟ้า

แผงควบคุมไฟฟ้ามีความจำเป็นอย่างยิ่งในการป้องกันระบบไฟฟ้าภายในอาคาร อันที่จะสร้างความเสียหายให้แก่ชีวิตและทรัพย์สินได้ รวมไปถึงการตัดตอนวงจรในการบำรุงรักษาและซ่อมแซมระบบไฟฟ้าให้มีประสิทธิภาพ

- แผงควบคุมไฟฟ้าหลัก (Main Distribution Board) , MDB
- แผงควบคุมไฟฟ้ารอง (Sub Distribution Board) , SDB , (Distribution Board) , DB
- แผงควบคุมไฟฟ้าย่อย (Load Panel) , LP
- แผงสวิทซ์ควบคุมมอเตอร์ (Motor Control Center) , MCC

แผงควบคุมไฟฟ้าหลัก (Main Distribution Board) , MDB เป็นตู้ควบคุมไฟฟ้าที่ทำมาจากเหล็กประกอบกับโครงสร้างที่เป็นเหล็ก ภายในประกอบด้วยอุปกรณ์ป้องกัน อุปกรณ์ควบคุม และเครื่องวัดต่างๆ

ตัวตู้จะต้องมีความแข็งแรงสามารถรับน้ำหนักของอุปกรณ์ภายในตู้ได้ มีช่องระบายความร้อนที่เกิดขึ้นได้ ภายในตู้จะประกอบด้วยส่วนสำคัญต่างๆ ดังนี้

- เมนเซอร์กิตเบรคเกอร์ (Main Circuit Breaker) MCB เป็น CB แบบ 3Pole ทำหน้าที่ตัดตอนระบบไฟฟ้าทั้งหมดของอาคาร เป็นอุปกรณ์ป้องกันตัวแรกที่รับกระแสมาจากหม้อแปลงไฟฟ้าหรือไฟฟ้าจากภายนอกอาคาร โดย MCB จะมีขนาดพิกัด AT สูงที่สุดในตู้ และเหมาะสมกับพิกัดของกระแสหม้อแปลง

- เซอร์กิตเบรคเกอร์รอง (Sub Circuit Breaker) มีทั้งแบบ 2Pole และ 3Pole ขึ้นอยู่กับภาระของ วงจรว่าเป็นระบบใด ใช้ป้องกันตู้ควบคุมรองหรือตู้ควบคุมย่อยในแต่ละส่วนของอาคาร มีพิกัด AT ต่ำกว่า MCB และมีขนาด AT ตาม Load ที่ตู้ควบคุมนั้นควบคุมอยู่ มีจำนวนมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับจำนวนตู้ควบคุมรอง , ตู้ควบคุมย่อยหรือส่วนที่ต้องการควบคุม

MOLDED CASE CIRCUIT BREAKERS

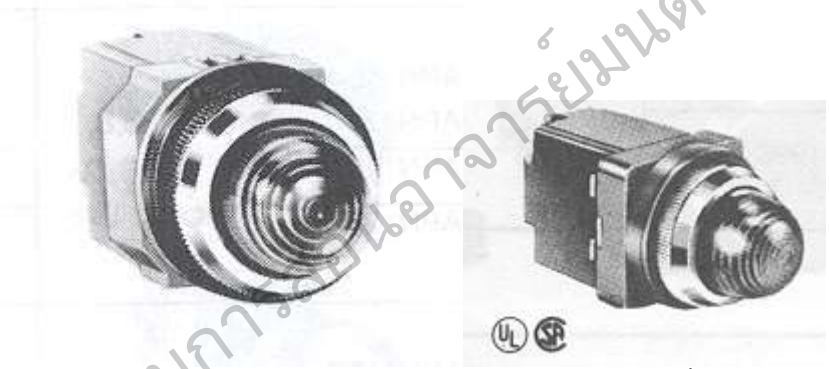
เอกสารประกอบการสอน อ.ณรงค์ฤทธิ์ เงาเดช

- บัสบาร์ เป็นแท่งทองแดง เชื่อมต่อกันระหว่างเมนเซอร์กิตเบรคเกอร์กับเซอร์กิตเบรคเกอร์รองตัวอื่นๆ ภายในตู้ทนกระแสได้สูงมาก และสามารถจัดวางได้ดีกว่าการใช้สายไฟฟ้า และจะมีการทาสีตามเฟสของระบบไฟฟ้าคือ

เฟส A	=	สีแดง
เฟส B	=	สีเหลือง
เฟส C	=	สีน้ำเงิน
สายศูนย์ N	=	สีขาว
สายดิน G	=	สีเขียว

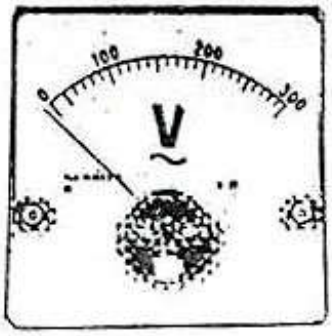
ขนาดพิกัดกระแสของบัสบาร์จะมีขนาดมากกว่าหรือเท่ากับขนาดพิกัด AT ของเมนเซอร์กิตเบรคเกอร์

- Pilot Lamp เป็นหลอดไฟฟ้าที่ใช้แสดงสถานะของระบบไฟฟ้า เช่น กรณีไฟฟ้าจากการไฟฟ้าฯ ดับหลอด Pilot Lamp จะดับลง หรือว่ากรณีที่เซอร์กิตเบรคเกอร์ตัดวงจร (Trip) ก็จะดับลงเช่นเดียวกัน สีของหลอดจะมี 3 สี เท่ากับจำนวนเฟส A , B , C ซึ่งก็จะเหมือนรหัสสีของบัสบาร์



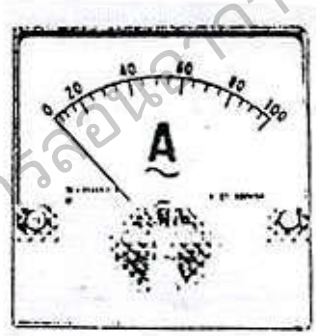
- Voltmeter ใช้วัดพิกัดแรงดันของระบบไฟฟ้า เป็น Voltmeter ที่ใช้งานเฉพาะการติดตั้งกับตู้ควบคุมไฟฟ้าโดยเฉพาะ

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เงาเดช



Type	Volt	Dimension	Accuracy	PRICE ฿
S-V 8	0-300 V 0-400 V 0-500 V 0-600 V	80x80 mm	class 2.5	220.-

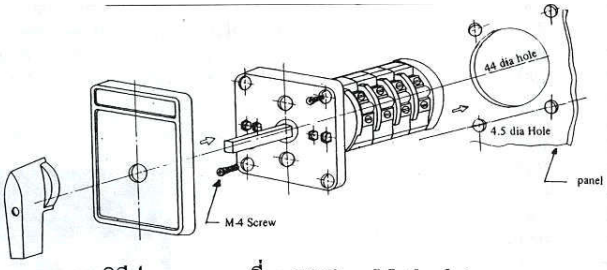
- Ampmeter ใช้วัดพิกัดกระแสของระบบไฟฟ้าที่อยู่ในอาคารทั้งหมด



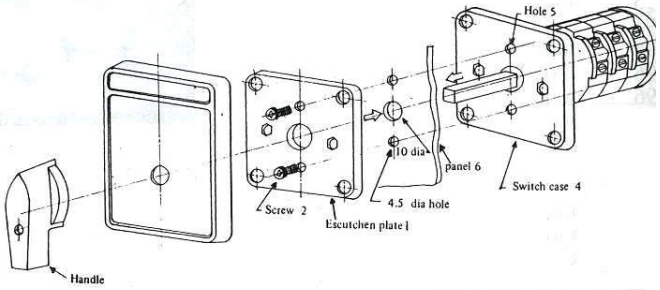
Type	Amp Range	Dimension	Accuracy	PRICE ฿
SA 8	0-5A, 0-10A, 0-15A, 0-20A, 0-30A 0-40A, 0-50A, 0-60A, 0-80A, 100A	80x80 mm	class 2.5	220.-
SA 8	0-50/5A, 0-60/5A, 100/5A, 150/5A, 200/5A, 0-300/5A, 400/5A, 500/5A, 600/5A			220.-

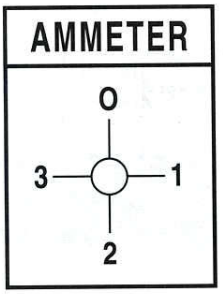
- Selector Switch เป็นสวิทช์ที่ใช้ในการเลือกค่าในการอ่านค่าพิกัดกระแสหรือพิกัดแรงดันตามส่วนต่างๆ ของระบบไฟฟ้าทั้งหมดของอาคาร โดยจะใช้ควบคู่กันกับ Voltmeter และ Ampmeter โดยจะเป็น Volt Selector Switch 1 ตัว และ Amp Selector Switch อีก 1 ตัว

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์เมนตรี เงาเดช

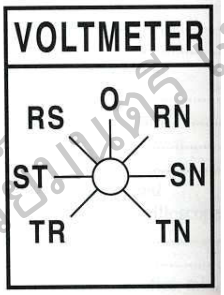


วิธีประกอบแบบที่ 2 Fitting Method 2





AMMETER Selector
CS-3 AC 280.- AMP.

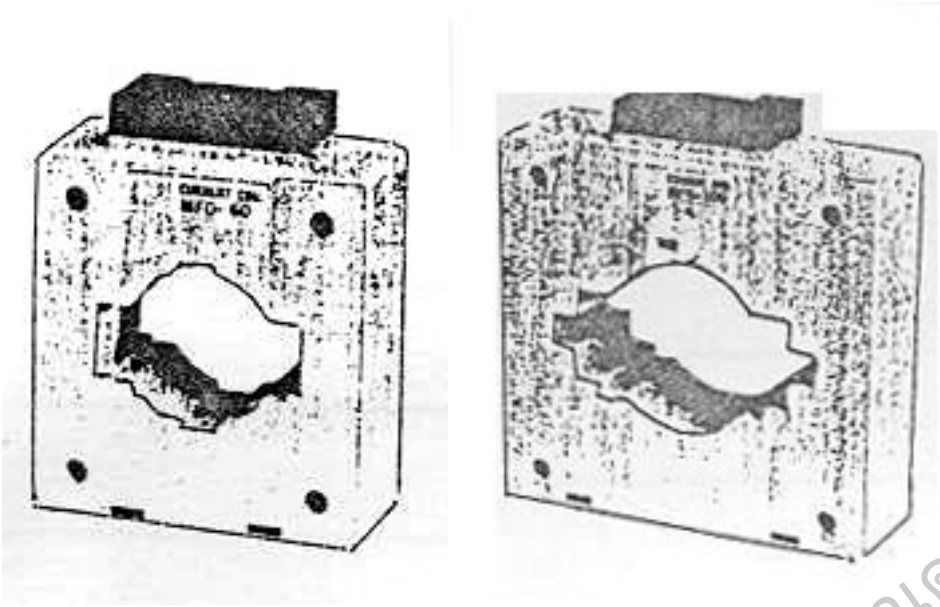


VOLTMETER Selector
CS-3 VC 280.- VOLT.

การใช้ Selector Switch ทำให้ลดจำนวนของ Ampmeter หรือ Voltmeter ลง แทนที่จะต้องติดตั้งตามจุดที่เราต้องการวัดค่าพิกัด ก็ใช้ Selector Switch นี้แทน

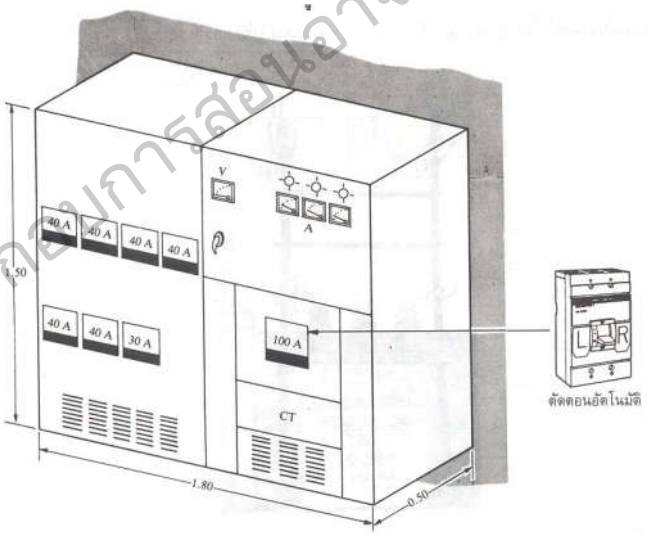
- Current Transformer , CT เนื่องจากกระแสในระบบมีค่าสูงมากเกินกว่าที่ Ampmeter จะสามารถวัดค่าได้ หรือหากวัดได้ต้องใช้ Ampmeter ที่มีขนาดใหญ่มากในการวัด ดังนั้น CT จึงถูกนำมาใช้ เพื่อช่วยในการลดพิกัดกระแสลงที่เหมาะสมสำหรับเครื่องวัดกระแส โดยจะใช้กับ Ampmeter เท่านั้น โดยปกติจะเหลือค่าพิกัดกะแสสูงสุดเพียง 5A เท่านั้น ซึ่งจะต้องใช้ Ampmeter ที่มีขนาด 5A ด้วยเช่นเดียวกัน CT จะติดตั้งในตู้จำนวนตามเฟสของระบบ เช่น ระบบ 3 เฟส ก็จะมี CT จำนวน 3 ตัวเช่นเดียวกัน การบอกขนาดของ CT จะบอกเป็น ค่ากระแสของระบบ / ค่ากระแสของเครื่องวัด เช่น 100A / 5A หมายความว่า CT สามารถแปลงค่ากระแสพิกัดได้สูงสุด 100A และลดลงเหลือเต็มพิกัดที่ 5A และจะต้องใช้กับ Ampmeter ขนาด 0-100A เป็นต้น

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี จงเดช

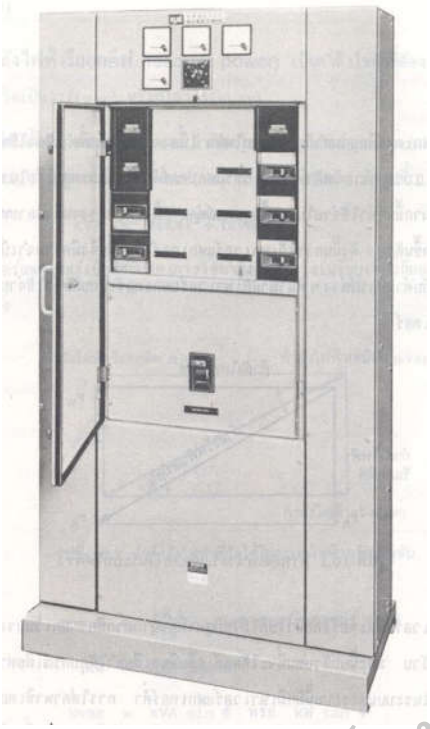


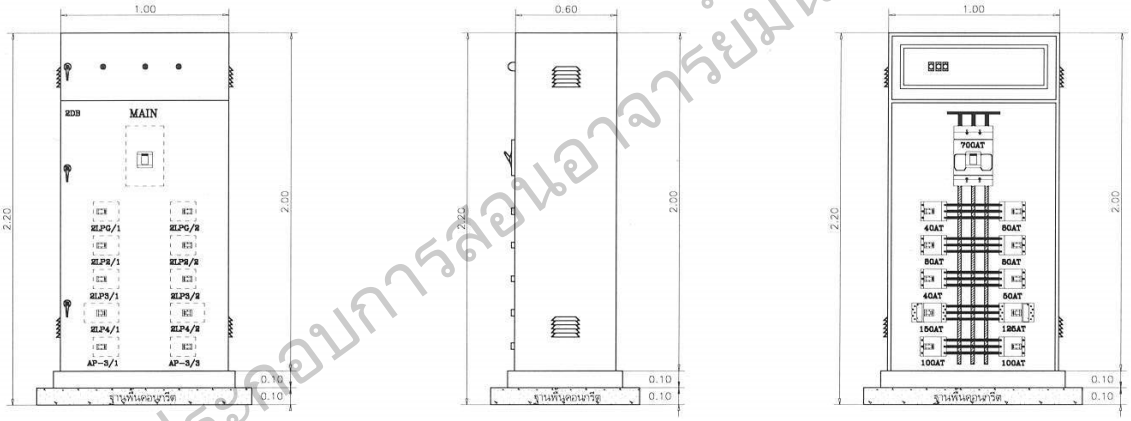
- อุปกรณ์อื่นๆ เช่น Wattmeter , Power Factor meter , Kwh meter , Capacitor , ATS (Autometic Transfer Switch = ใช้กับการตัดต่อวงจรของหม้อแปลงที่รับไฟฟ้าจากการไฟฟ้าฯ และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า กรณีที่ต้องการใช้กำลังไฟฟ้าอย่างต่อเนื่อง)

ตู้ MDB ส่วนมากจะมีขนาดใหญ่ ดังนั้นในการติดตั้งในอาคารจึงมักติดตั้งวางบนพื้น โดยจะต้องทำฐานคอนกรีตสำหรับวางตู้ MDB และทำช่องสำหรับวางสายไฟฟ้าด้วย



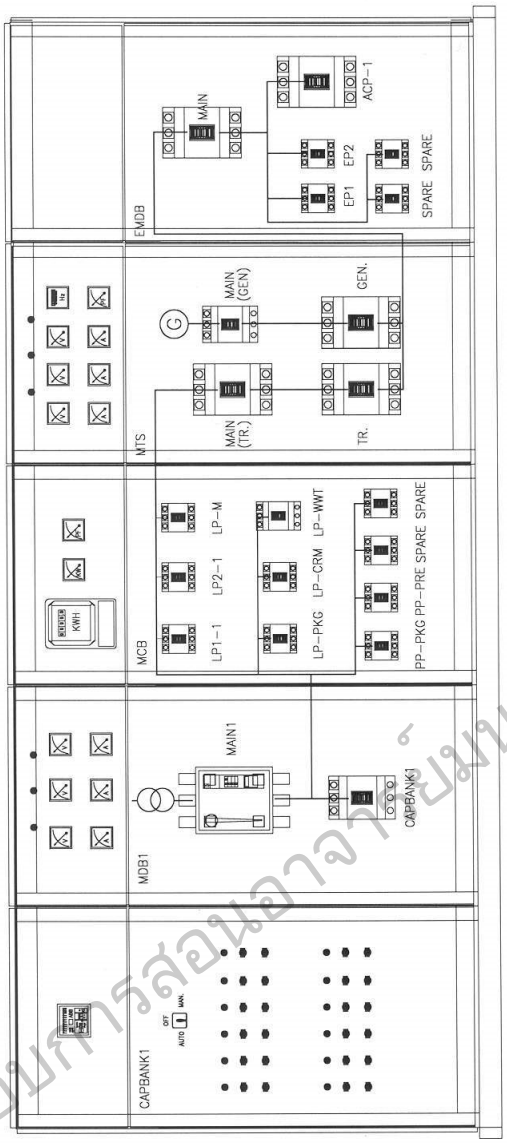
เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เจาเดช





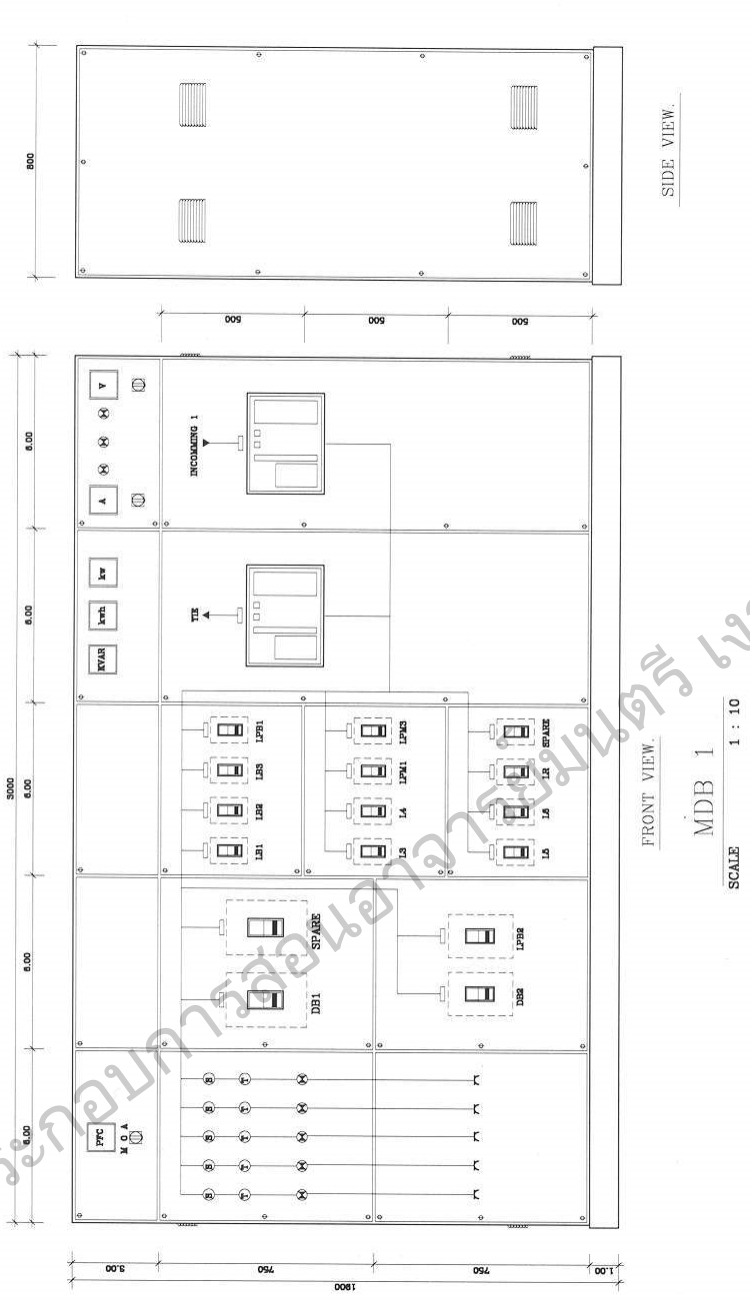
FRONT VIEW SIDE VIEW SECTION

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เงาเดช



MDB1. FACE LAYOUT

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เงาเดช

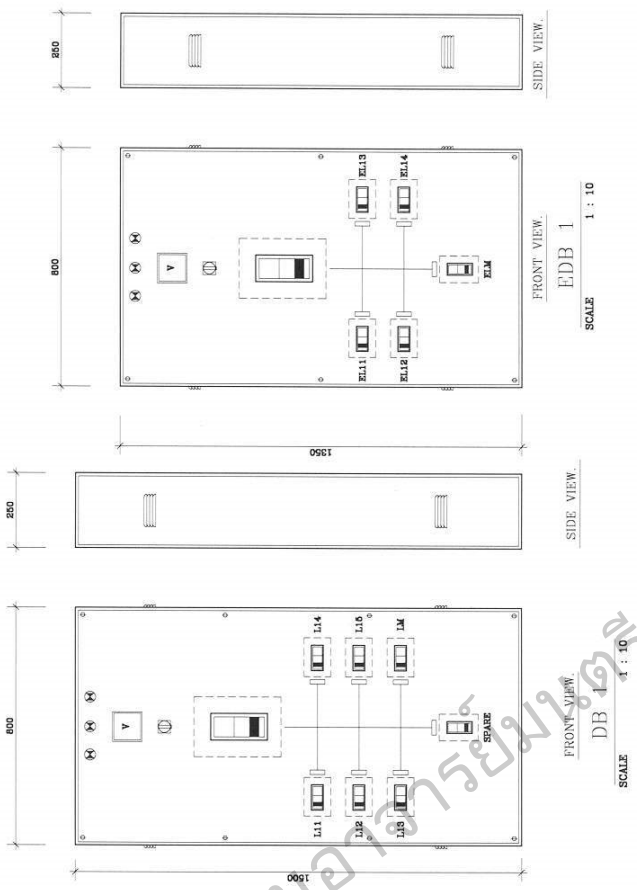


เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เงาเดช

แผงควบคุมไฟฟ้ารอง (Sub Distribution Board) , SDB , (Distribution Board) , DB

จะมีลักษณะและส่วนประกอบคล้ายกันกับตู้ MDB แต่จะมีพิกัดของอุปกรณ์ตัดตอนเล็กกว่า ดังนั้นขนาดโครงสร้างจึงเล็กกว่า การติดตั้งจึงสามารถวางบนพื้นหรือวางติดผนังได้ ใช้ในการควบคุมในส่วนที่ต้องการควบคุมส่วนทีเฉพาะลงไปอีก เช่น ควบคุมระบบไฟฟ้าของชั้นต่างๆ ในอาคารสูง หรือ ควบคุมระบบไฟฟ้าของอาคารที่อยู่ติดกันที่มีขนาดเล็กกว่า โดยจะถูกควบคุมที่เซอร์กิตเบรคเกอร์ที่ติดตั้งในตู้ MDB อีกชั้นหนึ่ง

เอกสารประกอบการสอน ... เงาเดช



แผงควบคุมไฟฟ้าย่อย (Load Panel) , LP

เป็นแผงสวิทช์ที่ใช้ควบคุมส่วนของวงจรไฟฟ้าย่อยในส่วนที่ต้องการควบคุมหรือในห้องที่ต้องการควบคุม Load Panel จะมีเซอร์กิตเบรคเกอร์หลายๆ ตัววางเรียงกันอยู่ในกล่องเหล็กจึงทำให้แผงมีขนาดเล็กเมื่อเทียบกับจำนวนวงจรที่มันป้องกันอยู่ ในบางอาคารจะไม่มี SDB ก็จะใช้ Load Panel นี้ทำหน้าที่แทน เช่นเดียวกับ SDB

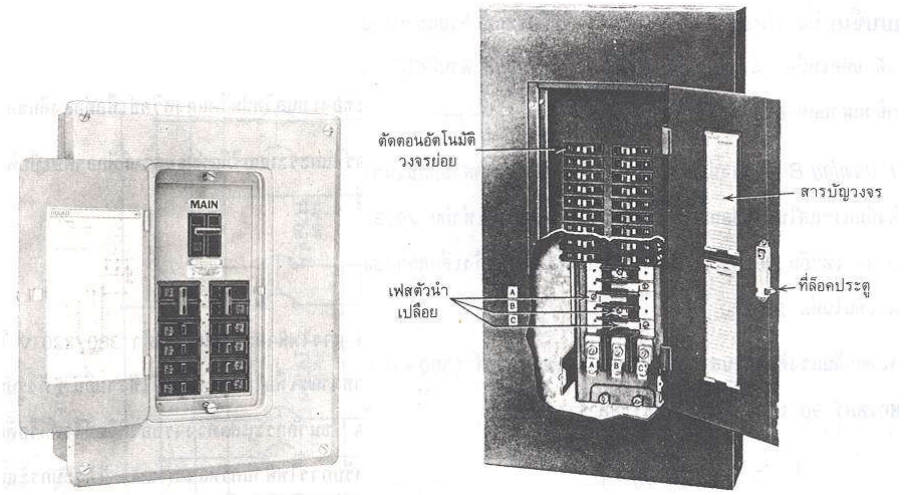
Load Panel สามารถแบ่งเป็น 2 แบบคือ

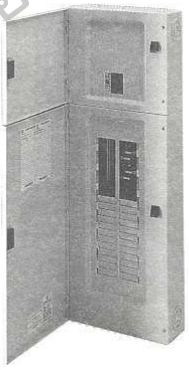
- Load Panel 3 Phase เรียกว่า Load Center , LP
- Load Panel 1 Phase เรียกว่า Consumer Unit , CU

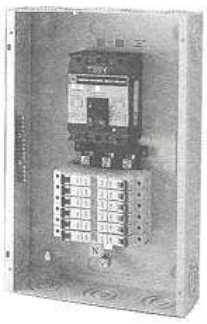
<u>Load Center</u>

Load Center ที่มีเมนเซอร์กิตเบรคเกอร์อยู่ภายในตัวเองและป้องกันเซอร์กิตเบรคเกอร์อื่นๆ ทั้งหมดในแผงเรียกว่า เป็นแบบ Main Breaker

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์ยงยุทธ เงาเดช







เอกสารประกอบการสอนอาจารย์นที ไงาเดช

3 Phase, 4Wire, S/N 240/415 Vac.

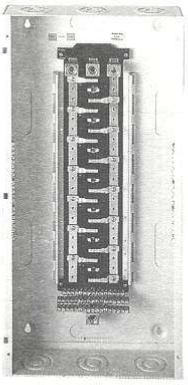
อุปกรณ์ควบคุมไฟฟ้า 3 เฟส 4 สาย 240/415 โวลท์ แบบมีเมน 100A และ 225A หากใช้วงจรย่อยรุ่น QOE 10 KA สามารถใช้เป็นแผงประจำอาคารชุดได้ตามกฎของการไฟฟ้า

Number of Way จำนวนวงจรย่อย	Catalog Number Branch Circuit Not Included ราคาไม่รวมวงย่อย	Specify Ampere Of Main ระบุแอมแปร์ของเมนที่ต้องการ	Price per set with Main ราคาต่อชุดพร้อมเมน
เมนรุ่น FALทนกระแสไฟฟ้าฉับพลัน (IC)ได้ 18KA			
12	QO3-100MB12G/S	BAR 100A	6,400.-
18	QO3-100MB18G/S	รุ่น FAL*	7,200.-
24	QO3-100MB24G/S	15,20,30,40,50,60,	7,600.-
30	QO3-100MB30G/S	70,80,90,100A	8,000.-
* ถ้าต้องการเปลี่ยนเมน เป็นรุ่น FHL 25 KA เพิ่มราคาอีก 200.- บาท * ถ้าต้องการเปลี่ยนเมน เป็นรุ่น FCL 65 KA เพิ่มราคาอีก 2,200.- บาท			
เมนรุ่น KALทนกระแสไฟฟ้าฉับพลัน (IC) ได้ 25 KA			
12	QO3-225MB12G/S		11,500.-
18	QO3-225MB18G/S	BAR 225A	12,000.-
24	QO3-225MB24G/S	รุ่น KAL*	12,800.-
30	QO3-225MB30G/S	125,150,175,200,225A	13,200.-
36	QO3-225MB36G/S		13,800.-
42	QO3-225MB42G/S		14,300.-
* ถ้าต้องการเปลี่ยนเมน เป็นรุ่น KHL 35 KA เพิ่มราคาอีก 4,500.- บาท * ถ้าต้องการเปลี่ยนเมน เป็นรุ่น KCL 65 KA เพิ่มราคาอีก 6,500.- บาท			
หากต้องการใช้เป็น 1 เฟส 2 สาย ให้เปลี่ยนเมน เบรกเกอร์เป็นแบบ 2 โพล แล้วใช้ 1 โพล เป็น Neutral			

QO 3-225 MB 36 G/S WITH QOH-X

Main Breaker Type with QO-E

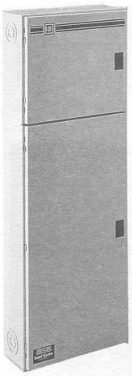
Load Center ที่มีไม่เมนเซอร์กิตเบรคเกอร์อยู่ภายในตัวเอง เรียกว่า เป็นแบบ Main Lug ซึ่งมักใช้กับตู้ควบคุมที่ติดตั้งอยู่ใกล้กับตู้ MDB เมื่อเทียบราคาแล้วจะมีราคาถูกกว่า แบบ Main Breaker



Main Lugs Type

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เงาเดช

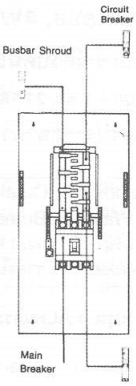
3 Phase, 4 Wire, S/N 240/415 Vac.

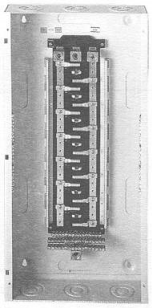


โหลดเซนเตอร์ของ สแควร์ ดี
มีให้เลือกทั้งแบบไม่มี เมน หรือ แบบ
มีเมนเซอร์กิตเบรกเกอร์ ขนาด 100A และ 225A
ใช้กับบ้านขนาดใหญ่, โรงงานอุตสาหกรรม หรือ
ใช้เป็นแผงประจำชั้นของอาคารสูง

* * * * * * *

อุปกรณ์ควบคุมไฟฟ้า 3 เฟส 4 สาย
240/415 โวลท์ แบบไม่มีเมน (Main Lug)





Main Lugs Type

Number of Way จำนวนวงจรย่อย	Catalog Number Branch Circuit Not Included ราคาไม่รวมวงย่อย	Specify Ampere of Main ระบุแอมแปร์ของเมนที่ต้องการ	Price per set with Main ราคาต่อชุดพร้อมเมน
แบบ Main Lugs 100 A และ 225 A			
12	QO3-100L12 G/S		2,500.-
18	QO3-100L18 G/S	100A	2,800.-
24	QO3-100L24 G/S	MAIN LUG	3,400.-
30	QO3-100L30 G/S		3,700.-
12	QO3-225L12 G/S		3,000.-
18	QO3-225L18 G/S		3,800.-
24	QO3-225L24 G/S	225A	4,300.-
30	QO3-225L30 G/S	MAIN LUG	4,600.-
36	QO3-225L36 G/S		5,200.-
42	QO3-225L42 G/S		5,500.-

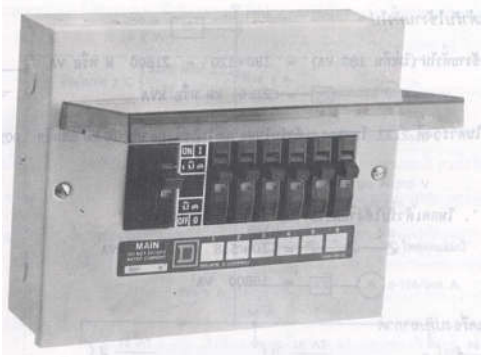
ราคา 1 เฟส จะเท่ากับ 3 เฟส โดยเปลี่ยน รุ่น QO3 เป็น QO1 หรือจะใช้เป็นแบบ 3 เฟสเป็น 1 เฟส โดยเข้าสายเดียวกันทั้ง 3 เฟส

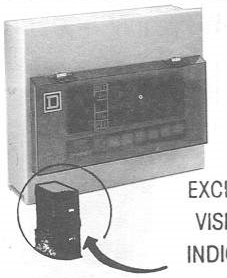
ขนาดของ Load Center จะมีขนาดตามวงจรที่ใช้ในการควบคุมให้เลือกใช้ และขนาดของเมนเซอร์กิตเบรคเกอร์ (หากเป็นแบบ Main Breaker) หรือตามขนาดกระแสของ Main Lug (หากเป็นแบบ Main Lug) โดยจะมีจำนวนวงจรควบคุมให้เลือกใช้คือ ตั้งแต่ 12cct , 18cct , 24cct , 30 cct , 36cct และ 42cct (cct=จำนวนวงจรย่อย) ซึ่งหากมีวงจรมากเกินกว่า 42 วงจรจะต้องทำการติดตั้งตู้เพิ่มเติม

Consumer Unit

จะใช้กับระบบไฟฟ้า 1 เฟส 2 สาย 240V โดยมีขนาดให้เลือกใช้ตามแต่ผู้ผลิตจะสร้างขึ้นมาก เช่น 2cct , 4 cct , 6cct , 8cct , 12cct , 16cct เป็นต้น หรืออาจจะมีแบบพิเศษเพื่อรองรับการควบคุมที่หลากหลายขึ้นเช่นแบบ Split Bus Consumer Unit การใช้งานจะควบคุมในระบบไฟฟ้า 1 เฟส 2 สาย หรือในส่วนที่เล็กกว่า เช่น ภายในห้องนอน หรือ ในอาคารหอพักที่จะต้องมีการควบคุมระบบไฟฟ้าที่อิสระต่อกัน เป็นต้น

เอกสารประกอบการสอน อาจารย์มนตรี เงาเดช





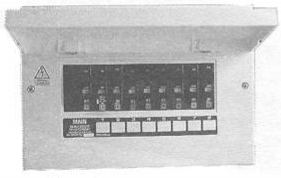
อุปกรณ์ควบคุมไฟฟ้า 1 เฟส 2 สาย 240 โวลท์

มีตัวเมน 2 สาย 10 KA ทุกขนาดแอมแปร์ให้เลือกใช้กับมิเตอร์ของการไฟฟ้า
ป้องกันกระแสไฟฟ้าลัดวงจร (ไฟช็อต) กระแสไฟเกิน กระแสไฟรั่ว
เมื่อวงจรทำงานผิดปกติจะตัดไฟโดยอัตโนมัติ และปรากฏแถบสีแดง ให้เห็นชัดเจน

VS 2G

VS 4G

รุ่น QO 1-6G W/MBX



รุ่น QOS 8 W/MBX

Number Of Way จำนวนวงจรย่อย	Catalog Number Branch Circuit Not Included ราคาไม่รวมวงจรย่อย	Specify Ampere Of Main ระบุแอมแปร์ของเมนที่ต้องการ	Price per set with Main ราคาต่อชุดพร้อมเมน
รุ่นประหยัดพร้อมเมน MBX ป้องกันไฟฟ้าลัดวงจรและกระแสไฟฟ้าเกิน ✳			
2	VS 2G - MBX	16,20,32,45A	1,200.-
4	VS 4G - MBX		1,400.-
รุ่นธรรมดาพร้อมเมน MBX ป้องกันไฟฟ้าลัดวงจรและกระแสไฟฟ้าเกิน			
4	QO1-4G W/MBX	16,20,32,45A	1,600.-
		63,70,80,100A	2,000.-
6	QO1-6G W/MBX	16,20,32,45A	1,700.-
		63,70,80,100A	2,100.-
8	QO1-8G W/MBX	16,20,32,45A	1,800.-
		63,70,80,100A	2,200.-
12	QO1-12G W/MBX	16,20,32,45A	2,000.-
		63,70,80,100A	2,400.-
16	QO1-16G W/MBX	16,20,32,45A	2,200.-
		63,70,80,100A	2,600.-

Qwik line Consumer Unit

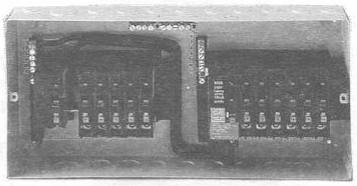
รุ่นพร้อมเมน MBX ป้องกันไฟฟ้าลัดวงจรและกระแสไฟฟ้าเกิน

4	QOS 4 W/MBX	16,20,32,45A	1,650.-
		63,70,80,100A	2,050.-
6	QOS 6 W/MBX	16,20,32,45A	1,750.-
		63,70,80,100A	2,150.-
8	QOS 8 W/MBX	16,20,32,45A	1,850.-
		63,70,80,100A	2,250.-
12	QOS 12 W/MBX	16,20,32,45A	2,050.-
		63,70,80,100A	2,450.-

เอกสารประกอบการสอน การยมมาตร เงาเดช

Split Bus Consumer Unit
With Main MBX & MBGX

ใช้กับบ้านขนาดใหญ่สามารถแยกการป้องกันเป็นสัดส่วน และอิสระขึ้น
มีเมนแยกเป็น 2 ส่วน
ส่วนที่ 1 MBX ป้องกันกระแสไฟฟ้าลัดวงจรและการใช้กระแสไฟฟ้าเกิน
ส่วนที่ 2 MBGX เพิ่มการป้องกันกระแสไฟฟ้ารั่ว (ตัดที่10mA) 0.02 วินาที



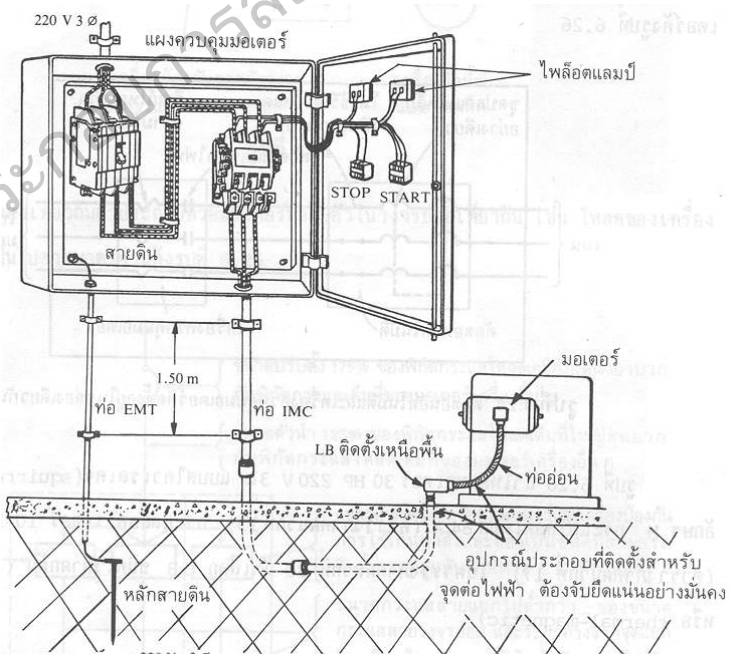
SPLIT PHASE DESIGN

Number Of Way จำนวน วงจรย่อย	Catalog Number Branch Circuit Not Included ราคาไม่รวมวงจรย่อย	Specify Ampere Of Main ระบุแอมแปร์ของ เมนที่ต้องการ	Price per set with Main ราคาต่อชุด พร้อมเมน
3+4	QO1-M3+RCL4 G	(M) 16,20,32,45A (RCL) 16,20,32A	5,500.-
3+5	QO1-M3+RCL5 G	(M) 63,70,80,100A (RCL) 32,45,63A	5,900.-
5+6	QO1-M5+ RCL6 G	(M) 16,20,32,45A (RCL) 16,20,32A	5,700.-
6+6	QO1-M6+ RCL6 G	(M) 63,70,80,100A (RCL) 20,32,45,63A	6,100.-

รุ่น QO 1-M5+RCL6G

แผงควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า (Motor Control Center) , MCC

เป็นตู้ควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้าที่เป็นตู้ที่ประกอบด้วยอุปกรณ์ควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า เช่น แมคเนติกส์คอนแทคเตอร์ , โอเวอร์โหลดรีเลย์ สวิทช์ปุ่มกด และ Plot Lamp หรือเซอร์กิตเบรคเกอร์ รวมทั้งสายต่อวงจรย่อย



เอกสารประกอบการสอนวิชาการเขียนแบบไฟฟ้า

ตารางโหลด (Load Schedule)

ตารางโหลดจะเป็นตัวที่บอกรายละเอียดให้เราทราบค่าต่างๆ ภายในระบบไฟฟ้า ซึ่งมีความจำเป็นเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องระบุในแบบระบบไฟฟ้า โดยจะมีทั้งที่เป็นของตู้ Load Center และ ตู้ Consumer Unit รวมไปถึงตู้ MDB โดยที่องค์ประกอบของตารางโหลดจะบอกค่าต่างๆ ดังนี้

- หมายเลขวงจร cct (Circuit Number) จะบอกเท่ากับจำนวนของวงจรย่อยของตู้ควบคุมไฟฟ้านั้นๆ

- รายละเอียดของวงจร (Disscription) เป็นตัวบอกว่าวงจรย่อยนั้นเป็นการควบคุมในโหลดชนิดใด เช่น โหลดแสงสว่าง (Lighting) โหลดเต้ารับ (Receptacle) โหลดเครื่องปรับอากาศ (Air condition) โหลดมอเตอร์ (Motor)

- ขนาดพิกัดของโหลด (VA) (โวลท์-แอมป์) หากเป็นตู้ 3 เฟส ก็จะมีทั้งเฟส A ,B ,C หากเป็นตู้ 1 เฟส ก็จะมีเพียงเฟสใดเฟสหนึ่ง

- ขนาด,ชนิด,จำนวนของสายไฟฟ้า เช่น 2x1.5 THW

- ขนาด,ชนิด,จำนวนของท่อร้อยสายไฟฟ้า

- ขนาดของท่อ AT / AF Circuit Breaker และ Pole ของ Circuit Breaker

- แผนภาพของวงจรตู้ควบคุมไฟฟ้า (Diagram)

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เงาเดช

LIGHTING PANEL SCHEDULE FOR GUARD HOUSE (LP)

CKT NO	WIRE SIZE (SQMM)	COND (INCH)	LOAD IN VA	DISCRIPTION	CB P	CB AT	CB AF	DIAGRAM
1	–	–	–	LIGHTING	1	10	30	1 PHASE 220V 50 HZ NEMA 1
2	–	–	–	LIGHTING	1	10	30	
3	–	–	–	LIGHTING	1	10	30	
4	–	–	–	LIGHTING	1	10	30	FROM CLP–1,CKT 7 MCB 2P10AT 50AF
5	–	–	–	LIGHTING	1	10	30	
6	–	–	–	LIGHTING	1	10	30	
				TOTAL CONNECTED LOAD	= 3386 VA			S/N NEMA1 ENCLOSURE
				TOTAL DEMAND LOAD (80%)	= 2709 VA			
				MAIN FEEDER 2–4 SQMM THW 750V 75 C				

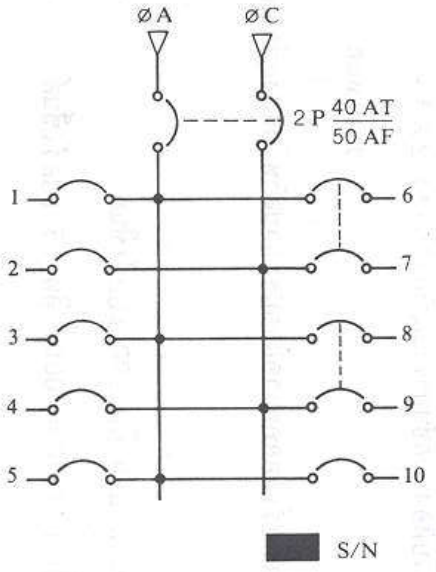
เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี บางเดช

สำหรับ : 1 ø 3 W 415/240 V, S/N
ที่ล้อม เนมา 1

ตารางโหลดแผงย่อย F

ติดตั้งกับผนัง

วงจรที่ ₵	รายละเอียด	โหลด (W)	ขนาดและชนิดตัวนำไฟฟ้า 75°C	ตัดตอนอัตโนมัติวงจรย่อย ขั้ว	AT	AF	แผนภาพ
1	เต้ารับ 5 @ 1 A	1100	2x1/c - 1.5 mm²	1	6	50	
2	เต้ารับ 4 @ 1 A	880	2x1/c - 1.5 mm²	1	6	50	
3	แสงสว่าง 2 @ 150 W; พัดลม 350 W	650	2x1/c - 1.5 mm²	1	6	50	
4	แสงสว่าง 2 @ 75 W; 1 @ 50 W	200	2x1/c - 1.5 mm²	1	6	50	
5	แสงสว่าง 1 @ 75 W; 2 @ 50 W; เต้ารับ 2 @ 1 A	615	2x1/c - 1.5 mm²	1	6	50	
6	เตาอบ	4800	3x1/c - 10 mm²	2	35	50	
7	เครื่องใช้หุงต้มตั้งโต๊ะ	6700					
8	เครื่องล้างจาน	1500	3x1/c - 2.5 mm²	2	10	50	
9	เครื่องกำจัดเศษอาหาร	600					
สายป้อน	กำลังไฟฟ้าทั้งหมด	17045					
	กำลังไฟฟ้าดีมานด์	13161	3x1/c - 10 mm²	2	40	50	



เอกสารประกอบการสอนเท่านั้น ห้ามใช้อ้างอิงในเชิงวิชาการ

CAPACITOR 30 CIRCUIT

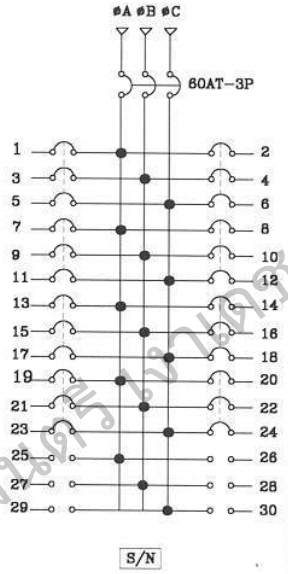
LOCATION , ROOF FL.

LOAD SCHEDULE " AP-2/1 "

BRANCE CB. 5kA. IC.

MOUNTING : SURFACE

CKT. NO	DISCRIPTION	CIRCUIT BREAKER			CONDUCTOR/CONDUIT			CONNECTED LOAD (VA)			DIAGRAM
		POLE	AT	AF	SIZE	TYPE	CON.	øA	øB	øC	
1								2000			
3	CF-G/6	3	20	50	4-4/2.5G	THW	3/4"IMC		2000		
5										2000	
7								2000			
9	CF-G/8	3	20	50	4-4/2.5G	THW	3/4"IMC		2000		
11										2000	
13								2000			
15	CF-G/10	3	20	50	4-4/2.5G	THW	3/4"IMC		2000		
17										2000	
19								2000			
21	CF-G/12	3	20	50	4-4/2.5G	THW	3/4"IMC		2000		
23										2000	
25	SPACE										
27	SPACE										
29	SPACE										
2								2000			
4	CF-G/7	3	20	50	4-4/2.5G	THW	3/4"IMC		2000		
6										2000	
8								2000			
10	CF-G/9	3	20	50	4-4/2.5G	THW	3/4"IMC		2000		
12										2000	
14								2000			
16	CF-G/11	3	20	50	4-4/2.5G	THW	3/4"IMC		2000		
18										2000	
20								2000			
22	CF-G/13	3	20	50	4-4/2.5G	THW	3/4"IMC		2000		
24										2000	
26	SPACE										
28	SPACE										
30	SPACE										
CONNECTED TO MDB		MAIN 100AT - 3P			3-50/25/10G	THW		16000	16000	16000	
					CONDUIT 2"EMT			48000			



เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เกษมสิทธิ์

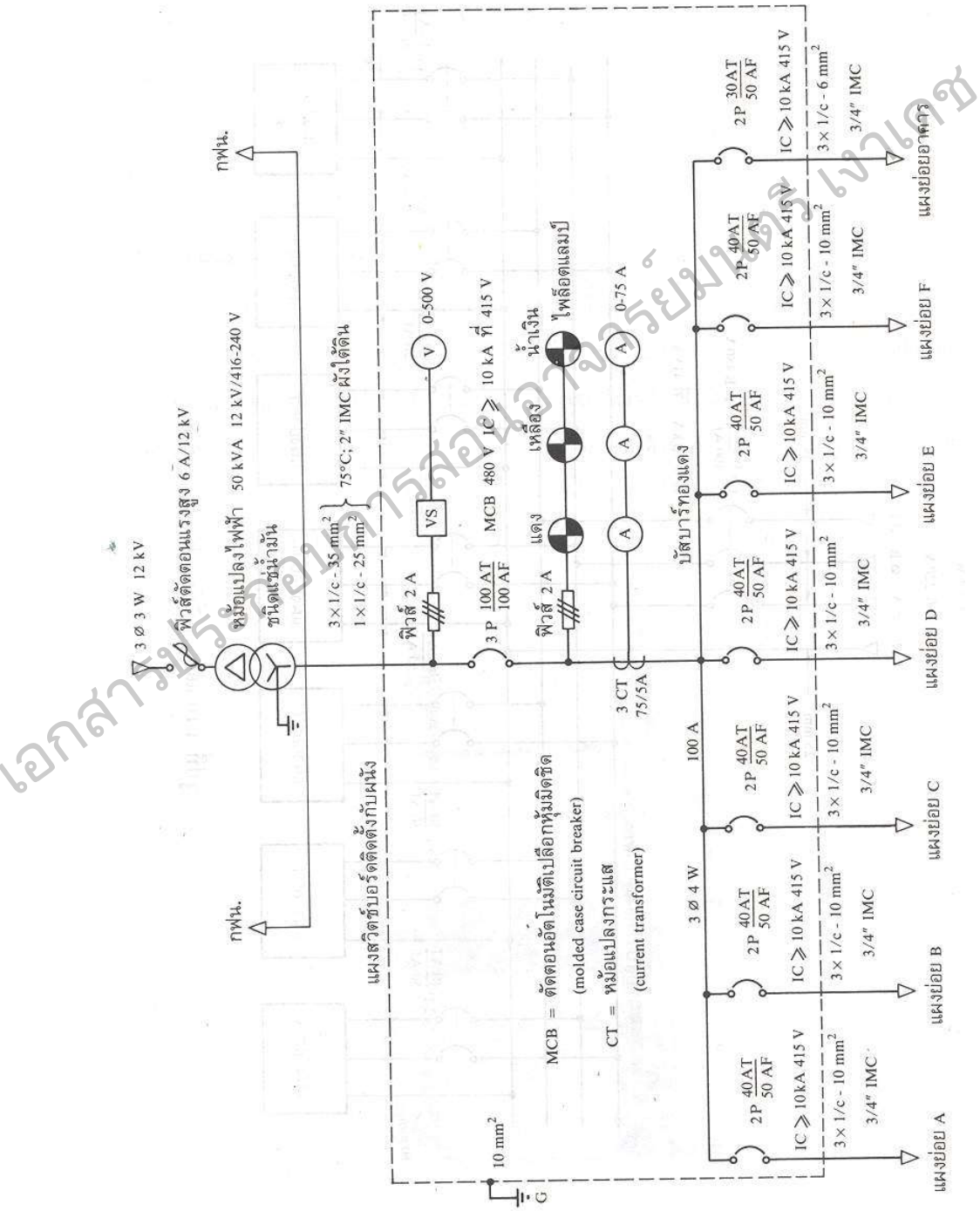
6.1.7 แผนผังระบบไฟฟ้า (Diagram)

แผนผังที่ใช้ในระบบไฟฟ้าภายในอาคาร (Diagram) มีใช้กันอยู่มี 2 แบบคือ

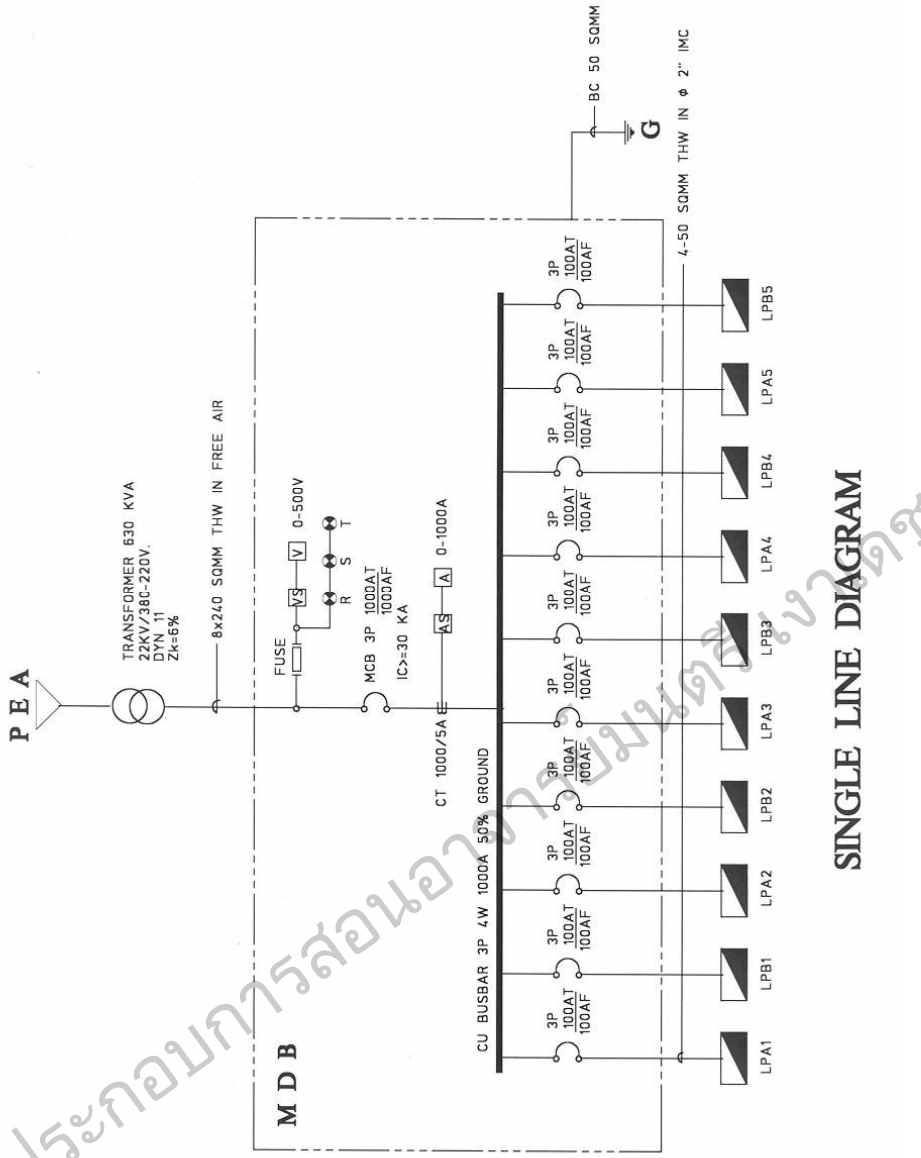
- Single Line Diagram
- Riser Diagram

Single Line Diagram

เป็นแบบที่แสดงการจ่ายไฟฟ้าภายในอาคารของตู้ MDB นับตั้งแต่หม้อแปลงไฟฟ้ามายังเมนเซอร์กิตเบรคเกอร์ของอาคารที่ติดตั้งในตู้ MDB และเซอร์กิตเบรคเกอร์ที่ควบคุมตู้ควบคุมรอง (SDB) และตู้ควบคุมย่อย (LP) ทั้งหมดของอาคารรวมทั้งอุปกรณ์เครื่องวัด , ขนาดพิกัดกระแส AT ของเมนเซอร์กิตเบรคเกอร์,เซอร์กิตเบรคเกอร์ที่ติดตั้งในตู้ MDB , ขนาดพิกัดกระแสของบัสบาร์ และชนิด , ขนาด,จำนวนของสายประธาน (Main Feeder) , สายป้อน (Feeder) , ขนาดพิกดัของหม้อแปลงไฟฟ้า



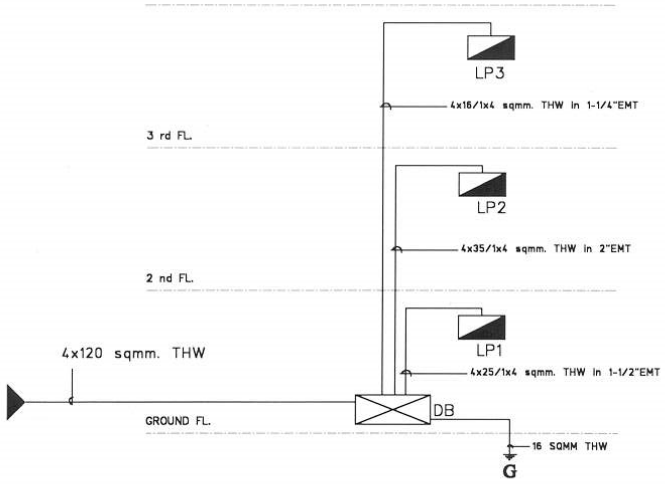
เอกสารประกอบการสอนวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า



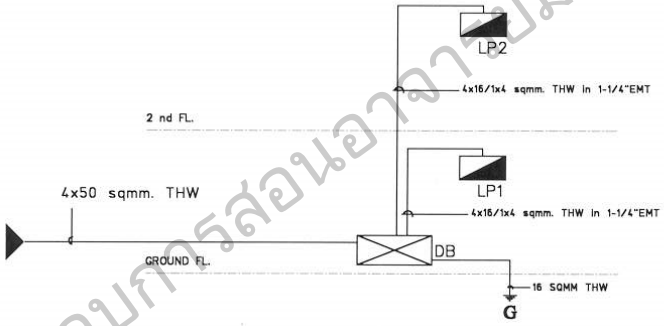
เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี งามดี

Riser Diagram

เป็นแบบแสดงโครงสร้างของระบบไฟฟ้าภายในอาคารจะแสดงอุปกรณ์หลักในระบบและสายป้อนในแนวดิ่งที่จ่ายไฟไปตามจุดหรือชั้นต่างๆ ของอาคาร พร้อมแสดงตู้ควบคุมหลัก (MDB) , ตู้ควบคุมรอง (SDB), ตู้ควบคุมย่อย (LP) ในแต่ละชั้น ดังรูป



RISER DIGRAM FOR OFFICE 1



RISER DIGRAM FOR OFFICE 2

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์ยมนตรี เงาเดช

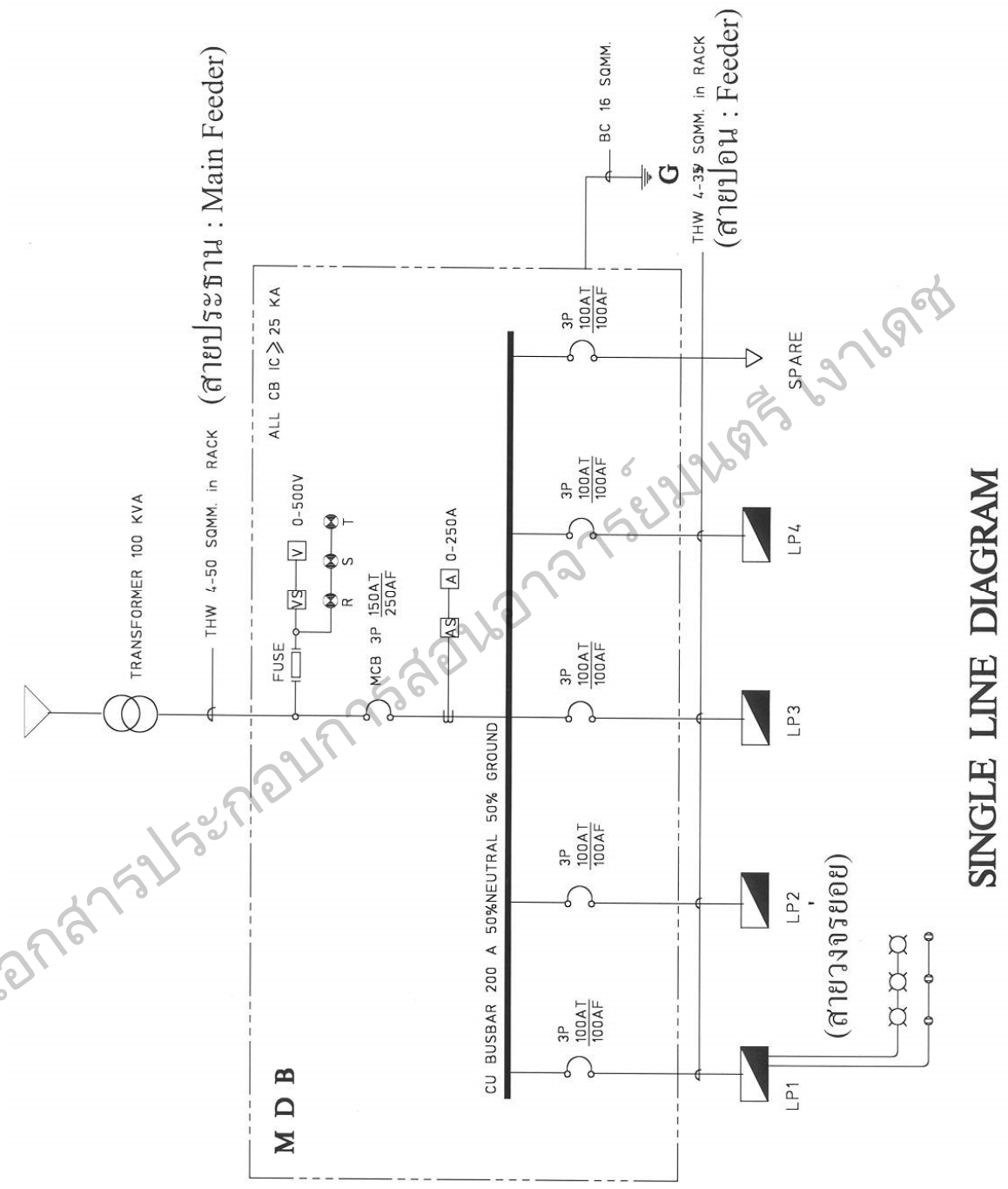
6.1.8 ระบบสายไฟฟ้าในอาคาร

ในอาคารจะต้องมีสายไฟฟ้าที่เชื่อมต่ออุปกรณ์ต่างๆ ในอาคารรวมไปถึงการเชื่อมต่อตู้ควบคุมไฟฟ้าต่างๆ เข้าด้วยกันซึ่งจะมีชื่อเรียกที่แตกต่างกันตามการติดตั้ง ได้แก่

<u>สายประธาน (Main Feeder)</u> เป็นสายที่ใช้ในการเชื่อมต่อตั้งแต่ด้าน Secondary หม้อแปลงไฟฟ้ามายังเมนเซอร์กิตเบรคเกอร์ของตู้ MDB

<u>สายป้อน (Feeder)</u> เป็นสายที่ใช้ในการเชื่อมต่อตั้งแต่ ตู้ MDB ซึ่งจะต่อออกมาจากเซอร์กิตเบรคเกอร์รองในตู้ MDB ไปยังเมนเซอร์กิตเบรคเกอร์ของตู้ SDB หรือ ตู้ Load Center , Consumer Unit

<u>สายวงจรย่อย</u> เป็นสายที่ใช้ในการเชื่อมต่อตั้งแต่ลูกเซอร์กิตเบรคเกอร์ย่อยใน ตู้ SDB หรือ ตู้ Load Center , Consumer Unit ไปยังวงจรไฟฟ้าแสงสว่าง , วงจรไฟฟ้ากำลัง , เต้ารับไฟฟ้า , เครื่องปรับอากาศ หรือ มอเตอร์ไฟฟ้า หรืออุปกรณ์ไฟฟ้าอื่นๆ



เอกสารประกอบการสอนอาจารย์ยนตรี เงาเดช

บทที่ 7

การออกแบบระบบไฟฟ้าและการคำนวณโหลดระบบไฟฟ้า

งานออกแบบระบบไฟฟ้าเป็นงานที่วิศวกรไฟฟ้าหรือผู้ออกแบบจะต้องศึกษาและร่วมกันกับบุคคลหลายกลุ่ม เช่น สถาปนิก วิศวกรโครงสร้าง วิศวกรระบบเครื่องกล วิศวกรระบบสุขาภิบาล และเจ้าของอาคาร นอกจากนี้ผู้ออกแบบระบบไฟฟ้าจะต้องศึกษาและทำความเข้าใจถึงรายละเอียดของมาตรฐานต่างๆ ซึ่งเป็นข้อกำหนดในการออกแบบซึ่งเป็นสิ่งที่สำคัญเป็นอย่างยิ่งในการออกแบบระบบไฟฟ้า

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์ประเสริฐ เงาเดช

7.1 วิธีการออกแบบระบบไฟฟ้า

1. ศึกษาแบบทางสถาปัตยกรรม เพื่อให้ทราบข้อมูลต่างๆ ของอาคาร การใช้งานของห้องที่สถาปนิกได้ทำการออกแบบไว้ตามความต้องการของสถาปนิกและเจ้าของอาคาร

2. ประมาณการใช้โหลด โดยใช้ข้อมูลจากสถาปนิกและความต้องการของเจ้าของอาคาร ชนิดและลักษณะการใช้งานของอาคารและพื้นที่ทั้งหมดของอาคาร

3. กำหนดตำแหน่งและแนวทางของสายประธานจากการไฟฟ้าฯ ที่จ่ายให้แก่อาคาร , ขนาดแรงดันไฟฟ้าของระบบ , ตำแหน่งของมิเตอร์วัดไฟฟ้า ซึ่งจะต้องดูสถานที่ที่จะสร้างอาคารพร้อมทั้งขอคำแนะจากการไฟฟ้าฯ หน่วยที่รับผิดชอบบริเวณที่จะทำการก่อสร้างอาคารนั้นๆ

4. ศึกษา ชนิดและการใช้งานของพื้นที่ในอาคาร,อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ต้องการใช้และขนาดการกินกระแสของอุปกรณ์แต่ละชนิด ซึ่งข้อมูลบางส่วนจะต้องสอบถามจากสถาปนิกผู้ออกแบบหรือเจ้าของอาคาร

5. ศึกษาความต้องการของโหลดไฟฟ้าระบบอื่นๆ เช่น เครื่องปรับอากาศ , ระบบลิฟท์ , ระบบประปา และอื่นๆ

6. ศึกษาและกำหนดตำแหน่งติดตั้งและขนาดของอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ ตลอดจนความต้องการเนื้อที่ของอุปกรณ์เหล่านั้น เช่น ตำแหน่งและขนาดของห้องเครื่อง ห้องติดตั้งหม้อแปลงและแผงควบคุมไฟฟ้าหลัก (Main Distribution Board ; MDB) แผงควบคุมไฟฟ้ารอง (Sub Distribution Board ; SDB) แผง

ควบคุมไฟฟ้าย่อย (Load Panel) แนวทางและขนาดของท่อเดินสายป้อน (Feeder Shaft) ซึ่งเป็นประโยชน์ในการออกแบบ

7. คำนวณและออกแบบความต้องการของแสงสว่างของแต่ละห้องตามชนิดของการใช้งาน พร้อมทั้งกำหนดชนิดของดวงโคม (ชนิดดวงโคมบางครั้งอาจถูกกำหนดโดยสถาปนิกทั้งนี้เพื่อความสวยงาม) เพื่อหาโหลดของระบบแสงสว่าง

8. กำหนดตำแหน่งของดวงโคมและเต้ารับลงในแบบโดยทั่วไปการแสดงตำแหน่งของดวงโคมและเต้ารับจะแยกเขียนออกจากกัน และหากมีระบบไฟฟ้าสื่อสารอันได้แก่ ระบบโทรศัพท์ ระบบโทรทัศน์ ระบบสัญญาณแจ้งเหตุเพลิงไหม้อัตโนมัติ ก็มักจะเขียนแบบแยกแผ่นกันทั้งนี้เพื่อความง่ายในการอ่านแบบ

9. แยกวงจรย่อยโดยโยงสายลงในแบบเพื่อควบคุมดวงโคมหรือเชื่อมต่อวงจรของเต้ารับไฟฟ้า ซึ่งอยู่ในวงจรเดียวกันเข้าด้วยกัน พร้อมทั้งกำหนดหมายเลขของวงจรในแผงจ่ายไฟ การกำหนดวงจรย่อยมักจะกำหนดตามความเหมาะสมของอุปกรณ์ตัดตอน (Circuit Breaker ; CB) หรือกำหนดตามพื้นที่การใช้งานควบคู่กัน

10. คำนวณโหลดแต่ละแผงควบคุมไฟฟ้าย่อย พร้อมทั้งชนิด,จำนวนและขนาดของสายไฟฟ้า,ท่อร้อยสายไฟฟ้า และขนาด AT AF และ Pole ของเซอร์กิตเบรคเกอร์ (CB) ลงในตารางโหลด

11. นำโหลดในแต่ละแผงควบคุมไฟฟ้ารวมกันในแต่ละเฟสของระบบ แล้วคำนวณหาสายป้อนและ ขนาดอุปกรณ์ป้องกันตู้ควบคุมไฟฟ้าย่อย (Main Circuit Breaker) ของตู้ควบคุมไฟฟ้าย่อยนั้น

12. รวมโหลดทั้งหมดของแผงควบคุมไฟฟ้าย่อยทั้งอาคารเพื่อนำมาคำนวณและออกแบบหาพิกัดของอุปกรณ์ป้องกันภายในตู้ควบคุมไฟฟ้าหลัก (MDB) และอุปกรณ์ประกอบภายในตู้ รวมกับถึงการกำหนดขนาดของหม้อแปลงไฟฟ้าและสายประธานของอาคาร

13. คำนวณและเขียน Riser Diagram ของระบบไฟฟ้า รวมทั้ง คำนวณและเขียน Single Line Diagram ของตู้ MDB

14. คำนวณและออกแบบระบบอื่นๆ เช่นระบบล่อฟ้า , ระบบสื่อสารในอาคาร , ระบบโทรศัพท์ , ระบบสัญญาณแจ้งเหตุเพลิงไหม้อัตโนมัติ ระบบป้องกันภัย และอื่นๆ

15. ตรวจสอบและแก้ไขแบบให้ถูกต้องสมบูรณ์

16. เขียนข้อกำหนดและรายละเอียดประกอบแบบ (รายการประกอบแบบ) ซึ่งจะแสดงรายละเอียดต่างๆ ในแบบ เช่น ขนาดและชนิดรวมถึงเครื่องหมายการค้าของอุปกรณ์ที่กำหนดให้ใช้และข้อกำหนดซึ่งผู้รับจ้างจะต้องรับผิดชอบและปฏิบัติตาม โดยทั่วไปจะถือเป็นส่วนหนึ่งของสัญญาในการรับเหมางานก่อสร้างงานติดตั้ง ระหว่างผู้รับจ้างกับผู้ว่าจ้าง(เจ้าของอาคาร) ด้วย

17. เมื่อวิศวกรผู้ออกแบบทำการกำหนดชนิดของผลิตภัณฑ์ที่ใช้แล้ว ผู้ออกแบบจะต้องทำการประมาณราคา เพื่อผู้ว่าจ้างจะได้ใช้เป็นราคากลางในการคัดเลือกผู้รับเหมาทำการก่อสร้างติดตั้งต่อไป

18. ในบางกรณีวิศวกรผู้ออกแบบอาจต้องเป็นผู้ตรวจสอบให้คำแนะนำในการติดตั้งระบบไฟฟ้าด้วย

เอกสารประกอบการสอน การยุมนตรี เงาะดง

จากขั้นตอนต่างๆ ในการออกแบบระบบไฟฟ้า จะเห็นว่ามีความซับซ้อนและต้องเกี่ยวข้องกับบุคคลหลายฝ่าย ความยากลำบากในการออกแบบจะมีมากขึ้นเมื่อเป็นอาคารขนาดใหญ่และมีการใช้โหลดมากๆ โดยเฉพาะข้อจำกัดในด้านของการออกแบบที่ต้องการใช้เกิด ความประหยัด ความปลอดภัย และมีความเชื่อมั่นในระบบสูงๆ โดยจะต้องอาศัยความชำนาญ,ประสบการณ์และการศึกษาค้นคว้าในการออกแบบเป็นอย่างมาก

7.2 มาตรฐาน กฎและระเบียบ ในการออกแบบระบบไฟฟ้า

ในการออกแบบระบบไฟฟ้าสิ่งที่สำคัญที่สุดที่วิศวกรไฟฟ้าหรือผู้ออกแบบจะต้องคำนึงถึงคือ ความปลอดภัย ทำนองเดียวกันหน่วยงานของรัฐซึ่งมีส่วนเกี่ยวข้อง ดูแลรักษาความปลอดภัยเกี่ยวข้องกับการใช้ไฟฟ้าก็จำเป็นต้องตรากฎและมาตรฐานเพื่อให้ผู้ออกแบบติดตั้งและผู้ใช้ไฟฟ้าปฏิบัติตาม เพื่อความปลอดภัยของส่วนรวม

กระทรวงมหาดไทย,สำนักงานพลังงานแห่งชาติ,การไฟฟ้านครหลวง (กฟน.) และการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) จึงได้ร่างกฎและมาตรฐาน เพื่อให้ผู้ออกแบบติดตั้งและผู้ใช้ไฟฟ้าปฏิบัติตาม ดังนั้นในการออกแบบระบบไฟฟ้า วิศวกรไฟฟ้าผู้ออกแบบจำเป็นต้องศึกษาและปฏิบัติตามกฎและมาตรฐานต่างๆ ที่กำหนด

กฎและมาตรฐานต่างๆ ที่จะกล่าวถึงต่อไปนี้ ระบุถึงระเบียบและวิธีการในการออกแบบและติดตั้งอุปกรณ์ไฟฟ้า ตลอดจนระบบจำหน่ายที่จ่ายไฟฟ้าด้วย

7.2.1 มาตรฐานเพื่อความปลอดภัยทางไฟฟ้าของการพลังงานแห่งชาติ

เป็นมาตรฐานความปลอดภัยหลักสำหรับงานติดตั้งอุปกรณ์ไฟฟ้า การไฟฟ้าทั้งสามแห่งได้ยึดถือมาตรฐานที่ใช้ในการกำหนดกฎและข้อบังคับของการไฟฟ้าฯ แต่ละแห่ง

7.2.2 กฎการไฟฟ้านครหลวงและการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

ใช้ในการกำหนดมาตรฐานในการออกแบบไฟฟ้า การติดตั้งเดินสายและการติดตั้งอุปกรณ์ไฟฟ้า การติดตั้งเครื่องป้องกันไฟฟ้าลัดวงจร การออกแบบและป้องกันเกี่ยวกับการเดินสายไฟฟ้า การป้องกันอุปกรณ์และเครื่องยนต์ไฟฟ้า ในเขตการรับผิดชอบของการไฟฟ้านครหลวงและการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

ในการขอใช้ไฟฟ้าเพื่อจ่ายให้แก่ผู้ขอใช้ไฟฟ้า การไฟฟ้าฯ จะให้ช่างของการไฟฟ้าฯ ทำการตรวจสอบ วิธีการเดินสายและการติดตั้ง อุปกรณ์ไฟฟ้าภายในอาคารเสียก่อน บางอาคารจะต้องมีวิศวกรไฟฟ้ารับรองการออกแบบระบบไฟฟ้า หรือรับรองการติดตั้งระบบไฟฟ้าภายในอาคารนั้น ดังนั้นก่อนการติดตั้งระบบไฟฟ้าผู้ขอใช้ไฟฟ้าควรแจ้งรายละเอียดเกี่ยวกับตำแหน่งของหม้อแปลงไฟฟ้าที่ติดตั้ง เสาไฟฟ้า แนวสายประธานไฟฟ้า ขนาดของโหลด อุปกรณ์เครื่องวัดและอุปกรณ์ป้องกันระบบไฟฟ้า และแนบผังการเดินสายอย่างละเอียดภายในอาคาร (Shop Drawing)เพื่อให้การไฟฟ้าฯ ตรวจสอบและแก้ไขเสียก่อน เมื่อการติดตั้งถูกต้องตามแบบและมาตรฐานของการไฟฟ้าฯ จึงอนุมัติให้จ่ายไฟฟ้าแก่อาคารได้

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์ เกาะตย

7.2.3 กฎกระทรวงมหาดไทย

กระทรวงมหาดไทยมีหน้าที่รับผิดชอบเกี่ยวกับความปลอดภัยในการก่อสร้างอาคารได้ออกกฎกระทรวงเพื่อให้ผู้ติดตั้งและผู้ใช้ไฟฟ้าปฏิบัติตาม

7.2.4 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (ม.อ.ก.)

สำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ ที่มีส่วนสำคัญเกี่ยวข้องกับความปลอดภัยของระบบไฟฟ้า เช่น สายไฟฟ้า , บัลลาสต์ ฟิวส์ อุปกรณ์ตัดตอนระบบไฟฟ้า และหม้อแปลงไฟฟ้า ได้มีการกำหนดมาตรฐานต่ำสุดซึ่งผู้ผลิตจะต้องปฏิบัติตาม โดยกำหนดโดยสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม การทรวงอุตสาหกรรม ซึ่งจะครอบคลุมถึงคำอธิบายของคำจำกัดความและนิยาม วิธีการทดสอบ การกำหนดคุณภาพและมาตรฐานต่ำสุด ความปลอดภัย ขนาดและชนิดของผลิตภัณฑ์ โดยจะมีการตรวจสอบและประทับตรารับรองมาตรฐานแก่ผลิตภัณฑ์ที่มีมาตรฐานตามที่กำหนด

ในฐานะผู้ออกแบบและผู้กำหนดรายละเอียดของอุปกรณ์ไฟฟ้าวิศวกรผู้ออกแบบควรศึกษาและทำความคุ้นเคยกับมาตรฐานอุตสาหกรรมเพื่อใช้เป็นแนวทางในการคำนวณ กำหนดรายละเอียดอุปกรณ์ที่ใช้ในการออกแบบ

7.2.5 มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย (มาตรฐาน ว.ส.ท.)

วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ ในฐานะหน่วยงาน ซึ่งให้บริการทางด้านวิชาการ ได้ร่างมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้า เพื่อให้วิศวกรไฟฟ้าหรือผู้ออกแบบติดตั้งและบำรุงรักษาใช้เป็นแนวทางในการปฏิบัติงาน

มาตรฐานฉบับนี้กำหนดหลักการทั่วไปในการออกแบบไฟฟ้า วัสดุ และวิธีการเดินสาย ตลอดจนการใช้งานและติดตั้งอุปกรณ์ไฟฟ้า และเครื่องใช้ไฟฟ้าทั่วไป ซึ่งมีรายละเอียดและหลักเกณฑ์ต่างๆ อย่างกว้างๆ ครอบคลุมกว้างขวางในงานด้านวิศวกรรมไฟฟ้า วิศวกรผู้ออกแบบระบบไฟฟ้า จึงควรมีมาตรฐานฉบับนี้ เพื่อใช้เป็นคู่มือประกอบในการออกแบบ

7.2.6 มาตรฐานอื่นๆ

- National Electrical Code (NEC) เป็นมาตรฐานของ USA ซึ่งกำหนดหลักการเบื้องต้นสำหรับการปฏิบัติเพื่อความปลอดภัยของระบบไฟฟ้า และเป็นมาตรฐานหลักในการร่างมาตรฐานของ ว.ส.ท.

- National Electrical Manufacturer Association Standard (NEMA) เป็นมาตรฐานของ USA ซึ่งกำหนดและแยกประเภทของผลิตภัณฑ์ทางไฟฟ้า ตามประเภทของการใช้งาน เช่น ใช้งานทั่วไป ชนิดกันน้ำได้ , ชนิดใช้งานหนัก , ชนิดใช้ในโรงงาน เป็นต้น

- Underwriter's Laboratories (UL) เป็นสถาบันใน USA ที่กำหนดและทำการทดสอบมาตรฐานต่ำสุดของความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์ทางไฟฟ้าที่จะนำไปใช้งาน หากผ่านการทดสอบก็จะได้รับเครื่องหมายรับรองจากสถาบัน ซึ่งเป็นเครื่องหมายที่ยอมรับกันทั่วโลก ดังนั้นในการกำหนดมาตรฐานของผลิตภัณฑ์ ผู้ออกแบบควรจะใช้ผลิตภัณฑ์ที่ได้รับเครื่องหมายมาตรฐานจาก UL ด้วย

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เกาะช

- IES Lighting Handbook Illuminating Engineering Society (IES) แห่ง USA เป็นมาตรฐานทางด้านวิศวกรรมส่องสว่าง ที่จะต้องใช้ในการการออกแบบทางด้านการส่องสว่างและการกำหนดตำแหน่งและชนิดของดวงโคม

- **มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้า สำหรับประเทศไทย 2556** เป็นมาตรฐานฉบับปรับปรุงขึ้นมาครั้งสุดท้ายเพื่อสำหรับเป็นมาตรฐานในการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทยโดยเฉพาะ โดยทุกการไฟฟ้าฯ ยอมรับเป็นมาตรฐานหลักในการออกแบบระบบไฟฟ้า และในการออกแบบเราจะอ้างอิงมาตรฐานฉบับนี้เป็นสำคัญ

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เงาเดช

7.3 หลักเกณฑ์ในการออกแบบระบบไฟฟ้า

การออกแบบระบบไฟฟ้าสามารถทำการออกแบบได้หลายรูปแบบขึ้นอยู่กับความสามารถและประสบการณ์รวมทั้งมาตรฐานต่างๆ ที่ใช้ในการอ้างอิงของผู้ออกแบบ รวมทั้งในเรื่องของค่าใช้จ่ายของการออกแบบและติดตั้งที่จะต้องมีผลตามมาหลักจากการออกแบบเสร็จสิ้นลง

ในการออกแบบที่ดี จึงต้องคำนึงถึงเงื่อนไขที่สำคัญต่างๆ ดังต่อไปนี้

1) ความปลอดภัย (Safety) เป็นข้อควรคำนึงถึงเป็นอันดับแรกของการออกแบบที่ผู้ออกแบบจะต้องให้ความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง โดยต้องอ้างอิงตามหลักทางวิศวกรรมไฟฟ้าและระเบียบของกำหนดของการไฟฟ้าฯ และมาตรฐานของวิศวกรรมสถาน แห่งประเทศไทย สำหรับการติดตั้งระบบไฟฟ้าสามารถใช้เป็นหลักในการออกแบบได้อย่างดี

2) ความเชื่อมั่นของระบบ (Reliability) ระบบจะต้องมีความเชื่อมั่นสูงในการตัดตอนและป้องกันผลเสียหายอันเกิดมาจากระบบไฟฟ้าขัดข้อง ซึ่งมักจะขึ้นอยู่กับการเลือกใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีมาตรฐานรับรอง

3) ความง่ายในการดัดแปลง (Flexibility) ระบบที่ออกแบบจะต้องสามารถแก้ไขดัดแปลงได้อย่างสะดวก เพื่อที่จะจ่ายไฟฟ้าไปตามจุดที่ต้องการและต้องออกแบบให้รับการเพิ่มโหลดในอนาคตได้ กล่าวคือเมื่อมีการเพิ่มโหลดในอนาคตจะต้องทำได้โดยไม่ต้องเปลี่ยนระบบสายไฟฟ้าทั้งระบบ

4) ความประหยัด (Economy) ผู้ออกแบบที่ดีควรคำนึงถึงการออกแบบให้มีความประหยัดภายใต้เงื่อนไขของความปลอดภัย , ความเชื่อมั่น , ความง่ายในการดัดแปลง โดยในเรื่องของความประหยัดมักจะสวนทางกับข้อควรพิจารณาทั้งสามข้อที่ได้กล่าวมาข้างต้น โดยสามารถจะยืดหยุ่นได้ ยกเว้นในเรื่องของ ความปลอดภัย ซึ่งจะยอมให้เรื่องของความประหยัดมีผลต่อความปลอดภัยไม่ได้

ผู้ออกแบบจะต้องศึกษาเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายต่างๆ ในการเลือกใช้อุปกรณ์ในการกำหนดตำแหน่งและติดตั้งอุปกรณ์ทางไฟฟ้า ปัญหาทางด้านพลังงานในปัจจุบันโดยเฉพาะอย่างยิ่งในการเลือกใช้ชนิดของหลอดไฟฟ้า การออกแบบระบบทำความเย็น การใช้เครื่องทำความร้อน และอื่นๆ ซึ่งจะมีผลในการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าและค่าไฟฟ้าในแต่ละเดือน

5) แรงดันตก (Voltage Drop) ในการออกแบบระบบไฟฟ้าภายในอาคารจะต้องคำนึงถึงค่าแรงดันไฟฟ้าตกซึ่งเกิดเนื่องจากขนาดของโหลดและความยาวของสายป้อนและสายวงจรย่อยที่เดินไปยังอุปกรณ์ไฟฟ้ารวมทั้งโหลดในอนาคตที่จะเพิ่มขึ้นด้วย

แรงดันตกมักสร้างความเสียหายแก่อุปกรณ์ไฟฟ้าเป็นอย่างมาก ตามมาตรฐานของการไฟฟ้าฯ และ NEC กำหนดแรงดันตกในช่วงของสายป้อนจะต้องไม่เกิน 3% หากในส่วนของวงจรย่อยไม่เกิน 5%

การพิจารณาในเรื่องแรงดันตกมักจะนำมาพิจารณาในกรณีที่สายป้อนหรือสายประธานมีระยะของการเดินสายที่ยาวๆ เท่านั้น

เอกสารประกอบการสอน อาจารย์สมบัติ เจาะทอง

7.4 การประมาณโหลด (Load Estimating)

ในการออกแบบระบบไฟฟ้าจะต้องมีการประมาณโหลดทั้งหมดของอาคารที่ออกแบบเพื่อทราบถึงขนาดของโหลดทั้งหมดอย่างคราวๆ เพื่อเป็นแนวทางในการเลือกระบบแรงดันไฟฟ้าและอุปกรณ์ป้องกัน รวมทั้งขนาดของหม้อแปลงไฟฟ้า

โหลดไฟฟ้าแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

- โหลดแสงสว่าง (Lighting Load) เป็นโหลดทางด้านแสงสว่างจากดวงโคม
- โหลดไฟฟ้ากำลัง (Power Load) เป็นโหลดที่ใช้งานทางด้านไฟฟ้ากำลังอันได้แก่

  - เครื่องใช้ไฟฟ้าทั่วไป
  - เครื่องปรับอากาศ , เครื่องทำความเย็น
  - ระบบลิฟต์ , บันไดเลื่อน
  - ระบบสุขาภิบาล
  - ระบบโทรศัพท์
  - ระบบโทรทัศน์
  - ระบบสัญญาณแจ้งเหตุเพลิงไหม้
  - ระบบเครื่องดูดควัน เป็นต้น

โหลดไฟฟ้ายังสามารถแบ่งเป็น 2 ชนิดคือ

- โหลดต่อเนื่อง อันได้แก่ โหลดทางไฟฟ้าที่จะต้องใช้งานอย่างต่อเนื่องสม่ำเสมออยู่ตลอดเวลา เช่น โหลดแสงสว่าง โหลดบันไดเลื่อน เป็นต้น

- โหลดไม่ต่อเนื่อง ได้แก่โหลดที่มีลักษณะการทำงานเป็นครั้งคราว เป็นคาบเวลา เช่น เครื่องทำน้ำอุ่น เครื่องปรับอากาศ (ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งานของอุปกรณ์ไฟฟ้าหากมีการใช้งานอยู่ตลอดเวลาก็ถือว่าเป็นโหลดต่อเนื่องได้เช่นเดียวกัน)

ในการแยกชนิดของโหลดจะส่งผลในการคำนวณออกแบบและการกำหนดขนาดสายวงจรย่อย,สายป้อนและอุปกรณ์ป้องกัน ซึ่งจะได้กล่าวต่อไป

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เงาเดช

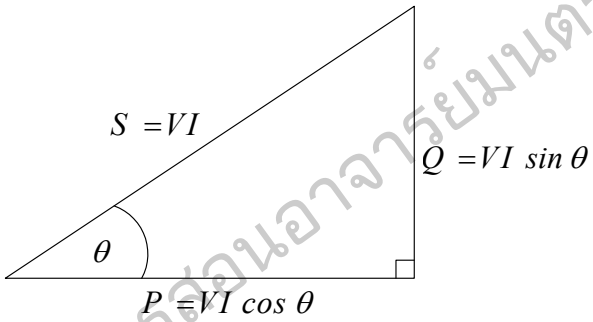
7.5 การคำนวณขนาดของโหลด

การคำนวณค่าโหลดที่นิยมใช้โดยทั่วไปในปัจจุบันจะคิดค่าในหน่วย VA (โวลท์-แอมป์) ซึ่งเป็นค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏ หรือเป็นค่าที่เครื่องวัดทางไฟฟ้าสามารถวัดได้จริง และเมื่อรวมค่าทั้งหมดของโหลดแล้วสามารถเลือกใช้ขนาดของหม้อแปลงได้ทั้งนี้ และการกำหนดอุปกรณ์ป้องกันก็สามารถคำนวณได้ง่ายและชัดเจน

ค่าของกำลังไฟฟ้า มี 3 ค่า คือ

S = VI	หน่วย	(VA) โวลท์.แอมป์
P = VI cos θ	หน่วย	(W) วัตต์
Q = VI sin θ	หน่วย	(VAR) วาล์

สามเหลี่ยมกำลังไฟฟ้า ความสัมพันธ์ของค่ากำลังไฟฟ้าทั้ง 3 ค่าสามารถนำมาเขียนในรูปสามเหลี่ยมกำลังไฟฟ้าดังรูป



ระบบ 1 เฟส แทนค่า V=220V

$$P = VI\cos\theta$$

ระบบ 3 เฟส แทนค่า V=380V

$$P = \sqrt{3}VI\cos\theta$$

หากเราทราบค่าของอุปกรณ์ไฟฟ้าในหน่วย วัตต์ (W) และทราบค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ของระบบ (PF;cosθ) ของระบบก็จะสามารถหาค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏได้จาก

$$VI = \frac{P}{\cos\theta} \qquad \text{ระบบ 1 เฟส}$$

$$VI = \frac{P}{\sqrt{3}.\cos\theta} \qquad \text{ระบบ 3 เฟส}$$

หากค่า PF ไม่สามารถทราบค่าได้เราสามารถประมาณค่า PF = 1 ได้

7.5.1 โหลดแสงสว่าง

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เจ๊ะดช

ผู้ออกแบบสามารถคำนวณค่าโหลดของโหลดแสงสว่างได้จากจำนวนของหลอดไฟฟ้าที่ใช้งานจริงในวงจรย่อยนั้น ซึ่งจะสามารถดูค่าการใช้กระแสของหลอดไฟฟ้าแต่ละชนิดได้จากตารางด้านล่าง เมื่อทราบค่ากระแสแล้วก็สามารถคำนวณค่าโหลดในหน่วย VA ได้ ทั้งนี้เพื่อนำมาหาขนาดสายไฟฟ้าวงจรย่อยและอุปกรณ์ป้องกันต่อไป

หลอดไส้ การหาค่ากระแสของหลอดไส้ทำได้โดยใช้พิกัดกำลังไฟฟ้าในหน่วยวัตต์ หารด้วยแรงดันได้โดยตรงเนื่องจากไม่มีบัลลาสต์ต่ออยู่ในวงจร PF=1

ตาราง 7.1 พิกัดกระแสของหลอดไส้

ชนิดของหลอด	กระแส (A)	กำลัง (VA)
40W	0.182	40
60W	0.273	60
75W	0.341	75
100W	0.455	100
150W	0.682	150

หลอด Gas Discharge มีบัลลาสต์ต่ออยู่ในวงจรดังนั้นจึงต้องคิดค่า Power Factor ของวงจรเข้าไปด้วย ค่ากระแสในตารางเป็นค่าที่วัดได้จากการต่อวงจรจริง

ตาราง 7.2 พิกัดกระแสของหลอดดิสชาร์จ

ชนิดของหลอด	กำลังวัตต์	POWER CONSUMPTION			
		LOW POWER FACTOR		HIGH POWER FACTOR	
		กระแส (A)	กำลัง (VA)	กระแส (A)	กำลัง (VA)
ฟลูออเรสเซนต์	20 (18)	0.370	81.40 (100)	0.160	35.20 (50)
	40 (36)	0.430	94.60 (100)	0.270	59.40 (60)
	32	0.410	90.20 (100)	0.240	52.80 (60)
คอมแพค ฟลูออเรสเซนต์	9	0.190	41.80 (50)	0.100	22.00 (30)
SL	13	0.175	38.50 (50)	0.100	22.00 (30)
	18	0.220	48.40 (50)	0.140	30.80 (40)
	25	0.315	69.30 (50)	0.180	39.60 (50)
คอมแพค ฟลูออเรสเซนต์	5	0.180	39.60 (50)	0.070	15.40 (20)
PL (TC-S)	7	0.175	38.50 (50)	0.070	15.40 (20)

เอกสารประกอบการสอนวิทยาลัยเทคนิคพระนครศรีอยุธยา

	9	0.170	37.40 (50)	0.070	15.40 (20)
	11	0.155	34.10 (50)	0.080	17.60 (20)
TC-D	10	0.190	41.80 (50)	0.100	22.00 (30)
	13	0.175	38.50 (50)	0.100	22.00 (30)
	18	0.220	48.40 (50)	0.140	30.80 (40)
	25	0.315	69.30 (70)	0.180	39.60 (50)
HIGH PRESSURE MERCURY	50	0.620	136.40 (150)	0.300	66.00 (70)
	80	0.800	176.00 (200)	0.450	99.00 (100)
	125	1.150	253.00 (300)	0.700	154.00 (160)
	250	2.150	473.00 (500)	1.400	308.00 (310)
	400	3.250	715.00 (750)	2.150	473.00 (500)
	700	5.450	1199.00(1200)	3.800	836.00 (850)
	1000	7.500	1650.00(1700)	5.300	1166.0(1200)
HIGH PRESSURE SODIUM	35	0.540	118.80 (120)	0.220	48.40 (50)
	50	0.780	171.60 (180)	0.300	66.00 (70)
	70	1.000	220.00 (220)	0.580	127.60 (150)
	100	1.200	264.00 (270)	0.600	132.00 (150)
	150	1.800	396.00 (400)	1.100	242.00 (250)
	250	3.000	660.00 (660)	1.400	308.00 (310)

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เงาเดช

	400	4.600	1012.00(1100)	2.200	464.00 (500)
	600	6.200	1384.00(1400)	3.000	660.00 (660)
	1000	10.200	2244.00(2300)	5.450	1199.0 (1200)
HIGH PRESSURE METAL HALIDE	35	0.540	118.8 (120)	0.220	48.40 (50)
	70	1.000	220.00 (220)	0.580	127.60 (130)
	150	1.800	396.00 (400)	0.800	176.00 (200)
	250	3.000	660.00 (660)	1.400	308.00 (320)
	400	3.500	770.00 (800)	2.200	464.00 (500)
	1000	9.500	2090.00(2100)	5.350	1177.0 (1200)
	2000	10.300	2266.00(2300)	6.150	1353.0 (1400)
	3500	18.000	3960.00(4000)	10.600	2332.0 (2400)

*** ค่าในวงเล็บเป็นค่าที่ควรจะใช้ในการคำนวณ

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์นันตรี เงาเดช

ตามมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้า สำหรับประเทศไทย 2545 อนุญาตให้ใช้สายขนาดเล็กสุดของวงจรแสงสว่างคือสายขนาด 2.5 ตารางมิลลิเมตร (sq.mm.)

- ขนาดของสาย ทนกระแสได้มากกว่า 125% ของพิกัดกระแสทั้งหมดของวงจรย่อย และเลือกสายไฟฟ้าตามชนิดและลักษณะการติดตั้งของสายไฟฟ้าดังตาราง

ตาราง 7.3 พิกัดกระแสของสายไฟฟ้า

3.5 กลุ่มการติดตั้งและตารางพิกัดสายไฟฟ้า

มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ (วสท.) พ.ศ.2556 และลักษณะการติดตั้งสายไฟฟ้า แบ่ง เป็น 7 กลุ่ม

กลุ่มที่ 1

สายแกนเดี่ยวหรือหลายแกนหุ้มฉนวนมี/ไม่มีเปลือกนอก เดินในท่อโลหะหรืออโลหะภายในฝ้าเพดานที่เป็นฉนวน ความร้อน หรือ ผนังกันไฟ

หมายเหตุ ฝ้าเพดาน หรือผนังกันไฟที่เป็นฉนวนความร้อนคือวัสดุที่มีค่าการนำทางความร้อน (thermal conductance) อย่างน้อย 10 W./m^2.K

กลุ่มที่ 2

สายแกนเดี่ยวหรือหลายแกนหุ้มฉนวนมี / ไม่มีเปลือกนอกเดินในท่อโลหะหรืออโลหะเดินเกาะผนังหรือฝังในผนัง คอนกรีตหรือที่คล้ายกัน

หมายเหตุ กรณีฝังในผนังคอนกรีตหรือที่คล้ายกันผนังนั้นจะต้องมีค่าความต้านทานความร้อน (thermal resistivity) ไม่เกิน 2 K.m/W.

กลุ่มที่ 3

สายแกนเดี่ยวหรือหลายแกนหุ้มฉนวนมีเปลือกนอกเดินเกาะผนัง หรือเพดานที่ไม่มีสิ่งปิดหุ้มที่คล้ายกัน

กลุ่มที่ 4

สายเคเบิ้ลแกนเดี่ยวหุ้มฉนวน มี / ไม่มีเปลือกนอกวางเรียงแบบมีระยะห่างเดินบนฉนวนลูกถ้วยอากาศ

กลุ่มที่ 5

สายแกนเดี่ยวหรือหลายแกนหุ้มฉนวน มีเปลือกนอกเดินในท่อโลหะหรืออโลหะฝังดิน

กลุ่มที่ 6

สายแกนเดี่ยวหรือหลายแกนหุ้มฉนวนมีเปลือกนอกฝังดินโดยตรง

กลุ่มที่ 7

สายเคเบิลแกนเดี่ยวหรือหลายแกนหุ้มฉนวน มีเปลือกนอกวางบน รางเคเบิลแบบด้านล่างทึบ, รางเคเบิลแบบ ระบายอากาศหรือรางเคเบิลแบบบันได

เอกสารประกอบการสอนวิทยาลัยเทคนิคเมืองเดช

3.6 ตารางพิกัดสายไฟฟ้าของสมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย (วสท.)

ตารางพิกัดสายไฟฟ้า ในบทนี้อ้างอิงชื่อตารางสอดคล้องกับ มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ.2556 วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์

ตารางที่ 3.3 สรุปตารางที่ใช้บ่อยในการออกแบบตามมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้า สำหรับประเทศไทย ปี 2556

ตารางที่ 5-8	**ตัวคูณปรับค่าฯ กรณีสายมากกว่า 1 วงจร**
ตารางที่ 5-20 ถึง 5-26	**ขนาดกระแสของสาย มอก.11**
ตารางที่ 5-21 , 5-27 ถึง 5-29	**ขนาดกระแสของสาย XLPE**
ตารางที่ 5-30 ถึง 5-33	**ขนาดกระแสของสายบนรางเคเบิล**
ตารางที่ 5-34 ถึง 5-35	MI CABLE
ตารางที่ 5-36 ถึง 5-38	สายแรงสูง
ตารางที่ 5-39	สายเครื่องเชื่อม
ตารางที่ 5-40 ถึง 5-41	**ตัวคูณปรับค่า รางเคเบิล**
ตารางที่ 5-42	สายอะลูมิเนียมแรงต่ำ
ตารางที่ 5-43 ถึง 5-44	**ตัวคูณปรับค่าอุณหภูมิ**
ตารางที่ 5-45 ถึง 5-46	**ตัวคูณปรับค่ามากกว่า 1 วงจร (ฝังดิน)**
ตารางที่ 5-47	รูปแบบการติดตั้งอ้างอิง
ตารางที่ 5-48	ข้อกำหนดการใช้งานสายไฟฟ้า

ตารางที่ 3.4 ตารางสรุปการเลือกตารางให้สอดคล้องกับการติดตั้งในแต่ละกลุ่มการติดตั้ง อ้างอิง ตารางของ วสท.

รูปแบบการติดตั้ง	สาย มอก.11-2553	สาย XLPE	หมายเหตุ
กลุ่มที่ 1 & 2	ตารางที่ 5-20	ตารางที่ 5-27	ร้อยท่อ
กลุ่มที่ 3	ตารางที่ 5-21	ตารางที่ 5-21	เกาะผนัง
กลุ่มที่ 4	ตารางที่ 5-22	ตารางที่ 5-28	ในอากาศ
กลุ่มที่ 5 & 6	ตารางที่ 5-23	ตารางที่ 5-29	ฝังดิน

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์ณัฐพงศ์ ทาเดช

กลุ่มที่ 7	ตารางที่ 5-30 & 31	ตารางที่ 5-32 & 33	บนรางเคเบิล

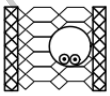
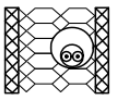
ตารางที่ 3.5 (ตารางที่ 5-8 วสท.) ตัวคูณปรับค่ากระแสเนื่องจากจำนวนสายที่นำกระแสในช่องเดินสายไฟฟ้าเดียวกันมากกว่า 1 กลุ่มวงจร ใน

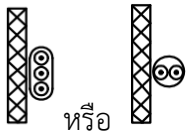
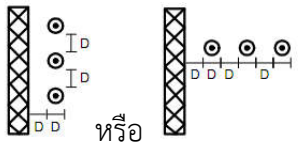
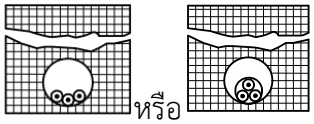
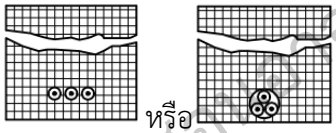
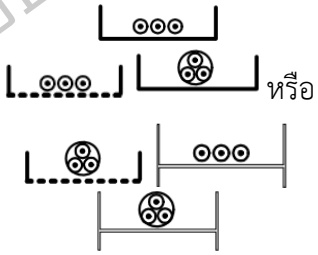
จำนวนกลุ่มวงจร	ตัวคูณปรับค่า
2	0.80
3	0.70
4	0.65
5	0.60
6	0.57
7	0.54
8	0.52
9	0.50
10 – 12	0.45
13 – 16	0.41
17 - 20	0.38

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์นันตรี เจกเดช

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เงาเดช

ตารางที่ 3.6 (ตารางที่ 5-47 วสท.) รูปแบบการติดตั้งอ้างอิง

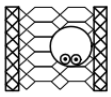
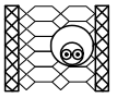
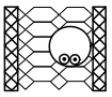
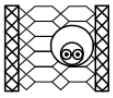
วิธีการเดินสาย	รูปแบบการติดตั้ง	ลักษณะการติดตั้ง	หมายเหตุ
สายแกนเดียวหรือหลายแกนหุ้มฉนวน มี/ ไม่มีเปลือกนอก เดินในท่อโลหะหรืออโลหะ ภายในฝ้าเพดานที่เป็นฉนวนความร้อน หรือผนังกันไฟ	 หรือ 	กลุ่มที่ 1	ฝ้าเพดาน หรือผนังกันไฟที่เป็นฉนวนความร้อนคือวัสดุที่มีค่าการนำทางความร้อน (thermal con-ductance) อย่างน้อย 10W/m^2.K
สายแกนเดียวหรือหลายแกนหุ้มฉนวน มี/ ไม่มีเปลือกนอก เดินในท่อโลหะหรืออโลหะ เดินเกาะผนังหรือเพดานหรือฝังในผนัง คอนกรีตหรือที่คล้ายกัน	 หรือ 	กลุ่มที่ 2	กรณีฝังในผนังคอนกรีตหรือที่คล้ายสันผนังนั้นจะต้องมีค่าความต้านทานความร้อน (thermal resistivity) ไม่ เกิน 2 K.m/W

สายแกนเดียวหรือหลายแกนหุ้มฉนวนมี เปลือกนอก เดินเกาะผนัง หรือเพดาน ที่ ไม่มีสิ่งปิดหุ้มที่คล้ายกัน		กลุ่มที่ 3	-
สายเคเบิลแกนเดียวหุ้มฉนวน มี/ไม่มี เปลือกนอก วางเรียงสันแบบมีระยะห่าง เดินบนฉนวนลูกถ้วยในอากาศ		กลุ่มที่ 4	ระยะห่างถึงผนังและระหว่างเคเบิลไม่น้อยกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางเคเบิล
สายแกนเดียวหริอหลายแกนหุ้มฉนวนมี เปลือกนอก เดินในท่อโลหะหรืออโลหะฝัง ดิน		กลุ่มที่ 5	-
สายแกนเดียว หริอหลายแกน หุ้มฉนวน มีเปลือกนอก ฝังดินโดยตรง		กลุ่มที่ 6	-
สายเคเบิลแกนเดียวหรือหลายแกนหุ้ม ฉนวน มีเปลือกนอก วางบนรางเคเบิลแบบ ต้านล่างทึบ, รางเคเบิลแบบระบายอากาศ หรือรางเคเบิลแบบบันได		กลุ่มที่ 7	รางเคเบิลแบบระบายอากาศจะต้องมีพื้นที่รูระบายอากาศไม่น้อยกว่าร้อยละ 30 ของพื้นผิวรางเคเบิลทั้งหมด

เอกสารประกอบการสอน ดร.สุวิทย์ ฉายรัมมนตรี เงาเดช

ตารางที่ 3.7 (ตารางที่ 5-20 วสท.)

ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าทองแดงหุ้มฉนวนพีวีซี มี/ไม่มีเปลือกนอก สำหรับขนาดแรงดัน (U_0/U) ไม่เกิน 0.6/1 กิโลโวลต์ อุณหภูมิตัวนำ 70°C อุณหภูมิโดยรอบ 40°C เดินในช่องเดินสายในอากาศ

ลักษณะการติดตั้ง	กลุ่มที่ 1				กลุ่มที่ 2			
จำนวนตัวนำกระแส	2		3		2		3	
ลักษณะตัวนำกระแส	แกนเดียว	หลายแกน	แกนเดียว	หลายแกน	แกนเดียว	หลายแกน	แกนเดียว	หลายแกน
รูปแบบการติดตั้ง								
รหัสชนิดเคเบิลที่ใช้งาน	60227 IEC 01, 60227 IEC 02, 60227 IEC 05, 60227 IEC 06, 60227 IEC 10, NYY, NYY-G, VCT, VCT-G, IEC 60502-1 และสายที่มีคุณสมบัติพิเศษต่างๆ เช่น สายทนไฟ, สายไร้ฮาโลเจน, สายควันน้อย							
ขนาดสาย (ตร.มม.)	ขนาดกระแส (แอมแปร์)							
1	10	10	9	9	12	11	10	10
1.5	13	12	12	11	15	14	13	13
2.5	17	16	16	15	21	20	18	17
4	23	22	21	20	28	26	24	23
6	30	28	27	25	36	33	31	30
10	40	37	37	34	50	45	44	40
16	53	50	49	45	66	60	59	54
25	70	65	64	59	88	78	77	70
35	86	80	77	72	109	97	96	86
50	104	96	94	86	131	116	117	103
70	131	121	118	109	167	146	149	130
95	158	145	143	131	202	175	180	156
120	183	167	164	150	234	202	208	179
150	209	191	188	171	261	224	228	196
185	238	216	213	194	297	256	258	222

เอกสารประกอบการสอนอิสระ เมธดา

240	279	253	249	227	348	299	301	258
300	319	291	285	259	398	343	343	295
400	-	-	-	-	475	-	406	-
500	-	-	-	-	545	-	464	-

หมายเหตุ (ตารางที่ 5-20 วสท.)

1) อุณหภูมิโดยรอบที่แตกต่างจาก 40 °C ให้ใช้ตัวคูณปรับค่าตามที่ระบุไว้ในตารางที่ 5-43 วสท.

2) ในกรณีมีจำนวนตัวนำกระแสมากกว่า 1 กลุ่มวงจร ในช่องเดินสาย ให้ใช้ตัวคูณปรับค่าตามที่ระบุไว้ใน ตารางที่ 5-8 วสท.

3) ดูคำอธิบายรูปแบบการติดตั้งในตารางที่ 5-47 วสท.

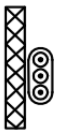
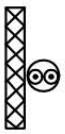
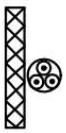
4) ดูคำอธิบายรหัสชนิดเคเบิลที่ใช้งานในตารางที่ 5-48 วสท.

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เงาเดช

ตารางที่ 3.8 (ตารางที่ 5-21 วสท.)

ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าทองแดง หุ้มฉนวน มีเปลือกนอก สำหรับขนาดแรงดัน (U_0/U)

ไม่เกิน 0.6/1 กิโลโวลต์ อุณหภูมิตัวนำ 70°C หรือ 90°C อุณหภูมิโดยรอบ 40°C เดินเกาะผนังในอากาศ

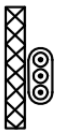
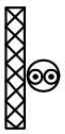
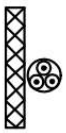
ลักษณะการติดตั้ง	กลุ่มที่ 3				
จำนวนตัวนำกระแส	2	ไม่เกิน 3		ไม่เกิน 3	
ลักษณะสาย	แบน	กลม		กลม	
ลักษณะตัวนำกระแส	หลายแกน	แกนเดียว		หลายแกน	
ประเภทฉนวน	พีวีซี	พีวีซี	ครอสลิงกด์พอลิเอทีลีน	พีวีซี	ครอสลิงกด์พอลิเอทีลีน
อุณหภูมิตัวนำ	70°C	70°C	90°C	70°C	90°C
รูปแบบการติดตั้ง		หรือ		 หรือ 	
รหัสชนิดเคเบิลที่ใช้งาน	VAF,VAF-G	NYY,IEC 60502-1	IEC 60502-1	NYY,NYY-G 60227 IEC 10, IEC 60502-1	IEC 60502-1
ขนาดสาย (ตร.มม.)	ขนาดกระแส (แอมแปร์)				
1	14	12	16	12	15
1.5	17	16	21	15	20
2.5	23	22	28	21	27
4	32	29	37	28	36
6	41	37	49	36	47
10	56	51	67	50	65
16	74	69	90	66	87
25	-	90	118	84	108
35	-	112	147	104	134
50	-	145	190	125	163

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เงาเดช

ตารางที่ 3.9 (ตารางที่ 5-21 (ต่อ) วสท.)

ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าทองแดง หุ้มฉนวน มีเปลือกนอก สำหรับขนาดแรงดัน (U_0/U)

ไม่เกิน 0.6/1 กิโลโวลต์ อุณหภูมิตัวนำ 70°C หรือ 90°C อุณหภูมิโดยรอบ 40°C เดินเกาะผนังในอากาศ

ลักษณะการติดตั้ง	กลุ่มที่ 3				
จำนวนตัวนำกระแส	2	ไม่เกิน 3		ไม่เกิน 3	
ลักษณะสาย	แบน	กลม		กลม	
ลักษณะตัวนำกระแส	หลายแกน	แกนเดียว		หลายแกน	
ประเภทฉนวน	พีวีซี	พีวีซี	ครอสลิงกด์พอลิเอทีลีน	พีวีซี	ครอสลิงกด์พอลิเอทีลีน
อุณหภูมิตัวนำ	70°C	70°C	90°C	70°C	90°C
รูปแบบการติดตั้ง		หรือ		 หรือ 	
รหัสชนิดเคเบิลที่ใช้งาน	VAF,VAF-G	NYY,IEC 60502-1	IEC 60502-1	NYY,NYY-G 60227 IEC 10, IEC 60502-1	IEC 60502-1
ขนาดสาย (ตร.มม.)	ขนาดกระแส (แอมแปร์)				
70	-	186	244	160	208
95	-	227	297	194	253
120	-	264	345	225	293
150	-	304	397	260	338
185	-	348	455	297	386
240	-	411	537	351	455
300	-	474	620	404	524
400	-	552	722	-	-
500	-	629	823	-	-

หมายเหตุ (ตารางที่ 5-21 วสท.)

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เงาเดช

1) อุณหภูมิโดยรอบที่แตกต่างจาก 40 °C ให้ใช้ตัวคูณปรับค่าตามที่ระบุไว้ในตารางที่ 5-43 วสท.

2) ดูคำอธิบายรูปแบบการติดตั้งในตารางที่ 5-47 วสท.

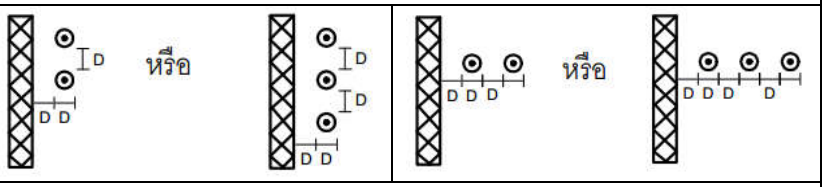
3) ดูค่าอธิบายรหัสชนิดเคเบิลที่ใช้งานในตารางที่ 5-48 วสท.

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เงาเดช

ตารางที่ 3.10 (ตารางที่ 5-22 วสท.)

ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าตัวนำทองแดงแกนเดียวหุ้มฉนวนพีวีซี มอก.11-2553 สำหรับขนาดแรงดัน (U_0/U)

ไม่เกิน 450/750 โวลต์ อุณหภูมิตัวนำ 40°C เดินบนฉนวนลูกถ้วยในอากาศ

ลักษณะการติดตั้ง	กลุ่มที่ 4	
รูปแบบการติดตั้ง		
รหัสชนิดเคเบิลที่ใช้งาน	60227 IEC 01 , IEC 10 , NYY	
ขนาดสาย (ตร.มม.)	ขนาดกระแส (แอมแปร์)	
4	30	37
6	39	48
10	56	67
16	78	92
25	113	127
35	141	157
50	171	191
70	221	244
95	271	297
120	315	345
150	365	397
185	418	453
240	495	535
300	573	617
400	692	741

หมายเหตุ (ตารางที่ 5-22 วสท.)

1) ดูคำอธิบายรูปแบบการติดตั้ง ในตารางที่ 5-47 วสท.

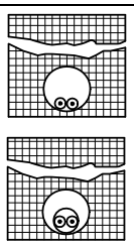
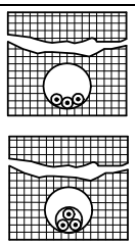
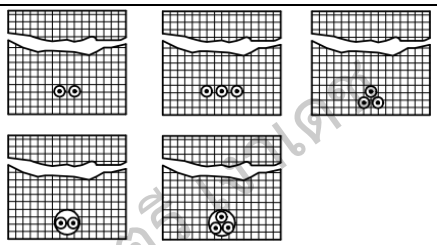
2) ดูคำอธิบายรหัสชนิดเคเบิลที่ใช้งาน ในตารางที่ 5-48 วสท.

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เบาเดช

ตารางที่ 3.11 (ตารางที่ 5-23 วสท.)

ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าทองแดง หุ้มฉนวน มีเปลือกนอก สำหรับขนาดแรงดัน (U_0/U)

ไม่เกิน 0.6/1 กิโลโวลต์ อุณหภูมิตัวนำ 70°C อุณหภูมิโดยรอบ 30°C ร้อยท่อฝังดิน หรือ ฝังดินโดยตรง

ลักษณะการติดตั้ง	กลุ่มที่ 5		กลุ่มที่ 6
จำนวนตัวนำกระแส	2	3	ไม่เกิน 3
ลักษณะตัวนำ	แกนเดียว / หลายแกน	แกนเดียว / หลายแกน	แกนเดียว / หลายแกน
รูปแบบการติดตั้ง			
รหัสชนิดเคเบิลที่ใช้งาน	NYY , NYY-G , ตามมาตรฐาน IEC 60502-1		
ขนาดสาย (ตร.มม.)	ขนาดกระแส (แอมแปร์)		
1	17	15	21
1.5	21	19	26
2.5	28	25	35
4	36	33	45
6	46	41	57
10	62	55	76
16	81	72	99
25	106	94	128
35	129	114	154
50	153	136	181
70	190	168	223
95	232	204	267
120	265	234	304
150	303	266	342
185	344	303	386
240	404	361	448
300	462	404	507
400	529	462	577

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์นเรศ ปัดดี

500	605	527	654

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เงาเดช

หมายเหตุ (ตารางที่ 5-23 วสท.)

1) อุณหภูมิโดยรอบที่แตกต่างจาก 30 °C ให้ใช้ตัวคูณปรับค่าตามที่ระบุไว้ในตารางที่ 5-44 วสท.

2) ในกรณีเดินเป็นกลุ่มมากกว่า 1 วงจร ให้ใช้ตัวคูณปรับค่าตามที่ระบุไว้ในตารางที่ 5-45 หรือ 5-46 วสท.

3) ในกรณีมีจำนวนตัวนำกระแสมากกว่า 1 กลุ่มวงจร ในท่อร้อยสาย ให้ใช้ตัวคูณปรับค่าตามที่ระบุไว้ในตาราง ที่ 5-8 วสท.

4) ดูคำอธิบายรูปแบบการติดตั้ง ในตารางที่ 5-47 วสท.

5) ดูคำอธิบายรหัสชนิดเคเบิลที่ใช้งาน ในตารางที่ 5-48 วสท.

6) งานติดตั้งระบบไฟฟ้าที่เป็นทรัพย์สินของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ให้พิจารณาขนาดกระแสตามมาตรฐานการ ไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ยกเว้นไม่มีกำหนดไว้

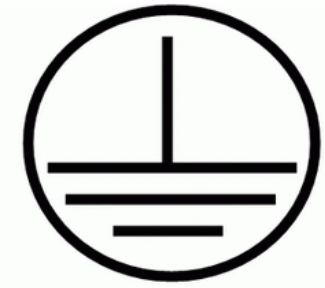
7.6 การต่อลงดินของเครื่องบริภัณฑ์ไฟฟ้า (Equipment Grounding)

การต่อลงดินของเครื่องบริภัณฑ์ไฟฟ้า หมายถึง การต่อส่วนที่เป็นโลหะที่ไม่มีกระแสไหลผ่านของสถานประกอบการให้ถึงกันตลอด แล้วต่อลงดิน

สายดินที่ติดตั้งในระบบไฟฟ้า มีขึ้นเพื่อเสริมให้เกิดความปลอดภัยต่อการใช้ไฟฟ้า ในกรณีที่เกิดไฟรั่วลงบนโครงเครื่องใช้ไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าส่วนที่รั่วออกมานี้ ก็จะใช้สายดินเป็นเส้นทางในการไหลลงดินแทนที่จะไหลผ่านร่างกายของมนุษย์ในกรณีที่เผลอไปสัมผัสนั่นเอง

ซึ่งสายดินจะทำงานได้โดยสมบูรณ์ ปลายสายด้านหนึ่งของสายดินต้องมีการต่อลงดินด้วยวัสดุที่มีคุณสมบัติเป็นตัวนำไฟฟ้าส่วนปลายสายอีกด้านหนึ่งต่อเข้ากับพื้นผิวหรือโครงเครื่องใช้ไฟฟ้าซึ่งเป็นส่วนที่มีการเข้าถึงและสัมผัสได้โดยผู้ใช้งานหรือบุคคลทั่วไป

และไม่เพียงแค่การป้องกันไม่ให้ผู้ใช้ไฟฟ้าได้รับอันตรายจากการถูกไฟฟ้าดูดเท่านั้น แต่ในบางกรณีสายดินยังมีส่วนช่วยในการจัดการกับสัญญาณรบกวนอีกด้วย



สัญลักษณ์ของสายดิน

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เงาเดช

การทำงานของสายดิน

ก่อนอื่นเราต้องเข้าใจในธรรมชาติของไฟฟ้าก่อนซึ่งธรรมชาติของไฟฟ้านั้น จะเคลื่อนที่จากบริเวณที่มีศักย์ทางไฟฟ้าสูงไปยังบริเวณที่มีศักย์ไฟฟ้าน้อยกว่าหรือบริเวณที่มีศักย์ไฟฟ้าเป็นศูนย์

พื้นโลก(พื้นดิน)มีศักย์ทางไฟฟ้าเป็นศูนย์ และในระบบผลิตและจำหน่ายกระแสไฟฟ้าส่วนหนึ่งนั้นก็ได้มีการต่อลงดิน เพื่อเทียบศักย์ไฟฟ้าให้เป็น 0 เทียบเท่ากับพื้นดิน

เมื่อเราไปสัมผัสกับพื้นผิวหรือโครงเครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีกระแสไฟฟ้ารั่วออกมา และเท้าของเรายืนอยู่บนพื้น นั่นทำให้เกิดค่าความต่างศักย์ทางไฟฟ้าระหว่างจุดสองจุดที่ร่างกายเราสัมผัสอยู่ในขณะนั้น ไฟฟ้าจะใช้ร่างกายของเราเป็นสื่อเพื่อเดินทางผ่าน ในที่นี้กระแสไฟฟ้าก็จะผ่านตัวเราเพื่อไปลงสู่ดินนั่นเอง

ถ้ามีการติดตั้งสายดินที่โครงเครื่องใช้ไฟฟ้าเอาไว้ หากมีกระแสไฟฟ้ารั่วลงมาที่โครงเครื่องใช้ไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าที่รั่วออกมานั้น ก็จะเดินทางลงสู่ดินผ่านทางสายดิน ซึ่งเมื่อใดที่เราไปจับโครงเครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีการติดตั้งสายดิน ก็จะไม่ได้รับอันตรายจากกระแสไฟฟ้า เพราะไฟฟ้าเลือกที่จะไหลผ่านช่องทางที่สะดวกที่สุดซึ่งนั้นก็คือทางสายดิน แทนการไหลผ่านร่างกายมนุษย์ เนื่องจากเมื่อเทียบกันแล้วสายดินมีความต้านทานต่ำกว่าร่างกายมนุษย์หลายเท่า ไฟฟ้าจึงเลือกเดินทางผ่านสายดิน แทนที่จะผ่านร่างกายเรา

การต่อลงดินของเครื่องบริภัณฑ์ไฟฟ้า มีจุดประสงค์ดังนี้ คือ

1. เพื่อให้ส่วนโลหะที่ต่อถึงกันตลอดมีศักดาไฟฟ้าเท่ากับดิน ทำให้ปลอดภัยจากการโดนไฟดูด
2. เพื่อให้อุปกรณ์ป้องกันกระแสเกินทำงานได้รวดเร็วขึ้น เมื่อตัวนำไฟฟ้าแตะเข้ากับส่วนโลหะใดๆ เนื่องจาก ฉนวนของสายไฟฟ้าชำรุด หรือเกิดอุบัติเหตุ
3. เป็นทางผ่านให้กระแสรั่วไหล และ กระแสเนื่องมาจากไฟฟ้าสถิตลงดิน

7.6.1 เครื่องบริภัณฑ์ไฟฟ้าที่ต้องต่อลงดิน

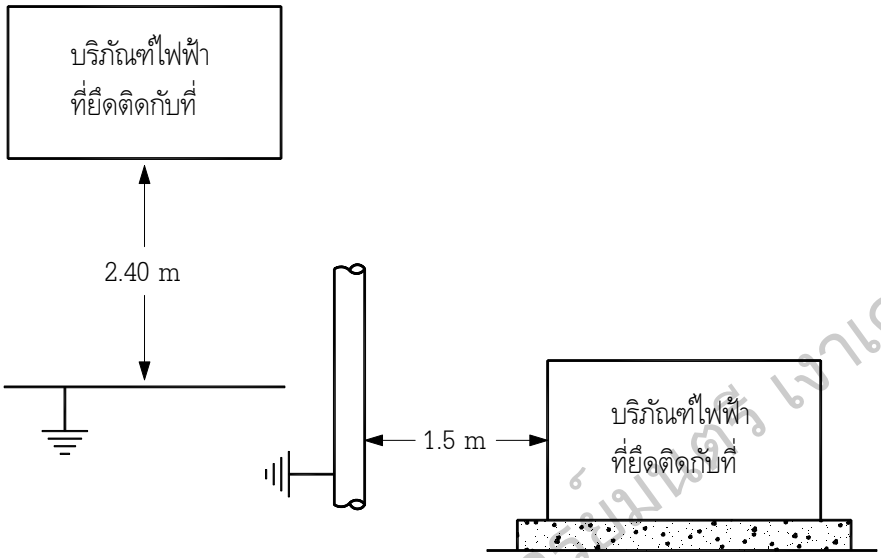
ประเภทของบริภัณฑ์ไฟฟ้าที่จะต้องต่อลงดินมีดังต่อไปนี้

1. เครื่องห่อหุ้มที่เป็นโลหะของ สายไฟฟ้า แผงบริภัณฑ์ประธาน โครง และ รางปันจั่นที่ใช้ไฟฟ้า โครงของตู้ลิฟต์ และลวดสลิงยกของที่ใช้ไฟฟ้า
2. สิ่งกั้นที่เป็นโลหะ รวมทั้งเครื่องห่อหุ้มของเครื่องบริภัณฑ์ไฟฟ้าในระบบแรงสูง
3. เครื่องบริภัณฑ์ไฟฟ้าที่ยึดติดอยู่กับที่ (Fixed Equipment) และชนิดที่มีการเดินสายถาวร (Hard Wires) ส่วนที่เป็นโลหะเปิดโล่งซึ่งปกติไม่มีไฟฟ้า แต่อาจมีไฟฟ้ารั่วถึงได้ ต้องต่อลงดินถ้ามีสภาพตามข้อใดข้อหนึ่ง ต่อไปนี้

- อยู่ห่างจากพื้น หรือ โลหะที่ต่อลงดินไม่เกิน 8 ฟุต (2.40 m.) ในแนวตั้ง หรือ 5 ฟุต (1.5 m.) ในแนวนอน และบุคคลอาจสัมผัสได้ (ในข้อนี้ถ้ามีวิธีติดตั้ง หรือวิธีการป้องกันอย่างอื่นไม่ให้บุคคลไปสัมผัสได้ ก็ไม่ต้องต่อลงดิน) ดังแสดงในรูปที่ 6.21

เอกสารประกอบการสอนวิชา การยศนิยม

- สัมผัสทางไฟฟ้ากับโลหะอื่นๆ (เป็นโลหะที่บุคคลอาจสัมผัสได้)
- อยู่ในสภาพที่เปียกชื้นและ ไม่ได้มีการแยกให้อยู่ต่างหาก



รูปที่ 6.23 ระยะห่างของเครื่องบริภัณฑ์ไฟฟ้ากับระบบหลักดิน
ถ้ามีระยะห่างมากกว่านี้ไม่ต้องต่อลงดิน

4. เครื่องบริภัณฑ์ไฟฟ้าสำหรับยึดติดกับที่ต่อไปนี้ ต้องต่อส่วนที่เป็นโลหะเปิดโล่ง และ ปกติไม่มีกระแสไฟฟ้าลงดิน

- โครงของแผงสวิตซ์
- โครงของมอเตอร์ชนิดยึดอยู่กับที่
- กล่องของเครื่องควบคุมมอเตอร์ ถ้าใช้เป็นสวิตซ์ธรรมดา และ มีฉนวนรองที่ฝาสวิตซ์ด้านในก็ไม่ต้องต่อ ลงดิน
- เครื่องบริภัณฑ์ไฟฟ้าของลิฟต์และ ปั้นจั่น
- ป้ายโฆษณา เครื่องฉายภาพยนตร์ เครื่องสูบน้ำ

5. เครื่องบริภัณฑ์ไฟฟ้าที่ใช้เต้าเสียบ ส่วนที่เป็นโลหะเปิดโล่งของเครื่องบริภัณฑ์ไฟฟ้า ต้องต่อลงดินเมื่อมีสภาพตามข้อใดข้อหนึ่งดังนี้

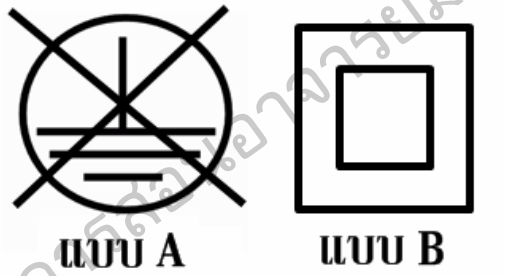
- แรงดันเทียบกับดินเกิน 150 V. ยกเว้นมีการป้องกันอย่างอื่น หรือ มีฉนวนอย่างดี
- เครื่องไฟฟ้าทั้งที่ใช้ในที่อยู่อาศัย และ ที่อยู่อื่นๆ ดังนี้
    - ตู้เย็น ตู้แช่แข็ง เครื่องปรับอากาศ

เอกสารประกอบการสอนวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า เขาเดช

- เครื่องซักผ้า เครื่องคบผ้า เครื่องล้างจาน เครื่องสูบน้ำทิ้ง
- เครื่องประมวลผลข้อมูล เครื่องใช้ไฟฟ้าในตู้เลี้ยงปลา
- เครื่องมือที่ทำงานด้วยมอเตอร์เช่น สว่านไฟฟ้า
- เครื่องตัดหญ้า เครื่องขัดถู
- เครื่องมือที่ใช้ในสถานที่เปียกชื้น เป็นพื้นดินหรือเป็นโลหะ
- โคมไฟฟ้าชนิดหยิบยกได้

เครื่องใช้ไฟฟ้าประเภทที่ไม่ต้องมีสายดิน

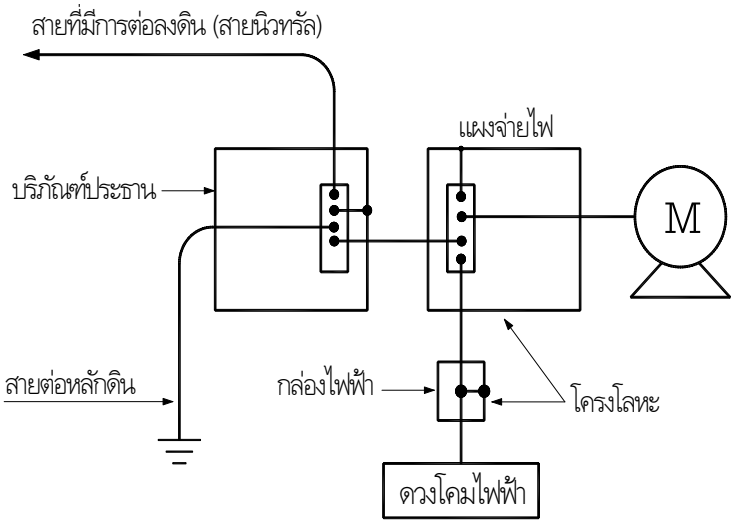
ส่วนใหญ่จะเป็นเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ใช้งานในระดับแรงดัน ต่ำกว่า 50 V หรือเป็นเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ลักษณะทางกายภาพมีฉนวนห่อหุ้มมิดชิดในการใช้งานปกติไม่มีโอกาสที่ผู้ใช้งานจะสัมผัสโดนส่วนที่มีไฟฟ้า ซึ่งจะเรียกเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ไม่ต้องมีสายดินว่า เครื่องใช้ไฟฟ้าประเภท 2 ซึ่งมีสัญลักษณ์แสดงไว้อย่างชัดเจนว่าไม่ต้องมีสายดิน ตัวอย่างของเครื่องใช้ฯประเภท 2 เช่น วิทยุ , โทรทัศน์ , พัดลมตั้งพื้น/โต๊ะโคมไฟแสงสว่างชนิดตั้งโต๊ะ เป็นต้น



7.6.2 สายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า (Equipment Grounding Conductor)

สายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า หมายถึง ตัวนำที่ใช้ต่อส่วนโลหะ ที่ไม่นำกระแสของบริภัณฑ์ ช่องเดินสายที่ล้อมเข้ากับ ตัวนำที่มีการต่อลงดินของระบบ และ/หรือ ตัวนำที่บริภัณฑ์ประธาน หรือที่แหล่งจ่ายไฟของระบบแยกต่างหาก ดังแสดง ในรูปที่ 7.24

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี มงคล



รูปที่ 7.24 สายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า

ทางเดินสู่ดินที่ใช้ได้ผลดี (Effective Grounding)

การต่อลงดินของบริภัณฑ์จะตองทำให้เกิดทางเดินสู่ดินที่ใช้ได้ผลดี (Effective Grounding Path) ซึ่งหมายความว่าการต่อลงดินนั้นจะต้องทำให้ได้ตามข้อกำหนดดังต่อไปนี้ คือ

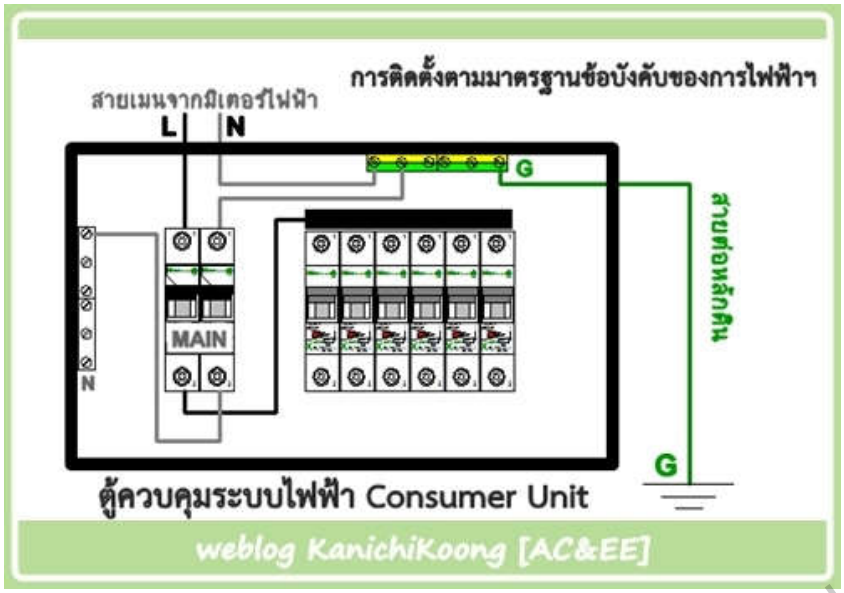
- ความต่อเนื่อง (Continuity) ส่วนโลหะทั้งหมดจะต้องต่อถึงกันตลอด
- อิมพีแดนซ์ต่ำ (Low Impedance) เพื่อให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านได้สะดวก
- ทนต่อกระแสค่าสูงได้ (Ampacity) ขนาดพื้นที่หน้าตัดจะต้องใหญ่พอ เพื่อให้ทนต่อกระแสสูงๆ ได้เมื่อเกิดการลัดวงจรขึ้น

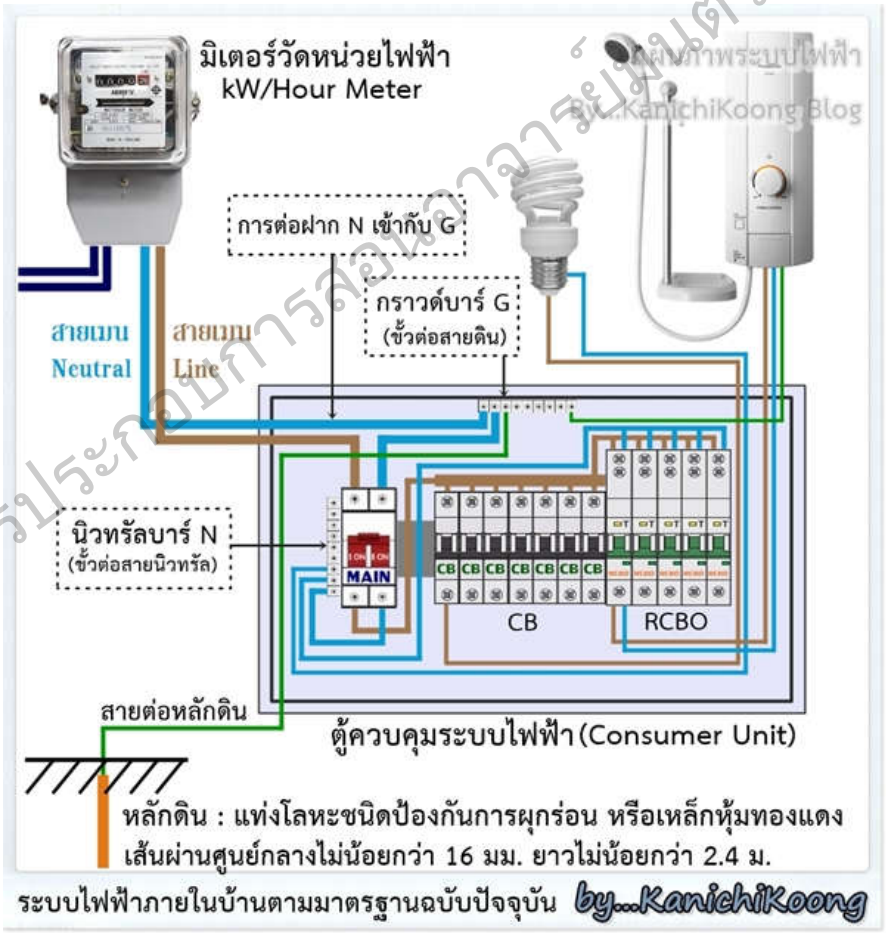
ชนิดของสายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า

สายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า ที่เดินสายร่วมไปกับสายของวงจร จะต้องเป็นดังนี้

- ตัวนำทองแดงจะหุ้มฉนวน หรือไม่หุ้มฉนวนก็ได้
- เปลือกโลหะของสายเคเบิลชนิด AC , Ml และ MC
- บัสเวย์ที่ได้ระบุให้ใช้แทนสายสำหรับต่อลงดินได้

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เงาเดช



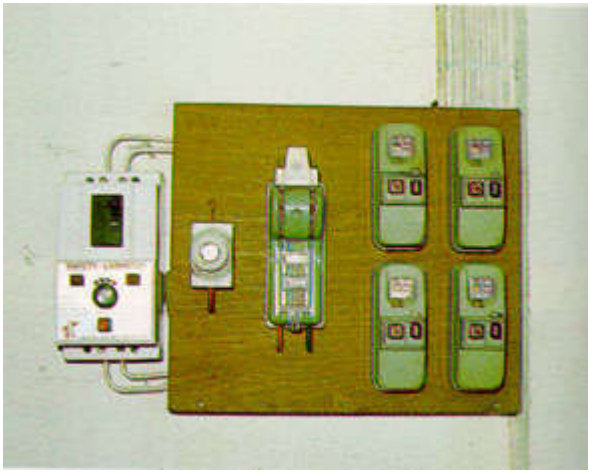


เอกสารประกอบการสอนอาจารย์ณัฐวุฒิ เงาเดช

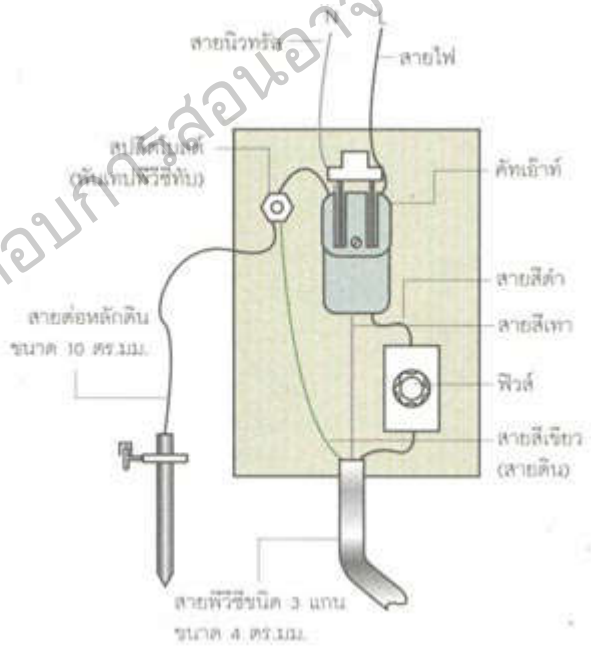
การติดตั้งระบบสายดิน เข้ากับแผงควบคุมไฟฟ้าแบบเก่า

ในกรณีที่ต้องการติดตั้งระบบสายดินแต่แผงควบคุมไฟฟ้าที่เป็นแผงหลัก ไม่ได้ใช้เป็นตู้ควบคุมไฟฟ้า Consumer Unit

ซึ่งแผงควบคุมไฟฟ้าดังกล่าวเป็นแผงควบคุมไฟฟ้าแบบเก่าที่นิยมใช้ในสมัยก่อน มีลักษณะเป็นแผงไม้หรือพลาสติกที่มีเมนสวิทช์และอุปกรณ์อื่นๆติดตั้งอยู่



หากต้องการติดตั้งระบบสายดินก็สามารถทำได้ โดยให้จุดต่อลงดินของระบบไฟฟ้า (สายต่อฝากที่เชื่อมนิวทรัลเข้ากับสายดิน) อยู่ด้านไฟเข้าของเมนสวิทช์ตัวแรกของระบบ



สายดินที่นำมาติดตั้ง

สายดินที่ใช้ในระบบไฟฟ้าทั่วไป จะมีลักษณะทางกายภาพ คือเป็นสายไฟฟ้าชนิดแกนเดียว ภายในสายประกอบด้วยลวดตัวนำที่ทำมาจากทองแดง และหุ้มด้วยฉนวนประเภท PVC

ตามมาตรฐาน ได้กำหนดให้ใช้สายที่มีฉนวนสีเขียวหรือสีเขียวสลับแถบสีเหลือง เป็นสีเฉพาะของสายดิน

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์ยนตรี เงาเดช

สายดินในระบบไฟฟ้ายังสามารถจำแนกได้เป็น 2 กลุ่มหลักๆคือ

1. สายดินที่ใช้ในวงจรย่อยซึ่งเป็นสายดินที่ต่อมาจากเต้ารับ หรือเครื่องใช้ไฟฟ้า ที่ติดตั้งตามจุดต่าง ๆ

2. สายสำหรับต่อหลักดิน เป็นสายขนาดใหญ่ที่จะรวมสายดินจากวงจรย่อยต่าง ๆ เข้าด้วยกัน แล้วต่อไปลงที่หลักดินที่ตอกลงไปในดิน

ขนาดตัวนำประธาน (ตัวนำทองแดง) (ตร.มม.)	ขนาดต่ำสุดของสายต่อหลักดิน (ตัวนำทองแดง) (ตร.มม.)
ไม่เกิน 35	10*
เกิน 35 แต่ไม่เกิน 50	16
เกิน 50 แต่ไม่เกิน 95	25
เกิน 95 แต่ไม่เกิน 185	35
เกิน 185 แต่ไม่เกิน 300	50
เกิน 300 แต่ไม่เกิน 500	70
เกิน 500	95

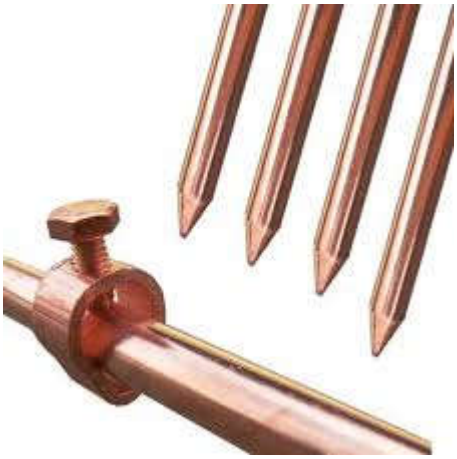
หลักดิน

หลักดินเป็นโลหะตัวนำไฟฟ้ามีหน้าที่ถ่ายเทประจุไฟฟ้าให้กระจายลงสู่พื้นดิน โดยเมื่อมีกระแสไฟฟ้ารั่วจากเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ต่อสายดินอยู่ กระแสไฟฟ้าที่รั่วก็จะเดินทางจากสายดินมาสู่หลักดินแล้วถ่ายเทลงสู่พื้นดิน

หลักดินที่ใช้กับระบบสายดินมีลักษณะทางกายภาพเป็นแท่งโลหะ ซึ่งโดยส่วนใหญ่จะใช้เป็นแท่งทองแดง หรือเหล็กชุบทองแดงเพื่อป้องกันสนิมและการกัดกร่อน

ตามมาตรฐานกำหนดให้หลักดินที่จะนำมาติดตั้งกับระบบไฟฟ้า มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 16 มม. (5/8นิ้ว) และมีความยาว 2.4 เมตร ซึ่งนี่คือแท่งหลักดินขนาดมาตรฐานที่ใช้ตอกลงไปในพื้นดิน และมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าของประเทศไทย ก็ได้กำหนดค่าความต้านทานของหลักดินที่ตอกลงไปโดยหลักดินที่ได้มาตรฐาน ต้องมีความต้านทานดิน ไม่เกิน 5 โอห์ม

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เขาเดช



ข้อกำหนดในการติดตั้งระบบสายดินที่ถูกต้อง ตามมาตรฐาน

1. จุดต่อลงดินของระบบไฟฟ้า (สายต่อฝากที่เชื่อมนิวทรัลเข้ากับสายดิน) ต้องอยู่ด้านไฟเข้าของเครื่องตัดวงจรตัวแรกในตู้สวิตช์บอร์ดหลัก
2. ภายในอาคารหลังเดียวกัน หรือกรณีบ้าน 1 หลัง ระบบไฟฟ้าไม่ควรมีจุดต่อลงดินมากกว่า 1 จุด
3. สายดินและสายนิวทรัล สามารถต่อร่วมกันได้เพียงแห่งเดียว ที่จุดต่อลงดินภายในตู้เมนสวิตช์ ห้ามต่อร่วมกันในที่อื่น ๆ อีก เช่น ในแผงสวิตช์ย่อยของชั้นบน
4. ตู้เมนสวิตช์สำหรับห้องชุดของอาคาร และตู้แผงสวิตช์ประจำชั้นของอาคาร ให้ถือว่าเป็นแผงสวิตช์ย่อย ห้ามต่อสายนิวทรัลและสายดินร่วมกัน
5. ไม่ควรต่อโครงโลหะของเครื่องใช้ไฟฟ้าลงดินโดยตรง แต่ถ้าได้ดำเนินการไปแล้ว ถ้าเป็นไปได้ให้แก้ไขโดยมีการต่อลงดินที่เมนสวิตช์ อย่างถูกต้องแล้วเดินสายดินจากเมนสวิตช์มาต่อร่วมกับสายดินที่ใช้อยู่เดิม
6. ไม่ควรใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์ชนิด 120/240 V กับระบบไฟ 220 V เพราะพิกัด IC จะลดลงประมาณครึ่งหนึ่ง
7. การติดตั้งเครื่องตัดไฟรั่วหรืออุปกรณ์ป้องกันไฟดูด เป็นเพียงมาตรการเสริมรองลงมา เพื่อเสริมการป้องกันให้สมบูรณ์แบบยิ่งขึ้นเท่านั้น อย่างไรก็ตาม ระบบสายดินก็ยังคงเป็นสิ่งสำคัญที่มาก่อนเป็นอันดับแรก
8. วงจรสายดินที่ถูกต้องตามมาตรฐาน ในสภาวะปกติจะต้องไม่มีกระแสไฟฟ้าไหล
9. ถ้าเดินสายไฟในท่อโลหะ จะต้องเดินสายดินรวมในท่อเส้นนั้นด้วย
10. ดวงโคมไฟฟ้าและอุปกรณ์ติดตั้งที่เป็นโลหะควรต่อลงดิน มิฉะนั้นต้องอยู่เกินระยะที่บุคคลทั่วไปสัมผัสไม่ถึง (สูงตั้งแต่ 2.40 เมตร ขึ้นไป หรือห่างไม่น้อยกว่า 1.50 เมตร ในแนวราบ)
11. ขนาดและชนิดของอุปกรณ์ระบบสายดิน ต้องเป็นไปตามมาตรฐานกฎการเดินสายและติดตั้งอุปกรณ์ไฟฟ้าของการไฟฟ้าในท้องที่นั้น

เอกสารประกอบการสอน อาจารย์เมตริ พาเดช

6.5.3 ขนาดสายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า

การหาขนาดสายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า ทำตามข้อต่าง ๆ ต่อไปนี้

- เลือกขนาดสายดินตามขนาดของเครื่องป้องกันกระแสเกิน ตามตารางที่ 6.2
- เมื่อเดินสายควบ ถ้ามีสายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้าให้เดินขนานกันไปในแต่ละท่อสาย และขนาดสายดินให้คิด ตามพิกัดของเครื่องป้องกันกระแสเกิน
- เมื่อมีวงจรมากกว่าหนึ่งวงจรเดินในท่อสาย อาจใช้สายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้าร่วมกันได้และให้คำนวณขนาดสายดินตามพิกัดของเครื่องป้องกันกระแสเกินตัวโตที่สุด
- ขนาดสายดินของมอเตอร์ให้เลือกตามพิกัดของเครื่องป้องกันเกินกำลังของมอเตอร์
- พิกัดของเครื่องป้องกันเกินกำลัง = 1.15 I_n
- โดยที่ I_n คือ พิกัดกระแสของมอเตอร์
- สายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า ไม่จำเป็นต้องโตกว่าสายเฟส

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เงาเดช

ตารางที่ 6.2 ขนาดต่ำสุดของสายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า

พิกัดหรือขนาดปรับตั้งของเครื่องป้องกันกระแสเกินไม่เกิน (A)	ขนาดต่ำสุดของสายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า (ตัวนำทองแดง) (mm^2)
20	2.5*
40	4*
70	6
100	10
200	16
400	25
500	35
800	50
1,000	70
1,250	95
2,000	120
2,500	185
4,000	240
6,000	400

หมายเหตุ ● หากความยาวของวงจรย่อยเกิน 30 เมตร ให้พิจารณาขนาดสายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้าโดยคำนึง ค่า earth fault loop impedance ของวงจรที่แสดงในภาคผนวก ญ

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เงาเดช

การเลือกขนาดสายไฟฟ้า มีสิ่งที่ต้องพิจารณา ดังนี้

1. ด้านไฟฟ้า ต้องพิจารณาในการเลือกใช้สายไฟฟ้าในด้านต่างๆ ต่อไปนี้

ก) ขนาดสาย

- พิจารณากระแส แรงดันไฟฟ้าและอุณหภูมิ
- ภาวะโหลดเกินกะทันหัน
- แรงดันตก
- กระแสลัดวงจร

ข) ชนิดของสาย

ค) ความหนาแน่นของฉนวน

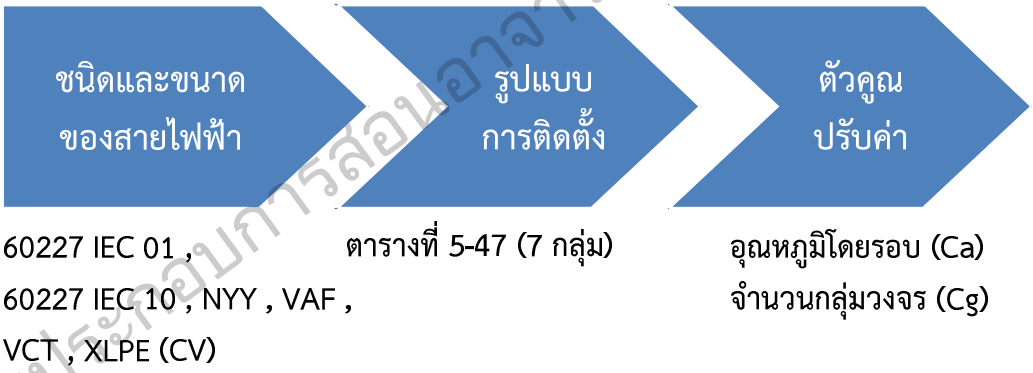
ง) การนำไปใช้งาน

2. ความแข็งแรงของฉนวนต่อแรงดันไฟฟ้า
3. ความร้อน ความร้อนจะมีผลต่อความต้านทานของสายไฟฟ้า
4. ทางกล สายจะต้องมีความเหนียวและความยืดหยุ่น
5. ทางเคมี สายจะต้องทนต่อน้ำมัน เปลวไฟ โอโซน แสงอาทิตย์ กรดต่างๆ

การเลือกขนาดสายไฟฟ้า

การเลือกขนาดสายไฟฟ้า ตามมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้า สำหรับประเทศไทย พ.ศ.2556 จะเกี่ยวข้องกับ

- ชนิดและขนาดของสายไฟฟ้า เลือก สาย 60227 IEC 01 , 60227 IEC 10 , NYY , VAF , VCT , XLPE (CV)
- รูปแบบการติดตั้ง ตามตารางที่ 5-47 (7 กลุ่มการติดตั้ง)
- ตัวคูณปรับค่า เช่น ตัวคูณปรับค่าอุณหภูมิโดยรอบ , ตัวคูณจำนวนกลุ่มวงจร



รูปที่ 3.19 ผังการเลือกขนาดสายไฟฟ้า

ขั้นตอนการหาขนาดของสายไฟฟ้า อาจแบ่งได้เป็น 8 ขั้นตอนคือ

1. กำหนดกระแสออกแบบ Design Current (I_b) หรือกระโหลด (I_L)
2. กำหนดขนาดอุปกรณ์ป้องกัน (I_n)
3. เลือกวิธีติดตั้ง Method of Installation
4. เลือกชนิดของสายไฟฟ้า
   - ชนิดฉนวน PVC , XLPE
   - จำนวนแกน 1, 2, 3, 4 Cores
5. เลือก ลักษณะการติดตั้ง

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เงาเดช

กลุ่มที่ 1 , 2 , 3 , 4 , 5 , 6 , 7และเลือกตารางที่จะใช้

6. หา ตัวคูณปรับค่า Rating Factors

7. หาขนาดกระแสสายไฟฟ้า

$$I_t = \frac{I_n}{(C_a \times C_g)}$$

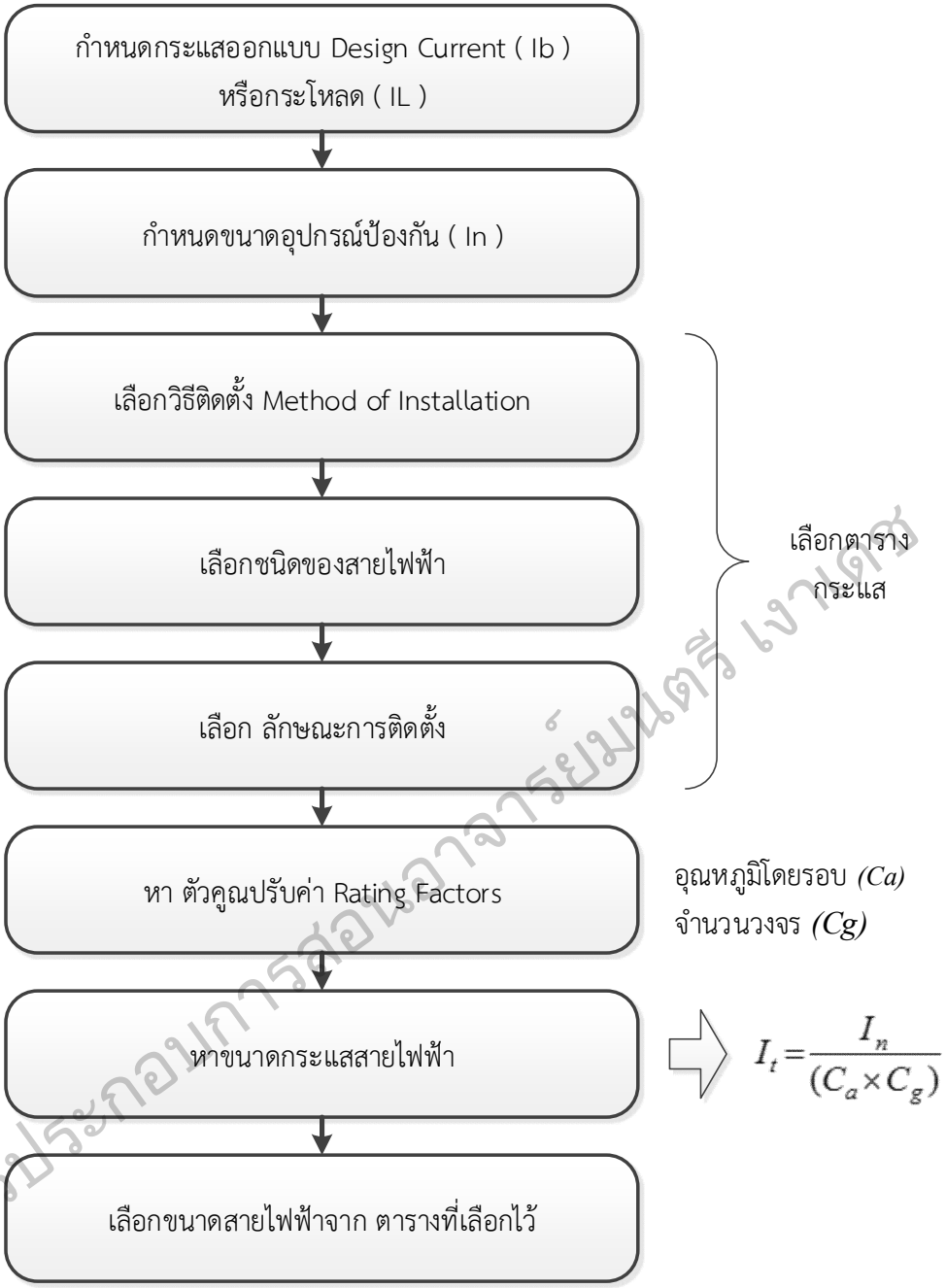
C_a = Ambient Rating Factor

Cg = Group Rating Factor

8. เลือกขนาดสายไฟฟ้าจาก ตารางที่เลือกไว้

ขั้นตอนการหาขนาดของสายไฟฟ้า อาจแบ่งได้เป็น 8 ขั้นตอนคือ

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เงาเดช



รูปที่ 3.20 ขั้นตอนการหาขนาดของสายไฟฟ้า

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เงาเดช

ตัวอย่างที่ 3.1 วงจรย่อย 1 เฟส , 230 V. กระแสออกแบบ 12 A. เดินในท่อร้อยสาย Ambient Temperature 40°C ให้หาขนาด สาย IEC 01 และถ้า เดิน 2 วงจร ในท่อเดียวกันโดยกระแสออกแบบเท่าเดิม ขนาดสาย จะต้องเป็นเท่าใด

วิธีทำ

ขั้นตอนที่ 1

I_b = 12A.

ขั้นตอนที่ 2

เลือก CB ให้ $I_n > I_b$

เลือก I_n = 16 A. หรือ 20 A.

ขั้นตอนที่ 3

การติดตั้งในท่อร้อยสาย

ขั้นตอนที่ 4

เลือกสาย IEC 01 ฉนวน PVC 70 °C เป็น สายแกนเดียว

ขั้นตอนที่ 5

เลือก ลักษณะการติดตั้ง กลุ่มที่ 2 เดินในท่อร้อยสาย

ตารางที่ 5 - 20 แกนเดียว 2 ตัวนำกระแส

ขั้นตอนที่ 6

หาตัวคูณปรับค่า Rating Factor ตารางที่ 5 - 43

Ambient Temperature 40 °C

C_a = 1.00

ขั้นตอนที่ 7

I_t = 16 / 1.00 = 16 A.

หรือ I_t = 20 / 1.00 = 20 A.

ขั้นตอนที่ 8

จากตาราง 5-20

สาย IEC 01 ในท่อ 2x2.5 mm^2 (21 A.)

∴ สามารถใช้ CB 16 A. หรือ CB 20 A. ได้

เดิน 2 วงจร ในท่อเดียวกัน

หา ตัวคูณปรับค่า Rating Factor ตารางที่ 5 - 8

จาก ตาราง 5-20

สาย IEC 01 ในท่อ 2 x 2.5 mm^2 (21 A.)

2 x 4 mm^2 (28 A.)

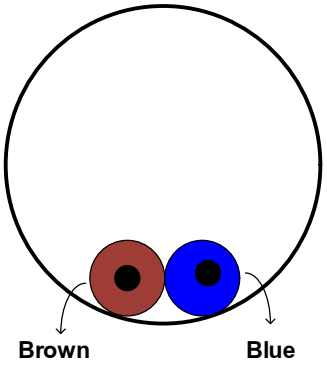
เอกสารประกอบการสอน อาจารย์นเตรี เงาเดช

สามารถใช้ CB 16 A.

$2 \times 2.5\ mm^2$

หรือ CB 20 A.

$2 \times 4\ mm^2$



คำนวณโหลด (I_b) และกำหนดขนาดเครื่องป้องกัน (I_n)	I_n = 16 A.	
เลือกชนิดของสายไฟฟ้า	IEC 01	ตารางที่ 5-20
เลือกวิธีการเดินสาย (กลุ่ม)	กลุ่ม 2	
ตัวคูณปรับค่า (ตารางที่ 5-40,5-43)	C_a = 1.00	C_g = 0.80
หาขนาดกระแสของสาย (I_t)	$I_t \geq \frac{16}{(1.00 \times 0.80)} \geq 20A.$	
หาขนาดสายไฟฟ้าจากตาราง	ตารางที่ 5-20	2x2.5 mm^2 (21A)
หาขนาดท่อร้อยสาย หรือรางเดินสาย		½” EMT (15 mm.)

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เงาเดช

ตัวอย่างที่ 3.2 ระบบไฟฟ้า 3 เฟส 4 สาย, 230 / 400 V. มี วงจรย่อย 3 ชุดๆ ละ 14 A. ใช้ Neutral ร่วมใช้ สาย IEC 01 เดินใน ท่อร้อยสาย Ambient Temperature 40 °C ถ้าวงจรย่อยใช้ Neutral แยกกัน และร้อยในท่อร้อยสายเดียวกันให้หาขนาดสาย

วิธีทำ

ขั้นตอนที่ 1

I_b = 14A.

ขั้นตอนที่ 2

เลือก CB 20 A.

ขั้นตอนที่ 3

การติดตั้งในท่อร้อยสาย

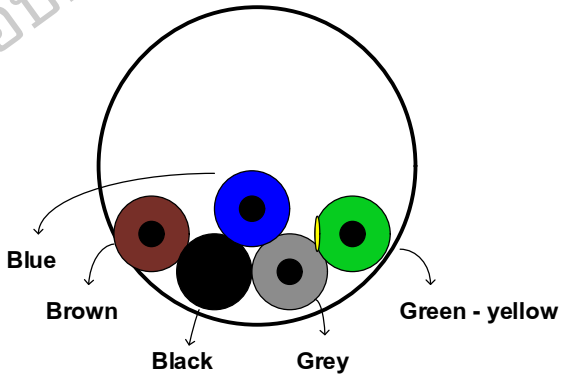
ขั้นตอนที่ 4

เลือกสาย IEC 01 ฉนวน PVC 70 °C เป็น สายแกนเดียว

ขั้นตอนที่ 5

เลือก ลักษณะการติดตั้ง กลุ่มที่ 2 เดินในท่อร้อยสาย

ตารางที่ 5 - 20 แกนเดียว 3 ตัวนำกระแสระบบไฟฟ้า 3 ph, 4 W. ใช้ Neutral ร่วมเดินในท่อร้อยสายปกติจะออกแบบให้ Balanced ซึ่งการใช้งานจริงอาจ Off Balanced ไปบ้าง ถือว่า Neutral ไม่นำกระแส ∴ จำนวนตัวนำกระแส = 3



ขั้นตอนที่ 6

หา ตัวคูณปรับค่า Rating Factor ตารางที่ 5 - 43

Ambient Temperature 40 °c 1 C_a = 1.00

ขั้นตอนที่ 7

I_t = 20/1.00 = 20 A.

ขั้นตอนที่ 8

จาก ตาราง 5 - 20

เอกสารประกอบการสอน อาจารย์มนตรี เงาเดช

สายแกนเดียว ในท่อมี 3 เส้น

สาย 4x4 mm^2 (24 A.)

เดิน 3 วงจร ในท่อเดียวกัน

หา ตัวคูณปรับค่า Rating Factor ตารางที่ 5-8

3วงจร ตัวคูณ = 0.70

ขั้นตอนที่ 7

I_t = 20/0.7 = 28.6 A.

ขั้นตอนที่ 8

จาก ตาราง 5 - 20

สาย IEC 01 ในท่อ 2 x 4 mm^2 (28 A.)

2 x 6 mm^2 (36 A.)

CB 20 A.

3 (2 x 6 mm^2)

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เงาเดช

คำนวณโหลด (I_b) และ กำหนดขนาดเครื่องป้องกัน (I_n)	I_n = 20 A.	
เลือกชนิดของสายไฟฟ้า	IEC 01	ตารางที่ 5-20
เลือกวิธีการเดินสาย (กลุ่ม)	กลุ่ม 2	
ตัวคูณปรับค่า (ตารางที่ 5-40,5-43)	C_a = 1.00	C_g = 0.70
หาขนาดกระแสของสาย (I_t)	$I_t \geq \frac{20}{(1.00 \times 0.80)} \geq 28.6A.$	
หาขนาดสายไฟฟ้าจาก	ตารางที่ 5-20	2x6 mm^2 (36A)

ตาราง		
หาขนาดท่อร้อยสาย หรือ รางเดินสาย		½” EMT (15 mm.)

- ขนาดอุปกรณ์ป้องกัน (CB) ป้องกันที่ 80% ของขนาดพิกัดสูงสุดของพิกัดกระแสของสายไฟฟ้าตามชนิดและลักษณะการติดตั้งของสายชนิดนั้น ขนาดของอุปกรณ์ป้องกันมาตรฐานสามารถใช้ค่าตามตารางนี้

ตาราง 7.4 ขนาดมาตรฐานของ Circuit Breaker

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เงาเดช

พิกัดกระแสตัดลัดวงจรของตัดตอนอัตโนมัติเปลือกหุ้มมิดชิด(molded case circuit breaker) ที่พิกัดฉนวน 600 V เป็นกิโลแอมป์(kA) SYM. r.m.s.

พิกัดกระแสโครง (ampere frame) (AF)	พิกัดกระแสตัด (ampere trip) (AT)	อัตราพิกัดกระแสตัดลัดวงจรที่แรงดันพิกัด		
		240 V	380/415 V	480 V
50	5,6,10,15,20,25, 30,35,40,50	2.5-10 (85)	2.5-7.5 (30)	2.5-5 (22)
100	15,20,25,30,35, 40,50,60,70,80, 90,100,	7.5-35 (85)	5-30 (45)	5-25 (42)
225	125,150,175,200, 225	15-42 (85)	10-30 (50)	10-25 (42)
400	125,150,175,200, 225,250,300,350, 400	30-50 (85)	17-36 (50)	15-30 (42)
600	450,500,600	30-50 (85)	22-45 (60)	20-30 (42)
800	600,700,800	50-85 (130)	30-60 (100)	30-42 (85)
1000	800,900,1000	60-85 (130)	30-65 (100)	30-50 (85)
1200	800,1000,1200	70-85 (130)	35-65 (100)	35-50 (85)
1600	1000,1200,1600	70-130	40-100	34-85
2000	1200,1600,2000	70-130	40-100	34-85

ในวงเล็บ ( ) เป็นตัดตอนอัตโนมัติชนิดพิกัดกระแสตัดลัดวงจรสูง

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เงาเดช

- ขนาดของท่อร้อยสายไฟฟ้า ตามมาตรฐานของการไฟฟ้าฯ กำหนดให้สายไฟฟ้าที่เดินร้อยในท่อร้อยสายมีพื้นที่หน้าตัดรวมไม่เกิน 40% ของพื้นที่หน้าตัดของท่อ เราสามารถกำหนดขนาดของท่อร้อยสายไฟฟ้าให้เหมาะสมได้โดยการใช้ตารางนี้

ตาราง 7.5 จำนวนสูงสุดของสายไฟฟ้าในท่อร้อยสายตามมาตรฐานการไฟฟ้าฯ

ตารางที่ 4.6 จำนวนสายสูงสุดของสายไฟขนาดเดียวกัน มอก. 11-2553
รหัสชนิด 60227 *IEC* 01 ที่ให้ใช้ในท่อโลหะตาม มอก. 770-2533

ขนาดสายไฟ (mm^2)	จำนวนสายสูงสุดของสายไฟฟ้า *(IEC 01)* ในท่อร้อยสาย											
1.5	8	14	22	37	-	-	-	-	-	-	-	-
2.5	5	10	15	25	39	-	-	-	-	-	-	-
4	4	7	11	19	30	-	-	-	-	-	-	-
6	3	5	9	15	23	37	-	-	-	-	-	-
10	2	3	5	9	14	22	37	-	-	-	-	-
16	1	2	4	6	10	16	27	42	-	-	-	-
25	-	1	2	4	6	10	17	27	34	-	-	-
35	-	1	2	3	5	8	14	21	27	33	-	-
50	-	-	1	2	3	6	10	15	19	24	38	-
70	-	-	1	1	3	4	7	12	15	18	29	42
95	-	-	-	1	1	3	5	0	11	13	21	30
120	-	-	-	1	1	2	4	7	9	11	17	25
150	-	-	-	-	1	1	3	5	7	9	14	20
185	-	-	-	-	1	1	2	4	5	7	11	16
240	-	-	-	-	1	1	1	3	4	5	8	12
300	-	-	-	-	-	1	1	2	3	4	7	10
400	-	-	-	-	-	1	1	1	2	3	5	8
เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อร้อยสาย *mm.* (นิ้ว)	15 ½"	20 3/4"	25 1"	32 1 ¼"	40 1 ½"	50 2"	65 2 ½"	80 3"	90 3 ½"	100 4"	125 5"	150 6"

เอกสารประกอบการสอนวิชาเครื่องมนตรี เบาเดช

ตัวอย่าง วงจรย่อยวงจรหนึ่งมีหลอดไฟฟ้าฟลูออเรสเซนต์ ขนาด 36W LOW POWER FACTOR จำนวน 10 หลอด จงหาขนาดสายวงจรย่อย (สาย IEC 01 เดินในท่อ EMT) และขนาดอุปกรณ์ป้องกัน (CB)

วิธีทำ

หลอดฟลูออเสเซนต์ ขนาด36W 1 หลอด

พิกัดโหลด (จากตารางโหลดของหลอดไฟฟ้า)= 100 VA.

หลอดฟลูออเสเซนต์ ขนาด 36W 10 หลอด

พิกัดโหลด 10x100 VA = 1000 VA.

พิกัดกระแส $\frac{1000}{230}$ = 4.35 A.

- ขนาดอุปกรณ์ป้องกัน

เลือกใช้อุปกรณ์ป้องกันขนาด 10AT / 50AF

- ขนาดของสาย

เลือกใช้สายชนิด IEC 01 เดินในท่อร้อยสายโลหะ ได้ขนาด 2.5 sq.mm. (18A)

- ขนาดของท่อร้อยสาย

สายไฟฟ้าจำนวน 2 เส้น จากตารางที่ 7.5 เลือกใช้ท่อขนาด 1/2”

ตัวอย่าง วงจรย่อยวงจรหนึ่งมีโคมไฟฟ้า หลอดเมทัลฮาไลด์ ขนาด 400W LOW POWER FACTOR จำนวน 6 หลอด จงหาขนาดสายวงจรย่อย (สาย IEC 01 เดินในท่อ EMT) และขนาดอุปกรณ์ป้องกัน (CB)

วิธีทำ

หลอดเมทัลฮาไลด์ ขนาด 400W. LOW POWER FACTOR 1 หลอด

พิกัดโหลด (จากตารางโหลดของหลอดไฟฟ้า)= 800 VA.

หลอดเมทัลฮาไลด์ ขนาด 400W. LOW POWER FACTOR 6 หลอด

พิกัดโหลด 6x800 VA. = 4800 VA.

พิกัดกระแส $\frac{4800}{220}$ = 21.82 A.

- ขนาดอุปกรณ์ป้องกัน

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เงาเดช

เลือกใช้อุปกรณ์ป้องกันขนาด 25AT / 50AF

- ขนาดของสาย

เลือกใช้สายชนิด IEC 01 เดินในท่อร้อยสายโลหะ ได้ขนาด 6 sq.mm. (31A)

- ขนาดของท่อร้อยสาย

สายไฟฟ้าจำนวน 2 เส้น จากตารางที่ 7.5 เลือกใช้ท่อขนาด 1/2”

7.5.2 โหลดไฟฟ้ากำลัง

ตามมาตรฐานของการไฟฟ้าฯ อนุญาตให้ใช้สายขนาดเล็กที่สุดสำหรับสาย Line และ Neutral คือ สายขนาด 2.5 sq.mm. และ ขนาด 2.5 sq.mm. สำหรับสายดิน (Ground)

โหลดไฟฟ้ากำลังสามารถแบ่งการคำนวณตามชนิดของโหลดได้ดังนี้

โหลดจุดต่ออุปกรณ์ไฟฟ้า (Outlet) จะคิดตามค่าพิกัดกระแสที่ใช้งานจริงของเครื่องใช้ไฟฟ้าชนิดนั้น ซึ่งข้อมูลจะสามารถหาได้จากป้ายพิกัดของเครื่องใช้ไฟฟ้า หากไม่ทราบค่าของพิกัดกระแสนั้น สามารถดูข้อมูลโดยประมาณได้จากตารางที่ 7.6

ตารางที่ 7.6 ตารางค่าพิกัดโหลดของอุปกรณ์ไฟฟ้า

ห้องครัว	**ขนาด (W)**	**ควรจะเลือก (VA)**
เตาต้มน้ำ	6000	6000
ตู้อบ	4000	5000
เครื่องจ้างจาน	1200	2000
กระทะ	1500	2000
เครื่องชงกาแฟ	1000	2000
ตู้เย็น	400	2000
ตู้แช่แข็ง	600	2000
ห้องซักผ้า	**ขนาด (W)**	**ควรจะเลือก (VA)**
เครื่องซักผ้า	1500	2000
เครื่องอบแห้ง	5000	6000

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์ยงยุทธ เงาเดช

เครื่องทำน้ำอุ่น	5000	6000
อื่นๆ	**ขนาด (W)**	**ควรจะเลือก (VA)**
ทีวี	400	1000
แสงสว่าง	1500	2000
ปั๊มน้ำ	600	2000
เครื่องทำความร้อน	8000	10000
พัดลมระบายอากาศ	400	2000

ตัวอย่าง วงจรควบคุมเครื่องซักผ้า 1 เครื่อง 220V. จงหาขนาดของสายไฟฟ้า IEC 01 และขนาดร้อยท่อสาย EMT และอุปกรณ์ป้องกันวงจร

จากตารางที่ 7.6

พิกัดของเครื่องซักผ้า 2000VA

กระแสของเครื่องซักผ้า $\frac{2000}{220} = 9.1$ A

- ขนาดอุปกรณ์ป้องกัน

เลือกใช้ CB ขนาด = 16AT

- ขนาดของสายไฟฟ้า

เลือกใช้สาย IEC 01 ขนาด 2.5 sq.mm.(18A)

- ขนาดของสายดิน

จากตาราง อุปกรณ์ป้องกันขนาด 16AT เลือกสายดินขนาด 2.5

2x2.5/2.5G. , IEC 01

- ขนาดท่อร้อยสาย

จากตารางที่ 7.5 เลือกใช้ท่อขนาด 1/2”

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เงาเดช

ตัวอย่าง วงจรควบคุมหม้อต้มน้ำไฟฟ้า ขนาด 3500 W. 220V. 1 เครื่อง จงหาขนาดของสายไฟฟ้า IEC 01 และขนาดร้อยท่อสาย EMT และอุปกรณ์ป้องกันวงจร

พิกัดของหม้อต้มน้ำไฟฟ้า (จากโจทย์) 3500VA

กระแสของเครื่องซักผ้า $\frac{3500}{220} = 15.9A.$

- ขนาดของสายไฟฟ้า 125%ของพิกัดกระแสโหลด

15.9x1.25 = 19.875A.

เลือกใช้สาย IEC 01 ขนาด 4 sqmm.(24A)

- ขนาดท่อร้อยสาย

จากตารางที่ 7.5 เลือกใช้ท่อขนาด 1/2”

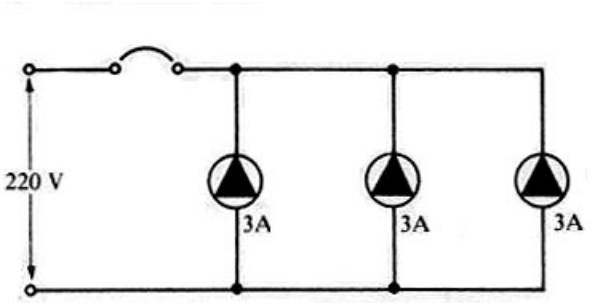
- ขนาดอุปกรณ์ป้องกัน 80%ของพิกัดกระแสสูงสุดของสาย

24x0.8 = 19.2A

เลือกใช้ CB ขนาด = 20AT / 50AF

โหลดจุดต่อเต้ารับไฟฟ้าแบบใช้งานหนัก (Power Outlet) ให้คิดตามจำนวนจุดของเต้ารับไฟฟ้าแบบใช้งานหนัก โดยคิดค่ากำลังไฟฟ้าจุดละ 3A (660 จุด / เต้ารับ)

ตัวอย่าง



โหลดรวมของวงจรย่อย 3+3+3 = 9A

กำลังไฟฟ้า 9x220 = 1980VA

- ขนาดของสายไฟฟ้า 125%ของพิกัดกระแสโหลด

9x1.25 = 11.25A

เลือกใช้สาย IEC 01 ขนาด 2.5 sqmm.(18A)

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เงาเดช

- ขนาดท่อร้อยสาย

จากตารางที่ 7.5 เลือกใช้ท่อขนาด 1/2”

- ขนาดอุปกรณ์ป้องกัน 80%ของพิกัดกระแสสูงสุดของสาย

18x0.8 = 14.4A

เลือกใช้ CB ขนาด = 15AT

<u>โหลดจุดต่อเต้ารับไฟฟ้าทั่วไป (Receptacle)</u>

การพิจารณาในการวางตำแหน่งของเต้ารับไฟฟ้า ควรจะต้องพิจารณาดังนี้

- อยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสมและสะดวกในการใช้งาน
- มีเต้ารับทุกห้อง ยกเว้นห้องน้ำ
- เต้ารับควรจะมีทุกๆ ระยะ 12 ฟุต (3.60เมตร)
- ในห้องครัวควรมีเต้ารับอย่างน้อย 3 จุด และควรแยกวงจรย่อยออกมาวงจรเต้ารับห้องอื่นๆ
- ความสูงของเต้ารับจากระดับพื้น โดยทั่วไปมักจะติดตั้งสูงจากระดับพื้น 0.30 เมตร

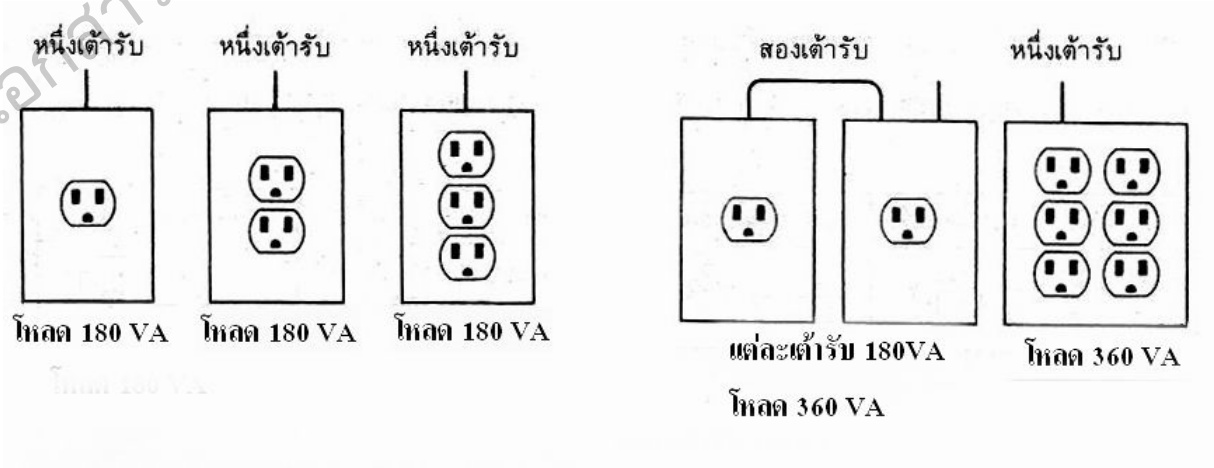
การคิดโหลดของเต้ารับไฟฟ้าทั่วไป ให้คิดจุดละ 180VA / เต้ารับ

ดังนั้น วงจรย่อยของ CB 10AT ต้องมีเต้ารับไม่เกิน 10 ตัว

วงจรย่อยของ CB 15AT ต้องมีเต้ารับไม่เกิน 15 ตัว

วงจรย่อยของ CB 20AT ต้องมีเต้ารับไม่เกิน 20 ตัว

ลักษณะของเต้ารับในการคิดค่าโหลดจะสามารถคิดได้ดังรูป



<u>ตัวอย่าง</u> วงจรย่อยมีเต้ารับไฟฟ้าทั่วไป (RECEPTACLE) 15 จุด จงหาขนาดของสายไฟฟ้า VAF เดินลอยเกาะบนผนังด้วยเข็มขัดรัดสาย และอุปกรณ์ป้องกันวงจร

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เงาเดช

พิกัดโหลดของเต้ารับรวม 15x180VA. = 2700VA.

กระแสของเต้ารับไฟฟ้า $\frac{2700}{220} = 12.27A.$

- ขนาดของสายไฟฟ้า 125%ของพิกัดกระแสโหลด

12.27x1.25 = 15.3375A

เลือกใช้สาย VAF ขนาด 2.5 sqmm.(20A)

- ขนาดอุปกรณ์ป้องกัน 80%ของพิกัดกระแสสูงสุดของสาย

20x0.8 = 16A

เลือกใช้ CB ขนาด = 15AT

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เงาเดช

โหลดมอเตอร์ไฟฟ้า

ในที่นี้จะใช้การคำนวณเพื่อหาขนาดของสายป้อนและอุปกรณ์วงจรย่อยเท่านั้นไม่ได้คิดคำนวณในส่วนของวงจรควบคุมมอเตอร์แต่อย่างใด

การคำนวณโหลดของมอเตอร์ สิ่งที่ควรจะต้องทราบที่สำคัญ ก่อนคือ

ตารางที่ 7.17 สูตรสำหรับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ

ค่าที่ต้องการหา	1-เฟส	3-เฟส
(1) Amp. เมื่อรู้ค่า H.P.	$\frac{H.P.\times 746}{V\times Eff.\times PF.}$	$\frac{H.P.\times 746}{1.732\times V\times Eff.\times PF.}$
(2) Amp. เมื่อรู้ค่า kW.	$\frac{kW.\times 1000}{V\times PF.}$	$\frac{kW.\times 1000}{1.732\times V\times PF.}$
(3) Amp. เมื่อรู้ค่า kVA.	$\frac{kVA.\times 1000}{V}$	$\frac{kVA.\times 1000}{1.732\times V}$
(4) kW.	$\frac{A\times V\times PF.}{1000}$	$\frac{1.732\times A\times V\times PF.}{1000}$
(5) kVA.	$\frac{A\times V}{1000}$	$\frac{1.732\times A\times V}{1000}$
(6) H.P.	$\frac{A\times V\times Eff.\times PF.}{746}$	$\frac{1.732\times A\times V\times Eff.\times PF.}{746}$

P.F.=Power Factor

Eff.=Efficiency motor

- พิกัดกระแสโหลดเต็มที่ของมอเตอร์ ทั้งแบบเฟสเดียว และแบบสามเฟส ดูจากตารางที่ 7.7และ 7.8

- ลักษณะการใช้งานของมอเตอร์ชนิดนั้น ว่าเป็นแบบทำงานต่อเนื่องหรือทำงานไม่ต่อเนื่องซึ่งมีผลต่อการเลือกใช้ค่าร้อยละของการหากระแสตัวนำของมอเตอร์ชนิดนั้น ดูได้จากตารางที่ 7.9

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เอนกชัย

ตารางที่ 7.18 พิกัดกระแสมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส และ 3 เฟส

มอเตอร์ 1 เฟส				มอเตอร์ 3 เฟส 4 ขั้ว,50 Hz				
kW.	HP.	230V. A.	240V. A.	kW.	HP.	230V. A.	380V. A.	400V. A.
0.37	0.5	3.9	3.6	0.37	0.5	2	1.0	1.0
0.55	0.75	5.2	4.8	0.55	0.75	2.8	1.6	1.5
0.75	1.0	6.6	6.1	0.75	1	3.6	2	1.9
1.1	1.5	9.6	8.8	1.1	1.5	5.2	2.6	2.5
1.5	2	13	12	1.5	2	6.8	3.5	3.4
1.8	2.5	16	14	2.2	3	9.6	5	4.8
2.2	3	19	17	3	4	1 1	6.6	6.3
3	4	24	22	3.7	5	15	7.7	7.4
4	5.5	30	27	4	5.5	12	8.5	8.1
4.4	6	35	32	5.5	7.5	22	11	11
5.2	7	40	36	7.5	10	28	15	15
5.5	7.5	42	39	9	12	33	18	17
6	8	44	41	11	15	42	22	21
7	9	49	45	15	20	54	30	28
7.5	10	54	50	18.5	25	68	37	35
				22	30	80	44	42
				30	40	104	59	57
				37	50	130	72	69
				45	60	154	85	81
				55	75	192	104	100
				75	100	248	138	131
				90	125	312	170	162
				110	150	360	205	195
				132	180	430	245	233
				147	200	480	273	259
				160	220	522	300	285
				185	250	600	342	325
				200	270	648	370	352

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี ตาแดง

ตารางที่ 7.9 ค่าร้อยละของการคำนวณหาขนาดของกระแสตัวนำสำหรับมอเตอร์ที่ใช้งานไม่ต่อเนื่อง

ขนาดกระแสของตัวนำสำหรับมอเตอร์แบบไม่ใช้งานต่อเนื่อง

ประเภทการใช้งาน	ร้อยละของพิกัดกระแสบนแผ่นป้ายประจำเครื่อง			
	มอเตอร์พิกัดใช้งาน 5 นาที	มอเตอร์พิกัดใช้งาน 15 นาที	มอเตอร์พิกัดใช้งาน 30 และ 60 นาที	มอเตอร์พิกัดใช้งานต่อเนื่อง
ใช้งานระยะสั้น เช่น มอเตอร์หมุนปิด-เปิดวาล์ว ฯลฯ	110	120	150	-
ใช้งานเป็นระยะ เช่น มอเตอร์เครื่องลิฟต์ มอเตอร์ปิด-เปิดสะพาน	85	85	90	140
ใช้งานเป็นคาบ เช่น มอเตอร์หมุนลูกกลิ้งบดที่หมุนกลับไปกลับมา ฯลฯ	85	90	95	140
ใช้งานไม่แน่นอน	110	120	150	200

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เงาเดช

<u>โหลดของมอเตอร์ตัวเดียว</u>

มอเตอร์ใช้งานต่อเนื่อง

- ขนาดสายตัวนำ

ขนาดของสายไฟฟ้าสำหรับวงจรย่อยมอเตอร์ จะต้องมีขนาดพิกัดเพียงพอที่จะจ่ายโหลดมอเตอร์ได้ โดยที่ขนาดสายเล็กที่สุดคือ 2.5 mm^2

โดยทั่วไปโหลดมอเตอร์ จะถือว่าเป็นแบบต่อเนื่อง ดังนั้นสายวงจรมอเตอร์จะต้องมีขนาดไม่น้อย 125% ของพิกัด กระแสมอเตอร์

$$I_C \geq 1.25 I_N$$

โดยที่ I_C = พิกัดกระแสวงจรย่อยมอเตอร์ (A.)

I_N = พิกัดกระแสของมอเตอร์ (A.)

- ขนาดท่อร้อยสายไฟฟ้า

ให้ใช้ตารางที่ 7.5 ในการกำหนดเลือกขนาดของท่อร้อยสายไฟฟ้า

- ขนาดอุปกรณ์ป้องกัน

ในการเลือกใช้ฟิวส์และเซอร์กิตเบรกเกอร์ จะต้องเลือกใช้ขนาดที่เหมาะสมกับมอเตอร์ โดยการไฟฟ้าได้ให้พิกัด หรือขนาดปรับตั้งตัวสูงไว้ดังในตารางที่ 7.19 โดยจะเป็นกรณีมอเตอร์ไม่มีรหัสอักษรเท่านั้น เนื่องจากมอเตอร์ที่ใช้ใน ประเทศไทยส่วนใหญ่เป็นมาตรฐาน IEC ซึ่งไม่มีรหัสอักษร แต่มอเตอร์ที่มีรหัสอักษรจะเป็นมอเตอร์ในมาตรฐานNEMA ของสหรัฐอเมริกาเท่านั้น

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เงาเดช

ตารางที่ 7.20 พิกัดหรือขนาดปรับตั้งสูงสุดของเครื่องป้องกันการลัดวงจรระหว่างสาย

ชนิดของมอเตอร์	ร้อยละของกระแส			
	ฟิวส์ ทำงานไว	ฟิวส์ หน่วงเวลา	เซอร์กิตเบรกเกอร์ ปลดทันที	เซอร์กิตเบรกเกอร์ เวลาผกผัน
มอเตอร์ 1 เฟส ไม่มีรหัสอักษร	300	175	700	250
มอเตอร์กระแสสลับ 1 เฟส ทั้งหมด และมอเตอร์ 3 เฟส แบบกรงกระรอก และแบบซิงโครนัส ซึ่งเริ่มเดินโดย รับแรงดันไฟฟ้าเต็มที่หรือเริ่มเดิน ผ่านอตัวต้านทานหรือ รีแอ็กเตอร์				
• ไม่มีรหัสอักษร	300	175	700	250
• รหัสอักษร F ถึง V	300	175	700	250
• รหัสอักษร B ถึง E	250	175	700	200
• รหัสอักษร A	150	150	700	150
มอเตอร์กระแสสลับทั้งหมด แบบกรงกระรอก และแบบซิงโครนัส ซึ่งเริ่มเดิน โดยผ่านหม้อแปลงออโต้ กระแสไม่เกิน 30 แอมแปร์				
• ไม่มีรหัสอักษร กระแสเกิน 30	250	175	700	200
• ไม่**มี**รหัสอักษร	200	175	700	200
• รหัสอักษร F ถึง V	250	175	700	200
• รหัสอักษร B ถึง E	200	175	700	200
• รหัสอักษร A	150	150	700	150
มอเตอร์แบบกรงกระรอก กระแสไม่เกิน 30 แอมแปร์				
• ไม่**มี**รหัสอักษร กระแสเกิน 30 แอมแปร์	250	175	700	250
• ไม่มีรหัสอักษร	200	175	700	200
มอเตอร์แบบวาวด์โรเตอร์ ไม่**มี**รหัสอักษร	150	150	700	150
มอเตอร์กระแสตรง (แรงดันคงที่) ขนาดไม่เกิน 50 แรงม้า				
• ไม่มีรหัสอักษร ขนาดเกิน 50 แรงม้า	150	150	250	150
•ไม่มีรหัสอักษร	150	150	175	150

หมายเหตุ 1. การกำหนดรหัสอักษรให้ดูจากตารางที่ 7.19

2. มอเตอร์ไม่มีรหัสอักษร หมายถึงมอเตอร์ที่ผลิตก่อนมีการกำหนดรหัสอักษรโดย NEMA Standard และมอเตอร์ที่ขนาดเล็กกว่า 1/2 แรงม้า

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เงาเดช

ค่าพิกัดของฟิวส์ และเซอร์กิตเบรกเกอร์ ที่ให้ไว้ตามตารางเป็นค่าสูงสุด ค่าที่ใช้ในทางปฏิบัติ ซึ่งทางบริษัทผู้ผลิต ฟิวส์และเซอร์กิตเบรกเกอร์ ได้ให้ไว้สำหรับมอเตอร์ขนาดต่างๆ จะต่ำกว่าค่าที่แสดงไว้ในตาราง ซึ่งจะทำให้การป้องกันดีขึ้น อย่างไรก็ตามค่าที่ใช้นี้จะต้องไม่ทำให้เปิดวงจร ขณะที่มอเตอร์เริ่มเดินเครื่อง

การเลือกขนาดพิกัดของฟิวส์และเซอร์กิตเบรกเกอร์ จะต้องคำนึงถึงกระแสลัดวงจรสูงสุดที่จุดติดตั้งด้วยโดยที่ฟิวส์ และเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่จะใช้ในการป้องกันวงจรนั้น จะต้องมีค่ากระแสขณะตัดวงจร (Interrupting Current, IC) ไม่น้อย กว่าค่ากระแสลัดวงจรสูงสุดที่จุดติดตั้งนี้ด้วย

มอเตอร์ใช้งานไม่ต่อเนื่อง

ให้ตรวจสอบการใช้งานของมอเตอร์ก่อนว่าใช้งานในลักษณะใดตามตารางที่ 7.9 หากไม่ทราบก็ให้เลือกใช้ในช่องใช้งานไม่แน่นอน และมอเตอร์พิกัดทำงานต่อเนื่อง ก็คือใช้ค่า 200%

- ขนาดสายตัวนำ

ให้คิดค่าพิกัดกระแสของตัวนำตามตารางที่ 7.9 ของพิกัดกระแสโหลดเต็มพิกัดของมอเตอร์ ที่อ่านได้จากตารางที 7.7 และ 7.8

- ขนาดท่อร้อยสายไฟฟ้า

ให้ใช้ตารางที่ 7.5 ในการกำหนดเลือกขนาดของท่อร้อยสายไฟฟ้า

- ขนาดอุปกรณ์ป้องกัน

ให้คิดที่ 80% ของพิกัดกระแสสูงสุดของสายไฟฟ้าตามชนิดและการติดตั้งของสายนั้น

<u>ตัวอย่าง</u> จงหาขนาดสายไฟฟ้า (IEC 01) วงจรย่อย,ขนาดท่อร้อยสาย (EMT) และขนาดอุปกรณ์ป้องกัน (CB) ของมอเตอร์ทำงานต่อเนื่องขนาด 15HP , 380V , 3P

จากตารางที่ 7.8 จะได้

ค่ากระแสเต็มพิกัดโหลดของมอเตอร์ = 22A

- ขนาดของสายไฟฟ้า 125%ของพิกัดกระแสโหลดมอเตอร์

22x1.25 = 27.5A

เลือกใช้สาย IEC 01 ขนาด 6 sq.mm.(31A) (กลุ่ม2)

- ขนาดอุปกรณ์ป้องกัน CB เวลาผกผัน 250%

22x2.5 = 55A.

เลือกใช้ CB ขนาด = 60AT

- ขนาดสายดิน เลือกขนาด O.L. ที่ 115% ของพิกัดของมอเตอร์

22x1.15 = 25.3A.

เลือกสายดินขนาด = 4 ตร.มม.

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์ยนตรี เงาะทอง

- ขนาดท่อร้อยสาย ใช้สายระบบ 3 เฟส สายขนาด 6sq.mm.จำนวน 4 สาย สายดิน 4 sq.mm. จำนวน 1 สาย

จากตารางที่ 7.5 เลือกใช้ท่อขนาด 3/4”

ตัวอย่าง จงหาขนาดสายไฟฟ้า (IEC 01) วงจรย่อย,ขนาดท่อร้อยสาย (EMT) และขนาดอุปกรณ์ป้องกัน (CB) ของมอเตอร์ขนาด 15HP , 380V , 3P โดยมอเตอร์ตัวนี้ทำงานเป็นปั๊มน้ำและจะทำงาน 15 นาที / ครั้ง

จากตารางที่ 7.8 จะได้

ค่ากระแสเต็มพิกัดโหลดของมอเตอร์ = 25A

- ขนาดของสายไฟฟ้า 85%ของพิกัดกระแสโหลดมอเตอร์ (จากตารางที่ 7.9)

25x0.85 = 21.25A

เลือกใช้สาย IEC 01 ขนาด 4 sq.mm.(24A)

- ขนาดท่อร้อยสาย ใช้สายระบบ 3 เฟส สายขนาด 4 sq.mm.จำนวน 4 สาย

จากตารางที่ 7.5 เลือกใช้ท่อขนาด 3/4”

- ขนาดอุปกรณ์ป้องกัน 80%ของพิกัดกระแสสูงสุดของสาย

24x0.8 = 19.2A

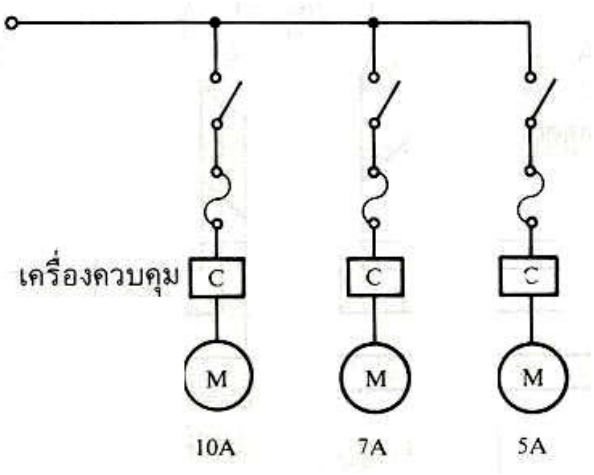
เลือกใช้ CB ขนาด = 20AT

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เงาเภช

โหลดของมอเตอร์หลายตัว มีทั้งกรณีมอเตอร์มีขนาดเท่ากันและมอเตอร์มีขนาดต่างกัน

ตัวนำที่จ่ายกระแสให้กับมอเตอร์ตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไป จะต้องมีขนาดกระแสไม่ต่ำกว่าผลรวมของพิกัดกระแสโหลดเต็มที่ของมอเตอร์ทุกตัว บวกกับ 125% ของพิกัดกระแสโหลดเต็มที่ของมอเตอร์ที่ใหญ่ที่สุดในวงจร ในกรณีที่มีมอเตอร์ใหญ่ที่สุดหลายตัวให้บวก 125% เพียงตัวเดียว

ตัวอย่าง จงหาขนาดสายป้อนไฟฟ้า (IEC 01) ,ขนาดท่อร้อยสาย (EMT) และขนาดอุปกรณ์ป้องกัน (CB) ของมอเตอร์ดังรูป



- ขนาดของสายไฟฟ้า 125%ของพิกัดกระแสโหลดมอเตอร์ตัวที่ใหญ่ที่สุด บวก กระแสตัวอื่นๆ

(1.25x10)+7+5 = 24.5A

เลือกใช้สาย IEC 01 ขนาด 6 sq.mm.(31A)

- ขนาดท่อร้อยสาย ใช้สายระบบ 3 เฟส สายIEC 01 ขนาด 6 sq.mm.(จำนวน 4 สาย)

จากตารางที่ 7.5 เลือกใช้ท่อขนาด 3/4”

- ขนาดอุปกรณ์ป้องกัน 80%ของพิกัดกระแสสูงสุดของสาย

31x0.8 = 24.8A

เลือกใช้ CB ขนาด = 25AT

<u>โหลดเครื่องปรับอากาศ</u>

- ขนาดสายตัวนำ คอมเพรสเซอร์ของเครื่องปรับอากาศชนิดหนึ่งอาจจะจัดให้อยู่ในกลุ่มของมอเตอร์ที่ใช้งานไม่ต่อเนื่อง (ใช้ค่าในตารางที่ 7.9)หรือใช้ค่าของมอเตอร์ใช้งานต่อเนื่อง (125%) ได้ ส่วนพิกัดกระแสของเครื่องปรับอากาศแต่ละขนาดสามารถหาได้จากตารางที่ 7.10 โดยต้องมีขนาดมากกว่าขนาดพิกัดของอุปกรณ์ป้องกัน

- ขนาดท่อร้อยสายไฟฟ้า ก็ใช้ตารางที่ 7.5
- ขนาดอุปกรณ์ป้องกัน เลือกให้มากกว่ากระแสสูงสุดของโหลด
- ขนาดสายดิน เลือกจากขนาดของอุปกรณ์ป้องกัน

เอกสารประกอบการเรียนการสอนวิทยาลัยเทคโนโลยีมนตรี เงาเดช

ตารางที่ 7.10

ค่าโหลดของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split Type) 1 เฟส 230V

ความจุ (Capacity)		โหลด (kVA)
ตันความเย็น (TR)	BTUH	
1	12,000	1.50
1.5	18,000	1.70
2	24,000	2.60
3	36,000	4.20

ค่าโหลดของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split Type) 3 เฟส 400V

ความจุ (Capacity)		โหลด (kVA)
ตันความเย็น (TR)	BTUH	
4	48,000	6.12
5	60,000	7.83
6	72,000	9.74
7	84,000	12.18
8	96,000	12.97
9	108,000	14.02
10	120,000	16.45
12.5	150,000	18.82
15	180,000	22.90
20	240,000	35.54

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์นเตรี เงาเดช

ค่าโหลดของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split Type) 3 เฟส 400V

ความจุ (Capacity)		โหลด (kVA)
ตันความเย็น (TR)	BTUH	
25	300,000	50.35
30	360,000	55.75
35	420,000	57.92
40	480,000	70.43
50	600,000	92.93

ค่าโหลดของเครื่องปรับอากาศ Package (Air Cooled) 3 เฟส, 400V

ความจุ (Capacity)		โหลด (kVA)
ตันความเย็น (TR)	BTUH	
7.5	90,000	10.40
9	108,000	14.48
11	132,000	17.44
13	156,000	22.18
16	192,000	25.34
18	216,000	26.39

ค่าโหลดของเครื่องปรับอากาศ Package (Water Cooled) 3 เฟส, 400V

ความจุ (Capacity)		โหลด (kVA)
ตันความเย็น (TR)	BTUH	
5	60,000	7.90
7.5	90,000	8.42
10	120,000	11.65
15	180,000	17.51
20	240,000	23.56
25	300,000	32.91
30	360,000	40.15
35	420,000	52.65
45	540,000	62.53
55	660,000	77.01

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เงาเดช

ตัวอย่าง จงหาขนาดสายไฟฟ้า (IEC 01) วงจรย่อย,ขนาดท่อร้อยสาย (EMT) และขนาดอุปกรณ์ป้องกัน (CB) ของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน (Spilt Type) ขนาด 40 ton 48,000BTU , 400V , 3P

จากตารางที่ 7.10 จะได้

ค่าพิกัดโหลดของเครื่องปรับอากาศ = 70.43 KVA. = 70,430 VA.

พิกัดกระแสของเครื่องปรับอากาศ = $\frac{70430}{\sqrt{3}\times 400} = 101.65A.$

- ขนาดอุปกรณ์ป้องกัน 80%ของพิกัดกระแสสูงสุดของสาย

เลือกใช้ CB ขนาด = 125AT / 225AF

- ขนาดของสายไฟฟ้า ต้องมีขนาดใหญ่กว่าขนาดอุปกรณ์ป้องกัน

เลือกใช้สาย IEC 01 ขนาด 70 sq.mm.(149A.)

- ขนาดของสายดิน เลือกจากขนาดอุปกรณ์ป้องกัน

เลือกใช้สาย IEC 01 ขนาด 16 sq.mm.

- ขนาดท่อร้อยสาย ใช้สายระบบ 3 เฟส สาย IEC 01 ขนาด 4x70/16G sq.mm.

จากตารางที่ 7.5 เลือกใช้ท่อขนาด 2-1/2”

การหาขนาด BTU/H ของเครื่องปรับอากาศในบางครั้งก็มักจะต้องหาขนาดของเครื่องปรับอากาศโดยการประมาณเพื่อให้การคำนวณโหลดของเครื่องปรับอากาศทำได้ต่อไป

การหาขนาด BTU/H ของเครื่องปรับอากาศสามารถโดยการใช้ตารางและใช้วิธีการคำนวณดังนี้

ตารางที่ 7.11 การหาขนาดเครื่องปรับอากาศ

เอกสารประกอบการสอนภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

การประมาณการโหลดสำหรับเครื่องปรับอากาศ*

(1 ตัน(ton) = 12000 BTU/H)

ประเภทธุรกิจ	ที่นั่ง/ton	พื้นที่ห้อง m^2/ton
ร้านขายของชำ		15-20
ซูเปอร์มาเก็ต		15-20
บาร์ ไนต์คลับ	5	
โรงภาพยนต์	10	
ร้านขายอาหาร	5	
ภัตตาคาร	6-8	
ร้านขายกาแฟ	6-8	
สำนักงานทั่วไป		20
ห้องทำงานส่วนตัว		20
อาคารสำนักงานชั้นบนสุดติดกับหลังคา		15
ร้านตัดผม		25
ร้านเสริมสวย		25
ธนาคาร		18

*ขนาดเครื่องปรับอากาศที่หาได้อาจเพิ่มอีก 20% สำหรับอาคารที่มีคนเข้าออกอยู่เป็นประจำ

ตัวอย่าง สำนักงานทั่วไปกว้าง 20 m ยาว 30 m ต้องใช้เครื่องปรับอากาศขนาดเท่าใด

สำนักงานทั่วไปต้องการขนาดเครื่องปรับอากาศ 20 m^2/ton

$$\therefore \text{ต้องติดตั้งเครื่องปรับอากาศขนาด} = \frac{20 \times 30}{20} = 30 \text{ ton}$$

$$= 12000 \times 30 \text{ BTU/H}$$

$$= 360000 \text{ BTU/H}$$

อีกวิธีหนึ่งสามารถคำนวณได้ โดย

พื้นที่ของห้อง (ตารางเมตร) x (650 ถึง 800) = ขนาดเครื่องปรับอากาศ (BTU/H)

หลังจากการคำนวณแล้วจะต้องนำค่าที่ได้ไปเลือกเครื่องปรับอากาศที่มีขายอยู่ในท้องตลาดจริงในตารางที่ 7.10

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เงาเดช

ตัวอย่าง จงหาโหลดเครื่องปรับอากาศ ห้องขนาดกว้าง 20 เมตร และ ยาว 30 เมตร

ขนาดเครื่องปรับอากาศ = 600 x 650 = 390000 BTU/H

การคำนวณในลักษณะนี้เป็นการคำนวณโดยประมาณเท่านั้น หากต้องการคำนวณให้ละเอียดจะต้องอาศัยข้อมูลประกอบอื่นๆ อีกมากที่นำมาใช้พิจารณาคำนวณหาค่าขนาดเครื่องปรับอากาศ

โหลดเครื่องเชื่อม

สามารถหาค่าต่างๆ ของเครื่องเชื่อมได้จากตารางที่ 7.12 ได้

ขนาดตัวนำวงจรย่อยเครื่องเชื่อมไฟฟ้าและการเลือกขนาดอุปกรณ์ป้องกันสำหรับเครื่องเชื่อมอาร์กกระแสสลับ 220 V 1Ø 50 Hz

เครื่องเชื่อมไฟฟ้า (kVA)	พิกัดกระแส (A)	รอบทำงาน (%)	ขนาดกระแสตัวนำ (A)	เครื่องปลดวงจร (A)	เครื่องป้องกันกระแสเกินฟิวส์ หรือตัดตอนอัตโนมัติ (A)		ขนาดตัวนำ 75°C (mm²)	
					สำหรับเครื่องเชื่อม	สำหรับตัวนำ	ในอากาศ	ในท่อ
5	22.7	30	12.5	30	-	30	2.5	2.5
6.2	28.2		15.5	60	-	40	4	4
10	45.5		25	60	-	60	6	6
15	68.2		37.5	100	-	90	10	10
20	90.9		50	200	-	125	10	16
24	109.1		60	200	-	125	10	16
24.5	111.4		61	200	-	125	10	16
5	22.7	40	14.3	30	-	30	2.5	2.5
6.2	28.2		17.8	60	-	40	4	4
10	45.5		28.7	60	-	60	6	6
15	68.2		43	100	-	90	10	10
20	90.9		57.3	200	-	125	10	16
24	109.1		68.7	200	-	160	16	25
24.5	111.4		70.2	200	-	160	16	25
5	22.7	50	16.2	60	-	40	4	4
6.2	28.2		20	60	-	40	4	4
10	45.5		32.3	100	-	90	10	10
15	68.2		48.4	200	-	125	10	16
20	90.9		64.6	200	-	160	16	25
24	109.1		77.5	200	-	160	16	25
24.5	111.4		79.1	200	-	160	16	25
5	22.7	60	17.7	60	-	40	4	4
6.2	28.2		22	60	-	50	6	6
10	45.5		35.5	100	-	90	10	10
15	68.2		53.2	200	-	125	10	16
20	90.9		70.9	200	-	160	16	25
24	109.1		85.1	200	-	200	25	35
24.5	111.4		86.9	200	-	200	25	35
5	22.7	100	22.7	60	40	50	6	6
6.2	28.2		28.2	60	50	60	6	6
10	45.5		45.5	200	90	125	10	16
15	68.2		68.2	200	125	160	16	25
20	90.9		90.9	200	175	200	25	35
24	109.1		109.1	400	200	250	35	50
24 5	111.4		111.4	400	200	250	35	50

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์ปิยศรี เงาเดช

7.6 การทำตารางโหลด (Load Schedule)

เมื่อทำการออกแบบวงจรย่อยและสายของวงจรย่อยแล้วผู้ออกแบบจะต้องจัดทำตารางโหลดโดยการพิจารณาต่อวงจรย่อยเข้ากับแผงควบคุมไฟฟ้าย่อย ซึ่งมีกฎเกณฑ์โดยทั่วไปๆ ไปดังนี้

1. ในแต่ละแผงควบคุมไฟฟ้าย่อย จะต้องมีวงจรสำรอง (Spare) เพื่อรองรับการเพิ่มโหลดในอนาคต วงจรสำรองจะมีขนาดเท่าไรขึ้นอยู่กับผู้ออกแบบ โดยจะกำหนดขนาดโหลด , ขนาดของ CB , ขนาดของสายและท่อร้อยสายลงไปในตารางโหลดด้วย ซึ่งค่าของโหลดจะมีผลต่อการคิดหาสายป้อนของแผงควบคุมไฟฟ้าย่อยและ CB ป้องกัน หาวงจรที่ออกแบบกำหนดจนครบแล้ว วงจรย่อยที่เหลือจะเรียกว่าวงจรว่าง (Space) เป็นวงจรที่ยังไม่ใช้งานและจะไม่มีการกำหนดขนาดของ CB , ขนาดของสายไฟฟ้าและท่อร้อยสาย ทั้งนี้หากมีการใช้งานในวงจรว่างดังกล่าวจะต้องคำนวณโหลดรวมของตู้ควบคุมไฟฟ้าย่อยด้วยว่ามีผลกระทบต่อขนาดสายป้อนและขนาด CB ของตู้ควบคุมไฟฟ้าย่อยด้วย

วงจรย่อยใช้งาน (Active Branch Circuit) คือ วงจรย่อยที่จ่ายโหลดจริงๆ จึงมีทั้งค่าโหลด เซอร์กิตเบรกเกอร์และขนาดสายวงจรย่อย

วงจรย่อยสำรอง (Spare Branch Circuit) คือ วงจรย่อยที่คาดว่าจะใช้ในอนาคตจะมีเฉพาะค่าโหลด และเซอร์กิต เบรกเกอร์ แต่ไม่มีสายวงจรย่อย

วงจรย่อยว่าง (Space Branch Circuit) คือ ช่องว่างที่จะใส่เซอร์กิตเบรกเกอร์ในอนาคต

โดยทั่วไปจะใช้วงจรย่อยดังต่อไปนี้

วงจรย่อยใช้งาน (Active Branch Circuit)	60% - 80%	ของวงจรย่อยในแผง
วงจรย่อยสำรอง (Spare Branch Circuit)	10% - 20%	ของวงจรย่อยในแผง
วงจรย่อยว่าง (Space Branch Circuit)	10% - 20%	ของวงจรย่อยในแผง

2. ในการคำนวณเพื่อทำตารางโหลดให้ทำดังนี้

- เครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ คิดโหลดที่อัตรากำหนดหรือจากแผ่นป้าย (Rated Load)
- เต้ารับไฟฟ้าทั่วไป (Receptacle) คิดค่ากระแส 1 แอมแปร์ (180VA) ต่อจุด
- วงจรสำรอง (Spare) คิดว่าจ่ายโหลดไฟเหมือนกับวงจรทั่วๆ ไป
- ถ้ามีวงจรย่อยมากเกินกว่า 42 วงจร ต้องแยกวงจรย่อยออกเป็นแผงควบคุมไฟฟ้าย่อย 2 ชุด

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์ประเดิม มาตย์

3. ในกรณีที่เป็นไฟฟ้า 3 เฟส พยายามจัดแบ่งโหลดให้เท่ากันทุกเฟส ทั้งนี้เพื่อให้กระแสที่จ่ายไปยังโหลดแต่ละเฟสมีค่าใกล้เคียงกัน และการหาขนาดสายป้อนจะหาขนาดสายป้อนได้เหมาะสมกับโหลดที่ใช้งาน

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เงาเดช

PANEL BOARD LOAD SCHEDULE

PANEL NAME : LC12 LOCATION : FLOOR 1

CONNECTED TO : MDB CAPACITY : 18 cct

CCT NO.	DESCRIPTION	LOAD (VA)			CB		CABLE	TYPE.	COND.
		PHASE A	PHASE B	PHASE C	P	AT			
1	LIGHTING	160			1	16	2x2.5	IEC 01	1/2" EMT
3	LIGHTING		480		1	16	2x2.5	IEC 01	1/2" EMT
5	LIGHTING			440	1	16	2x2.5	IEC 01	1/2" EMT
7	LIGHTING	400			1	16	2x2.5	IEC 01	1/2" EMT
9	LIGHTING		560		1	16	2x2.5	IEC 01	1/2" EMT
11	LIGHTING SPORTLIGHT			800	1	16	2x2.5/2.5G	IEC 01	1/2" EMT
13	LIGHTING SPORTLIGHT	400			1	16	2x2.5/2.5G	IEC 01	1/2" EMT
15	LIGHTING LOW BAY		1,200		1	16	2x2.5/2.5G	IEC 01	1/2" EMT
17	ไฟส่องป้าย			2,000	1	16	2x2.5/2.5G	VCT	1/2" EMT
2	RECEPTACLE	1,400			1	16	2x2.5/2.5G	IEC 01	1/2" EMT
4	RECEPTACLE		1,200		1	16	2x2.5/2.5G	IEC 01	1/2" EMT
6	RECEPTACLE			1,000	1	16	2x2.5/2.5G	IEC 01	1/2" EMT
8	RECEPTACLE	1,600			1	16	2x2.5/2.5G	IEC 01	1/2" EMT
10	SPARE		2,000		1	16			
12	SPARE			2,000	1	16			
14	SPACE								
16	SPACE								
18	SPACE								
	VA / PHASE	3,960	5,440	6,240	MAIN CB.		MAIN CABLE		
	TOTAL	15,640 VA.			AT	AF	CABLE	TYPE.	COND.
	DEMAND LOAD /PHASE	12,512 VA.			40	100	4x10 /4G	IEC 01	1" IMC
	AMP.	18.06 A.			BRANCH CIRCUIT BREAKER IC 5 KA AT 240 V				

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เฉลิมศรี

7.7 การหาขนาดสายป้อนและขนาด CB

ขั้นตอนในการคำนวณหาขนาดสายป้อนทำได้ดังนี้

1. รวมโหลดในทุกวงจรย่อย จะได้โหลดทั้งหมดของแผงควบคุมไฟฟ้าย่อย ซึ่งจะนำมาคำนวณหาขนาดสายป้อน

2. ใช้ค่าโหลดมาคำนวณหาขนาดสายป้อนและขนาด CB โดย

- ขนาดสายป้อน > ขนาดอุปกรณ์ป้องกัน
- ขนาด CB > พิกัดกระแสสูงสุดของโหลด หลังตัดลด D.F.

การคำนวณทำได้ 2 วิธี คือ

วิธีที่ 1 : ใช้ค่าโหลด 1 เฟส โดยจะใช้ค่าโหลดที่สูงที่สุดของเฟส

สูตร $$I = \frac{VA}{V}$$ 1 เฟส

จากตารางโหลด ใช้เฟส A , โหลด=4200VA

$$I = \frac{4200}{220} = 19.09 \text{ A}$$

- ขนาดสายป้อน = 125% x พิกัดกระแส

= 1.25x19.09 = 23.86A

จากตารางได้ขนาดสาย IEC 01 4 sqmm.(24A)

เลือกใช้ขนาดสาย IEC 01 6 sqmm.(31A) (เผื่ออนาคต)

- ขนาด CB = 80%xพิกัดกระแสสูงสุดของสาย

= 0.8x31 = 24.8A

เลือกใช้ CB ขนาด 25AT / 100AF , 3P

วิธีที่ 2 : ใช้ค่าโหลด 3 เฟส โดยจะใช้ค่าโหลดรวมของตู้ควบคุมไฟฟ้าย่อย

สูตร $$I = \frac{VA}{\sqrt{3}xV}$$ 3 เฟส

จากตารางโหลด ใช้เฟส A , โหลด=12,300VA

$$I = \frac{12,300}{\sqrt{3}x380} = 18.68 \text{ A}$$

- ขนาดสายป้อน = 125% x พิกัดกระแส

= 1.25x18.68 = 23.35A

จากตารางได้ขนาดสาย IEC 01 4 sqmm.(24A)

เลือกใช้ขนาดสาย IEC 01 6 sqmm.(31A) (เผื่ออนาคต)

- ขนาด CB = 80%xพิกัดกระแสสูงสุดของสาย

= 0.8x31 = 24.8A

เลือกใช้ CB ขนาด 25AT / 100AF , 3P

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เงาเดช

3. การลดขนาดสายป้อน ในการคำนวณเพื่อลดขนาดสายป้อน ผู้ออกแบบสามารถใช้ตัวคูณความต้องการใช้ไฟฟ้า (Demand factor) เพื่อลดขนาดของสายป้อน

การใช้ตัวคูณความต้องการใช้ไฟฟ้าอาศัยหลักความจริงที่ว่าอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ ไม่ได้ใช้งานพร้อมกัน และค่าของโหลดแสงสว่างจากการประมาณการใช้งานโดยทั่วไปจะมีค่าสูงกว่าโหลดจริง ตัวคูณความต้องการใช้ไฟฟ้านี้จะใช้ได้กับโหลดแสงสว่างและอุปกรณ์ไฟฟ้าขนาดเล็กในอาคารเท่านั้น ห้ามใช้กับอุปกรณ์ที่กินกระแสมากๆ และมีระยะเลาในการใช้งานนานเกินกว่า 30 นาที เช่น เครื่องปรับอากาศ , เตาไฟฟ้า เป็นต้น ค่าตัวคูณความต้องการใช้ไฟฟ้านี้ สามารถใช้ลดขนาดของสายป้อน แต่ห้ามใช้เพื่อการลดขนาดของสายวงจรย่อย

ตารางแสดงค่าตัวคูณความต้องการใช้ไฟฟ้า (Demand factor) (ว.ส.ท.)

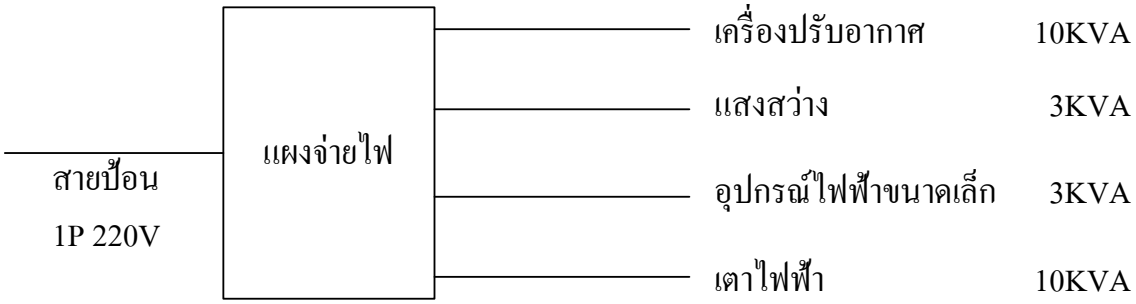
ชนิดของอาคาร	กำลังไฟฟ้าที่ใช้ (VA)	ตัวคูณลดขนาด (%)
อาคารที่พักอาศัย (ยกเว้นโรงแรม)	2,000 แรก	100
	เกิน 2,000	35
โรงพยาบาล *	50,000 แรก	40
	ที่เกิน 50,000	20
โรงแรมรวมถึงแฟลตที่ไม่มีการทำอาหาร	20,000	50
	20,001 – 100,000	40
	ที่เกิน 100,000	30
อาคารประเภทอื่น	โหลดทั้งหมด	100

* ค่าตัวคูณตามตารางนี้ห้ามใช้สำหรับสายป้อนในสถานที่บางแห่งของโรงพยาบาล หรือ โรงแรม ซึ่งบางขณะไฟฟ้าแสงสว่างจะต้องใช้พร้อมกัน เช่น ในห้องผ่าตัด ห้องอาหาร หรือห้องโถง

ตัวอย่าง

สมมุติอพาตเมนต์อยู่อาศัยมีโหลดต่างๆ จากการประมาณการตามลักษณะการใช้งานและพื้นที่ ดังแสดงในแผงจ่ายไฟต่อไปนี้

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์ยงยุทธ เงาเดช



จากโหลดต่างๆ ที่แสดงจะเห็นได้ว่า โหลดที่สามารถลดขนาดโดยตัวคูณความต้องการใช้ไฟฟ้าได้มี 2 ชนิดคือ แสงสว่าง และอุปกรณ์ไฟฟ้าขนาดเล็ก ส่วนเครื่องปรับอากาศและเตาไฟฟ้าไม่สามารถใช้ตัวคูณลดได้

โหลดที่ลดขนาดมีค่า = โหลดแสงสว่าง + โหลดอุปกรณ์ไฟฟ้า

= 3KVA + 3KVA

= 6KVA

จากตารางค่าตัวคูณความต้องการใช้ไฟฟ้า (Demand factor) 3

2,000 VA แรก คิด 100% = 2,000 VA

เกิน 2,000 VA คิด 35% = 4,000x0.35 = 1,400 VA

รวมโหลดหลังคิดตัวคูณลด= 3,400 VA

ดังนั้นโหลดรวมของอพาตเมนต์นี้คือ = 10,000+10,000+3,400 = 23,400VA

ใช้วิธีที่ 1 : ใช้ค่าโหลด 1 เฟส โดยจะใช้ค่าโหลดที่สูงที่สุดของเฟส

สูตร $I = \frac{VA}{V}$ 1 เฟส

จากโหลด =23,400VA

$$I = \frac{23,400}{220} = 106.36 \text{ A}$$

- ขนาดสายป้อน = 125% x พิกัดกระแส

= 1.25x106.36 = 132.95A

จากตารางได้ขนาดสาย IEC 01 70 sqmm.(148A)

- ขนาดท่อร้อยสาย สาย IEC 01 2x70 sq.mm.

จากตาราง เลือกขนาดท่อ 1-1/2”

- ขนาด CB = 80%xพิกัดกระแสสูงสุดของสาย

= 0.8x148 = 118.40A

เอกสารประกอบการสอนวิทยาลัยเทคนิคเตรี เงาเดช

เลือกใช้ CB ขนาด 125AT / 225AF , 2Pole

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เงาเดช

7.8 การหาขนาดอุปกรณ์ป้องกันในตู้ MDB , หม้อแปลงไฟฟ้าและสายประธาน

เมื่อทำการทำตารางโหลดของแผงควบคุมไฟฟ้าย่อยในแต่ละแผงเสร็จสิ้นลงในส่วนที่จะต้องทำต่อมาคือการหาขนาดของอุปกรณ์ป้องกัน CB ในตู้ควบคุมไฟฟ้าหลัก (MDB) ซึ่งขนาดของ CB ย่อยในตู้ MDB เท่ากันกับขนาดของ CB ที่อยู่ในแผงควบคุมไฟฟ้าย่อยที่ควบคุมอยู่นั้น ส่วนขนาดของ Main CB ของ MDB จะหาได้โดยการทำตารางโหลดของตู้ MDB เพื่อหาค่าโหลดรวมของทั้งอาคารก่อน โดยจะต้องใช้ค่าโหลดจริงทั้งหมดของอาคารเท่านั้น ห้ามใช้โหลดที่คูณตัวลดมาใช้เป็นอันขาด ตารางโหลดของตู้ MDB จะมีลักษณะดังรูป

PANEL BOARD LOAD SCHEDULE

PANEL NO. : MDB LOCATION : FLOOR 1

CONNECTED TO : TRANSFORMER 160kVA. CAPACITY :

FEEDER NO.	DESCRIPTION	LOAD (VA)			CB			CABLE	TYPE.	COND.
		PHASE A	PHASE B	PHASE C	P	AT	AF			
F1	LC11	7,460	6,100	9,120	3	40	100	4x10 /4G	IEC 01	1" IMC
F2	LC12	3,960	5,440	6,240	3	40	100	4x10 /4G	IEC 01	1" IMC
F3	PPB1	16,800	16,800	16,800	3	60	100	4x25 /6G	IEC 01	1-1/2" IMC
F4	LC2	9,620	10,540	11,420	3	40	100	4x10 /4G	IEC 01	1" IMC
F5	SAN	3,000	3,000	3,000	3	32	100	4x6 /4G	IEC 01	3/4" IMC
F6	SPARE	3,000	3,000	3,000	3	32	100			
F7	SPACE									
	VA / PHASE	43,840	44,880	49,580	MAIN CB.			MAIN CABLE		
	TOTAL	138,300 VA.			P	AT	AF	CABLE	TYPE.	COND.
	DEMAND LOAD	110,640 VA.			3	250	250	4x1C-150	NYY	90mm.HDPE.
	AMP.	159.70 A.			BRANCH CIRCUIT BREAKER IC >= 25 KA AT 240 V					

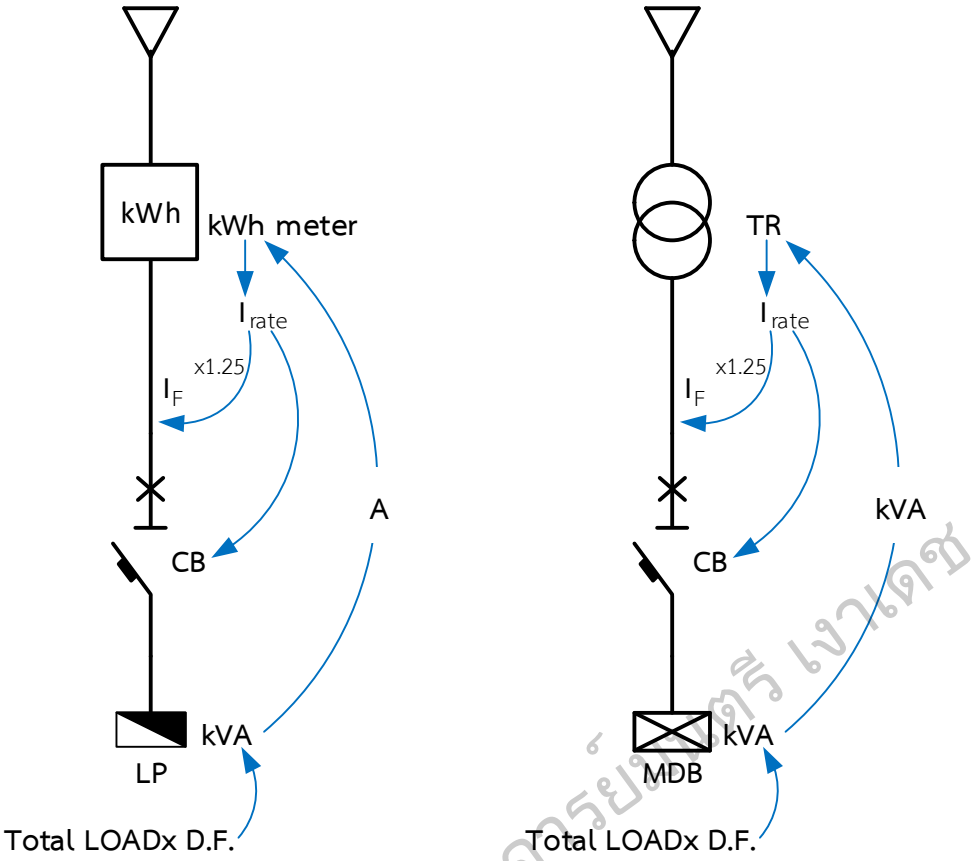
จากตารางโหลดของตู้ MDB จะเห็นว่ามีตู้ควบคุมไฟฟ้าย่อยจำนวน 9 ตู้และมีการสำรองวงจรให้สามารถเผื่อโหลดในอนาคตด้วย

ในการหาขนาดของ Main CB จะสามารถทำได้เหมือนกับการหาขนาด CB ของตู้ควบคุมไฟฟ้าย่อยโดยหลักการคือ

- ขนาดสายประธาน = 125% x พิกัดกระแสสูงสุดของระบบประธาน
- ขนาด CB >= พิกัดกระแสสูงสุดของระบบประธาน แต่ต้องไม่มากกว่าพิกัดของสายประธาน

และวิธีการหาก็สามารถใช้ได้ทั้งวิธี 1 เฟส และ 3 เฟส

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์นเรศ เงาเดช



การหาขนาดสายประธาน และ ขนาด MAIN CB

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์ปิตรี เงาเดช

ตัวอย่าง

จากตารางโหลดของตู้ MDB จงหาขนาดสายประธานและขนาด Main CB

วิธีทำ

1.หาวิธี 1 เฟส โดยใช้โหลดสูงที่สุด ได้แก่ เฟส A = 58,900VA

สูตร $I = \frac{VA}{V}$ 1 เฟส

$I = \frac{58,900}{220} = 267.72$ A

- ขนาดสายป้อน = 125% x พิกัดกระแส

= 1.25x267.72 = 334.65A

จากตารางได้ขนาดสาย IEC 01 240 sq.mm.(344A) จำนวน 4 เส้น

- ขนาดท่อร้อยสาย สาย IEC 01 4x240 sq.mm.

จากตาราง เลือกขนาดท่อ 3-1/2”

- ขนาด CB = 80%xพิกัดกระแสสูงสุดของสาย

= 0.8x344 = 275.20A

เลือกใช้ CB ขนาด 300AT / 400AF , 3Pole

<u>การกำหนดขนาดหม้อแปลงไฟฟ้า</u>

การกำหนดขนาดหม้อแปลงไฟฟ้า สามารถกำหนดได้จากค่าพิกัดโหลดรวมของตู้ MDB ได้โดยผู้ออกแบบสามารถกำหนดขนาดให้เหมาะสมตามสภาพการใช้งานจริงของอาคาร ในกรณีต้องการเผื่อขนาดหม้อแปลงก็พิจารณาจากอาคารและสามารถกำหนดขนาดได้จากขนาดของหม้อแปลงที่มีขายในท้องตลาดและตามมาตรฐานของการไฟฟ้าฯ แต่หากเผื่อมากไปก็จะมีผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายที่มากขึ้นตามไปด้วย

ขนาดหม้อแปลงไฟฟ้า ต้องมากกว่าโหลดที่ตัดลง D.F. แล้ว 125%

หากมีการกำหนดขนาดหม้อแปลงไฟฟ้าตามมาตรฐานของการไฟฟ้าฯ แล้วจะต้องกำหนดขนาดสายประธานตามกฎของการไฟฟ้าฯ ด้วย ซึ่งสามารถกำหนดได้ดังตาราง

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เงาเดช

ตารางขนาดหม้อแปลงฟ้าและขนาดสายประธาน ตามมาตรฐานของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

ตารางขนาดการเลือกขนาด CB ตามขนาดหม้อแปลง

ขนาด CB ที่ใช้กับหม้อแปลงที่ด้านแรงต่ำ (230/400)

ขนาดพิกัดหม้อแปลง (kVA)	ค่า % Impedance หม้อแปลง	กระแสพิกัด (A)	125% กระแสพิกัด (A)	ชนิด CB แนะนำ*	ค่าปรับตั้ง CB (AT)	ค่าปรับตั้ง CB (AF)	กระแสลัดวงจร @infinite Bus (kA)
30	4%	43	54	MCCB	50	63	1.08 (10)
50	4%	72	90	MCCB	80	125	1.8 (10)
60	4%	86	108	MCCB	100	125	2.16 (10)
100	4%	144	180	MCCB	160	160	3.6 (10)
160	4%	230	288	MCCB	250	250	5.76 (10)
250	4%	360	450	MCCB	400	400	9.00 (10)
315	4%	454	567	ACB	500 - 550	630	11.34
400	4%	576	720	ACB	600 - 700	800	14.40
500	4%	720	900	ACB	800 - 900	1000	18.00
630	4%	907	1134	ACB	1000 - 1100	1250	22.68
800	6%	1152	1440	ACB	1250 - 1400	1600	19.20
1000	6%	1440	1800	ACB	1500 - 1800	2000	24.00
1250	6%	1800	2250	ACB	1900 - 2200	2500	30.00
1600	6%	2304	2880	ACB	2400 - 2800	3200	38.40
2000	6%	2880	3600	ACB	2900 - 3600	4000	48.00
2500	6%	3600	4500	ACB	3700 - 4500	5000	60.00
3000	7%	4320	5400	ACB	4500 - 5000	6300	61.71

หมายเหตุ - เลือกขนาด CB ที่ทนกระแสลัดวงจร (Icu) ไม่น้อยกว่าที่คำนวณได้ และต่ำสุดต้องไม่ต่ำกว่า 10kA

ตารางขนาดสายไฟฟ้าและรางเคเบิลตามขนาดหม้อแปลง

ขนาดสาย CV 0.6/1kV ด้านแรงต่ำของหม้อแปลง (230/400) วางเป็นกลุ่มห่างกัน 2D บนรางเคเบิล (แบบบันได)

ขนาดพิกัดหม้อแปลง (kVA)	กระแสพิกัด (A)	125% กระแสพิกัด (A)	ค่าปรับตั้ง CB (AT)	สาย CV 0.6/1kV วางเป็นกลุ่มห่างกัน 2D	รางเป็นกลุ่ม (A) ตารางที่ 5-32	จำนวนสายควบต่อเฟส (n)	ตัวคูณปรับค่า ตารางที่ 5-40	ค่ากระแสพิกัด (A) ของสายรวม	ขนาดความกว้างรางเคเบิลแบบบันได W (mm.)	ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของสาย (มิลลิเมตร) 1 เส้น	รวม	เผื่อ 20%
250	360	450	400	CV 1C-150 x4	404	1	1.00	404	CR : W = 200	21	84	101
315	454	567	500	CV 1C-240 x4	552	1	1.00	552	CR : W = 200	26	104	125
400	576	720	600	CV 1C-300 x4	640	1	1.00	640	CR : W = 200	29	116	139
500	720	900	800	(CV 1C-150 x4) x2	404	2	1.00	808	CR : W = 300	21	168	202
630	907	1134	1000	(CV 1C-240 x4) x2	552	2	1.00	1104	CR : W = 300	26	208	250
800	1152	1440	1250	(CV 1C-300 x4) x2	640	2	1.00	1280	CR : W = 300	29	232	278
1000	1440	1800	1500	(CV 1C-240 x4) x3	552	3	1.00	1656	CR : W = 400	26	312	374
1250	1800	2250	2000	(CV 1C-240 x4) x4	552	4	1.00	2208	CR : W = 500	26	416	499
1600	2304	2880	2500	(CV 1C-240 x4) x5	552	5	1.00	2760	CR : W = 700	26	520	624
2000	2880	3600	3000	(CV 1C-240 x4) x6	552	6	1.00	3312	CR : W = 800	26	624	749
2500	3600	4500	4000	(CV 1C-240 x4) x8	552	8	1.00	4416	CR : W = 1000	26	832	998
3000	4320	5400	4500	(CV 1C-240 x4) x9	552	9	1.00	4968	CR : W = 1200	26	936	1123

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์ปนเปรม เงาเทศ

จากตารางเป็นขนาดของสายประธานที่การไฟฟ้ากำหนดให้ต้องติดตั้งสายตามขนาดนี้ ซึ่งจะมีขนาดที่สามารถรองรับกระแสของหม้อแปลงไฟฟ้าได้สูงกว่า ทั้งนี้เพื่อเป็นการป้องกันสายประธานที่ต้องรับกระแสสูงมากในกรณีเกินการลัดวงจรและเผื่อไว้กรณีสายประธานมีระยะทางที่ไกล (หากไกลมากต้องระวังในเรื่องแรงดันฟ้าตกด้วย)

ตัวอย่าง

จากตารางโหลดของตู้ MDB จงหาขนาดขนาดหม้อแปลงไฟฟ้าและสายประธานตามมาตรฐานของการไฟฟ้าฯ

วิธีทำ

จากโหลดรวมของตู้ MDB มีค่า = 175,500VA = 175KVA

- เลือกใช้หม้อแปลงขนาด 200KVA (เผื่ออนาคต)

- ใช้สายประธานขนาด IEC 01 4x150 sqmm. (เดินลอยในอากาศ) หากติดตั้งสายประธานแบบอื่น เช่น ร้อยท่อ , ฝังใต้ดิน ให้ตรวจสอบพิกัดกระแสของสายไฟฟ้าอีกครั้งหนึ่ง

การกำหนดขนาดมิเตอร์ไฟฟ้า

การกำหนดขนาดของมิเตอร์ก็สามารถทำได้เช่นเดียวกับการกำหนดขนาดของหม้อแปลงไฟฟ้า คือต้องดูขนาดพิกัดโหลดของอาคารและการเผื่ออนาคตว่าจะต้องมีการเพิ่มโหลดอีกหรือไม่ ทั้งนี้เพื่อเป็นการประหยัดและสะดวกในการเพิ่มเติมโหลดในอนาคตโดยไม่ต้องเปลี่ยนสายประธานใหม่

การเลือกใช้มิเตอร์จะใช้กับอาคารที่มีพิกัดโหลดที่ไม่มากนัก โดยตามมาตรฐานคือ ไม่เกิน 100A แต่หากเกินกว่านี้ผู้ใช้ไฟฟ้าจะต้องดำเนินการติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้า

ขนาดของมิเตอร์และสายประธานสามารถเลือกใช้ตามมาตรฐานของการไฟฟ้าฯ ดังตาราง

เอกสารประกอบการสอนวิทยาลัยการอาชีพนครราชสีมา

ตารางขนาดของมิเตอร์และสายประธาน

ขนาดมิเตอร์ 1P,2W,220V	ขนาดโหลด (A)	ขนาดสายที่ต่อเข้ามิเตอร์		ขนาดสายที่ต่อออกมิเตอร์	
		สายอลูมิเนียม	สายทองแดง	สายอลูมิเนียม	สายทองแดง
3 (9)	5	16	6	10	4
5 (15)	5-10	16	6	10	4
10 (30) , 15 (45)	10-20	16	10	16	10
15 (45) , 20 (40)	20-30	25	10	25	10
30 (60) , 30 (100)	30-50	35	35	35	35
30 (100) , 50(100)	50-100	50	50	50	35

ขนาดมิเตอร์ 3P,4W,380V	ขนาดโหลด (A)	ขนาดสายที่ต่อเข้ามิเตอร์		ขนาดสายที่ต่อออกมิเตอร์	
		สายอลูมิเนียม	สายทองแดง	สายอลูมิเนียม	สายทองแดง
10 (30) , 15 (45)	10-20	16	10	16	10
15 (45) , 20 (40)	20-30	25	10	25	10
30 (60) , 30 (100)	30-50	35	35	35	35
30 (100) , 50(100)	50-100	50	50	50	35

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี ปาเดช

แบบฝึกหัดบทที่ 7

1. วงจรย่อยวงจรหนึ่งมีหลอดไฟฟ้าฟลูออเรสเซนต์ ขนาด 36W จำนวน 30 หลอด จงหาขนาดสายวงจรย่อย (กลุ่มการติดตั้งที่ 2) และขนาดอุปกรณ์ป้องกัน (CB)

2. วงจรย่อยวงจรหนึ่งมีเต้ารับไฟฟ้ากำลัง จำนวน 10 จุด จงหาขนาดสายวงจรย่อย (กลุ่มการติดตั้งที่ 4) และขนาดอุปกรณ์ป้องกัน (CB)

3. วงจรย่อยวงจรหนึ่งมีเต้ารับไฟฟ้าทั่วไป จำนวน 30 จุด จงหาขนาดสายวงจรย่อย (กลุ่มการติดตั้งที่ 4) และขนาดอุปกรณ์ป้องกัน (CB)

4. มอเตอร์ขนาด 25HP , 380V , 3P โดยมอเตอร์ตัวนี้ทำงานเป็นลิฟต์และจะทำงาน 5 นาที / ครั้ง จงหาขนาดสายวงจรย่อย (กลุ่มการติดตั้งที่ 2) และขนาดอุปกรณ์ป้องกัน (CB)

5. มอเตอร์ต่อกันหลายตัว 3P,380V ขนาด 25HP , 10HP , 15HP โดยมอเตอร์ทุกตัวทำงานเป็นแบบต่อเนื่อง จงหาขนาดสายวงจรย่อย (กลุ่มการติดตั้งที่ 2) และขนาดอุปกรณ์ป้องกัน (CB)

6. เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน ขนาด 20 ตันความเย็น 3 เฟส 400V. จงหาขนาดสายวงจรย่อย (กลุ่มการติดตั้งที่ 2) และขนาดอุปกรณ์ป้องกัน (CB)

7. เครื่องเชื่อมไฟฟ้า 10KVA , 40 รอบการทำงาน จงหาขนาดสายวงจรย่อย (กลุ่มการติดตั้งที่ 2) และขนาดอุปกรณ์ป้องกัน (CB)

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เขาเดช

บทที่ 8

การประมาณราคาระบบไฟฟ้า

8.1 การประมาณราคาระบบไฟฟ้า

คือ การคำนวณค่าใช้จ่ายในการติดตั้งระบบไฟฟ้าให้สมบูรณ์และใช้งานได้ตามแบบที่ออกแบบไว้

การประมาณราคาที่ดีจะต้องให้ตัวเลขค่าใช้จ่ายใกล้เคียงกับค่าใช้จ่ายที่ใช้จ่ายจริง แต่ทั้งนี้และทั้งนี้ความแม่นยำในการประเมินราคาจะสูงหรือต่ำ ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบดังต่อไปนี้คือ

8.1.1 ความละเอียดของแบบแปลนระบบไฟฟ้า

8.1.2 ระยะเวลาในการประมาณราคา

8.1.3 ความรู้ ความชำนาญ และประสบการณ์ เกี่ยวกับอุปกรณ์ เครื่องมือต่างๆ ของผู้ประมาณราคา

8.1.4 ข้อมูล ของราคาอุปกรณ์ และเครื่องมือต่างๆ

8.1.1 ความละเอียดของแบบแปลนระบบไฟฟ้า

แบบแปลนระบบไฟฟ้า เป็นหัวใจในการประมาณราคา เพราะแบบแปลนทางไฟฟ้า บอกให้ทราบถึง จำนวนอุปกรณ์ ชนิดอุปกรณ์ และข้อกำหนดต่างๆ ของระบบไฟฟ้า ที่จะใช้ในการติดตั้ง ถ้าแบบแปลนทางไฟฟ้ามีความละเอียดสูง การประมาณราคาระบบไฟฟ้าจะทำได้แม่นยำยิ่งขึ้น เพราะข้อเคลือบแคลงต่างๆ ซึ่งบังคับให้ผู้ประมาณราคาต้องสมมุติขึ้นเองจะน้อย เนื่องจากได้บ่งหรือกำหนดไว้ในแบบแปลนแล้ว ถ้าแบบแปลนทางไฟฟ้าหยาบ การประมาณราคาระบบไฟฟ้าก็จะลดความแม่นยำลงด้วย เพราะผู้ประมาณราคาจะต้องคิดหรือสมมุติข้อกำหนดขึ้นเองมาก ซึ่งอาจไม่ตรงกับทางผู้ออกแบบประสงค์ อย่างไรก็ตามการประมาณราคาระบบไฟฟ้าอาจแบ่งเป็น 2 ประเภทใหญ่ คือ

- การประมาณราคาอย่างหยาบ
- การประมาณราคาอย่างละเอียด

การจะเลือกใช้วิธีใดนั้นขึ้นอยู่กับรายละเอียดของแบบแปลนทางไฟฟ้าซึ่งจะกล่าวในต่อไป

ห้องสมุดประกอบการสอนอาจารย์มนตรี ปาเดชะ

8.1.2 ระยะเวลาในการประมาณราคา

ระยะเวลาเป็นองค์ประกอบที่สำคัญอย่างยิ่งในการกำหนดความแม่นยำของการประมาณราคาระบบไฟฟ้า ถ้าระยะเวลาในการประมาณราคามีค่าสั้น ความแม่นยำจะต่ำ ถ้าระยะเวลาในการประมาณราคามีค่ายาว ความแม่นยำจะสูงขึ้นด้วย ทั้งนี้เพราะความแม่นยำจะสูงขึ้นเมื่อแบบแปลนทางไฟฟ้ามีความละเอียดมากขึ้นซึ่งทำให้เวลาในการอ่านแบบ คำนวณและบันทึกข้อมูลต่างๆ สูงขึ้นด้วย นอกจากนี้ถ้าระยะเวลายาว ผู้ประมาณราคาสามารถจะทำการติดต่อผู้ออกแบบระบบไฟฟ้าในประเด็นที่สงสัยต่างๆ ได้ หรือทำการค้นคว้าในจุดซึ่งยังไม่ค่อยเข้าใจ หรือสงสัยอยู่ได้ ทำให้การประมาณราคาแม่นยำขึ้น นอกจากนี้ราคาของอุปกรณ์บางชนิดจำเป็นจะต้องใช้เวลาในการสอบถามซึ่งอาจทำไม่ได้ในกรณีที่ระยะเวลาจำกัด ทำให้ผู้ประมาณราคาต้องใช้ประสบการณ์มาประมาณราคาอุปกรณ์ ซึ่งทำให้ความแม่นยำลดลงมาก โดยปกติถ้าระยะเวลาที่อำนวยให้ในการประมาณราคาสั้นมักใช้การประมาณราคาอย่างหยาบ หรือการประมาณราคาอย่างละเอียดโดยลดขั้นตอนหรือความละเอียดในบางขั้นตอนลง เพื่อให้การประมาณราคาแม่นยำขึ้นกว่าการประมาณราคาอย่างหยาบ

8.1.3 ความรู้ ความชำนาญ และประสบการณ์

การประมาณราคาระบบไฟฟ้าให้แม่นยำจำต้องอาศัยเวลาในการศึกษาและประสบการณ์ในการทำงานเป็นหลัก เพราะการประมาณราคาที่แม่นยำอาศัยพื้นฐานความรู้ทางภาคปฏิบัติเป็นส่วนใหญ่ คุณสมบัติของผู้ประมาณราคาควรเป็นดังนี้

- มีความรู้ทางด้านวิศวกรรมไฟฟ้าเป็นอย่างดี รู้และเข้าใจถึงการติดตั้งอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ
- มีประสบการณ์และศึกษางานปฏิบัติทางการติดตั้งระบบไฟฟ้ามาก
- มีระเบียบ มีการทำงานเป็นลำดับขั้นตอน และสามารถคาดการณ์โครงงานการติดตั้งระบบไฟฟ้าได้ล่วงหน้าว่าจะมีลำดับขั้นตอนอย่างไร
- มีมนุษย์สัมพันธ์ที่ดี เพื่อให้การติดต่อ รายละเอียดต่างๆ ที่จำเป็นต้องใช้ในการประมาณราคาเป็นไปอย่างรวดเร็วและถูกต้อง

8.1.4 ข้อมูล ของราคาอุปกรณ์ และเครื่องมือต่าง ๆ

เมื่อทำการถอดแบบได้จำนวนพร้อมข้อกำหนดของอุปกรณ์ต่างๆ แล้วต้องทำการสืบราคาอุปกรณ์ทุกชนิดที่ใช้ในระบบไฟฟ้า โดยติดต่อไปยังบริษัทผู้ขายหรือผู้ผลิต ซึ่งจะต้องทำการสอบถามไปเป็นจำนวนมากบริษัท เพราะอุปกรณ์ที่จะสืบราคาจะมีจำนวนมากชนิดและขอบเขตกว้างมาก ดังนั้น เพื่อให้การประมาณราคามีความแม่นยำ จึงมักทำการสอบราคาอุปกรณ์ชิ้นเดียวกันจากหลายๆ แห่ง เพื่อให้ได้ราคามาตรฐานที่จะใช้ในการคำนวณ

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์ชนตรี เจนเดช

8.2 การประมาณราคาอย่างหยาบ

ใช้สำหรับกรณีที่แบบแปลนทางไฟฟ้าละเอียดยังไม่มีหรือยังอยู่ในระหว่างการออกแบบ หรืออยู่ในระหว่างการพิจารณา แต่ต้องการประมาณราคาระบบไฟฟ้า เพื่อประกอบการพิจารณางบประมาณ หรือเพื่อประกอบการตัดสินใจในโครงการซึ่งจะทำการก่อสร้าง เพื่อให้โครงการทั้งหมดสำเร็จลุล่วงไปด้วยความเรียบร้อย การประมาณราคาอย่างหยาบนี้ไม่สามารถนำมาใช้ในการประมูลงาน หรือเป็นราคากลางได้ เพราะความแม่นยำต่ำเกินไป การประมาณราคาอย่างหยาบนี้มักใช้เป็นตัวเลขทดสอบการประมาณราคาอย่างละเอียด โดยปกติราคาประมาณของทั้งสองแบบไม่ควรผิดกันเกิน 10% การประมาณราคาระบบไฟฟ้าอย่างหยาบอาจคำนวณได้จาก

8.2.1 จำนวน KVA ของหม้อแปลง การคำนวณโดยวิธีนี้เหมาะกับอาคารขนาดใหญ่ที่ใช้โหลดมาก และมีโหลดขนาดใหญ่ เช่น ระบบปรับอากาศ ปั๊มน้ำ ลิฟต์ เป็นต้น

การคำนวณ KVA ของหม้อแปลงพิจารณาจากโหลดทั้งหมดของอาคารซึ่งประกอบด้วยส่วนสำคัญๆ คือ

8.2.1.1 ระบบปรับอากาศ โหลดนี้มีขนาดใหญ่ซึ่งอาจประมาณได้โดยการคิดค่าเป็น Ton/m^2

8.2.1.2 ระบบมอเตอร์ ได้แก่ โหลดซึ่งใช้มอเตอร์ เช่น ลิฟต์ ปั๊มน้ำ เป็นต้น โดยประมาณจากจำนวนแรงม้าของมอเตอร์ทั้งหมด

8.2.1.3 ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง และเครื่องใช้ไฟฟ้าขนาดเล็ก โหลดนี้มีขนาดค่อนข้างใหญ่อาจคำนวณโดยการคิดเป็น W/m2

8.2.1.4 ระบบพิเศษอื่นๆ โหลดเหล่านี้มักมีขนาดไม่ใหญ่ แต่ถ้าทราบว่ามีติดตั้งในอาคารก็สามารถประมาณได้จากตัวระบบเองโดยการสอบถามไปยังบริษัทผู้ผลิตโดยตรง

8.2.2 จำนวน "จุด" ในอาคาร การคำนวณโดยวิธีนี้เหมาะสำหรับอาคารซึ่งใช้ระบบแสงสว่างเป็นส่วนใหญ่ โดยไม่มีโหลดที่กินไฟมากอยู่เฉพาะบางจุด การคำนวณโโยวิธีนี้ค่อนข้างจะได้ผลดีสำหรับอาคารที่มีขนาดกลางลงมาถึงขนาดเล็ก ซึ่งมีแบบแปลนทางไฟฟ้าค่อนข้างละเอียด ยกเว้นพวกโรงงาน ซึ่งให้ผลไม่สู้แม่นยำนัก

"จุด" ในที่นี้หมายถึง อุปกรณ์ไฟฟ้าหนึ่งชุด เช่นดวงโคม 1 จุด หมายถึงดวงโคม 1 ชุด (กี่หลอดก็ได้) พร้อมสวิตช์ หรือเต้ารับ 1 จุด หมายถึง เต้ารับ 1 ชุด ซึ่งอาจมีมากกว่า 1 ตาก็ได้ จำนวนจุดทางไฟฟ้าอาจทำการแบ่งซอยออกเป็นประเภทต่างๆ เพื่อให้ได้รายละเอียดมากขึ้นดังนี้

- จุดแสงสว่าง	หมายถึง	ดวงโคมและสวิตช์
- จุดไฟฟ้ากำลัง	หมายถึง	เต้ารับไฟฟ้ากำลัง
- จุดโทรศัพท์	หมายถึง	เต้ารับโทรศัพท์
- จุดเตือนเพลิงไหม้	หมายถึง	ตัวแจ้งสัญญาณหรือตัวบอกสัญญาณต่างๆ (Detector)

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เจดเดช

- จุดรักษาความปลอดภัย หมายถึง ตัวแจ้งสัญญาณต่างๆ
- จุดเรียก หมายถึง สวิตช์เรียก ไมโครโฟน และลำโพงต่างๆ

8.2.3 จำนวนพื้นที่ประกอบการ การคำนวณวิธีนี้เหมาะสำหรับอาคารที่มีการกระจายโหลดสม่ำเสมอ และรายละเอียดทางไฟฟ้ามีน้อยกว่าสองวิธีแรก เพื่อให้การคำนวณโดยวิธีนี้มีความแม่นยำสูงขึ้น อาจทำการแยกประเภทของพื้นที่ออกตามลักษณะการใช้งาน คือ

- สำนักงาน
- บริเวณจอดรถ
- คลังวัสดุ
- ห้องเย็น

ฯลฯ

การประมาณราคาโดยวิธีที่กล่าวมาแล้วทั้ง 3 วิธี จะได้ผลดีต้องอาศัยความชำนาญของผ๔มีประสบการณ์สูง และมีข้อมูลประกอบการพิจารณามาก การจะกำหนดค่า บาท/KVA , บาท/จุด หรือ บาท/พื้นที่ ว่ามีค่าเท่าไหร่ ขึ้นอยู่กับประเภทของอาคารเป็นหลัก ส่วนการเปลี่ยนแปลงราคาอุปกรณ์และค่าแรงงานเป็นองค์ประกอบรอง สำหรับอาคารหนึ่งๆ การประมาณราคาโดยวิธีใดก็ตามควรจะมีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งอาจนำมาทดสอบกันได้ ตัวอย่างการประมาณราคาของอาคารประเภทต่างๆ เป็น บาท/KVA , บาท/จุด และ บาท/พื้นที่ ได้แสดงในตารางที่ 8.1

ที่	ลักษณะของอาคาร	บาท / KVA	บาท / จุด	บาท / $ม^2$	หมายเหตุ
1	สำนักงาน	3,107.4	3,072.8	659.8	จุดของเต้ารับและแสงสว่าง , หม้อแปลง , แสงสว่าง เดินท่อเดินสายสำหรับระบบแอร์
2	โรงแรม	7,065.0	-	775.5	แสงสว่าง , หม้อแปลง , ระบบเสียง , ระบบ Fire Alarm , ระบบโทรศัพท์
3	สถานศึกษา	1,935.5	2,232.5	303.5	ไม่คิดหม้อแปลง และ ระบบแรงสูง
4	โรงพยาบาล	8,507.8	5,425.9	1,170.3	แสงสว่าง , หม้อแปลง , Generator , เดินท่อและสายสำหรับระบบไฟฟ้ากำลัง
5	โรงงาน	4,209.8	11,532	810	แสงสว่าง , หม้อแปลง
6	ธนาคาร	-	-	825	แสงสว่าง
7	โกดัง	-	-	40.3	แสงสว่าง

เอกสารประกอบการสอนวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า เขาเดช

8.3 การประมาณราคาอย่างละเอียด

การประมาณราคาอย่างละเอียดนี้เป็นการประมาณที่แม่นยำมาก ส่วนจะใกล้เคียงกับราคาจริงมากน้อยเท่าไรนั้น ขึ้นอยู่กับประสบการณ์ของผู้ประมาณราคา การประมาณราคาวิธีนี้จะต้องดูจากแบบแลนระบบไฟฟ้าซึ่งได้ออกแบบมาโดยละเอียด โดยได้กำหนดอุปกรณ์ต่างๆ และข้อกำหนดที่ต้องการไว้ครบถ้วน

<u>ขั้นตอนในการประมาณราคา</u> อย่างละเอียดมีดังนี้คือ

1. *ตรวจสอบเอกสาร* ตรวจจำนวนแบบแปลนทางไฟฟ้าว่ามีครบถ้วน ตรวจรายการกำหนดรายละเอียด (Specifications) รายการประกอบแบบ ตรวจประเภทของการประมูลว่าเป็นแบบเปิดหรือแบบปิด วันและสถานที่ยื่นซองประมูล หนังสือค้ำประกันของธนาคาร เงื่อนไขการชำระเงิน และระยะเวลาแล้วเสร็จของงาน
2. *ศึกษารายการกำหนดรายละเอียด* (รายการประกอบแบบ) ขั้นตอนนี้นับเป็นหัวใจของการประมาณราคา ผู้ประมาณราคาจะต้องศึกษารายการกำหนดรายละเอียดอย่างละเอียด เพื่อให้ทราบจุดประสงค์ของผู้ออกแบบ หรือผู้กำหนดรายละเอียดในรายการกำหนดรายละเอียด ในรายการกำหนดรายละเอียดอาจแบ่งเป็น 3 ส่วนใหญ่ๆ คือ
   2.1 ข้อกำหนดขอบข่ายของงานที่ต้องดำเนินการ เช่น
   - ติดตั้งระบบไฟฟ้าแรงสูง จากสายส่งของการไฟฟ้าฯ เข้าสู่ห้องเครื่อง
   - ติดตั้งหม้อแปลง
   - ติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
   - ติดตั้งตู้ควบคุมไฟฟ้าหลัก (Main Distribution Board : MDB)
   - ติดตั้งดวงโคม เต้ารับ และเดินสายในท่อร้อยสาย
   - ติดตั้งระบบต่อลงดิน (Grounding)
   - ติดตั้งระบบป้องกันฟ้าผ่า
   - ติดตั้งระบบพิเศษอื่นๆ

   2.2 กำหนดความรับผิดชอบของผู้ติดตั้งระบบไฟฟ้า เช่น กำหนดวิธีการเดินสาย การติดตั้งอุปกรณ์ประเภทต่างๆ การติดตั้งพ้นกำหนด การปรับเมื่อทำงานช้า และการรับประกันหลังการติดตั้ง เป็นต้น

   2.3 กำหนดชนิดและแบบของอุปกรณ์ อาจบอกเป็นคุณลักษณะที่ต้องการของอุปกรณ์ หรือ อาจบ่งชื่อ ยี่ห้อเลยก็ได้

3. *การถอดแบบ* การถอดแบบเพื่อแยกและนับจำนวนอุปกรณ์และอุปกรณ์ช่วยต่างๆ ที่ต้องใช้เพื่อให้ติดตั้งได้สมบูรณ์ การถอดแบบนี้เป็นขั้นตอนที่สำคัญ และกินเวลามากที่สุดในการประเมินราคา การถอดแบบนี้จำเป็นต้องอาศัยเทคนิค และความรู้อย่างดีเกี่ยวกับการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ วิธีการเดินท่อและสายที่ถูกต้อง และประหยัดที่สุด (โดยต้องอยู่ภายใต้รายการกำหนด

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เจนเดช

รายละเอียด) การถอดแบบนิยมถอดเป็นระบบเพื่อความเป็นระเบียบและความสะดวกในการคำนวณ การทำความเข้าใจและการตรวจสอบ ในการคิดรายละเอียด (ถอดแบบ) ของแต่ละระบบมักทำในรูปของแบบฟอร์ม เพื่อให้ง่ายแก่การคำนวณและตรวจสอบ ดังแบบฟอร์ม โดยระบบต่างๆ ซึ่งจะต้องประมาณราคามี

3.1 ระบบไฟฟ้าแรงสูง ซึ่งประกอบด้วย

- ชนิดของสาย และลักษณะการเดินสายว่าเป็นแบบแบบเดินพาดเสาหรือฝังดิน
- จำนวนบ่อพักสาย (Manhole) และขนาด
- ขนาดและจำนวนข้องอประเภทต่างๆ
- จำนวนและขนาดของมิเตอร์ไฟฟ้า
- ตัวเก็บประจุไฟฟ้าแรงสูง
- ขนาดแรงดัน กระแส และ Basic Impulse Level (BIL) ของ Load Interrupter Switch
- ขนาดแรงดัน กระแส และจำนวนของฟิวส์แรงสูง
- ค่าแรงการเดินสายและติดตั้ง

3.2 หม้อแปลงไฟฟ้า

- แบบของหม้อแปลงไฟฟ้า ว่าเป็นแบบน้ำมัน หรือแบบแห้ง ต่อขดลวดแบบใด
- ขนาด KVA ของหม้อแปลง ระบบแรงดันไฟฟ้า
- จำนวนหม้อแปลง และจำนวนสาย
- อุปกรณ์การติดตั้ง ตามลักษณะของการติดตั้งหม้อแปลง
- ค่าแรงการติดตั้ง

3.3 ตู้ควบคุมระบบไฟฟ้าหลัก (MDB) , Safety Switch

- ขนาดตู้ กว้าง ยาว สูง ของ MDB
- ขนาดแรงดัน , AT , AF จำนวนเฟส จำนวนสาย และจำนวนของ CB และอุปกรณ์ประกอบอื่นๆ
- จำนวนและขนาดของหม้อแปลงกระแส (CT)
- จำนวน Selector Switch , Ampere Selector Switch , Voltage Selector Switch
- จำนวนและพิกัดของมิเตอร์วัดแรงดัน (Ammeter)
- จำนวนและพิกัดของมิเตอร์วัดกระแส (Voltmeter)
- จำนวนไฟแสดง (Pilot Lamp)
- จำนวนฟิวส์ควบคุม
- ขนาดแรงดัน กระแส จำนวนขั้ว และจำนวนของ Automatic Transfer Switch (ATS) กรณีมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เจดเดช

- ค่าแรงการติดตั้ง

3.4 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าฉุกเฉิน ระบบนี้ไม่นิยมทำการถอดแบบ เพราะมีความยุ่งยากมาก สวนใหญ่ให้ผู้ผลิตเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเป็นผู้ตีราคา โดยทางผู้ประมาณราคาเป็นผู้กำหนด

- แบบของเครื่องยนต์
- พิกัด kW จำนวนสาย และความถี่ที่ต้องการ
- ระบบควบคุมที่ต้องการ

3.5 แผงควบคุมไฟฟ้าแรงต่ำ (Panel Board or Load Center) เป็นแผงที่จ่ายโหลดให้พื้นที่ย่อยหนึ่งๆ ประกอบด้วย

- ระดับแรงดัน กระแส IC เฟส จำนวนสาย และจำนวนวงจรของแผงควบคุม
- จำนวนเซอร์กิตเบรคเกอร์ โดยกำหนด เฟส Ampere Trip และ Ampere Frame

3.6 การวัดขนาดและความยาวสาย ส่วนนี้เป็นส่วนที่ใช้เวลามาก และเกิดความสับสนได้ง่าย เพื่อป้องกันการสับสน การวัดขนาด และความยาวสาย จึงมักทำทีละวงจร และวัดความยาวโดยอาศัยไม้บรรทัดสามเหลี่ยม ไปตามแนวที่สายจะเดินแล้วทำการบันทึกความยาวของสายแต่ละขนาดของวงจรนั้นไว้แล้วทำการวัดวงจรอื่นจนครบ แล้วนำมารวมกันเป็นขนาดและความยาวสายของทั้งระบบ อนึ่งการวัดความยาวสายนั้นมักจะทำควบคู่ไปกับการวัดความยาวท่อ โดยการกำหนดให้เดินท่อเป็นระยะทางสั้นที่สุด จากจุดหนึ่งถึงจุดหนึ่ง ขนาดและจำนวนสายที่ได้จะนำไปกรอกในแบบฟอร์ม

3.7 ขนาดและจำนวนของท่อร้อยสาย ท่อร้อยสายมี 5 แบบ ที่ใช้ในการติดตั้งโดยทั่วไป คือ

- ท่อ PVC (Polyvinyl Chloride Tube) เป็นท่อที่ทำจากสาร PVC ใช้ในงานเดินท่อลอยผ่านส่วนที่ไม่ถูกแรงกระแทก หรืออยู่บนฝ้าเพดาน ท่อนี้ไม่เป็นที่นิยมใช้สำหรับอาคารขนาดกลางหรือขนาดใหญ่
- ท่อ EMT (Electrical Metallic Tube) เป็นท่อโลหะบางสำหรับเดินลอยในฝ้าเพดาน หรือฝังในผนัง สามารถทนแรงกระแทกหรือแรงอัดได้ปานกลาง ทำเกลียวไม่ได้ ต้องใช้ Connector ต่อระหว่างท่อกับกล่องต่อสาย ท่อนี้สามารถดัดงอได้ง่าย ใช้ข้องอน้อย มีขนาดไม่เกิน 2”
- ท่อ IMC (Intermediate Metallic Conduit) ท่อนี้มีขนาดหนาปานกลาง ใช้เดินฝังในผนังหรือฝังใต้พื้น สามารถทำเกลียวได้ ไม่นิยมดัดงอ 90 องศา นิยมใช้ข้องอแทน
- ท่อ RSC (Rigid Steel Conduit) ท่อนี้มีความยาวหนาที่สุด ใช้สำหรับงานฝังในพื้น ทำเกลียวได้
- ท่ออ่อน (Flexible Conduit) เป็นท่อซึ่งใช้ในการต่อเข้าดวงโคม , มอเตอร์ หรือใช้ในส่วน Expansion Joint มีทั้งแบบกันน้ำและไม่กันน้ำ

เอกสารประกอบการสอนวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า เจนเดช

ในการวัดความยาวท่อ จะต้องกำหนดแนวเดินท่อก่อน โดยพิจารณาจากจำนวนสายไฟฟ้าที่ผ่านไปยังส่วนต่างๆ การวางแนวท่อในแบบนั้นจะประหยัดหรือไม่จึงขึ้นอยู่กับประสบการณ์และความละเอียดของผู้ประมาณราคาในการดูแบบ จึงควรใช้เวลาในการพิจารณาให้พอเหมาะเพื่อหาแนวเดินท่อที่สั้นและประหยัดที่สุด อนึ่งการเดินท่อลอยต้องคำนึงถึงการหลบคานและอุปกรณ์อื่นๆ เมื่อวางแนวท่อแล้วทำการวัดความยาวด้วยไม้บรรทัดสามเหลี่ยม แล้วนำไปกรอกในแบบฟอร์ม

อุปกรณ์ช่วยในการเดินท่อมีกล่องต่อสายและ Locknut & Bushing โดยปกติ กล่องต่อสายจะมีจำนวนเท่ากับดวงโคม บวก 10% ของจำนวนท่อนของท่อ ส่วน Locknut & Bushing นั้น มีค่าเท่ากับ จำนวนกล่องต่อสายคูณ 2

3.8 ดวงโคม สวิตช์และเต้ารับ ให้ทำการนับดวงโคมแต่ละประเภท สำหรับสวิตช์และเต้ารับมักมีลักษณะเป็นชุดซึ่งประกอบด้วย

- จำนวนกล่องต่อสาย ซึ่งมีค่าเท่ากับจำนวนจุดของเต้ารับบวกจำนวนจุดของสวิตช์
- จำนวนแกนหน้ากาก และหน้ากาก ซึ่งสามารถรับสวิตช์หรือเต้ารับ ตั้งแต่ 1-6 ตัว ในกรณีปกติ และถึง 30 ตัวในกรณีพิเศษ
- จำนวนตัวสวิตช์และเต้ารับซึ่งเป็นตัวเดี่ยวๆ

3.9 ระบบป้องกันฟ้าผ่า ส่วนนี้จะตายตัว และมีอุปกรณ์น้อย จึงขึ้นกับรายการกำหนดรายละเอียดว่ากำหนดให้เป็นแบบใด มีขนาด และลักษณะอย่างใด เพื่อสืบราคา

3.10 ระบบต่อลงดิน (Grounding) ประกอบด้วย

- แบบและชนิดของแท่งตัวนำในดิน
- ขนาดและความยาวของสายและท่อ ซึ่งต่อระหว่างแท่งตัวนำในดินทั้งหมด
- ขนาดและความยาวของสายและท่อซึ่งต่ออุปกรณ์ต่างๆ ลงดิน
- อุปกรณ์ช่วยในการติดตั้ง
- ค่าแรงติดตั้ง

3.11 ระบบพิเศษ คือ ระบบอื่นๆ นอกจากที่กล่าวมาแล้ว เช่น ระบบโทรศัพท์ (Telephone System) ระบบแจ้งเหตุเพลิงไหม้อัตโนมัติ (Fire Alarm System) ระบบเรียกพยาบาล (Nurse Call System) ระบบเสียง (Sound System) ระบบโทรทัศน์ (MATV System) และระบบอื่นๆ ถ้าหากมีก็ให้ทำการแยกอุปกรณ์ ท่อ และสายออกมาแต่ละระบบ เหมือนในกรณีของระบบแสงสว่าง ส่วนอุปกรณ์พิเศษ เช่นตู้ควบคุมต่างๆ จะต้องทำการติดตั้งกับผู้ขายในแต่ละระบบต่อกับโดยการกำหนดรายละเอียดของตู้ควบคุมนั้นๆ

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี จงสุดชี

4. *การสอบถามราคา*

เมื่อถอดแบบนำอุปกรณ์ต่างๆ ออกมาเรียบร้อยแล้ว ให้ทำรายการอุปกรณ์ตามประเภท เพื่อส่งให้บริษัทผู้ขายหรือผู้ผลิตตีราคา โดยอุปกรณีต่างๆ ที่ส่งไปจะต้องระบุ ลักษณะต่างๆ ให้แน่ชัดว่าเป็นแบบใด ยี่ห้อใด ขนาดพิกัดเท่าไร เพื่อให้ได้ราคา อุปกรณ์ที่ต้องการ ในการเสนอราคาของผู้ขายนั้นจะประกอบด้วยลักษณะสำคัญ 3 อย่าง คือ

- การยืนราคา
- การชำระเงิน
- การส่งของ

5. *การคิดค่าแรง*

ปัญหาการคิดค่าแรงมีค่าไม่คงที่ขึ้นกับเวลาและโอกาสในทางปฏิบัติจะคิดค่าแรงเป็น บาท/หน่วย ซึ่งทำให้คิดได้ละเอียดและง่ายขึ้น เช่น

- ค่าแรงติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้า / KVA
- ค่าแรงติดตั้งดวงโคม / โคม
- ค่าแรงเดินท่อ / เมตร
- ค่าแรงเดินสาย / เมตร

ฯลฯ

การคิดค่าแรงนี้อาจใช้การคำนวณอย่างคร่าวๆ จากจำนวนคน คูณเวลาที่จะทำให้งานนั้นแล้วเสร็จ แล้วคูณด้วยค่าแรงรายวันออกมาเป็นค่าแรงสำหรับ งานส่วนนั้นๆ

6. *การคิดค่าดำเนินการ (Overhead)*

ค่า Overhead คือค่าใช้จ่ายซึ่งไม่ใช่รายจ่ายสำหรับวัสดุที่จะติดตั้งจริง หรือค่าแรงคนติดตั้ง แต่เป็นรายจ่ายที่มีเพื่อสนับสนุนโครงงานเพื่อให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ซึ่งมี

- ค่าซื้อแบบ
- ค่า Shop Drawing
- ค่า Supervision ค่า วิศวกรไฟฟ้าควบคุม ค่าไปตรวจงานต่อครั้ง
- การขึ้นราคาของวัสดุ ปกติจะเผื่อ 5% ของราคาวัสดุ
- ดอกเบี้ย
- ค่าเครื่องมือ และอุปกรณ์ช่วยติดตั้ง เช่น เครื่องตัดท่อ
- ค่ายานพาหนะ ค่าขนส่ง
- ค่าอาคารสนาม
- ค่าสาธารณูปโภค

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เงาเดช

- ค่ายามรักษาการณ์
- ค่าประกันของเสียหาย
- ค่าธรรมเนียมต่างๆ เช่น การตรวจงานของการไฟฟ้าฯ
- ค่าเลี้ยงรับรอง
- กำไร คิดประมาณ 8-10%

7. *การตรวจสอบ*

เมื่อทำการประมาณราคาอย่างละเอียดแล้ว เพื่อกันความผิดพลาด มักจะตรวจสอบกับการประมาณราคาอย่างหยาบ วิธีใดวิธีหนึ่ง ถ้าราคาใกล้เคียงกันแสดงว่าใช้ได้ ถ้าแตกต่างกันมากแสดงว่าอาจมีการผิดพลาด ต้องทำการตรวจทานใหม่อีกครั้งหนึ่ง

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เงาเดช

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ นามสกุล **นายมนตรี เงาเดช**
Montri Ngaodet

E-Mail montri@rmutl.ac.th

วัน-เดือน-ปี เกิด ๘ สิงหาคม ๒๕๑๖

ที่อยู่ปัจจุบัน ๘๘/๒ หมู่ ๖ ต.ชมภู อ.สารภี จ.เชียงใหม่ ๕๐๑๔๐

ที่ทำงานปัจจุบัน สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
๑๒๘ ถ.ห้วยแก้ว ต.ช้างเผือก อ.เมือง จ.เชียงใหม่ ๕๐๓๐๐
โทรศัพท์ : ๐ ๕๓๙๒ ๑๔๔๔ , โทรสาร : ๐ ๕๓๒๑ ๓๑๘๓

ตำแหน่งงานปัจจุบัน อาจารย์สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

วุฒิการศึกษา

คุณวุฒิ	ปี พ.ศ. ที่จบ	ชื่อสถานศึกษาและประเทศ
- วศ.ม. (สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า)	๒๕๕๑	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
- คอบ.(สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า) เกียรตินิยม อันดับ 1 เหรียญทอง	๒๕๔๑	สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล
- ป.ว.ส.(ช่างไฟฟ้า)	๒๕๓๘	สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล

เอกสารประกอบการสอนอาจารย์มนตรี เงาเดช

ประสบการณ์ทำงาน ๒๕ ปี (๒๕๓๗-๒๕๖๑)

ผู้ช่วยวิศวกรไฟฟ้า บริษัท วีเดค จำกัด ปี ๒๕๓๗-๒๕๓๙

ผู้ช่วยวิศวกรไฟฟ้า บริษัท อินสไพเรชั่น-อิเล็กทริคคอล จำกัด ปี ๒๕๓๙-๒๕๔๐

อาจารย์สาขาวิศวกรรมวิชาไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ปี ๒๕๔๑ - ปัจจุบัน

ผลที่ผ่านมา

- งานออกแบบและเขียนแบบระบบไฟฟ้า ด้วยโปรแกรม AutoCAD อาคารพาณิชย์ อาคารที่พักอาศัย อาคารเรียน และโรงงาน
- งานที่ปรึกษาด้านวิศวกรรมระบบไฟฟ้า
- งานควบคุมงานติดตั้งระบบไฟฟ้าในอาคาร
- งานเขียนแบบ SHOP DRAWING , AS-BUILDING DRAWING ด้วยโปรแกรม AutoCAD

ความถนัด

- เขียนแบบระบบไฟฟ้าด้วยโปรแกรม AutoCAD
- งานออกแบบระบบไฟฟ้าภายในและภายนอกอาคาร
- งานควบคุมการติดตั้งระบบไฟฟ้า
- การออกแบบระบบไฟฟ้าแสงสว่างด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

เอกสารประกอบการสอบเอกสารย์มนตรี เขาเดช