

## คำนำ

การที่จะส่งเสริมให้งานด้านการอนุรักษ์พลังงานประสบผลสำเร็จได้อย่างเป็นรูปธรรมในอาคารควบคุมและโรงงานควบคุมนั้น ความรู้และความเข้าใจของผู้ที่ทำหน้าที่เป็นผู้รับผิดชอบด้านพลังงานถือเป็นสิ่งสำคัญเป็นอย่างยิ่ง ดังนั้น สำนักพัฒนาทรัพยากรบุคคล ด้านพลังงาน กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน จึงได้จัดทำมีการฝึกอบรมหลักสูตรผู้รับผิดชอบด้านพลังงานสามัญให้กับบุคลากรของอาคารควบคุมและโรงงานควบคุมขึ้น โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ผู้เข้ารับการฝึกอบรมเกิดจิตสำนึกด้านการอนุรักษ์พลังงาน มีความเข้าใจในบทบาทหน้าที่ความรับผิดชอบของผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน และมีความรู้และความเข้าใจเกี่ยวกับศักยภาพการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานควบคุมและอาคารควบคุม พร้อมทั้งได้จัดทำให้มีการพัฒนาคู่มือสำหรับใช้ในการฝึกอบรมหลักสูตรผู้รับผิดชอบด้านพลังงานสามัญขึ้น เพื่อให้ผู้เข้ารับการฝึกอบรมใช้ประกอบการฝึกอบรมในหลักสูตรดังกล่าว

คู่มือสำหรับหลักสูตรฝึกอบรมผู้รับผิดชอบด้านพลังงานสามัญพัฒนาขึ้นโดยอ้างอิงข้อมูลและเนื้อหาจากคู่มือฝึกอบรมผู้รับผิดชอบด้านพลังงานสามัญที่มีอยู่เดิมของสำนักพัฒนาทรัพยากรบุคคลด้านพลังงาน โดยได้มีการพัฒนาปรับปรุงเนื้อหาให้มีความทันสมัยสอดคล้องกับเทคโนโลยีที่มีการใช้งานในปัจจุบันและสอดคล้องกับรายละเอียดการปฏิบัติตาม พระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ.2535 (ฉบับแก้ไขเพิ่มเติม พ.ศ.2550) โดยคู่มือประกอบด้วยเนื้อหา 3 ส่วนหลัก คือ กฎหมายและความรู้พื้นฐานด้านการอนุรักษ์พลังงาน การจัดการพลังงานไฟฟ้า และการจัดการพลังงานความร้อน

เนื้อหาในส่วนที่ 1 มุ่งเน้นให้ผู้เข้ารับการฝึกอบรมได้รับความรู้เบื้องต้นที่เกี่ยวข้องกับการอนุรักษ์พลังงาน ตลอดจนเนื้อหาสำหรับกฎหมายที่เกี่ยวข้องกับการอนุรักษ์พลังงาน โดยเฉพาะ ความรู้ในเรื่องระบบการจัดการพลังงานซึ่งจะสนับสนุนให้การอนุรักษ์พลังงานเกิดขึ้นในโรงงานควบคุมและอาคารควบคุมได้อย่างยั่งยืน โดยในการพัฒนาเนื้อหาของคู่มือได้มีการปรับปรุงแนวทางในการพัฒนาระบบการจัดการพลังงานพร้อมทั้งปรับปรุงและเพิ่มเติมตัวอย่างเอกสารและรูปแบบรายงานที่ต้องใช้ในการดำเนินการจัดการพลังงานไว้อย่างครบถ้วน สำหรับ เนื้อหาในส่วนที่ 2 และส่วนที่ 3 ประกอบไปด้วยเนื้อหาภาคทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการจัดการอุปกรณ์ที่ใช้พลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อน โดยได้มีการพัฒนาเนื้อหาที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีต่าง ๆ ให้มีความทันสมัย พร้อมทั้งได้เพิ่มเติมตัวอย่างแนวทางการประยุกต์ใช้มาตรการด้านการอนุรักษ์พลังงานต่าง ๆ เพื่อให้ผู้เข้ารับการฝึกอบรมเกิดความเข้าใจในหลักการทางทฤษฎีและสามารถนำความรู้ไปปฏิบัติเพื่อให้เกิดการอนุรักษ์พลังงานได้อย่างแท้จริง

ในการนี้ หวังเป็นอย่างยิ่งว่าคู่มือสำหรับหลักสูตรฝึกอบรมผู้รับผิดชอบด้านพลังงานสามัญที่พัฒนาขึ้นนี้จะประโยชน์กับผู้เข้ารับการฝึกอบรมทั้งในการใช้ประกอบการฝึกอบรมและเป็นคู่มือที่ใช้อ้างอิงประกอบการทำงานด้านการอนุรักษ์พลังงานภายหลังการฝึกอบรมแล้วเสร็จ ทั้งนี้เพื่อให้การอนุรักษ์พลังงานเกิดผลได้อย่างเป็นรูปธรรมและยั่งยืนในโรงงานควบคุมและอาคารควบคุมต่อไป

สำนักพัฒนาทรัพยากรบุคคลด้านพลังงาน  
กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน  
เมษายน 2562

## สารบัญ

### ตอนที่ 2 การอนุรักษ์พลังงานภาคไฟฟ้า

#### บทที่ 1 เครื่องมือวัดทางไฟฟ้า (Electrical measurement)

|   |     |
|---|-----|
| 1.1 บทนำ  | 1-1 |
| 1.2 ชนิดของเครื่องมือวัดทางไฟฟ้าและวิธีการใช้             | 1-1 |
| 1.2.1 พื้นฐานการวัดทางไฟฟ้า                               | 1-1 |
| 1.2.2 หน่วยวัดทางไฟฟ้า                                    | 1-1 |
| 1.2.3 เครื่องมือวัดทางไฟฟ้าพื้นฐานเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน | 1-2 |
| 1.3 หลักการเลือกใช้เครื่องมือวัด                          | 1-4 |
| 1.4 ข้อควรระวังในการใช้เครื่องมือวัด                      | 1-5 |
| 1.5 การเลือกเครื่องมือวัดเพื่อตรวจวัดระบบที่ใช้พลังงาน    | 1-5 |

#### บทที่ 2 ระบบไฟฟ้ากำลัง (Electric Power System)

|  |      |
|--|------|
| 2.1 บทนำ   | 2-1  |
| 2.2 การอนุรักษ์พลังงานคืออะไร  | 2-4  |
| 2.3 พื้นฐานวงจรไฟฟ้ากระแสสลับที่ควรทราบ                                | 2-6  |
| 2.3.1 แรงแดันไฟฟ้ากระแสสลับ  | 2-6  |
| 2.3.2 การนำข้อมูลแรงแดันไฟฟ้ากระแสสลับมาใช้งาน                         | 2-6  |
| 2.3.3 โหลดในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ   | 2-6  |
| 2.3.4 กำลังไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ                                   | 2-10 |
| 2.4 การปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (Power Factor Correction)        | 2-11 |
| 2.4.1 การติดตั้งตัวเก็บประจุ (การติดตั้ง CAPACITOR Bank)               | 2-15 |
| 2.4.2 ข้อดีและข้อเสียของการใช้ตัวเก็บประจุไฟฟ้า                        | 2-17 |
| 2.4.3 ข้อควรระวังในการใช้ตัวเก็บประจุไฟฟ้า                             | 2-17 |
| 2.4.4 สมการใช้งานที่เกี่ยวข้อง   | 2-17 |
| 2.4.5 ตัวอย่างการคำนวณเพื่อหาค่า kVar ของ C จากข้อมูลที่ตรวจวัด        | 2-18 |
| 2.4.6 ตัวอย่างการคำนวณการลดความสูญเสียในสายไฟฟ้า                       | 2-19 |
| 2.4.7 การเรียกเก็บค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของการไฟฟ้า                    | 2-19 |
| 2.5 การลดความสูญเสียในหม้อแปลงไฟฟ้า                                    | 2-24 |
| 2.6 การลดค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุด และการบริหารพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้า | 2-28 |
| 2.7 การพิจารณาเพื่อคัดเลือกกิจกรรมที่เหมาะสม                           | 2-33 |
| 2.8 กรณีศึกษา  | 2-33 |

#### บทที่ 3 การอนุรักษ์พลังงานในระบบไฟฟ้าแสงสว่าง

|  |     |
|--|-----|
| 3.1 บทนำ                                       | 3-1 |
| 3.2 แหล่งกำเนิดแสง                             | 3-2 |
| 3.2.1 แหล่งกำเนิดแสงจากธรรมชาติ                | 3-2 |
| 3.2.2 แหล่งกำเนิดแสงประดิษฐ์                   | 3-2 |
| 3.3 นิยามศัพท์ที่สำคัญเกี่ยวกับปริมาณแสง       | 3-2 |
| 3.4 อุปกรณ์สำคัญในระบบไฟฟ้าแสงสว่าง            | 3-3 |
| 3.4.1 หลอดไฟฟ้า                                | 3-3 |
| 3.4.1.1 หลอดอินแคนเดสเซนต์ (Incandescent lamp) | 3-3 |

## สารบัญ (ต่อ)

|           |  |      |
|-----------|--|------|
| 3.4.1.2   | หลอดไส้แบบธรรมดา   | 3-3  |
| 3.4.1.3   | หลอดทั้งสแตนฮาโลเจน  | 3-5  |
| 3.4.1.4   | หลอดฟลูออเรสเซนต์ (Fluorescent Lamp)   | 3-6  |
| 3.4.1.5   | หลอดฟลูออเรสเซนต์รูปทรงกระบอก (Tubular Fluorescent)  | 3-7  |
| 3.4.1.6   | หลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ (Compact Fluorescent)  | 3-8  |
| 3.4.1.7   | หลอดฟลูออเรสเซนต์แบบเหนี่ยวนำ (Induction Fluorescent)  | 3-9  |
| 3.4.1.8   | หลอดโซเดียมความดันต่ำ (Low Pressure Sodium)  | 3-10 |
| 3.4.1.9   | หลอดไอปรอทความดันสูง (High Pressure Mercury) หรือหลอดแสงจันทร์   | 3-11 |
| 3.4.1.10  | หลอดโซเดียมความดันสูง (High Pressure Sodium)   | 3-12 |
| 3.4.1.11  | หลอดเมทัลฮาไลด์ (Metal Halide)   | 3-13 |
| 3.4.1.12  | หลอดแอลอีดี (Light Emitting Diode , LED)   | 3-14 |
| 3.5       | การพิจารณาเลือกใช้หลอดไฟ   | 3-16 |
| 3.6       | อุปกรณ์ที่ใช้ร่วมกับหลอดไฟฟ้าที่มีผลต่อประสิทธิภาพพลังงาน  | 3-17 |
| 3.6.1     | บัลลาสต์   | 3-17 |
| 3.6.1.1   | บัลลาสต์แกนเหล็ก (Electromagnetic Ballast)   | 3-18 |
| 3.6.1.1.1 | บัลลาสต์แกนเหล็กทั่วไป (Conventional ballast)  | 3-18 |
| 3.6.1.1.2 | บัลลาสต์แกนเหล็กแบบกำลังสูญเสียต่ำ (low loss ballast)  | 3-18 |
| 3.6.1.2   | บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ (Electronic ballast)  | 3-18 |
| 3.6.1.3   | การเปรียบเทียบข้อดี ข้อเสีย และพลังงานที่ใช้ของบัลลาสต์  | 3-19 |
| 3.6.2     | โคมไฟส่องสว่าง (Luminaries)  | 3-20 |
| 3.6.2.1   | พิจารณาตามลักษณะประเภทและการติดตั้งดวงโคม  | 3-20 |
| 3.6.2.1.1 | ดวงโคมสำหรับติดตั้งแบบห้อย หรือแขวนจากเพดานหรือคานลงมา   | 3-20 |
| 3.6.2.1.2 | ดวงโคมสำหรับยึดติดกับเพดาน   | 3-21 |
| 3.6.2.1.3 | ดวงโคมสำหรับยึดติดเข้าไปในเพดานหรือฝ้า   | 3-21 |
| 3.6.2.2   | พิจารณาตามลักษณะของการนำไปใช้งาน   | 3-21 |
| 3.6.2.3   | พิจารณาตามลักษณะของหลอดไฟ  | 3-22 |
| 3.6.2.4   | พิจารณาตามลักษณะการกระจายแสงสว่างของดวงโคม   | 3-22 |
| 3.6.2.4.1 | การกระจายกำลังการส่องสว่างของแสงสว่างของดวงโคม   | 3-22 |
| 3.6.2.4.2 | ลักษณะการกระจายแสงของดวงโคมประเภทต่าง ๆ  | 3-23 |
| 3.6.2.4.3 | ประสิทธิผลในการกระจายของแสงโคมไฟ   | 3-26 |
| 3.7       | มาตรฐานระดับความส่องสว่าง  | 3-30 |
| 3.8       | วิธีการวัดค่าความส่องสว่างของพื้นที่ทำงาน  | 3-31 |
| 3.9       | การคำนวณความส่องสว่างแบบลูเมน (Lumen Method)   | 3-32 |
| 3.10      | การอนุรักษ์พลังงานในระบบไฟฟ้าแสงสว่าง  | 3-33 |
| 3.10.1    | ข้อกำหนดเพื่อการอนุรักษ์พลังงานในระบบไฟฟ้าแสงสว่างของอาคารควบคุมตามกฎหมายกระทรวงว่าด้วยการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน | 3-33 |
| 3.10.2    | ข้อเสนอแนะของการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างในอาคารตามมาตรฐาน IES  | 3-34 |
| 3.11      | กรณีศึกษา  | 3-34 |

## บทที่ 4 การอนุรักษ์พลังงานสำหรับมอเตอร์ (Energy conservation for motor)

|     |      |     |
|-----|------|-----|
| 4.1 | บทนำ | 4-1 |
|-----|------|-----|

## สารบัญ (ต่อ)

|  |      |
|--|------|
| 4.2 ชนิดและหลักการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้า   | 4-1  |
| 4.3 ส่วนประกอบและหลักการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้า   | 4-2  |
| 4.3.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส  | 4-2  |
| 4.3.1.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับสปลิตเฟสมอเตอร์(Split-phase motor)                          | 4-2  |
| 4.3.1.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับคาปาซิเตอร์มอเตอร์(Capacitor motor)                         | 4-3  |
| 4.3.1.3 รีพัลชันมอเตอร์ ( Repulsion motor )  | 4-4  |
| 4.3.1.4 ยูนิเวอร์แซลมอเตอร์  | 4-4  |
| 4.3.1.5 เซดเดดโพลมอเตอร์ (Shaded pole motor)   | 4-4  |
| 4.3.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส  | 4-5  |
| 4.3.2.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส แบบอินดักชัน   | 4-5  |
| 4.3.2.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟสแบบซิงโครนัส  | 4-5  |
| 4.4 ประสิทธิภาพมอเตอร์ไฟฟ้า  | 4-6  |
| 4.5 ความแตกต่างระหว่างมอเตอร์ไฟฟ้าประสิทธิภาพสูงและมอเตอร์ไฟฟ้ามาตรฐานทั่วไป             | 4-7  |
| 4.6 การอนุรักษ์พลังงานที่เกิดจากการใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูง                              | 4-9  |
| 4.7 หลักการพิจารณาใช้มอเตอร์ไฟฟ้าประสิทธิภาพสูงและอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบ                 | 4-11 |
| 4.8 การพิจารณาใช้อุปกรณ์ปรับความเร็วรอบเพื่อประหยัดพลังงานในมอเตอร์                      | 4-12 |
| 4.8.1 งานที่ใช้เครื่องควบคุมความเร็วรอบ  | 4-13 |
| <br>   |      |
| <b>บทที่ 5 การอนุรักษ์พลังงานสำหรับเครื่องสูบน้ำ (Energy conservation of water pump)</b> |      |
| 5.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับเครื่องสูบน้ำ   | 5-1  |
| 5.2 ประเภทของเครื่องสูบน้ำ   | 5-2  |
| 5.2.1 แยกตามลักษณะการเพิ่มพลังงานให้แก่ของเหลว   | 5-2  |
| 5.2.2 แยกตามลักษณะการขับเคลื่อนของเหลวในปั๊ม   | 5-2  |
| 5.3 เฮด  | 5-6  |
| 5.3.1 เฮดความดัน (Pressure Head, $H_p$ )   | 5-6  |
| 5.3.2 เฮดความเร็ว (Velocity Head, $H_v$ )  | 5-6  |
| 5.3.3 เฮดสถิตย์ (Potential Head, $Z$ )   | 5-6  |
| 5.3.4 เฮดการสูญเสียรวม (Total Head, $H_t$ )  | 5-6  |
| 5.3.5 กราฟเฮดของระบบ (System Head Curve)   | 5-11 |
| 5.3.6 กราฟเฮดของปั๊ม   | 5-12 |
| 5.4 ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพพลังงานของปั๊มน้ำ   | 5-13 |
| 5.5 การตรวจสอบการทำงานและประสิทธิภาพพลังงานของปั๊มน้ำ                                    | 5-14 |
| 5.5.1 ข้อมูลที่สำคัญที่ควรตรวจวัด  | 5-14 |
| 5.5.1.1 การสำรวจข้อมูลเบื้องต้นของปั๊ม   | 5-14 |
| 5.5.1.2 การสำรวจระบบสูบน้ำและการเปิดใช้งานจริง   | 5-14 |
| 5.5.1.3 การตรวจวัดค่ากำลังไฟฟ้า  | 5-15 |
| 5.5.1.4 การตรวจวัดค่าอัตราการไหล   | 5-15 |
| 5.5.1.5 การตรวจวัดค่าเฮด   | 5-15 |
| 5.5.2 อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการตรวจวัด  | 5-15 |
| 5.5.2.1 ประเภทและชนิดเครื่องมือวัดที่ใช้   | 5-15 |
| 5.5.2.1.1 ประเภทเครื่องมือวัดด้านไฟฟ้าทั่วไป   | 5-15 |
| 5.5.2.1.2 ประเภทเครื่องมือวัดด้านความร้อน  | 5-17 |

## สารบัญ (ต่อ)

|  |      |
|--|------|
| 5.6 การวิเคราะห์การใช้พลังงานระบบปั้มน้ำ   | 5-20 |
| 5.6.1 กำลังไฮดรอลิก  | 5-20 |
| 5.6.2 ประสิทธิภาพของปั้ม   | 5-20 |
| 5.6.3 การคำนวณขนาดต้นกำลังปั้มน้ำ  | 5-21 |
| 5.6.4 สมรรถนะการทำงานของปั้ม   | 5-22 |
| 5.6.5 กฎความคล้ายของปั้ม   | 5-25 |
| 5.6.5.1 เมื่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของใบพัดมีค่าคงที่แต่มีการเปลี่ยนแปลงรอบความเร็ว    | 5-25 |
| 5.6.5.2 เมื่อรอบความเร็วมีค่าคงที่ แต่ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของใบพัดเปลี่ยนไป          | 5-26 |
| 5.7 แนวทางการอนุรักษ์พลังงานในระบบปั้มน้ำ  | 5-28 |
| 5.7.1 การปรับความเร็วรอบของปั้มน้ำ   | 5-28 |
| 5.7.2 การบำรุงรักษา  | 5-30 |
| 5.7.3 การปรับปรุงอุปกรณ์   | 5-31 |
| 5.7.4 การจัดการตรวจสอบ   | 5-32 |
| 5.8 กรณีศึกษา  | 5-32 |
| 5.8.1 กรณีศึกษาตัวอย่างการใช้งานปั้มน้ำอย่างมีประสิทธิภาพ                            | 5-32 |
| 5.8.2 มาตรการซ่อมแซมการรั่วไหลน้ำหล่อเย็น  | 5-36 |
| 5.8.3 มาตรการปรับปรุงระบบปั้มน้ำ   | 5-38 |
| 5.8.4 มาตรการเปลี่ยนท่อเหล็กของปั้มน้ำ   | 5-41 |
| 5.8.5 มาตรการการติดตั้งอินเวอร์เตอร์ควบคุมมอเตอร์ปั้ม                                | 5-42 |
| 5.8.6 มาตรการลดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบพัดปั้มน้ำขนาด 19.8 ซม. เป็น 18.5 ซม.          | 5-44 |
| 5.8.7 มาตรการติดตั้งระบบ VSD ให้ปั้มจ่ายน้ำอ่อนและปั้มจ่ายน้ำ RO                     | 5-47 |
| 5.8.8 มาตรการติดตั้งระบบ Step Control ให้ปั้มจ่ายน้ำให้กับเครื่องจักรในกระบวนการผลิต | 5-50 |
| <br>   |      |
| <b>บทที่ 6 การอนุรักษ์พลังงานสำหรับพัดลม (Energy conservation for fan)</b>           |      |
| 6.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับพัดลม   | 6-1  |
| 6.2 ประเภทของพัดลม   | 6-1  |
| 6.2.1 พัดลมแบบหมุนเหวี่ยง (Centrifugal Flow Fan)                                     | 6-2  |
| 6.2.2 พัดลมแบบอากาศไหลตามแนวแกน (Axial Flow Fan)                                     | 6-3  |
| 6.3 การสูญเสียพลังงานการไหลในท่อลม   | 6-4  |
| 6.3.1 เหน็ดความฝืดในท่อลม  | 6-4  |
| 6.3.2 การสูญเสียเหน็ดเนื่องจากการไหลผ่านอุปกรณ์                                      | 6-8  |
| 6.4 ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพพลังงานของพัดลม                                       | 6-9  |
| 6.5 การตรวจสอบการทำงานและประสิทธิภาพพลังงานของพัดลม                                  | 6-10 |
| 6.5.1 ข้อมูลที่สำคัญที่ควรตรวจวัด  | 6-10 |
| 6.5.1.1 การสำรวจข้อมูลเบื้องต้นของพัดลม  | 6-10 |
| 6.5.1.2 การสำรวจระบบและการเปิดใช้งานจริง   | 6-10 |
| 6.5.1.3 การตรวจวัดค่ากำลังไฟฟ้า  | 6-10 |
| 6.5.1.4 การตรวจวัดค่าความดันของอากาศ   | 6-10 |
| 6.5.1.5 การตรวจวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ   | 6-10 |
| 6.5.2 อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการตรวจวัด  | 6-10 |
| 6.5.2.1 ประเภทและชนิดเครื่องมือวัดที่ใช้   | 6-10 |

## สารบัญ (ต่อ)

|                |   |      |
|----------------|---|------|
| 6.5.2.1.1      | ประเภทเครื่องมือวัดด้านไฟฟ้าทั่วไป  | 6-11 |
| 6.5.2.1.2      | ประเภทเครื่องมือวัดด้านความร้อน   | 6-11 |
| 6.5.2.1.3      | ประเภทเครื่องมือวัดด้านอื่น ๆ   | 6-11 |
| 6.6            | การวิเคราะห์การใช้พลังงานของพัดลม   | 6-14 |
| 6.6.1          | กำลังลม   | 6-14 |
| 6.6.2          | ประสิทธิภาพของพัดลม   | 6-16 |
| 6.6.3          | การคำนวณขนาดต้นกำลังขับพัดลม  | 6-16 |
| 6.6.4          | คุณลักษณะและสมรรถนะการทำงานของพัดลม   | 6-17 |
| 6.6.4.1        | กราฟสมรรถนะของพัดลมแบบหมุนเหวี่ยงชนิดใบพัดโค้งไปข้างหน้า                                  | 6-18 |
| 6.6.4.2        | กราฟสมรรถนะของพัดลมแบบหมุนเหวี่ยงชนิดใบพัดโค้งไปข้างหลัง                                  | 6-18 |
| 6.6.4.3        | กราฟสมรรถนะของพัดลมแบบหมุนเหวี่ยงชนิดใบพัดตรง   | 6-19 |
| 6.6.4.4        | กราฟสมรรถนะของพัดลมแบบอากาศไหลตามแนวแกน (Axial Flow Fans)                                 | 6-19 |
| 6.7            | กฎความคล้ายของพัดลม   | 6-19 |
| 6.7.1          | เมื่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของใบพัดมีค่าคงที่แต่มีการเปลี่ยนแปลงรอบความเร็ว                 | 6-20 |
| 6.7.2          | เมื่อรอบความเร็วมีค่าคงที่ แต่ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของใบพัดเปลี่ยนไป                       | 6-21 |
| 6.8            | แนวทางการอนุรักษ์พลังงานในพัดลม   | 6-22 |
| 6.8.1          | การควบคุมการเปิด-ปิดพัดลม   | 6-22 |
| 6.8.2          | การลดปริมาณลม – ความดัน ให้เหมาะสมกับที่ภาระต้องการ                                       | 6-22 |
| 6.8.3          | การตรวจสอบและบำรุงรักษาพัดลม  | 6-24 |
| 6.9            | กรณีศึกษา   | 6-25 |
| 6.9.1          | มาตรการลดความเร็วรอบพัดลมโดยเปลี่ยนขนาด Pulley  | 6-25 |
| 6.9.2          | มาตรการลดขนาดใบพัดของพัดลม  | 6-27 |
| 6.9.3          | มาตรการติดตั้ง Timer ลดเวลาการใช้พัดลมเป่ายาระบายความร้อน                                 | 6-29 |
| <b>ภาคผนวก</b> |   |      |
| ก.             | เทคโนโลยีเชิงลึกเพื่อการอนุรักษ์พลังงานด้านไฟฟ้า  |      |
| ก.1            | ข้อมูลเทคโนโลยีเชิงลึก เครื่องทำน้ำเย็นชนิดปรับความเร็วรอบของคอมเพรสเซอร์ (VSD Chiller)   |      |
| ก.2            | ข้อมูลเทคโนโลยีเชิงลึก ชุดควบคุมการละลายน้ำแข็งตามภาระการทำงาน (Smart Defrost Control)    |      |
| ก.3            | ข้อมูลเทคโนโลยีเชิงลึก บั๊มไดอะแฟรมประสิทธิภาพสูง (High Efficiency Double Diaphragm Pump) |      |
| ข.             | เทคโนโลยี Smart Building  |      |
| ค.             | กรณีศึกษาการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัดพลังงาน มาตรการทางด้านไฟฟ้า                         |      |



## บทที่ 1 เครื่องมือวัดทางไฟฟ้า (Electrical measurement)

### ความสำคัญ

การตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งในการดำเนินงานอนุรักษ์พลังงาน ในการตรวจวัดการใช้ไฟฟ้า จำเป็นต้องใช้เครื่องมือเพื่อวัดค่าต่าง ๆ ได้แก่ กระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า พลังงานไฟฟ้า ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า และความส่องสว่าง เป็นต้น เครื่องมือวัดต่าง ๆ เหล่านี้มักจะถูกนำมาใช้ร่วมกันเพื่อให้ได้ภาพรวมของปริมาณการใช้ไฟฟ้าของโรงงานหรืออาคาร การเลือกและใช้เครื่องมือที่ถูกต้องเหมาะสม การคำนึงถึงความแม่นยำของเครื่องมือวัด ตลอดจนการนำค่าที่ได้จากการตรวจวัดไปใช้อย่างเหมาะสม ก็เป็นสิ่งสำคัญในการที่จะทำให้เกิดการจัดการด้านพลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ

### วัตถุประสงค์

1. บอกชนิดของเครื่องมือวัดทางไฟฟ้า
2. บอกความสำคัญของการวัดค่าพลังงานและความเที่ยงตรงของข้อมูลได้
3. บอกค่าทางไฟฟ้าที่จำเป็นในการตรวจวัดเพื่อการอนุรักษ์พลังงานได้
4. บอกวิธีการเลือกใช้เครื่องมือวัดให้เหมาะสมกับงานแต่ละประเภทได้

#### 1.1 บทนำ

เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงชนิดและวิธีการใช้เครื่องมือวัดทางไฟฟ้าที่สำคัญที่ต้องใช้วัด เพื่อให้ได้ข้อมูลหรือค่าของการวัดการใช้พลังงานไฟฟ้าที่มีความถูกต้องและเที่ยงตรง นอกจากนี้ยังศึกษาถึงค่าทางไฟฟ้าที่มีความจำเป็นที่ต้องทำการตรวจวัดเพื่อให้เกิดการอนุรักษ์พลังงาน และวิธีการเลือกใช้เครื่องมือวัดให้เหมาะสมกับงานหรือค่าที่ต้องการวัดแต่ละประเภทได้อย่างถูกต้อง

#### 1.2 ชนิดของเครื่องมือวัดทางไฟฟ้าและวิธีการใช้

##### 1.2.1 พื้นฐานการวัดทางไฟฟ้า

การอ่านค่าปริมาณที่วัดโดยตรงจากเครื่องวัด เรียกว่า การวัดโดยตรง การวัดปริมาณอื่น ๆ ที่มีความสัมพันธ์กับปริมาณที่ต้องการวัด และใช้ค่าที่วัดได้นั้นมาคำนวณหาปริมาณที่ต้องการเรียกว่า การวัดทางอ้อม เช่น การวัดแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเพื่อนำมาคำนวณค่ากำลังไฟฟ้า เป็นต้น

##### 1.2.2 หน่วยวัดทางไฟฟ้า

ในระบบหน่วยวัดนานาชาติ (International System of Units (SI)) หน่วยวัดทางไฟฟ้าพื้นฐานที่สำคัญ และหน่วยวัดทางไฟฟ้าในทางปฏิบัติอื่นๆ มีนิยามดังต่อไปนี้

- ก. กระแสไฟฟ้า

กระแสไฟฟ้าเกิดจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งภายในตัวนำไฟฟ้า มีหน่วยวัดเป็น แอมแปร์ (Ampere) ใช้สัญลักษณ์เป็น “A” กระแสไฟฟ้า 1 แอมแปร์ (A) มีค่าเท่ากับกระแสไฟฟ้าเมื่อไหลผ่านลวดตัวนำตรง 2 เส้นที่มีความยาวเป็นอนันต์ ลวดตัวนำมีหน้าตัดเป็นรูปวงกลมที่มีขนาดเล็กเป็นอนันต์ วางขนานกันโดยมีระยะห่าง 1 เมตร ในสุญญากาศแล้ว จะทำให้มีแรงกระทำต่อลวดแต่ละเส้นเท่ากับ  $2 \times 10^{-7}$  นิวตัน ต่อความยาวของลวดตัวนำ 1 เมตร กรณีที่เป็นกระแสไฟฟ้ากระแสสลับ ค่าประสิทธิผลหรือรากกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square (RMS)) ของกระแสไฟฟ้านั้นต้องเท่ากับค่าที่นิยามไว้

ข. กำลังไฟฟ้า

กำลังไฟฟ้าเป็นอัตราการเปลี่ยนแปลงของพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ไปในการทำให้เกิดพลังงานในรูปต่างๆ เช่น พลังงานความร้อน พลังงานแสงสว่าง พลังงานกล มีหน่วยเป็น วัตต์ (Watt) ใช้สัญลักษณ์เป็น “W” กำลังไฟฟ้า 1 วัตต์ (W) มีค่าเท่ากับกำลังที่ให้พลังงาน 1 จูล (J) ต่อหนึ่งวินาที

ค. แรงดันไฟฟ้า

แรงดันไฟฟ้าเป็นแรงที่ทำให้อิเล็กตรอนเกิดการเคลื่อนที่ หรือแรงที่ทำให้เกิดการไหลของกระแสไฟฟ้า มีหน่วยวัดเป็น โวลต์ (Volt) ใช้สัญลักษณ์เป็น “V” แรงดันไฟฟ้า 1 โวลต์ (V) มีค่าเท่ากับแรงดันไฟฟ้าระหว่างจุด 2 จุด บนตัวนำไฟฟ้าที่มีกระแสไฟฟ้าที่ 1 A ไหลผ่านจุดทั้งสองแล้ว จะทำให้มีความสิ้นเปลืองกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 1 วัตต์ กรณีที่เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ ค่าประสิทธิผลของแรงดันไฟฟ้านั้นต้องเท่ากับค่าที่นิยามไว้

ง. ความต้านทานไฟฟ้า (Resistance)

ความต้านทานไฟฟ้าเป็นการต่อต้านการไหลของกระแสไฟฟ้าของวัตถุซึ่งจะมีค่ามากหรือค่าน้อยจะขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุนั้น ๆ ความต้านทานไฟฟ้ามีหน่วยวัดเป็น โอห์ม (Ohm) และใช้สัญลักษณ์เป็น “Ω” ความต้านทานไฟฟ้า 1 โอห์ม เท่ากับค่าความต้านทานไฟฟ้าระหว่างจุด 2 จุดบนตัวนำไฟฟ้าที่มีกระแสไฟฟ้า 1 A ไหลผ่านแล้ว แรงดันไฟฟ้าระหว่างทั้ง 2 จุดนั้นจะเท่ากับ 1 V

จ. ความจุไฟฟ้า (Capacitance)

ความจุไฟฟ้าเป็นความสามารถในการเก็บประจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุ (Capacitor) มีหน่วยวัดเป็น ฟารัด (Farad) และใช้สัญลักษณ์เป็น “F” ความจุไฟฟ้า 1 ฟารัด (F) มีค่าเท่ากับค่าความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุที่เมื่อประจุตัวเก็บประจุนั้นด้วยประจุไฟฟ้า 1 C แล้วจะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้า 1 V

ฉ. ความเหนี่ยวนำ (Inductance)

ความเหนี่ยวนำมีหน่วยวัดเป็น เฮนรี (Henry) และใช้สัญลักษณ์เป็น “H” ความเหนี่ยวนำ 1 เฮนรี (H) มีค่าเท่ากับความเหนี่ยวนำของวงจรปิดที่มีกระแสไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงอย่างสม่ำเสมอด้วยอัตรา 1 A ต่อวินาที ไหลผ่านแล้ว จะเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าขึ้น 1 V

### 1.2.3 เครื่องมือวัดทางไฟฟ้าพื้นฐานเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน

ในการตรวจสอบประสิทธิภาพพลังงานของระบบไฟฟ้าในโรงงานหรืออาคารนั้น ปริมาณทางไฟฟ้าพื้นฐานที่ต้องการวัดจะได้แก่ กระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า พลังงานไฟฟ้า ค่าตัวประกอบกำลัง เครื่องมือวัดปริมาณต่างๆดังกล่าวมีชนิดทั้งที่ติดตั้งอยู่กับที่ เช่น เครื่องมือวัดที่ติดตั้งบนแผงควบคุมหรือที่ติดตั้งที่ตัวอุปกรณ์ และชนิดที่สามารถเคลื่อนย้ายได้ ซึ่งทั้งสองชนิดดังกล่าวมีทั้งแบบที่เป็นระบบดิจิทัล (Digital) และระบบแอนะล็อก (Analog) และด้วยการพัฒนาทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ และคอมพิวเตอร์ในปัจจุบัน ทำให้ค่าทางไฟฟ้าต่างๆ สามารถวัดได้จากเครื่องมือวัดเพียงเครื่องเดียว สามารถใช้งานได้ง่าย เชื่อถือได้ และมีความเที่ยงตรง ลักษณะของเครื่องมือต่างๆแสดงดังต่อไปนี้

- เครื่องวัดกระแสไฟฟ้า

ใช้วัดกระแสไฟฟ้า มีทั้งประเภทที่ติดตั้งบนแผงควบคุม และชนิดคล้องสายเคลื่อนที่ได้ มีทั้งชนิดที่เป็นแอนะล็อกและดิจิทัล ดังแสดงในรูปที่ 1-1





รูปที่ 1-1 เครื่องวัดกระแสไฟฟ้า

- **เครื่องวัดแรงดันไฟฟ้า (Voltmeter)**

เครื่องวัดชนิดนี้เป็นเครื่องมือวัดความต่างศักย์ของไฟฟ้าระหว่าง 2 จุดในวงจรไฟฟ้า ความต่างศักย์นี้ใช้หน่วยเป็นโวลต์ (V) แรงดันไฟฟ้าเป็นค่าหนึ่งที่ต้องวัดในการคำนวณการใช้พลังงานไฟฟ้าดังแสดงในรูปที่ 1-2



รูปที่ 1-2 เครื่องวัดแรงดันไฟฟ้า

- **เครื่องวัดกำลังไฟฟ้า (Wattmeter)**

เครื่องวัดกำลังไฟฟ้าชนิดเคลื่อนย้ายได้เป็นเครื่องมือชนิดหนึ่งที่น่าสนใจและสำคัญมาก เพราะเป็นเครื่องมือที่วัดค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าได้โดยตรง ส่วนวิธีอื่นต้องมีการวัดค่ากระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้าและนำมาคำนวณ ในกรณีที่เป็นการวัดแบบ 3 เฟส การวัดวิธีนี้ทำให้การคำนวณปริมาณการใช้ไฟฟ้าสะดวกยิ่งขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 1-3



รูปที่ 1-3 เครื่องวัดกำลังไฟฟ้า (Wattmeter)

- **เครื่องวัดตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (Power Factor Meter)**

เครื่องวัดตัวประกอบกำลังไฟฟ้าแบบเคลื่อนย้ายได้ ชนิด 3 เฟส การวัดจะใช้สายวัด ของเครื่องวัดหนึ่งกับขั้วตัวนำไฟฟ้าหรือขั้วของอุปกรณ์ที่ต้องการวัดค่าโดยแยกแต่ละเฟสและใช้แคลมป์ก้ามปูคล้องกับตัวนำไฟฟ้าแต่ละเฟส ซึ่งการต่อลักษณะนี้จะเหมือนกับกรณีของวัดค่ามิเตอร์ วิธีนี้ก็สามารถอ่านค่าเป็นตัวประกอบกำลังไฟฟ้าได้โดยตัวอย่างเครื่องวัดตัวประกอบกำลังไฟฟ้าแสดงดังรูปที่ 1-4



รูปที่ 1-4 เครื่องวัดตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (Power Factor Meter)

- เครื่องมือวัดระดับความส่องสว่าง (Lux Meter)

เครื่องมือวัดระดับความส่องสว่าง เป็นเครื่องมือวัดการส่องสว่างของแสง มีหน่วยเป็นแรงเทียนหรือลักซ์ การวัดอาศัยเซลล์ที่ไวต่อแสงแปลงระดับความส่องสว่างเป็นแรงดันไฟฟ้า ปกติแล้วเครื่องมือแบบนี้จะเคลื่อนย้ายหรือพกติดตัวได้ดังแสดงในรูปที่ 1-5 เหมาะกับการใช้วัดความส่องสว่างตามจุดต่างๆ

ระดับของแสงที่เกี่ยวข้องกับการตรวจสอบการใช้พลังงานจะอยู่ในช่วงไม่เกิน 1,000 แรงเทียน



รูปที่ 1.5 เครื่องมือวัดระดับแสงสว่าง (Lux meter)

### 1.3 หลักการเลือกใช้เครื่องมือวัด

หลักสำคัญในการเลือกใช้เครื่องมือวัดที่สำคัญจะต้องคำนึงถึงประเด็นทางด้านเทคนิคเป็นอันดับแรก กล่าวคือจะต้องมีความเหมาะสมกับการทำงานของอุปกรณ์ โดยควรพิจารณาถึงประเด็นสำคัญทางด้านเทคนิค ดังนี้

- 1) ย่านการวัดที่ต้องการ (Range)
- 2) ระดับความแม่นยำ (Accuracy) โดยทั่วไปควรมีระดับความแม่นยำที่ต้องการประมาณ  $\pm 0.5\%$  ถึง  $\pm 2.0\%$
- 3) ลักษณะการใช้งาน เช่น สัมผัสหรือไม่ต้องสัมผัสกับสิ่งที่ต้องการวัด พกพาได้หรือติดตั้งอยู่กับที่ แบบต้องปรับแต่งอุปกรณ์ที่มีอยู่เพื่อติดตั้งเครื่องมือวัดหรือไม่ต้อง (Non-destructive) โดยทั่วไปแล้ว ควรเลือกใช้เครื่องมือวัดแบบไม่ต้องสัมผัส พกพาได้ และแบบไม่ต้องมีการปรับแต่งอุปกรณ์พลังงานที่มีอยู่ซึ่งจะเหมาะสมและมีความสะดวกในการใช้มากกว่าวิธีจดบันทึกข้อมูลซึ่งปัจจุบันส่วนใหญ่จะมีระบบบันทึกแบบดิจิทัล (Digital Recording) ซึ่งสามารถบันทึกข้อมูลได้ทั้งแบบชั่วขณะหรือแบบต่อเนื่อง
- 4) ระยะเวลาตอบสนอง (ระยะเวลาที่ใช้วัดหรือความไว)

นอกจากนี้ต้องพิจารณาถึงเรื่องราคา ความคงทน ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา การให้บริการหลังการขายของตัวแทนจำหน่าย โดยเฉพาะด้านการบำรุงรักษาซ่อมแซม ปรับตั้งความเที่ยงตรง และแหล่งพลังงาน เช่น แบตเตอรี่ ควรจัดหาได้ง่าย และราคาไม่แพงจนเกินไป เป็นต้น

#### 1.4 ข้อควรระวังในการใช้เครื่องมือวัด

- การศึกษาคู่มือการใช้งาน (User Manual) ของเครื่องมือวัดให้เข้าใจก่อนนำไปใช้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในหัวข้อต่อไปนี้
  - (1) ส่วนประกอบของเครื่องมือวัด และหน้าที่ของส่วนประกอบนั้น ๆ โดยเฉพาะส่วนที่ปรากฏให้เห็นภายนอก และปุ่มควบคุมต่าง ๆ
  - (2) การทำงานของปุ่มควบคุมต่าง ๆ
  - (3) การเริ่มต้นใช้เครื่องมือวัด โดยเฉพาะข้อระวังเกี่ยวกับการบรรจุแบตเตอรี่ (ถ้ามี) จะต้องไม่ผิขั่ว
  - (4) ขั้นตอนการใช้งาน โดยเฉพาะการเลือกข้อมูลที่ต้องการวัด (สำหรับเครื่องมือวัดที่สามารถวัดข้อมูลได้หลายชนิด) ช่วงที่ต้องการวัด การปรับตั้งค่าศูนย์ และที่สำคัญ ข้อควรระวังในการใช้ เพื่อความปลอดภัยของผู้ใช้และป้องกันความเสียหายที่อาจจะเกิดกับเครื่องมือวัด
  - (5) วิธีการบันทึกและอ่านข้อมูล ปัจจุบันเครื่องมือวัดที่ทันสมัยจะใช้ระบบดิจิทัล จึงต้องศึกษาวิธีการบันทึกและอ่านข้อมูลให้เข้าใจก่อนใช้งาน รวมทั้งการปรับตั้ง วิธีการบันทึก เช่น บันทึกแบบชั่วคราวหรือแบบต่อเนื่อง เป็นต้น
  - (6) ศึกษาให้เข้าใจเกี่ยวกับเหตุขัดข้องจากการใช้งานและวิธีแก้ไข
  - (7) ศึกษารายละเอียดข้อกำหนดเครื่องมือวัด ซึ่งโดยปกติข้อนี้มักจะพิจารณาก่อนการจัดซื้อ หรือก่อนตัดสินใจเลือกใช้เครื่องมือวัดนั้น ๆ
  - (8) ตรวจสอบความเรียบร้อยครบถ้วนของชุดเครื่องมือวัดก่อนนำไปใช้งานทุกครั้ง โดยเฉพาะกำลังไฟฟ้าที่เหลือในแบตเตอรี่ (ถ้ามี) และการทำงานของเครื่องมือวัดว่าเป็นปกติหรือไม่
  - (9) ก่อนนำเครื่องมือวัดไปใช้งานต้องแน่ใจว่าไม่ใช่เครื่องมือวัดผิดประเภทกับงาน และต้องคำนึงถึงย่านการวัดด้วย
- การใช้งาน
  - (1) ปฏิบัติตามคำแนะนำในคู่มือการใช้งานอย่างเคร่งครัด โดยเฉพาะข้อควรระวังเกี่ยวกับความปลอดภัย และควรกลับไปศึกษาคู่มือหากยังมีข้อสงสัยเกี่ยวกับวิธีและขั้นตอนการใช้ ห้ามลองผิดลองถูกโดยเด็ดขาด และควรเก็บคู่มือไว้ในที่ปลอดภัยหรือเก็บไว้ในกล่องเครื่องมืออยู่เสมอ
  - (2) การต่อสายไฟ และการบรรจุแบตเตอรี่ จะต้องระวังไม่ให้ผิขั่ว
  - (3) ให้ความเอาใจใส่เรื่องการเริ่มต้นปรับตั้ง (Set Up) โดยเฉพาะเรื่องการตั้งค่าศูนย์และช่วงการวัด (Range) รวมทั้งหน่วยของการวัด
  - (4) ควรมีบันทึกข้อมูลที่สำคัญสำรองเก็บไว้ ไม่ควรบันทึกในตัวเครื่องวัดเพียงอย่างเดียว
  - (5) หลังการใช้งานควรเก็บรักษาให้เรียบร้อย ถ้าเป็นเครื่องมือวัดที่ใช้แบตเตอรี่ ควรถอดแบตเตอรี่ออกเมื่อเสร็จสิ้นการใช้งานก่อนเก็บเข้าตู้เก็บเครื่องมือ

#### 1.5 การเลือกเครื่องมือวัดเพื่อตรวจวัดระบบที่ใช้พลังงาน

##### ● ระบบส่งจ่ายไฟฟ้า

ระบบส่งจ่ายไฟฟ้า หมายถึง ระบบส่งจ่ายไฟฟ้าตั้งแต่จุดที่ออกจากหม้อแปลง จนถึงตู้ส่งจ่ายหรือตู้ MDB (Main Distribution Board; MDB) ที่แต่ละจุดภายในโรงงาน

ค่าที่จำเป็นต้องตรวจวัดในระบบส่งจ่ายไฟฟ้า สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 1-1 ซึ่งได้แก่ แรงดันไฟฟ้า (โวลต์) กระแสไฟฟ้า (แอมป์) กำลังไฟฟ้า (กิโลวัตต์) และตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (Power Factor) ซึ่งเรียกโดยรวมว่าค่าทางไฟฟ้า เพื่อนำมาใช้ในการตรวจสอบสภาพโดยทั่วไปของระบบ เช่น ลักษณะการใช้ไฟฟ้า เวลาที่มีความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดเพื่อจัดโหลดหลีกเลี่ยงช่วง Peak ของค่าไฟฟ้า ความสมดุลของแรงดันและกระแสไฟฟ้าในแต่ละเฟส เพื่อยืดอายุการใช้งานของอุปกรณ์ไฟฟ้า ศักยภาพในปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

เครื่องมือตรวจวัดมีทั้งชนิดที่วัดค่าทางไฟฟ้าแบบชั่วขณะ เช่น แอมป์มิเตอร์หรือเพาเวอร์มิเตอร์แบบแคลมป์มิเตอร์วัดค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า และเครื่องมือตรวจวัดชนิดที่วัดและบันทึกค่าแบบต่อเนื่อง

ตารางที่ 1-1 ค่าที่จำเป็นและเครื่องมือที่ใช้ในตรวจวัดระบบส่งจ่ายไฟฟ้า

| ระบบ             | ค่าที่ตรวจวัด  | เครื่องมือ  |
|------------------|--|---|
| ระบบส่งจ่ายไฟฟ้า | <ul style="list-style-type: none"> <li>แรงดันไฟฟ้า</li> <li>กระแสไฟฟ้า</li> <li>กำลังไฟฟ้า</li> <li>ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>เพาเวอร์มิเตอร์แบบคล่องวัด</li> <li>เครื่องมือวัดและบันทึกค่าทางไฟฟ้าแบบต่อเนื่อง</li> </ul> |

● ระบบแสงสว่าง

ค่าที่จำเป็นต้องสำรวจและตรวจวัดสำหรับระบบแสงสว่าง สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 1-2 ซึ่งได้แก่ ชนิดและจำนวนของหลอดไฟและโคมไฟในแต่ละพื้นที่ ตลอดจนค่าทางไฟฟ้าเพื่อคำนวณดัชนีการใช้แสงสว่างซึ่งไม่ควรเกินเกณฑ์มาตรฐานขั้นต่ำที่กำหนดไว้ในกฎกระทรวง สำหรับพื้นที่ทำงานที่ต้องการความสว่างมากขึ้น เช่น พื้นที่ขายของตามศูนย์การค้า ค่าความส่องสว่าง (Lux) เพื่อตรวจสอบความเหมาะสมของจำนวนและตำแหน่งของหลอดไฟและโคมไฟเมื่อเทียบกับลักษณะการใช้งานของแต่ละพื้นที่ ซึ่งจำเป็นต้องวัดค่าความส่องสว่างในระดับความสูงเดียวกับพื้นที่ใช้งานจริง เช่น บนโต๊ะทำงาน หรือบนพื้นทางเดินภายในโรงงาน นอกจากนี้ยังต้องสำรวจเวลาใช้งานระบบแสงสว่างในแต่ละพื้นที่อีกด้วย

เครื่องมือตรวจวัดที่จำเป็น ได้แก่ เครื่องวัดค่าทางไฟฟ้า และเครื่องวัดค่าความส่องสว่าง (Lux Meter)

ตารางที่ 1-2 ค่าที่จำเป็นและเครื่องมือที่ใช้ในตรวจวัดระบบไฟฟ้าแสงสว่าง

| ระบบ         | ค่าที่ตรวจวัด   | เครื่องมือ  |
|--------------|---|---|
| ระบบแสงสว่าง | <ul style="list-style-type: none"> <li>ค่าทางไฟฟ้าของระบบแสงสว่าง</li> <li>ค่าความส่องสว่าง</li> <li>ขนาดพื้นที่ของแต่ละส่วน</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>เครื่องวัดค่าทางไฟฟ้า</li> <li>เครื่องวัดค่าความส่องสว่าง (Lux Meter)</li> </ul> |

● มอเตอร์และอุปกรณ์ทางไฟฟ้าอื่นๆ

ค่าที่จำเป็นต้องตรวจวัด ได้แก่ ค่าทางไฟฟ้าต่าง ๆ และช่วงเวลาการทำงาน ตลอดจนความเร็วรอบในกรณีของมอเตอร์ที่ต้องการประเมินประสิทธิภาพของมอเตอร์ด้วย

เครื่องมือตรวจวัดที่จำเป็น ได้แก่ เครื่องวัดค่าทางไฟฟ้า และเครื่องวัดความเร็วรอบ

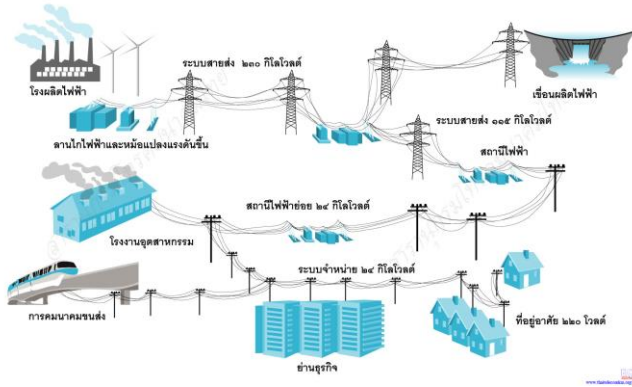
| ระบบ                      | ค่าที่ตรวจวัด  | เครื่องมือ   |
|---------------------------|--|--|
| มอเตอร์และอุปกรณ์ทางไฟฟ้า | <ul style="list-style-type: none"> <li>ค่าทางไฟฟ้า</li> <li>ความเร็วรอบ กรณีเป็นมอเตอร์</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>เครื่องวัดค่าทางไฟฟ้า</li> <li>เครื่องวัดความเร็วรอบ</li> </ul> |

สรุป

เครื่องมือวัดทางไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์ที่สามารถนำมาใช้วัดและบันทึกข้อมูลทางไฟฟ้าของอุปกรณ์ต่างๆ เพื่อเป็นประโยชน์ในการวิเคราะห์การใช้พลังงานไฟฟ้า ทำให้ทราบถึงปริมาณการใช้และประสิทธิภาพพลังงาน และนำไปสู่การวางแผนการดำเนินงานเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน ดังนั้นการเลือกและรู้วิธีใช้เครื่องมือวัดที่ถูกต้องและเหมาะสมจึงเป็นเรื่องที่สำคัญยิ่ง

### เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, (2547), ตำราฝึกอบรมหลักสูตรผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน (ผชพ.) สามัญ
- [2] สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), (2527), เทคนิคการประหยัดพลังงานภาคไฟฟ้า
- [3] การตรวจวิเคราะห์การใช้พลังงานในอาคาร, เอกสารเผยแพร่, กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, กระทรวงพลังงาน
- [4] การตรวจวัดการใช้พลังงาน (TB1- G9- Thai), ศูนย์ทรัพยากรฝึกอบรมเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน, กองฝึกอบรม กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน



## บทที่ 2 ระบบไฟฟ้ากำลัง (Electric Power System)

### บทนำ

ตัวประกอบกำลังไฟฟ้ามีความสำคัญในระบบไฟฟ้าเนื่องจากเป็นตัวที่ทำให้ค่าใช้จ่ายต่าง ๆ เพิ่มขึ้นหรือลดลงได้ ระบบไฟฟ้าที่มีตัวประกอบกำลังไฟฟ้าต่ำจะมีความสูญเสียในระบบมาก อุปกรณ์ที่ใช้ต้องมีขนาดใหญ่มากขึ้น ค่าใช้จ่ายในการซื้ออุปกรณ์ต่าง ๆ ตั้งแต่ต้นทางจนถึงปลายทางต้องเสียมากขึ้นต้องเสียค่าไฟฟ้ามากขึ้นด้วย ดังนั้นการแก้ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าให้สูงขึ้นจึงมีความจำเป็น แต่ทั้งนี้ต้องพิจารณาถึงเงินลงทุนกับค่าอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่นำมาแก้ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าเทียบกับค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้จากกรแก้ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

การแก้ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าโดยทั่วไปไม่ใช่ปัญหาที่ยุงยากมากนัก ยกเว้นบางระบบที่ต้องมีการพิจารณาให้ละเอียดถี่ถ้วน มิฉะนั้นแล้วแทนที่จะได้ผลดี กลับมีผลเสียทำให้อุปกรณ์เสียหายมากขึ้น เช่น การเกิดฮาร์มอนิกขึ้นในระบบ การใส่คาปาซิเตอร์เข้าไปแก้ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า ถ้าไม่มีการพิจารณาให้ละเอียดอาจทำให้คาปาซิเตอร์เสียหายได้เมื่อเกิดเรโซแนนซ์

### วัตถุประสงค์

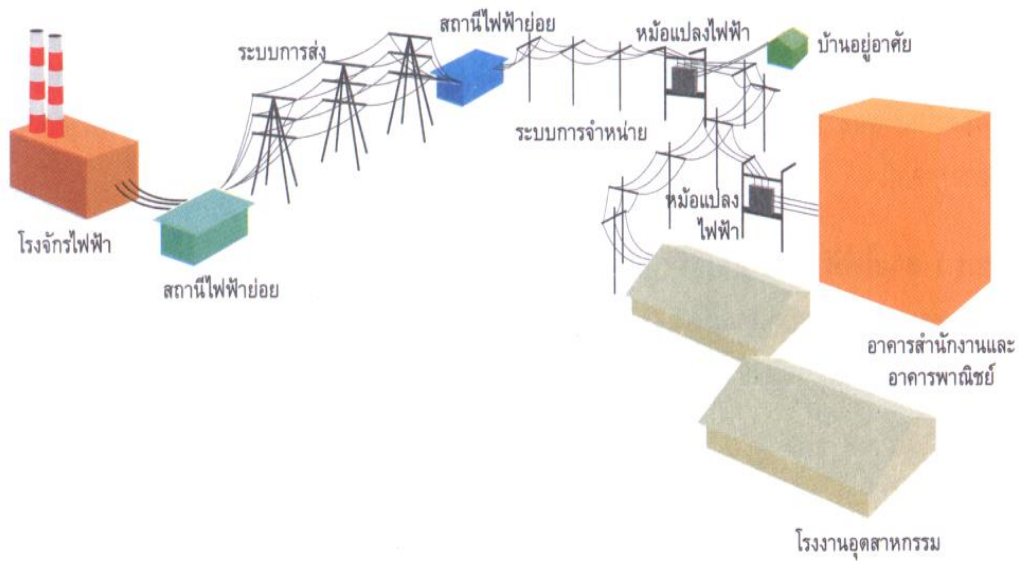
1. อธิบายสามเหลี่ยมกำลังไฟฟ้าและค่าจำกัดความของตัวประกอบกำลังไฟฟ้า
2. บอกอัตราค่าปรับตัวประกอบกำลังไฟฟ้าในบิลค่าไฟฟ้า
3. บอกประโยชน์ที่ได้จากการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า
4. อธิบายวิธีวิเคราะห์ทางการเงินสำหรับการปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้า
5. ตัวอย่างกรณีศึกษาการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

### 2.1 บทนำ

พลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานที่ส่งผ่านตัวนำและหม้อแปลงไฟฟ้าไปยังผู้ใช้ปลายทาง โดยการไฟฟ้าผู้ให้บริการเองก็มีการจัดระบบของการส่งจ่ายไฟฟ้าไปยังอาคารธุรกิจ โรงงานหรือบ้านพักอาศัย โดยส่งจ่ายแรงดันในเขตเมืองและย่านชุมชนเป็นหลายช่วงแรงดัน โดยหม้อแปลงไฟฟ้าจำหน่ายที่แปลงแรงดันสูงให้เป็นแรงดันต่ำนั้น จะถูกติดตั้งในบริเวณใกล้จุดที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้าให้มากที่สุด เพื่อลดการสูญเสียในสายและลดปัญหาแรงดันตกในสายไฟ ปัญหาการสูญเสียในสายไฟและในหม้อแปลงอาจมีคนจำนวนมากมองข้าม แต่ท่านทราบหรือไม่ว่าในปี พ.ศ. 2547 มีรายงานว่าการสูญเสียในสายส่งไฟฟ้าของระบบส่งจ่ายไฟฟ้ารวมทั้งประเทศสูงเกือบ 10,000 ล้านหน่วยทีเดียว เมื่อพิจารณาถึงระบบไฟฟ้าในอาคารขนาดใหญ่หรือในโรงงานอุตสาหกรรมแล้ว มีการประมาณการไว้ว่า มีการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าในหม้อแปลงประมาณ 2-3 % และมีการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าในสายไฟฟ้าไม่เกิน 1 % โดยการสูญเสียในระบบไฟฟ้านี้อยู่ในวิสัยที่จะบริหารจัดการให้มันน้อยลงได้ เมื่อเทียบกับกรณีที่ไม่ได้ให้ความสนใจเลย นอกจากนี้หากไม่มีการบริหารจัดการระบบไฟฟ้าของโรงงานหรืออาคารให้อยู่ในเกณฑ์ที่ควรจะเป็น นอกจากจะมีการสูญเสียในระบบมากแล้ว ยังอาจถูกการไฟฟ้าเรียกเก็บค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า เป็นค่าใช้จ่ายเพิ่มเติมคล้ายค่าปรับในเอกสารค่าไฟฟ้าอีกด้วย และที่เรียกว่าเป็นค่าปรับ เพราะค่าใช้จ่ายส่วนนี้สามารถหลีกเลี่ยงได้ด้วยการบริหารระบบไฟฟ้านั่นเอง

โดยปกติแล้วสายส่งไฟฟ้าแรงสูงจะมีการส่งจ่ายแรงดันอยู่หลายค่าเพื่อส่งจ่ายและจำหน่ายพลังงานไฟฟ้าอย่างเหมาะสม โดยปกติแล้วผู้ใช้ไฟสามารถเลือกขอใช้แรงดันไฟฟ้าได้ตามความต้องการหากไม่ขัดกับระเบียบปฏิบัติของทางการไฟฟ้า และมีแนวสายไฟฟ้าพร้อมให้บริการ โดยปกติแล้วอาคารขนาดใหญ่หรือโรงงานมักจะซื้อไฟฟ้าแรงสูงจากการไฟฟ้า หากเป็นพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวง (กฟน.) ก็จะมีแรงดัน 12-24 kV แต่ถ้าเป็นพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) ก็จะมีแรงดัน

22-33 kV (ค่าไฟฟ้าเก็บในอัตราเดียวกัน) ในกรณีที่เป็นผู้ใช้ไฟฟ้าขนาดใหญ่มากนั้น มักจะเลือกซื้อไฟจากการไฟฟ้าด้วยแรงดัน 69 kV หรือ 115 kV เพราะแรงดันที่สูงขึ้นนั้นจะมีค่าไฟฟ้าที่ถูกกว่าแต่การลงทุนด้านระบบไฟฟ้าของผู้ใช้ก็จะสูงขึ้นด้วย



รูปที่ 2-1 รูปแบบระบบส่งจ่ายและจำหน่ายไฟฟ้า

พิจารณา รูปที่ 2-1 แสดงรูปแบบระบบส่งจ่ายและจำหน่ายไฟฟ้าจะสังเกตได้ว่ากรณีบ้านอยู่อาศัย ซึ่งเป็นผู้ใช้ไฟฟ้ารายย่อยมีจำนวนมากและซื้อไฟฟ้าแรงต่ำจากการไฟฟ้า การไฟฟ้าจะลงทุนเรื่องระบบไฟฟ้าทั้งหมด ตั้งแต่หม้อแปลงจำหน่าย เสาไฟฟ้า สายไฟไปจนถึงเครื่องวัดหน่วยหน้าบ้านผู้ซื้อไฟ หากมีปัญหาที่หม้อแปลง เสาไฟฟ้า สายไฟขาด การไฟฟ้าจะเป็นผู้บำรุงรักษาแก้ไข ปัญหาเองทั้งหมด เพราะเป็นสมบัติของการไฟฟ้า ขณะที่กรณีของอาคารขนาดใหญ่หรือโรงงานอุตสาหกรรมนั้น การไฟฟ้าจะเดินไฟฟ้าแรงสูงมาถึงสถานี ๆ ใช้ไฟ ณ ตำแหน่งที่ทำการติดตั้งเครื่องวัด โดยหลักการแล้วค่าใช้จ่ายตั้งแต่หลังเครื่องวัดไปนั้น ผู้ใช้ไฟจะต้องลงทุนเองทั้งหมด นับตั้งแต่หม้อแปลง เสาไฟฟ้า สายไฟไปจนถึงระบบป้องกัน เพราะเป็นสมบัติของผู้ใช้ไฟ ในกรณีนี้หากเกิดเหตุหม้อแปลงระเบิด หรือรถชนเสาไฟฟ้าภายในโรงงานแล้ว การไฟฟ้าจะไม่เข้ามาแก้ไขให้เพราะไม่ได้อยู่ในขอบข่ายความรับผิดชอบของทางการไฟฟ้า จากกรณีผู้ซื้อไฟฟ้าทั้ง 2 กรณีที่กล่าวถึงนี้เมื่อเปรียบเทียบกันแล้วอาจตั้งข้อสังเกตได้ดังนี้

กรณีบ้านอยู่อาศัยที่ซื้อไฟฟ้าแรงต่ำ ค่าไฟฟ้าน่าจะแพงกว่าซื้อไฟฟ้าแรงสูง เพราะการไฟฟ้าต้องลงทุนด้านระบบมากกว่ากรณีที่ซื้อไฟฟ้าแรงสูง

- กรณีบ้านอยู่อาศัยที่ซื้อไฟฟ้าแรงต่ำ การสูญเสียในหม้อแปลงและสายส่ง ภาระตกอยู่กับการไฟฟ้า จึงเป็นอีกเหตุผลหนึ่งที่น่าจะทำให้ค่าไฟฟ้าแพงกว่าซื้อไฟฟ้าแรงสูง
- กรณีบ้านอยู่อาศัยที่ซื้อไฟฟ้าแรงต่ำ ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาและบริหารระบบ ภาระตกอยู่กับการไฟฟ้า จึงเป็นอีกเหตุผลหนึ่งที่น่าจะทำให้ค่าไฟฟ้าแพงกว่าซื้อไฟฟ้าแรงสูง
- ข้อสังเกตข้างต้นสามารถสะท้อนให้เห็นได้จากอัตราค่าไฟฟ้า

จากข้อสังเกตข้างบนนี้ จึงชี้ให้เห็นได้ว่าผู้ซื้อไฟฟ้าแรงสูงจะต้องลงทุนด้านระบบไฟฟ้ามากกว่าแต่ก็มีค่าไฟฟ้าที่ถูกกว่า อย่างไรก็ตาม จะเห็นได้ว่าการสูญเสียในหม้อแปลงและสายส่งตลอดจนค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาและบริหารระบบเป็นภาระที่ตกอยู่กับผู้ซื้อไฟฟ้าแรงสูงด้วย ดังนั้นการบริหารจัดการการใช้ไฟฟ้าในโรงงานหรืออาคารจึงเป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ และไม่ควรมองข้าม นอกจากนี้ สิ่งที่ผู้ซื้อไฟฟ้าแรงสูงควรทราบอีกประเด็นหนึ่งก็คือ โครงสร้างค่าไฟฟ้าที่มีข้อปลีกย่อยมากกว่ากรณีบ้านอยู่อาศัย

การไฟฟ้าทั้งนครหลวงและภูมิภาค ได้จำแนกประเภทของผู้ใช้ไฟฟ้าเป็น 7 ประเภท คือ

- ประเภทที่ 1 บ้านอยู่อาศัย
- ประเภทที่ 2 กิจการขนาดเล็ก
- ประเภทที่ 3 กิจการขนาดกลาง
- ประเภทที่ 4 กิจการขนาดใหญ่
- ประเภทที่ 5 กิจการเฉพาะอย่าง

- ประเภทที่ 6 ส่วนราชการและองค์กรที่ไม่แสวงหากำไร
- ประเภทที่ 7 สูบน้ำเพื่อการเกษตร
- รายละเอียดอัตราค่าไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคได้จาก **ภาคผนวก ก.**

แต่ละประเภทยังมีรายละเอียดของโครงสร้างค่าไฟฟ้าและเงื่อนไขที่แตกต่างกันไป กรณีของบ้านอยู่อาศัยนั้น โครงสร้างค่าไฟฟ้าเป็นแบบอัตราก้าวหน้า (ยิ่งใช้ไฟมาก ค่าไฟต่อหน่วยยิ่งแพงขึ้น) แต่การพิจารณาจะดูจากหน่วยไฟฟ้าที่ใช้เท่านั้น ซึ่งต่างกับผู้ซื้อไฟฟ้าแรงสูงที่ดูจากข้อมูลหลายตัว ดังที่แสดงในตารางที่ 2-1 โดยแสดงให้เห็นถึงโครงสร้างค่าไฟฟ้าของผู้ใช้ประเภทที่ 3 - 5 ที่เกี่ยวข้องกับอาคารและโรงงานอุตสาหกรรม ทั้งนี้จะเห็นได้ว่าประเภทผู้ใช้ไฟฟ้ามีหลายประเภท มีการเรียกเก็บค่าใช้จ่ายหลายส่วน และยังมีเกณฑ์ค่าไฟฟ้าขั้นต่ำอีกด้วย

ตารางที่ 2-1 องค์ประกอบของโครงสร้างค่าไฟฟ้าของผู้ใช้ประเภทที่ 3 - 5



องค์ประกอบของโครงสร้างค่าไฟฟ้า



| ประเภทผู้ใช้ไฟฟ้า   | ค่าพลังงาน (ค่า kWh) | ค่า Demand | ค่า PF | ค่าบริการ | มีเกณฑ์ค่าไฟขั้นต่ำ | หมายเหตุ   |
|---|----------------------|------------|--------|-----------|---------------------|--|
| ประเภทที่ 3 กิจการขนาดกลาง<br>3.1 อัตราปกติ<br>3.2 อัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (TOU Tariff)                           | ✓<br>✓               | ✓<br>✓     | ✓<br>✓ | ✓         | ✓<br>✓              | Demand 30 - 999 kW และ kWh เฉลี่ย 3 เดือน < 250,000 Unit |
| ประเภทที่ 4 กิจการขนาดใหญ่<br>4.1 อัตราตามช่วงเวลาของวัน (TOD Tariff)<br>4.2 อัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (TOU Tariff) | ✓<br>✓               | ✓<br>✓     | ✓<br>✓ | ✓         | ✓<br>✓              | Demand ≥1,000 kW หรือ kWh เฉลี่ย 3 เดือน > 250,000 Unit  |
| ประเภทที่ 5 กิจการเฉพาะอย่าง<br>5.1 อัตราปกติ<br>5.2 อัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (TOU Tariff)                         | ✓<br>✓               | ✓<br>✓     | ✓<br>✓ | ✓         | ✓<br>✓              | กิจการโรงแรมและกิจการให้เช่าพักอาศัย Demand ≤ 30 kW      |

หมายเหตุ

1. ยังไม่รวมค่าไฟฟ้าผันแปร (Ft) ซึ่งคำนวณจากหน่วยใช้ไฟ (kWh) รวม และภาษีมูลค่าเพิ่ม (VAT) ซึ่งคำนวณจากค่าไฟฟ้ารวม
2. การไฟฟ้านครหลวง ให้ผู้ใช้อัตราปกติเป็นประเภท 5.1 และอัตรา TOU เป็นประเภท 5.2 แต่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจะกำหนดประเภทสลับกันกับการไฟฟ้านครหลวง โดยผู้ใช้ประเภทที่ 5 นี้ มีอัตราค่าไฟแบบ TOU เป็นอัตราบังคับ ในช่วงที่ยังไม่ได้ติดตั้งเครื่องวัดแบบ TOU อนุโลมให้ใช้อัตราปกติไปก่อน
3. ค่าพลังงานและค่า Demand ของผู้ใช้แต่ละประเภทอาจมีอัตราไม่เท่ากัน

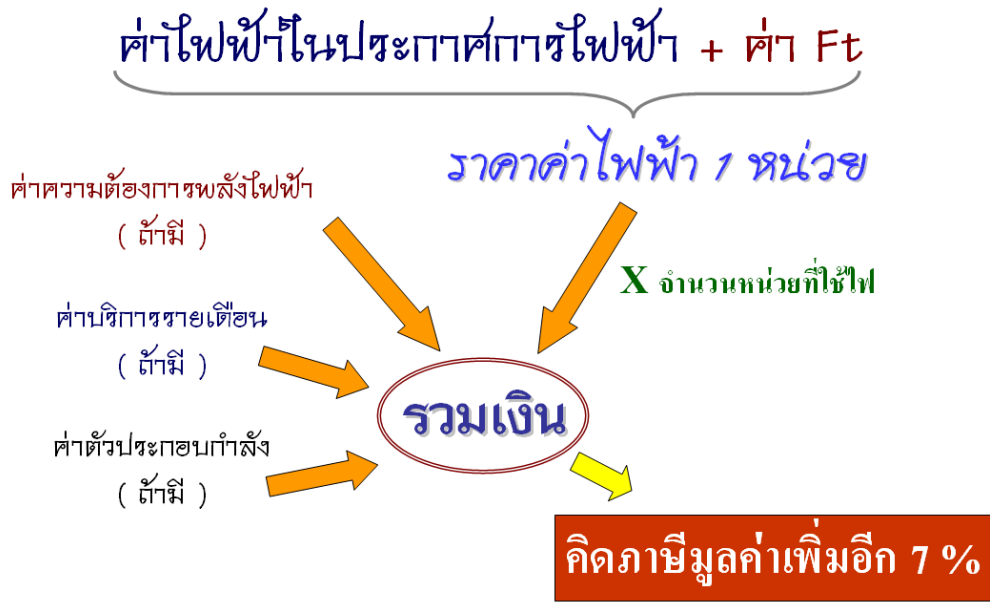
จากตารางที่ 2-1 หากพิจารณาในด้านของการอนุรักษ์พลังงานและการบริหารต้นทุน อาจตั้งข้อสังเกตได้เป็นประเด็นต่างได้ดังข้างล่างนี้ และอาจนำเสนอองค์ประกอบของโครงสร้างค่าไฟฟ้าได้เป็นแผนภาพดังรูปที่ 2-2

- ถ้ามีการอนุรักษ์พลังงาน หน่วยใช้ไฟ (kWh) ก็จะลดลง ค่าใช้จ่ายก็จะลดลง
- ถ้ามีการควบคุมพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าให้สม่ำเสมอได้ ค่า Demand ก็น่าจะลดลง ค่าใช้จ่ายก็อาจจะลดลง
- ถ้ามีการบริหารระบบไฟฟ้าได้ดี ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (PF) มีค่าสูงกว่า 0.85 ตลอดเวลา ก็ไม่ควรจะต้องจ่ายค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (เป็นค่าใช้จ่ายที่หลีกเลี่ยงได้)



- ถ้ามีการอนุรักษ์พลังงานแล้วเป็นผลให้หน่วยใช้ไฟ (kWh) ลดลงแล้วค่า Ft ที่จ่ายก็จะลดลง รวมถึงภาษีมูลค่าเพิ่ม (VAT) ก็ลดลงด้วย

## โครงสร้างค่าไฟฟ้าโดยภาพรวม



รูปที่ 2-2 โครงสร้างค่าไฟฟ้าโดยภาพรวม

ในการนี้ หากจะพิจารณาในทางเทคนิคควบคุมไปด้วยแล้ว ก็มีข้อสังเกตเพิ่มเติม คือ

- ถ้าพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอ อาจทำให้ต้องติดตั้งหม้อแปลงขนาดใหญ่ ใช้งานไม่คุ้มค่า ต้องลงทุนด้านระบบมาก
- ถ้าค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าต่ำ กระแสในระบบมาก แต่ใช้ทำงานได้น้อย หม้อแปลงตัวใหญ่ จ่ายโหลดได้น้อย แรงดันตกในสายมาก การสูญเสียในสายไฟและหม้อแปลงจะมาก (กรณีผู้ซื้อไฟฟ้าแรงต่ำ ภาชนะนี้จะตกอยู่กับการไฟฟ้า)

ดังนั้น เพื่อให้การใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและลดค่าใช้จ่ายที่พึงจะหลีกเลี่ยงได้ จึงควรแก่การศึกษาแนวคิดของการอนุรักษ์พลังงาน และการบริหารจัดการการใช้ไฟฟ้าที่ใช้ประโยชน์จากโครงสร้างค่าไฟฟ้าที่ควรทราบ โดยจะนำเสนอเนื้อหาตามลำดับต่อไปนี้

- การอนุรักษ์พลังงานคืออะไร
- การปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า
- การลดความสูญเสียในหม้อแปลงไฟฟ้า
- การลดค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุด และการบริหารพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้า

### 2.2 การอนุรักษ์พลังงานคืออะไร

มีผู้คนจำนวนมากที่เข้าใจความหมายของคำว่าอนุรักษ์พลังงานว่าเป็นการประหยัด (Saving) แต่ความหมายที่แท้จริงนั้น คำว่าอนุรักษ์พลังงาน หมายถึงการใช้พลังงานอย่างประหยัดและมีประสิทธิภาพ ซึ่งมีความหมายที่กว้างขวางและครอบคลุมกว่าคำว่าประหยัดแต่เพียงเท่านั้น หากพิจารณาเฉพาะแง่มุมด้านพลังงานไฟฟ้าด้วยแล้ว สามารถอธิบายคำว่าอนุรักษ์พลังงานให้เห็นภาพ

ได้อย่างแจ่มชัดได้จากนิยามของคำว่า “หน่วยไฟฟ้า” หรือ Unit ที่ในทางเทคนิคมีที่มาจากหน่วยของพลังงานไฟฟ้าที่เรียกว่า kWh (kilowatt – hour) โดยมีข้อควรพิจารณาดังนี้

$kWh = kW \times h \rightarrow$  ความหมาย = กิโลวัตต์ของเครื่องใช้ไฟฟ้า x ชั่วโมงที่เปิดใช้งาน

- หากใช้พลังงานอย่างประหยัด ชั่วโมงที่เปิดอุปกรณ์ควรจะลดลง
- หากใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ กำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ควรมีค่าน้อยลง
- หากใช้พลังงานอย่างประหยัดและมีประสิทธิภาพแล้ว หน่วยไฟฟ้าที่ใช้ต้องลดลง

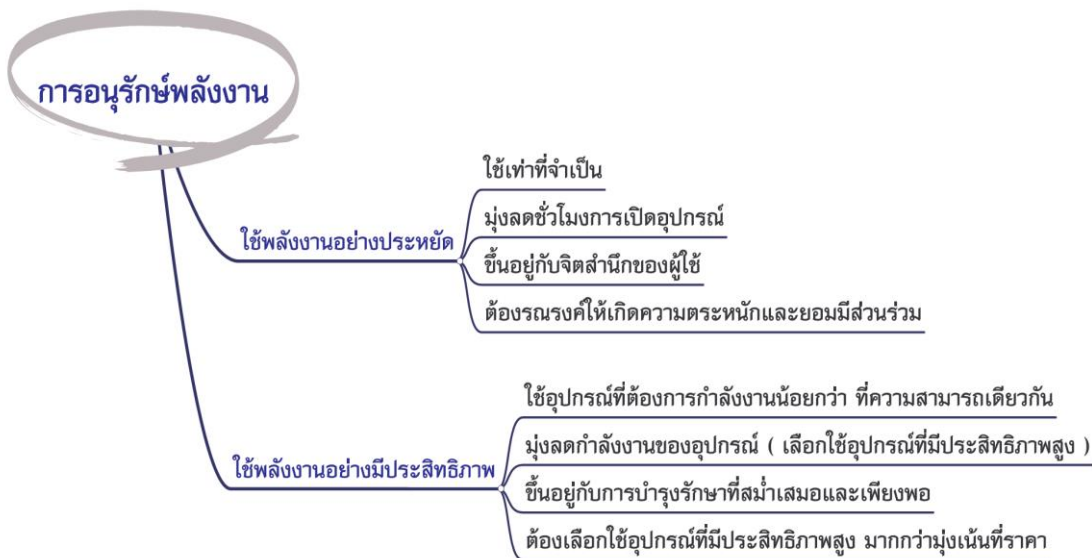
พิจารณาเครื่องปรับอากาศในรูปที่ 2-3 ระหว่างเครื่องปรับอากาศรุ่นเก่ากับเครื่องปรับอากาศรุ่นใหม่ที่ได้รับฉลากเบอร์ 5 (ชั้นประสิทธิภาพดีมาก) ที่เปิดแล้วเย็นทั้ง 2 เครื่อง เครื่องรุ่นเก่าเปิดแล้วใช้กำลังไฟฟ้ามากกว่าเครื่องปรับอากาศรุ่นใหม่ประมาณ 30% (เป็นตัวเลขเฉพาะกรณีที่ยกตัวอย่างนี้) หมายความว่า เปิดเครื่องปรับอากาศรุ่นเก่าก็เย็นเท่ากับเปิดเครื่องปรับอากาศรุ่นใหม่ หากเปิดใช้ในสภาวะเดียวกันและเปิดเป็นเวลาเท่ากันแล้ว หน่วยไฟฟ้าที่ใช้จะต่างกันถึง 30% ดังนั้นหากมีการพิจารณาเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศรุ่นเก่าเป็นเครื่องปรับอากาศรุ่นใหม่ก็จะได้ชื่อว่าใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ และถ้าหากมีการปิดเครื่องปรับอากาศก่อนออกจากห้องเสมอ เช่น ปิดก่อนออกจากห้อง 10 นาที ก็จะได้ชื่อว่าใช้พลังงานอย่างประหยัด หากทำได้ เช่นนี้ ก็เรียกได้ว่าดำเนินมาตรการอนุรักษ์พลังงานได้อย่างถูกต้อง และจะเรียกว่าอนุรักษ์พลังงานได้อย่างดีเยี่ยม เมื่อจัดให้มีการล้างเครื่องปรับอากาศอย่างน้อยปีละ 2 ครั้ง ปรับตั้งอุณหภูมิอย่างเหมาะสม คือ 25-26 องศาเซลเซียส และป้องกันความร้อนจากแสงอาทิตย์เข้ามาในห้องปรับอากาศ เป็นต้น และเพื่อให้เห็นภาพของค่าการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าได้เด่นชัดยิ่งขึ้น จึงอาจสรุปเป็นประเด็นแนวคิดได้ดังแผนภาพในรูปที่ 2-4



เครื่องปรับอากาศรุ่นเก่า

เครื่องปรับอากาศรุ่นใหม่ และฉลากเบอร์ 5

รูปที่ 2-3 เปรียบเทียบเครื่องปรับอากาศ 2 ยุค



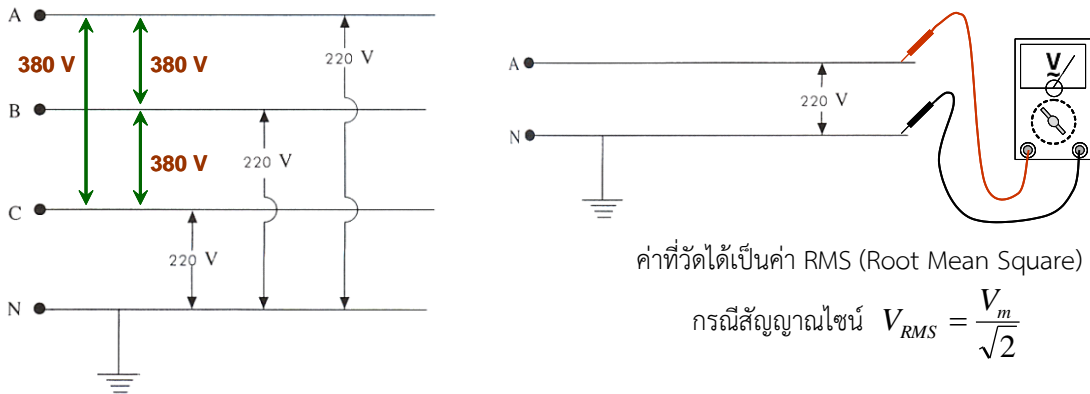
รูปที่ 2-4 ประเด็นแนวคิดของการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้า

### 2.3 พื้นฐานวงจรไฟฟ้ากระแสสลับที่ควรทราบ

เพื่อให้เกิดความเข้าใจในเนื้อหาที่เกี่ยวข้องตามสมควร ในที่นี้จะขอกกล่าวถึงทฤษฎีทางไฟฟ้าที่เกี่ยวข้องอย่างพอสังเขป ดังนี้

#### 2.3.1. แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ

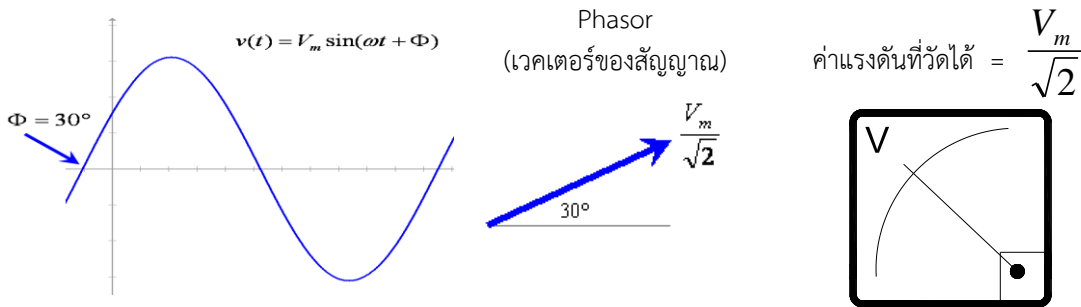
ระบบไฟฟ้าในบ้าน อาคาร และโรงงาน เป็นระบบไฟฟ้ากระแสสลับ ที่มีสัญญาณตามทฤษฎีเป็นรูปคลื่นไซน์ มีความถี่ 50 Hz โดยทั่วไปแล้วมีแรงดันระหว่างสายต้านแรงต่ำ 380 V แรงดันเฟส 220 V ดังรูปที่ 2-5 ซึ่งค่าแรงดันที่กล่าวถึงนี้ ไม่ใช่ค่ายอดคลื่น (Peak) แต่เป็นค่า RMS (Root Mean Square) เฉพาะกรณีของสัญญาณรูปคลื่นไซน์  $V_{RMS} = \frac{V_m}{\sqrt{2}}$  ถ้าสัญญาณเพี้ยนไปจากรูปคลื่นไซน์ ค่าที่วัดได้อาจมีความผิดพลาด ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความสามารถของเครื่องวัด



รูปที่ 2-5 ลักษณะการวัดแรงดันระหว่างสาย แรงดันเฟส และค่า RMS

#### 2.3.2. การนำข้อมูลแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับมาใช้งาน

เนื่องจากแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นสัญญาณรูปคลื่นไซน์ ที่มีทั้งขนาดและเฟสของสัญญาณ ซึ่งการคำนวณมีความยุ่งยาก ในทางทฤษฎีจึงเขียนแทนด้วยเฟเซอร์ (Phasor) ซึ่งเป็นเวกเตอร์ชนิดหนึ่ง โดยลดรูปลงเหลือเพียงขนาดและมุม โดยมีความยาวของเวกเตอร์เท่ากับค่า RMS และมีมุมเท่ากับมุมเฟสของสัญญาณ (วัดตามทิศทวนเข็มนาฬิกาเป็นมุมบวก) ดังรูปที่ 2-6 ซึ่งปกติแล้ว ในการใช้ไฟฟ้าโดยทั่วไป การทราบแต่ขนาด (ค่า RMS) ของสัญญาณแรงดันก็เพียงพอที่จะปฏิบัติงานได้ ทำให้การวัดโดยทั่วไปละในเรื่องของมุมไป แต่เมื่อต้องทำการคำนวณหรือวิเคราะห์อย่างถูกต้อง ต้องให้วิศวกรหรือช่างเทคนิคที่มีความรู้เป็นผู้วิเคราะห์คำนวณ



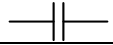


รูปที่ 2-6 ตัวอย่างสัญญาณแรงดันไฟฟ้า ค่าทางคณิตศาสตร์ และค่าที่วัดได้

#### 2.3.3. โหลดในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ

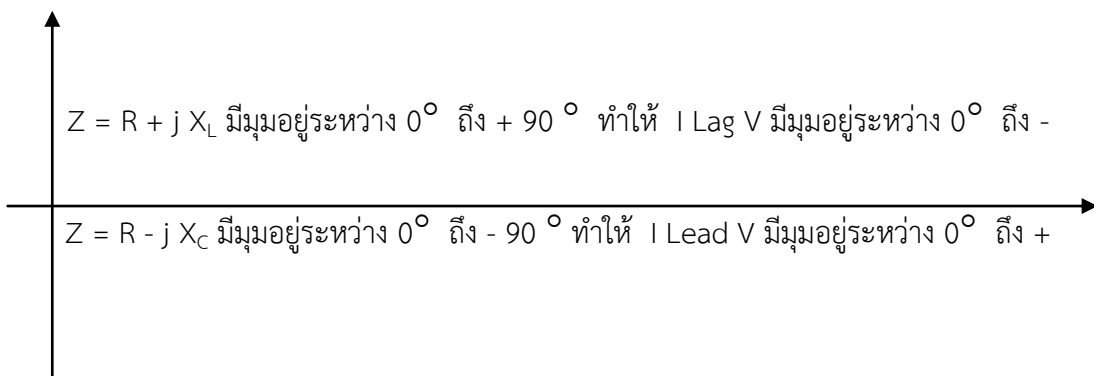
วงจรไฟฟ้ากระแสสลับจะมีความซับซ้อนกว่าวงจรไฟฟ้ากระแสตรงมาก แต่อาจกล่าวโดยสรุปได้ว่า ในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับจำแนกโหลดพื้นฐานได้เป็น 3 กลุ่ม ดังตารางที่ 2-2 ซึ่งในสภาพการใช้งานจริง อาจมีคุณลักษณะเป็นการผสมกันของโหลดมากกว่า 1 กลุ่ม การคำนวณจึง เป็นการคำนวณเลขจำนวนเชิงซ้อนแบบเวกเตอร์ ซึ่งในที่นี้ขอแนะนำเสนอเพื่อชี้ให้เห็นถึงคุณสมบัติเด่น ๆ ที่แตกต่างกันเพื่อจะใช้ประกอบการอธิบายต่อไป

ตารางที่ 2-2 สรุปลักษณะของโหลดพื้นฐานในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ

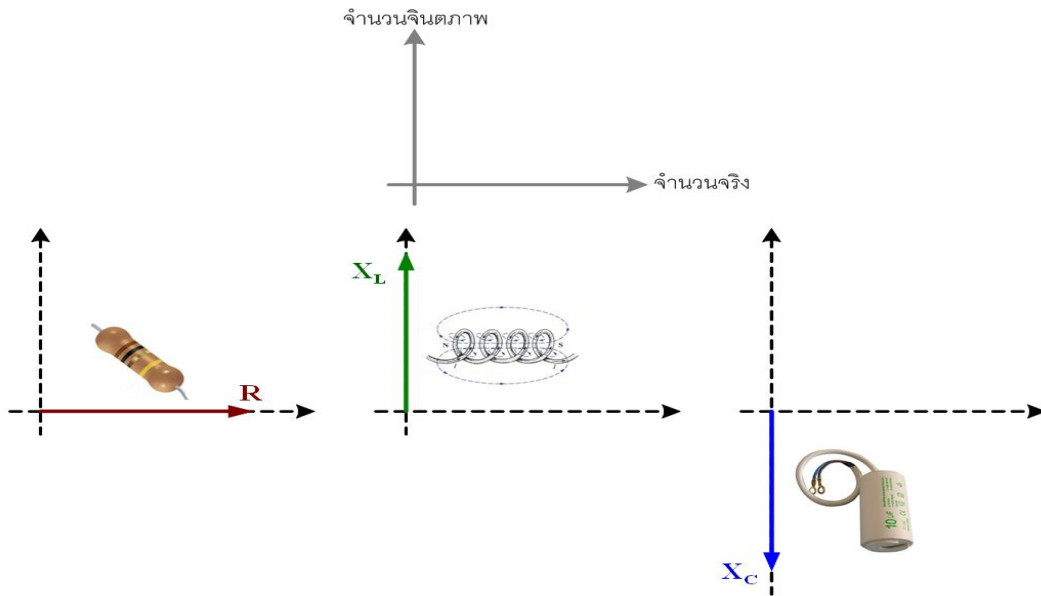
|                                 | R<br>ตัวต้านทาน<br>(Resistor)   | L<br>ตัวเหนี่ยวนำ<br>(Inductor)   | C<br>ตัวเก็บประจุ<br>(Capacitor)  |
|---------------------------------|---|---|---|
| 1. สัญลักษณ์                    |  |  |  |
| 2. ความต้านทานในวงจรหน่วยเป็น Ω | R   | $X_L = \omega L = 2\pi fL$  | $X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi fC}$                                      |
| 3. ลักษณะทางคณิตศาสตร์          | จำนวนจริง   | จำนวนจินตภาพ + j  | จำนวนจินตภาพ - j  |
| 4. วิธีการคำนวณ                 | แบบเวกเตอร์   | แบบเวกเตอร์   | แบบเวกเตอร์   |
| 5. ผลทางสัญญาณไฟฟ้า             | I มีเฟสตรงกับ V   | I มีเฟสตามหลัง V 90°<br>หรือ I Lag V 90°  | I มีเฟสนำหน้า V 90°<br>หรือ I Lead V 90°  |
| 6. ชนิดกำลังไฟฟ้าที่ใช้         | วัตต์ (W)<br>เป็นจำนวนจริง  | วาร์ (Var)<br>เป็นจำนวนจินตภาพ + j  | วาร์ (Var)<br>เป็นจำนวนจินตภาพ - j  |
| 7. ลักษณะการใช้กำลังไฟฟ้า       | ใช้แล้วหมดไป  | สะสมแล้วจ่ายคืน   | สะสมแล้วจ่ายคืน   |
| 8. ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า       | 1   | 0   | 0   |
| 9. ค่าที่วัดได้จาก Wattmeter    | $= I^2 R$   | 0 W   | 0 W   |

ข้อสังเกตที่พึงทราบ

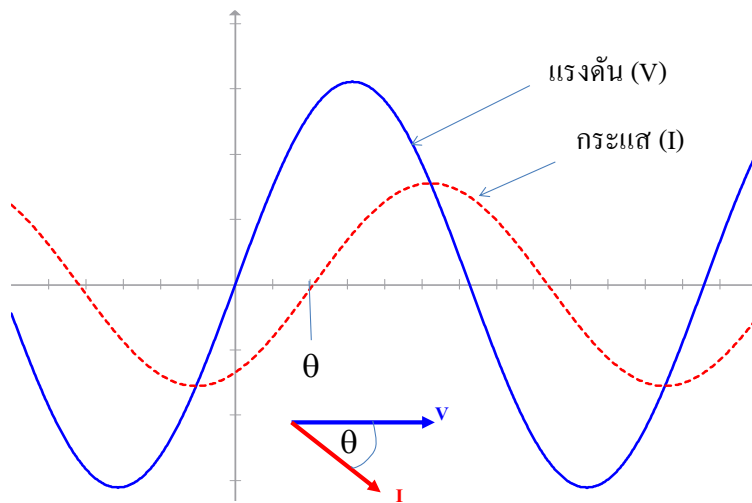
- L และ C ถูกนำมาใช้ในรูปของค่า  $X_L$  และ  $X_C$  มีหน่วยเป็น Ω เช่นเดียวกับ R แต่เป็นจำนวนจินตภาพ ที่สามารถหักล้างกันเองได้ เพราะ  $X_L$  และ  $X_C$  มีทิศทางตรงข้ามกัน (ทิศทาง + j กับ - j) ดังรูปที่ 2.7 ดังนั้น หากต้องการหักล้างคุณสมบัติของ  $X_L$  ก็อาจนำ  $X_C$  ที่เหมาะสมมาต่อในวงจรได้
- เพราะ  $X_L$  ทำให้สัญญาณกระแสตามหลังแรงดัน (I Lag V) 90° และ  $X_C$  ทำให้สัญญาณกระแสนำหน้าแรงดัน (I Lead V) 90° ดังนั้น ถ้าในวงจรมีคุณลักษณะเป็นการผสมกันของโหลดมากกว่า 1 กลุ่ม เช่น R+j  $X_L$  หรือ R-j  $X_C$  ก็จะทำให้ความต้านทานโดยรวมซึ่งเรียกว่า อิมพีแดนซ์ (Impedance) : Z มีมุมอยู่ระหว่าง -90° ถึง + 90° ทำให้กระแส  $I = \frac{V}{Z}$  มีมุมเป็นดังนี้



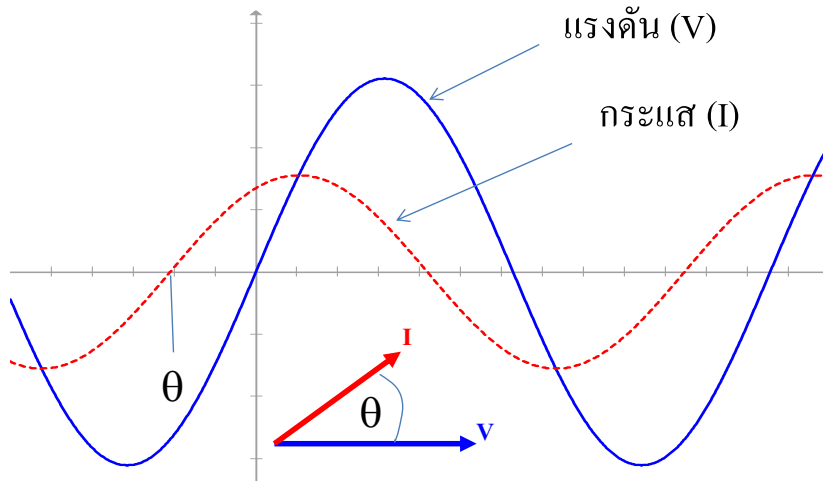
กล่าวคือ โหลด R + j  $X_L$  ทำให้ I Lag V ดังรูปที่ 2.8 และโหลด R - j  $X_C$  ทำให้ I Lead V ดังรูปที่ 2-9 ส่วนโหลด R นั้น I และ V มีมุมตรงกัน โดยเขียนเป็นภาพเชิงสรุปได้ดังรูปที่ 2-10



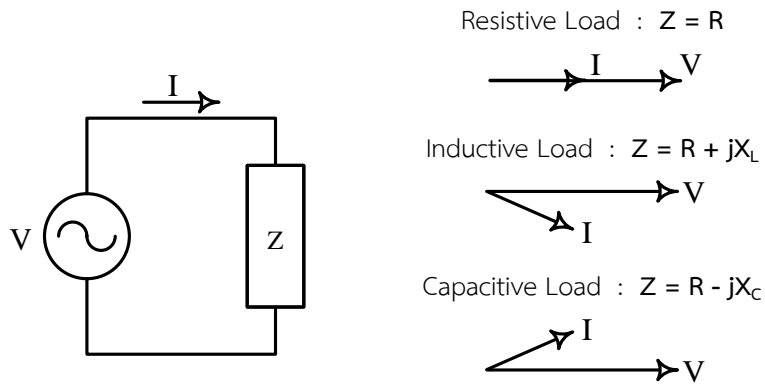
รูปที่ 2-7 ลักษณะทางเวกเตอร์ของ R  $X_L$  และ  $X_C$



รูปที่ 2-8 ลักษณะสัญญาณกระแสตามหลังแรงดัน (I Lag V)

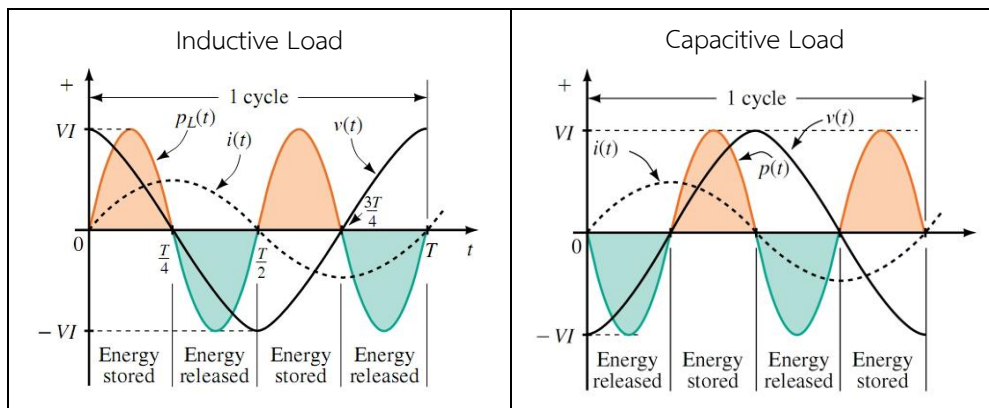


รูปที่ 2-9 ลักษณะสัญญาณกระแสนำหน้าแรงดัน (I Lead V)



รูปที่ 2-10 ลักษณะเวกเตอร์ของ I และ V ในกรณีของโหลดชนิดต่าง ๆ

- L และ C เป็นอุปกรณ์ที่ใช้กำลังไฟฟ้า 0 W (กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย = 0 W) แต่ใช้กำลังไฟฟ้าในหน่วย Var ซึ่งเป็นจำนวนจินตภาพ โดย Var ของ L มีทิศทางตรงข้ามกับ Var ของ C (สามารถหักล้างกันได้) ทั้งนี้ ทั้ง L และ C มีลักษณะการใช้กำลังไฟฟ้าคือ สะสมแล้วคืนกำลังไฟฟ้าออกมา (จึงใช้กำลังไฟฟ้า 0 W) ดังรูปที่ 2-11 ซึ่งจะสังเกตได้ว่า จังหวะของการสะสมและคืนพลังงานของโหลดทั้ง 2 ชนิดนั้น ไม่ตรงกัน และสอดคล้องกับทางคณิตศาสตร์ที่ว่า Var ของ L มีทิศทางตรงข้ามกับ Var ของ C

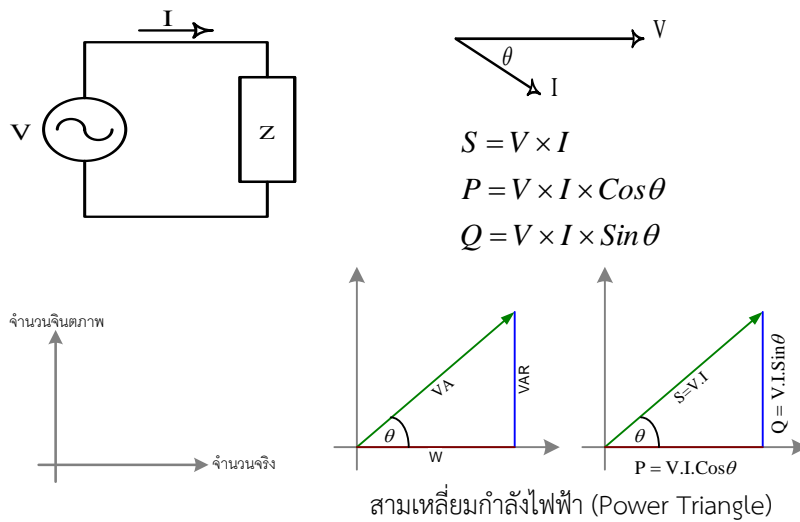


รูปที่ 2-11 ลักษณะการสะสมแล้วคืนกำลังไฟฟ้าของ L และ C

2.3.4. กำลังไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ

วงจรไฟฟ้ากระแสสลับมีกำลังไฟฟ้า 3 ชนิด (3 หน่วย) ปกติจะคำนวณเฉพาะขนาด มีรายละเอียดดังนี้

- Average Power (P) หน่วยเป็น W คำนวณได้จาก  $P = V \times I \times \cos \theta$  บ้างก็เรียกว่า Real Power
- Reactive Power (Q) หน่วยเป็น Var คำนวณได้จาก  $Q = V \times I \times \sin \theta$
- Apparent Power (S) หน่วยเป็น VA คำนวณได้จาก  $S = V \times I = \sqrt{P^2 + Q^2}$  ดังรูปที่ 2-12
- $\theta$  คือมุมระหว่าง V กับ I ไม่เจาะจงว่า Lead หรือ Lag เป็นมุมเดียวกับ  $\theta$  ในสามเหลี่ยมกำลังไฟฟ้า
- ปกติจะคำนวณเฉพาะขนาด เพราะ Watt และ Var มีทิศทางที่แน่นอนบนแกนจำนวนจริงและจำนวนจินตภาพ เพียงรู้ว่าเป็น Var ของ L (Lag) หรือเป็น Var ของ C (Lead) ก็สามารถคำนวณได้



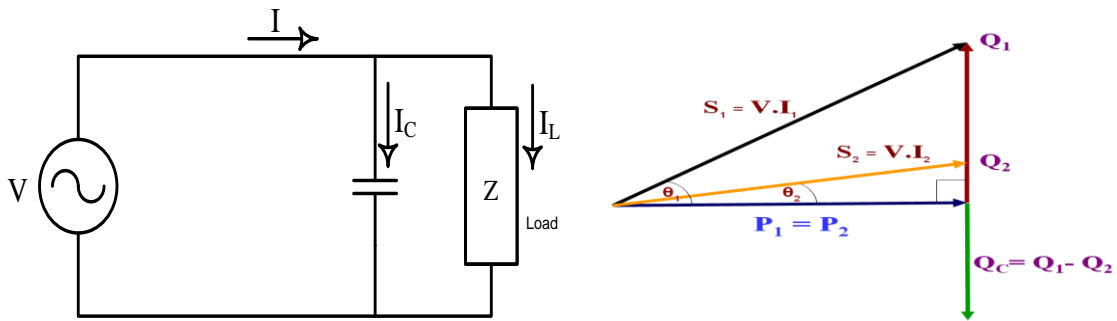
รูปที่ 2-12 สมการคำนวณกำลังไฟฟ้าและสามเหลี่ยมกำลังไฟฟ้า

- เรียกค่า  $\cos \theta$  ว่าค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (Power Factor) หรือ PF มีค่าระหว่าง 0 ถึง 1 และ  $PF = \frac{P}{S}$  ด้วย
- กำลังไฟฟ้าในหน่วย W คือกำลังไฟฟ้าที่ทำให้เกิดงาน สามารถเอามาใช้ประโยชน์ได้ เป็นเลขจำนวนจริง ต่างกับกำลังไฟฟ้าในหน่วย Var ที่เป็นจำนวนจินตภาพ (เป็นเลขจำนวนที่สมมุติขึ้น) เอามาใช้ทำงานไม่ได้
- จากรูปที่ 2-12 จะเห็นว่า ถ้า Var มาก VA ก็จะมีค่ามาก ถ้า Var น้อย VA ก็จะมีค่าน้อย เพราะ VA เป็นด้านปิตมมุมฉาก โดยที่ Var มากหรือน้อย กำลังไฟฟ้าในหน่วย W ก็ยังคงเท่าเดิม (ระบบสามารถทำงานได้เท่าเดิม)
- Var กับ W ตั้งฉากกัน การมากขึ้นหรือน้อยลงของ VAR จึงไม่ส่งผลต่อ W แต่มีผลต่อขนาดของ VA
- ถ้าระบบใช้กำลังไฟฟ้าในหน่วย Var มาก VA ก็จะมีค่ามาก หมายความว่า ถ้า Var มาก หรือพูดอีกนัยหนึ่ง ตัวประกอบกำลังไฟฟ้ามีค่าต่ำ กำลังไฟฟ้าในหน่วย VA จะมากขึ้นซึ่งถ้า VA มาก ก็หมายความว่ากระแสในระบบมาก ( $S = V \times I$  และถือว่า V คงที่) เป็นผลให้มีการสูญเสียในรูปของ  $I^2 R$  ในหม้อแปลงและสายไฟมาก
- หม้อแปลงมีพิกัดกำลังเป็น VA กรณีที่ตัวประกอบกำลังไฟฟ้ามีค่าต่ำ อาจมองอีกมุมหนึ่งได้ว่าระบบใช้กำลังไฟฟ้าเป็น VA มาก แต่ได้กำลังไฟฟ้าเป็น W น้อย หากหม้อแปลงจ่ายไฟเต็มพิกัด ก็จ่ายโหลดได้น้อยกว่ากรณีที่ VA เท่ากัน แต่ตัวประกอบกำลังไฟฟ้ามีค่าสูง (มีค่าเข้าใกล้ 1)

### 2.4 การปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (Power Factor Correction)

คำว่า การปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า เป็นที่เข้าใจกันโดยทั่วไปว่าเป็นการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าให้มีค่าเข้าใกล้ 1 ซึ่งก็คือการลดขนาดของ Var เพื่อให้ VA มีขนาดใกล้เคียงกับ W (ดูสามเหลี่ยมกำลังไฟฟ้าประกอบ) เนื่องจากในทางปฏิบัตินั้น โหลดส่วนใหญ่จะมีคุณลักษณะเป็น R ผสม L หรือ Inductive Load ซึ่งทำให้ I Lag V ดังนั้น Var ในระบบที่พบจึงมักจะเป็น Var ของ L เมื่อพิจารณาในภาพรวมแล้วพบว่าทั้งบ้านพักอาศัย อาคารและโรงงาน ต่างก็ใช้ Var ของ L แทบทั้งสิ้น ทำให้ระบบในภาพรวมมีค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าต่ำ การไฟฟ้าจึงเรียกเก็บค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้ากับผู้ใช้ไฟฟ้าขนาดใหญ่ ที่มีตัวประกอบกำลังไฟฟ้าต่ำ โดยเก็บเงินกับกรณี Var ของ L (ชนิด Lag) เท่านั้น

ดังนั้น การปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า โดยทั่วไปแล้วสามารถทำได้โดยใส่ C ขนานกับโหลด หรือขนานกับแหล่งจ่าย ดังรูปที่ 2.13 เพื่อให้ Var ของ L หักล้างกับ Var ของ C แล้วเป็นผลให้ VA ลดลง จากรูปเมื่อใส่ Var ของ C = Q<sub>c</sub> = Q<sub>1</sub> - Q<sub>2</sub> เพื่อหักล้างกับ VAR ของ L (Q<sub>1</sub>) ทำให้ Var ในระบบลดลงเหลือ Q<sub>2</sub> แล้ว VA ของระบบจะลดลงจาก S<sub>1</sub> เหลือเป็น S<sub>2</sub> เป็นผลให้กระแสลดลงจาก I<sub>1</sub> เหลือเป็น I<sub>2</sub>



รูปที่ 2-13 การต่อ C เพื่อปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

**ข้อสังเกต** จากรูปถ้าต่อ C ขนานกับ Load กระแสก็จะลดต่ำลงตั้งแต่ตำแหน่งจุดที่ต่อขึ้นไปจนถึงแหล่งจ่าย ทั้งนี้ Load ยังคงใช้กำลังไฟฟ้า W และ Var เท่าเดิมทุกประการ เพราะแรงดันที่ Load ได้รับถือว่าไม่ได้เปลี่ยนแปลง จึงกินไฟเท่าเดิม แต่การที่กระแสในสายจากแหล่งจ่ายลดลง เป็นเพราะกระแสที่ไหลเข้า C มีทิศทางของเวกเตอร์หักล้างกับกระแสที่ไหลเข้าโหลด ทำให้ผลรวมทางเวกเตอร์ของ I<sub>c</sub> + I<sub>L</sub> มีขนาดลดลง หรือจะมองว่า เพราะต่อ C เข้าระบบ แล้วทำให้ VA ลดลงก็ได้ (S = VI และถือว่า V คงที่) จึงทำให้กระแสลดลงด้วย จากแผนภาพนี้ หากนำ C ไปต่อขนานกับแหล่งจ่าย กระแสก็จะลดต่ำลง เฉพาะตำแหน่งที่แหล่งจ่ายเท่านั้น ซึ่งหมายความว่า Bus Bar กับหม้อแปลงมีกระแสไหลน้อยลง แต่ ในสายไฟที่เดินไปยังโหลด กระแสยังคงมากอยู่ แต่การปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าโดยต่อ C ขนาน กับแหล่งจ่ายนี้เป็นวิธีที่สะดวกและไม่ยุ่งยาก จึงเป็นวิธีที่นิยมทำกัน

จากรูปที่ 2-13 ในกรณีที่ต้องการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า จาก PF 1 เป็น PF 2 สามารถคำนวณพิกัดกำลังของตัวเก็บประจุในหน่วย Var ได้จากสมการข้างล่างนี้

$$PF\ 1 = \frac{kW}{kVA_1} = \cos\theta_1 \quad , \quad PF\ 2 = \frac{kW}{kVA_2} = \cos\theta_2$$

$$\tan\theta_1 = \frac{Q_1}{P} \quad , \quad \tan\theta_2 = \frac{Q_2}{P}$$

$$Q_1 = P \times \tan\theta_1 = kW \times \tan\theta_1$$

$$Q_2 = P \times \tan\theta_2 = kW \times \tan\theta_2$$

$$\begin{aligned} \text{ขนาดของตัวเก็บประจุ (kVar)} &= Q_1 - Q_2 = kW \tan\theta_1 - kW \tan\theta_2 \\ &= kW (\tan\theta_1 - \tan\theta_2) \end{aligned}$$

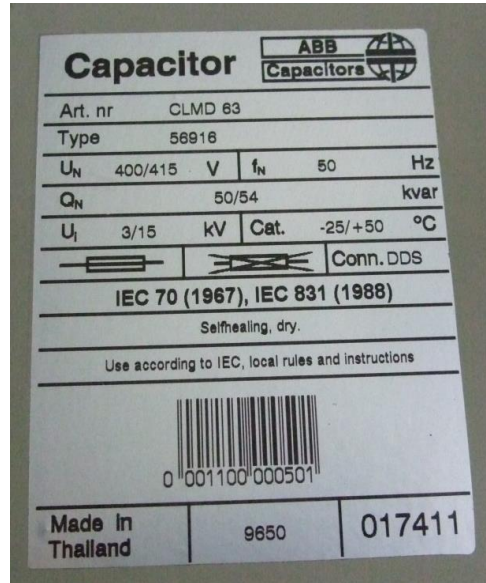
ในการนี้ อาจใช้ตารางที่ 2-3 ประกอบการหาค่า  $\tan\theta_1 - \tan\theta_2$  ได้โดยสะดวก เช่น

- ต้องการปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้าจาก PF 1 = 0.5 (PF = 50 %) ไปเป็น PF 2 = 0.9 (PF = 90 %)





เมื่อทราบขนาดของ kW ที่ใช้ในระบบ ก็จะหาค่า kVar ของ C ได้โดยง่าย แต่ทั้งนี้ทั้งนั้น ขนาดกำลังไฟฟ้าเป็น kVAR ของ C อาจไม่ได้มีจำหน่ายในท้องตลาดหลายขนาดนัก ดังนั้น อาจต้องใช้ C หลาย ๆ ตัวต่อขนานกันเพื่อให้ได้ค่า kVar รวมมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ต้องการ (การต่อ C ขนานกัน นำค่า kVar บวกกันได้เลย) จึงเรียกชุดของ C หลาย ๆ ตัวที่ติดตั้งไว้สำหรับการต่อเข้าระบบนี้ว่า Capacitor Bank (นิยมเรียกกันว่า Cap Bank) ดังรูปที่ 2-14 และเนื่องจากในทางปฏิบัติพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าในรอบวันไม่คงที่ ดังนั้นการที่ Cap Bank ประกอบด้วย C หลาย ๆ ตัว จึงเป็นข้อดีอีกประการหนึ่งที่ สามารถต่อ C เข้าระบบได้มากน้อยตามพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าที่ไม่แน่นอนได้ ในการนี้จำเป็นต้องมีตัวควบคุมค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าอัตโนมัติ (Power Factor Controller หรือ PF Controller) คอยควบคุมการตัดต่อ C เข้าระบบ เพื่อให้ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้ามียุคสูงอยู่เสมอ ดังรูปที่ 2-15

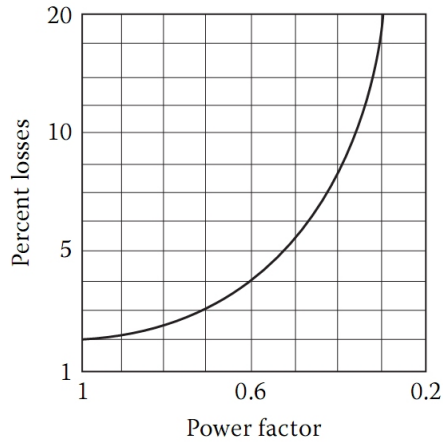


รูปที่ 2-14 Capacitor Bank หรือ Cap Bank



รูปที่ 2-15 Power Factor Controller และอุปกรณ์ตัดต่อ Cap Bank

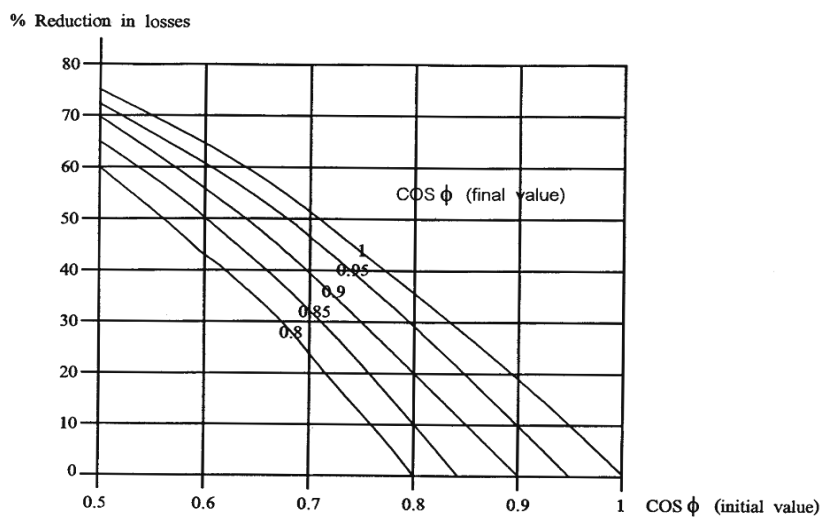
การปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าให้สูงขึ้น สามารถช่วยลดการสูญเสียในสายไฟฟ้าลงได้ ดังที่แสดงในรูปที่ 2-16 โดยกำลังไฟฟ้าที่สูญเสียยังขึ้นอยู่กับความต้านทานในสายและความยาวของสายอีกด้วย ส่วนรูปที่ 2-17 แสดงค่า % การสูญเสียที่ลดลงเมื่อมีการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าไปสู่ค่าต่าง ๆ



$$kW \text{ losses} \propto \left( \frac{\text{Original PF}}{\text{Improved PF}} \right)^2$$

$$\text{Loss reduction} = 1 - \left( \frac{\text{Original PF}}{\text{Improved PF}} \right)^2$$

รูปที่ 2-16 เปอร์เซนต์การสูญเสียในสายไฟเทียบกับค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า



รูปที่ 2-17 เปอร์เซนต์การสูญเสียที่ลดลงเมื่อมีการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าไปเป็นค่าต่าง ๆ

ระบบไฟฟ้าที่มีค่า PF ต่ำ จะเกิดการสูญเสียพลังงานในระบบมาก ส่งผลให้ต้องเสียค่าใช้จ่ายพลังงานมาก ดังนั้นการแก้ไขค่า PF สูงขึ้น จะทำให้ค่าไฟฟ้าลดลง แต่การแก้ไขค่า PF นี้ต้องลงทุนติดตั้งอุปกรณ์เพิ่ม จึงต้องประเมินความคุ้มค่าด้วย โดยพิจารณาเปรียบเทียบเงินลงทุนในการแก้ไขค่า PF กับมูลค่าที่สามารถประหยัดได้จากการแก้ไขค่า PF

อุปกรณ์เครื่องมือเครื่องใช้ต่าง ๆ จะมีค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าแตกต่างกันไปแล้วแต่โครงสร้างภายในของอุปกรณ์นั้น ๆ จึงมีค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าที่ต่างกันไปตามแสดงในตารางที่ 2-4 ทำให้โรงงานและอาคารที่ใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าต่างชนิดกันมีค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าที่ต่างกันด้วย โดยข้อมูลจากการสำรวจเป็นไปดังตารางที่ 2-5 ซึ่งสาเหตุที่ทำให้ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าต่ำ นอกจากเกิดจากการใช้โหลดประเภทเหนี่ยวนำ (Inductive Load) เป็นจำนวนมากแล้วยังเกิดจากการที่มอเตอร์ตัวใหญ่ขับโหลดน้อย (Run at Under Load) หรือเกิดจากการใช้อุปกรณ์ที่มีคุณลักษณะไม่เป็นเชิงเส้น (Nonlinear Load) เป็นต้น

ตารางที่ 2-4 ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้า

| อุปกรณ์ไฟฟ้า                  | PF (%)  |
|-------------------------------|---------|
| เตาหลอดโลหะแบบเหนี่ยวนำ       | 30 – 70 |
| เครื่องเชื่อมแบบอาร์ก         | 35 – 60 |
| เครื่องเชื่อมแบบความต้านทาน   | 40 – 60 |
| เครื่องกลึง                   | 40 – 65 |
| เครื่องปั๊มโลหะแบบความเร็วสูง | 45 – 60 |
| เครื่องอัด (Compressor)       | 50 – 80 |

| อุปกรณ์ไฟฟ้า                 | PF (%)  |
|------------------------------|---------|
| หลอดฟลูออเรสเซนต์และหลอด HID | 50 – 70 |
| เครื่องจักรทอผ้า             | 60 – 70 |
| เครื่องปั๊มโลหะธรรมดา        | 60 – 70 |
| เครื่องพ่นลมหรือพ่นสี        | 60 – 65 |
| เตาหลอมโลหะแบบอาร์ค          | 65 – 75 |

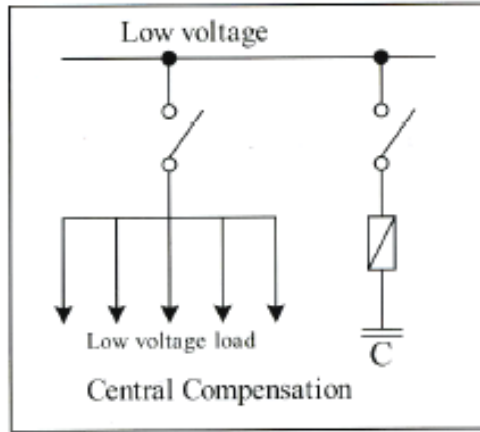
ตารางที่ 2-5 ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของโรงงานและอาคารประเภทต่าง ๆ

| ประเภทโรงงานอุตสาหกรรม     | PF (%)  |
|----------------------------|---------|
| เสื้อผ้า                   | 35 – 60 |
| สี                         | 55 – 65 |
| พลาสติก                    | 55 – 70 |
| ขึ้นรูปโลหะ                | 60 – 70 |
| เครื่องจักรกล              | 60 – 75 |
| ชุบหรือเคลือบโลหะด้วยไฟฟ้า | 65 – 70 |
| เคมี                       | 65 – 75 |
| ทอผ้า                      | 65 – 75 |
| เหล็กกล้า                  | 65 – 75 |
| เหมืองถ่าน                 | 65 – 80 |
| ตีหรือเผาเหล็ก             | 70 – 80 |
| ประเภทโรงงานอุตสาหกรรม     | PF (%)  |
| ชิ้นส่วนรถยนต์             | 75 – 80 |
| หล่อโลหะ                   | 75 – 80 |
| โรงเบียร์                  | 78 – 80 |
| ซีเมนต์                    | 80 – 85 |
| อาคารพาณิชย์               | 80 – 85 |

#### 2.4.1 การติดตั้งตัวเก็บประจุ (การติดตั้ง CAPACITOR Bank)

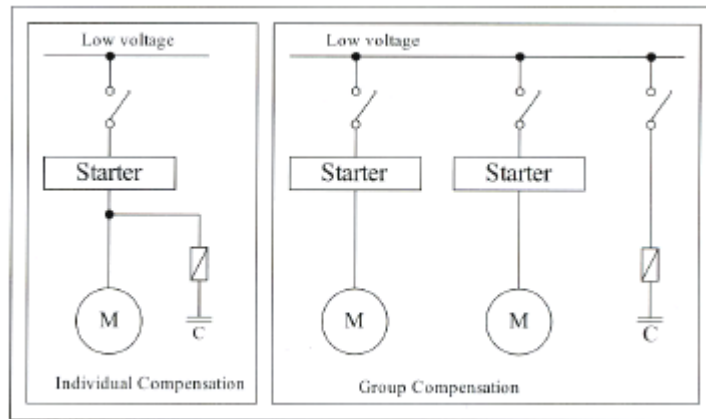
ในการหาตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับติดตั้งตัวเก็บประจุไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้านั้น ต้องพิจารณาหลายด้านด้วยกัน ทั้งในด้านเศรษฐศาสตร์ ด้านเทคนิคและการติดตั้งสำหรับระบบเดิมที่มีอยู่ หรือติดตั้งใหม่ ตัวเก็บประจุไฟฟ้าจะสามารถติดตั้งได้หลายตำแหน่งในวงจรโดยแบ่งการติดตั้งออกเป็น 2 ลักษณะ ดังนี้

การติดตั้งแบบศูนย์กลางที่จุดเดียว (Central Compensation) เพื่อแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้ารวมของ โรงงานหรืออาคาร ดังแสดงในรูปที่ 2-18



รูปที่ 2-18 การติดตั้งตัวเก็บประจุไฟฟ้าแบบศูนย์กลาง

การติดตั้งเป็นกลุ่มโหลดย่อยหรือที่มอเตอร์ขนาดใหญ่เป็นรายตัว (Individual Compensation) เพื่อแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าและจุดของโรงงานหรืออาคาร ดังแสดงในรูปที่ 2-19



รูปที่ 2-19 การติดตั้งตัวเก็บประจุไฟฟ้าแยกแต่ละจุด

การติดตั้งเป็นกลุ่มหรือเฉพาะตัวนี้จะต้องพิจารณาจุดที่ต่อเข้ากับมอเตอร์ด้วย เพราะประสิทธิภาพในการแก้ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของตัวเก็บประจุไฟฟ้า ขึ้นอยู่กับระยะทางจุดที่ทำการติดตั้งมายังตัวโหลดหรือมอเตอร์ ประสิทธิภาพในการแก้ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

การตัดสินใจเลือกวิธีติดตั้งตัวเก็บประจุไฟฟ้าวิธีหนึ่งวิธีใดมาใช้เพื่อแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าที่โรงงานหรืออาคารใด จะต้องพิจารณาอย่างรอบคอบ เช่น พิจารณาถึงลักษณะของโรงงาน ลักษณะโหลดส่วนใหญ่ที่ใช้ลักษณะการทำงานของเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ไฟฟ้าและเงินลงทุน ซึ่งต้องการศึกษาอย่างละเอียดว่าวิธีใดจะมีโอกาสคุ้มทุนมากกว่ากัน

ในโรงงานอุตสาหกรรมและอาคารส่วนใหญ่แล้ว จะประกอบด้วยโหลดที่มีขนาดเล็ก ๆ จำนวนมาก แต่ด้วยเหตุที่พิกัดของตัวเก็บประจุไฟฟ้ามีขนาดเป็นมาตรฐาน (Standard Size) ในทางปฏิบัติจะหาตัวเก็บประจุไฟฟ้าที่มีขนาด kVar สอดคล้องกับโหลดแต่ละรายการได้ยาก และโดยทั่วไปแล้วโหลดต่าง ๆ เหล่านี้ก็ไม่ได้ทำงานพร้อมกัน เหตุนี้ควรติดตั้งตัวเก็บประจุไฟฟ้าเพียงจุดเดียว ณ ตำแหน่งซึ่งเป็นจุดรวมของโหลดทั้งหมด ซึ่งกรณีเช่นนี้จะต้องมีสวิตช์หรือต่อตัวเก็บประจุไฟฟ้าเข้ากับโหลดทั้งหมดหรือบางส่วน ตามสภาวะของโหลดได้โดยอัตโนมัติ ตัวอย่างเช่น ถ้าหากมอเตอร์เพียง 50% ของมอเตอร์โหลดทั้งหมดทำงานพร้อมกันในเวลาเดียวกัน ตัวเก็บประจุไฟฟ้าเพียงครั้งหนึ่งในจุดนั้นเท่านั้นที่จะถูกต่อเข้าวงจรโหลด อีกครั้งหนึ่งจะถูกตัดออก แต่ถ้าไม่มีสวิตช์ควบคุมการปิด-เปิดตัวเก็บประจุไฟฟ้าโดยอัตโนมัติ และโหลดทำงานไม่พร้อมกันแล้ว ก็ควรติดตั้งตัวเก็บประจุไฟฟ้าขนานเข้ากับโหลดแต่ละตัว

โดยปกติแล้วแม้ไม่มีโหลด หม้อแปลงไฟฟ้าก็ยังคงสร้างสนามแม่เหล็กที่เป็นกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟอยู่ ดังนั้น การติดตั้งตัวเก็บประจุไฟฟ้าเพื่อลดกำลังรีแอกทีฟในช่วงไม่มีโหลด โดยต่อตรงเข้าทางด้านแรงดัน หรือด้านทุติยภูมิ (Secondary) ของหม้อแปลงไฟฟ้าอย่างถาวร ไม่เพียงช่วยประหยัดพลังงานเท่านั้น แต่ยังช่วยลดขนาดตัวเก็บประจุไฟฟ้าที่ใช้ปรับปรุงค่าตัวประกอบ

กำลังไฟฟ้าของระบบอีกด้วย ซึ่งการติดตั้งตัวเก็บประจุไฟฟ้าจะเป็นแบบผสม กล่าวคือ โหลดใหญ่ๆ จะติดตั้งตัวเก็บประจุไฟฟ้าที่โหลดแต่ละชุด ส่วนโหลดอื่น ๆ จะติดตั้งแบบกลุ่มหรือแบบศูนย์กลาง ส่วนตัวเก็บประจุไฟฟ้าที่ติดตั้งที่หม้อแปลงไฟฟ้าเป็นเพียงการแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของหม้อแปลงไฟฟ้าเท่านั้น

2.4.2 ข้อดีและข้อเสียของการใช้ตัวเก็บประจุไฟฟ้า

ข้อดี

- เพิ่มประสิทธิภาพ โดยมีความสูญเสียน้อยกว่า 0.33%
- เงินลงทุนต่ำสามารถนำมาใช้ในระบบที่มีขนาดเล็กได้
- มีความยืดหยุ่นมาก เพราะสามารถเปลี่ยนแปลงการทำงานของตัวเก็บประจุไฟฟ้าให้สอดคล้องกับโหลดที่เปลี่ยนแปลงได้
- ไม่มีส่วนที่เคลื่อนที่ได้ ไม่มีเสียงดังในการทำงานการเสื่อมสภาพการทำงานต่ำ และไม่ต้องมีการบำรุงรักษา
- สามารถติดตั้งในบริเวณใดก็ได้ ใช้เนื้อที่ในการติดตั้งน้อย
- ปลดออกและต่อเข้ากับโหลดได้รวดเร็วและง่าย สามารถเปลี่ยนจากโหลดตัวหนึ่งไปยังอีกตัวหนึ่งได้

ข้อเสีย

- การเกิดแรงดันเกิน (Over Voltage) เมื่อปลดโหลดออก ดังนั้นจึงควรติดตั้งระบบควบคุมการชดเชยตัวประกอบกำลังไฟฟ้าอัตโนมัติ
- การเกิดเรโซแนนซ์ (Resonance) เมื่อใช้กับโหลดที่มีฮาร์โมนิก (Harmonic) ทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ ที่ต่ออยู่ในระบบเกิดความเสียหาย ทำงานผิดพลาดหรือมีอายุการใช้งานสั้นลง

2.4.3 ข้อควรระวังในการใช้ตัวเก็บประจุไฟฟ้า

- เมื่อติดตั้งตัวเก็บประจุไฟฟ้าที่จุดใดแล้ว แรงดันไฟฟ้าที่จุดนั้นจะมีค่าสูงขึ้นกว่าเดิม ดังนั้นการเลือกขนาดพิกัดของตัวเก็บประจุไฟฟ้าจะต้องคำนึงถึงเรื่องนี้ด้วย
- จุดที่ติดตั้งตัวเก็บประจุไฟฟ้าที่ควรมีการระบายความร้อนดีพอสมควร เพราะความร้อนที่สูงจะทำให้อายุการใช้งานของตัวเก็บประจุไฟฟ้าสั้นลง
- การติดตั้งตัวเก็บประจุไฟฟ้าเข้ากับมอเตอร์โดยตรงต้องเลือกขนาดตัวเก็บประจุไฟฟ้าให้ดี และต้องติดตั้งให้ถูกวิธี มิฉะนั้นมอเตอร์จะเสียหายได้
- ถ้าจะติดตั้งตัวเก็บประจุไฟฟ้าเข้าชุด (Capacitor Bank) ควรใช้แบบควบคุมอัตโนมัติ เพื่อป้องกันอันตรายจากแรงดันเกินที่เกิดขึ้นจากการต่อตัวเก็บประจุไฟฟ้าเข้าไปในระบบมากเกินไป
- อุปกรณ์ไฟฟ้าบางอย่าง เช่น วงจรเรียงกระแสและเตาเผาแบบอาร์ค สร้างฮาร์โมนิกเข้าไปในระบบเมื่อต้องการติดตั้งตัวเก็บประจุไฟฟ้าต้องระวังปัญหาที่อาจจะเกิดจากฮาร์โมนิก ซึ่งจะเกิดสภาวะเรโซแนนซ์ และจะทำให้ตัวเก็บประจุไฟฟ้าเสียหายทันที ในกรณีนี้ต้องให้วิศวกรผู้เชี่ยวชาญช่วยออกแบบชุดตัวเก็บประจุไฟฟ้า พร้อมอุปกรณ์ป้องกันขึ้นเป็นพิเศษ

2.4.4 สมการใช้งานที่เกี่ยวข้อง

| ปริมาณ | ระบบไฟฟ้า 1 เฟส                            | ระบบไฟฟ้า 3 เฟส  |
|--------|--|--|
| P      | $P = V \times I \times \cos \theta$        | $P_{3\phi} = \sqrt{3} \times V_L \times I_L \times \cos \theta$                                |
| Q      | $Q = V \times I \times \sin \theta$        | $Q_{3\phi} = \sqrt{3} \times V_L \times I_L \times \sin \theta$                                |
| S      | $S = V \times I$<br>$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$ | $S_{3\phi} = \sqrt{3} \times V_L \times I_L$<br>$S_{3\phi} = \sqrt{P_{3\phi}^2 + Q_{3\phi}^2}$ |

| ปริมาณ                            | ระบบไฟฟ้า 1 เฟส | ระบบไฟฟ้า 3 เฟส               |
|-----------------------------------|-----------------|-------------------------------|
| $\text{Cos } \theta \text{ (PF)}$ | $\frac{P}{S}$   | $\frac{P_{3\Phi}}{S_{3\Phi}}$ |

กรณีในระบบไฟฟ้าขนาดใหญ่ที่มีโหลดย่อยหลายรายการ การหาค่ากำลังไฟฟารวมสามารถหาได้ดังนี้

$$\Sigma P = P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_N$$

$$\Sigma Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots + Q_N$$

$$\Sigma S = S_1 + S_2 + S_3 + \dots + S_N \text{ (ต้องรวมแบบเวกเตอร์)}$$

$$\therefore \Sigma S = \sqrt{(\Sigma P)^2 + (\Sigma Q)^2} \text{ (แนวคิดเช่นเดียวกับสามเหลี่ยมกำลังไฟฟ้า)}$$

$$\text{ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของระบบไฟฟ้า} = \frac{\Sigma P}{\Sigma S}$$

หมายเหตุ ค่าความจุไฟฟ้าของ C หน่วยเป็นฟารัด (F) สามารถหาได้จากสมการ  $C = \frac{Q_C}{2 \times \pi \times f \times V_{RMS}^2}$

เมื่อ f คือความถี่ไฟฟ้า

2.4.5 ตัวอย่างการคำนวณเพื่อหาค่า kVar ของ C จากข้อมูลที่ตรวจวัด

|             |                 |            |               |   |
|-------------|-----------------|------------|---------------|---|
| <b>kW</b>   | <b>+69.9</b>    | <b>PF</b>  | <b>+0.618</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>ต้องการปรับปรุงให้ PF ของตู้รวมโหลดย่อย จากค่าประมาณ 0.60 เป็น 0.95 โหลดรวมประมาณ 70 kW จากตารางที่ 3 : <math>(\tan \theta_1 - \tan \theta_2) = 1.005</math><br/> <math>\therefore</math> ขนาด kVar = kW <math>(\tan \theta_1 - \tan \theta_2) = 70.35</math> kVar (ในทางปฏิบัติอาจจัดชุดของ Cap Bank ได้เพียงค่าใกล้เคียง)</li> </ul> |
| <b>Wh</b>   | <b>0017382</b>  | <b>DPF</b> | <b>+0.615</b> |   |
| <b>kVAR</b> | <b>๘ 88.9</b>   | <b>Tan</b> | <b>+1.271</b> |   |
| <b>VARh</b> | <b>๘0022008</b> |            |               |   |
|             | <b>๘0000000</b> |            |               |   |
| <b>kVA</b>  | <b>113.2</b>    |            |               |   |
| <b>VAh</b>  | <b>0028056</b>  |            |               |   |

|              |                 |            |               |  |
|--------------|-----------------|------------|---------------|--|
| <b>kW</b>    | <b>+289.7</b>   | <b>PF</b>  | <b>+0.839</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>ต้องการปรับปรุงให้ PF ของตู้รวมโหลดย่อย จาก 0.839 เป็น 0.95 โหลดรวม 289.7 kW <math>\theta_1 = \text{Cos}^{-1} 0.839 = 32.965^\circ \rightarrow \text{Tan } \theta_1 = 0.6485</math><br/> <math>\theta_2 = \text{Cos}^{-1} 0.950 = 18.195^\circ \rightarrow \text{Tan } \theta_2 = 0.3287</math><br/> <math>\therefore</math> ขนาด kVar = kW <math>(\tan \theta_1 - \tan \theta_2) = 92.65</math> kVar (ในทางปฏิบัติอาจจัดชุดของ Cap Bank ได้ 100 kVar)</li> </ul> |
| <b>kWh</b>   | <b>0001284</b>  | <b>DPF</b> | <b>+0.839</b> |  |
| <b>kVAR</b>  | <b>๘187.8</b>   | <b>Tan</b> | <b>+0.648</b> |  |
| <b>kVARh</b> | <b>๘0000804</b> |            |               |  |
|              | <b>๘0000000</b> |            |               |  |
| <b>kVA</b>   | <b>345.4</b>    |            |               |  |
| <b>kVAh</b>  | <b>0001516</b>  |            |               |  |

|             | ①               | ②               | ③               |
|-------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| <b>kW</b>   | <b>+212.1</b>   | <b>+232.0</b>   | <b>+199.8</b>   |
| <b>Wh</b>   | <b>0377501</b>  | <b>0405044</b>  | <b>0353194</b>  |
| <b>kVAR</b> | <b>≅509.4</b>   | <b>≅481.6</b>   | <b>≅460.2</b>   |
| <b>VARh</b> | <b>≅0919449</b> | <b>≅0867355</b> | <b>≅0831849</b> |
|             | <b>±0000000</b> | <b>±0000000</b> | <b>±0000000</b> |
| <b>kVA</b>  | <b>551.8</b>    | <b>534.5</b>    | <b>501.7</b>    |
| <b>VAh</b>  | <b>0994464</b>  | <b>0957793</b>  | <b>0904253</b>  |
| <b>PF</b>   | <b>+0.384</b>   | <b>+0.429</b>   | <b>+0.397</b>   |

\* กรณี PF ต่ำๆเช่นกรณีนี้ อาจต้องแก้ปัญหาเรื่องฮาร์มอนิกสีกในระบบไฟฟ้าก่อน การต่อ C เข้าระบบ อาจทำให้เกิดเรโซแนนซ์ได้ จึงควรให้ผู้เชี่ยวชาญได้วิเคราะห์ระบบก่อน

• ต้องการปรับปรุงให้ PF ของ MDB ในโรงงานให้เป็น 0.90  
 $\Sigma P = 212.1 + 232.0 + 199.8 = 643.9 \text{ kW} = \text{โหลดรวม}$   
 $\Sigma Q = 509.4 + 481.6 + 460.2 = 1,451.2 \text{ kVAR}$   
 $\Sigma S = \sqrt{(\Sigma P)^2 + (\Sigma Q)^2} = 1587.64 \text{ kVA}$   
 $\therefore$  ค่า PF ก่อนปรับปรุง =  $\frac{\Sigma P}{\Sigma S} = 0.406 = \text{ค่า PF รวม 3 เฟส}$   
 $\theta_1 = \text{Cos}^{-1} 0.406 = 66.046^\circ \rightarrow \text{Tan } \theta_1 = 2.251$   
 $\theta_2 = \text{Cos}^{-1} 0.900 = 25.842^\circ \rightarrow \text{Tan } \theta_2 = 0.4843$   
 $\therefore$  ขนาด kVAR = kW (tan  $\theta_1 - \text{tan } \theta_2$ ) = 1,137.58 kVAR  
 (ในทางปฏิบัติอาจจัดชุดของ Cap Bank ได้เพียงค่าใกล้เคียง)

2.4.6 ตัวอย่างการคำนวณการลดความสูญเสียในสายไฟฟ้า

มอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส 380 V ขณะ Full Load กระแส 75 A PF = 0.82 Lagging ติดตั้งห่างจากแหล่งจ่าย 150 m ความต้านทานของสายไฟฟ้าเส้นละ 0.0635 Ω หากมีการปรับปรุงให้มีค่า PF = 0.95 แล้วการสูญเสียในสายไฟจะต่างกันอย่างไร ?

- ก่อนปรับปรุง Pf = 0.82 Lagging  
 การสูญเสียในสายไฟทั้ง 3 เส้น =  $3I^2R = 3 \times 75^2 \times 0.0635 = 1,071.56 \text{ W}$
- หลังปรับปรุง Pf = 0.95 Lagging

$$\text{Loss reduction} = 1 - \left( \frac{\text{Original PF}}{\text{Improved PF}} \right)^2$$

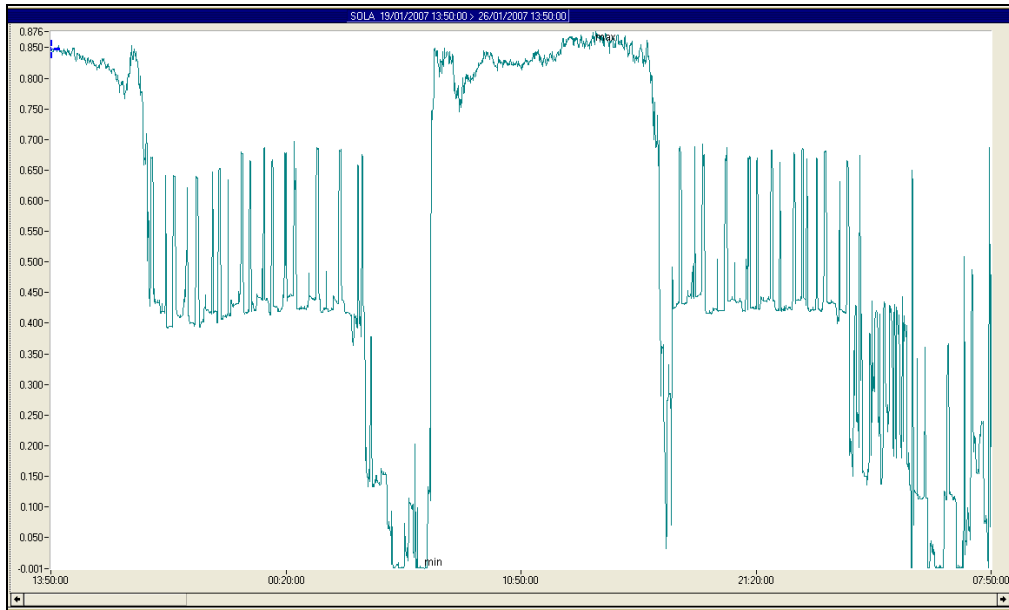
$$\therefore \text{การสูญเสียลดลง} = 1 - \left( \frac{0.82}{0.95} \right)^2 = 0.2550 \text{ หรือ } 25.5 \%$$

ดังนั้น หลังการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า การสูญเสียในสายไฟทั้ง 3 เส้นจะลดลงได้ = 0.2550 x 1,071.56 เท่ากับ 273.25 W คิดเป็นค่าประมาณ 1 ใน 4 ของการสูญเสียเดิม

2.4.7 การเรียกเก็บค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของการไฟฟ้า

ในทางปฏิบัติแล้ว พฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของแต่ละอาคารหรือโรงงานจะไม่สม่ำเสมอ มีช่วงใช้ไฟมากบ้างน้อยบ้าง มีการเปิดปิดอุปกรณ์อยู่บ่อย ๆ ตลอดทั้งวัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีของอาคารด้วยแล้ว หากเป็นช่วงเลิกงานการใช้ไฟฟ้าก็น้อยลงมาก ดังรูปที่ 2-20 ซึ่งทำให้ทั้งค่า W, Var, PF และ A มีความไม่แน่นอนมาก แม้จะมีการติดตั้ง PF Controller ไว้ก็ตาม ก็ใช้ว่าค่า PF ของอาคารจะคงที่ เพราะการตัดต่อของ Cap Bank นั้น เป็นการใส่หรือปลด C ที่ละชุด การควบคุมค่า PF จึงมีลักษณะคุ่มค่า kVar ได้เป็นขั้นๆ (เป็น Step) จึงยากที่จะบอกว่าอาคารหลังนั้น หรือโรงงานแห่งนั้น มีค่า PF เท่าใดกันแน่ เพราะแปรเปลี่ยนไปมาได้หลายค่าในแต่ละเดือน ดังนั้นเพื่อให้มีแนวทางที่สามารถนำมาใช้ปฏิบัติได้ การไฟฟ้าจึงเรียกเก็บค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าไฟฟ้าโดยพิจารณาจากค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุด (Maximum Demand) ของกำลังไฟฟ้าที่เป็น kW และ kVar ในแต่ละเดือนดังรายละเอียดในรูปที่ 2-21





รูปที่ 2-20 ตัวอย่างค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของอาคารหลังหนึ่ง

### การไฟฟ้านครหลวง

#### ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์

สำหรับผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีเพาเวอร์แฟคเตอร์ (Lagging) ถ้าในรอบเดือนใดผู้ใช้ไฟฟ้ามีความต้องการพลังไฟฟ้ารีแอกตีฟเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุด เมื่อคิดเป็นกิโลวาร์ เกินกว่าร้อยละ 61.97 ของความต้องการพลังไฟฟ้าแอกตีฟเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุด เมื่อคิดเป็นกิโลวัตต์แล้ว เฉพาะส่วนที่เกินจะต้องเสียค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ในอัตรา กิโลวาร์ละ 14.02 บาท สำหรับการเรียกเก็บเงินค่าไฟฟ้าในรอบเดือนนั้น เศษของกิโลวาร์ ถ้าไม่ถึง 0.5 กิโลวาร์ตัดทิ้ง ตั้งแต่ 0.5 กิโลวาร์ขึ้นไปคิดเป็น 1 กิโลวาร์

### การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

#### ข้อกำหนดเกี่ยวกับอัตราค่าไฟฟ้า

1. ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์จะเรียกเก็บกับผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทที่ 3, 4 และ 5 ที่มีเพาเวอร์แฟคเตอร์แลค (Lag) เฉพาะเดือนที่มีความต้องการพลังไฟฟ้ารีแอกตีฟเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุดเกินกว่าร้อยละ 61.97 ของความต้องการพลังไฟฟ้าแอกตีฟเฉลี่ย ใน 15 นาทีที่สูงสุดเมื่อคิดเป็นกิโลวัตต์แล้ว โดยส่วนที่เกินจะต้องเสียค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ในอัตรา กิโลวาร์ (KVAR) ละ 14.02 บาท (เศษของกิโลวาร์ ถ้าไม่ถึง 0.5 กิโลวาร์ตัดทิ้ง ตั้งแต่ 0.5 กิโลวาร์ขึ้นไป คิดเป็น 1 กิโลวาร์)

รูปที่ 2-21 ข้อกำหนดเกี่ยวกับค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์)

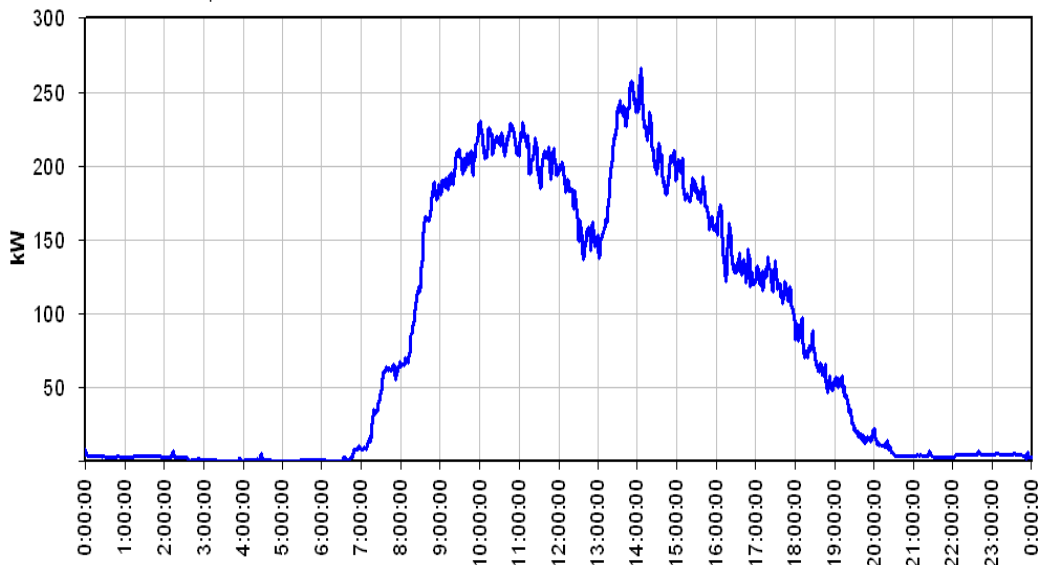
เพื่อให้เกิดความเข้าใจที่แจ่มชัดในรายละเอียดของข้อกำหนดเกี่ยวกับค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า ในที่นี้จะขออธิบายว่า ความต้องการพลังไฟฟ้าแอกตีฟเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุด คืออะไรลองพิจารณา **รูปที่ 2-22** ซึ่งเป็นกราฟแสดงพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าในรอบวัน (Daily Load Curve) มีแกนตั้งเป็น kW มีแกนนอนเป็นช่วงเวลาในรอบวัน ซึ่งต้องไม่ลืมว่ากรณีของผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทที่ 3 4 หรือ 5 ในตารางที่ 1 นั้น นอกจากจะต้องเสียค่าพลังงาน (หน่วยใช้ไฟ) แล้วยังถูกเรียกเก็บค่าอื่น ๆ อีกด้วย หนึ่งในนั้นคือค่า ความต้องการพลังไฟฟ้าแอกตีฟเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุด หรือที่เรียกกันว่าค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุด (Maximum Demand) ซึ่งอาจเรียกกันย่อๆว่าค่าดีมานด์ หากพิจารณาจากกราฟแล้วอาจอธิบายอย่างง่าย ๆ ได้ว่าเครื่องวัดของการไฟฟ้าจะทำการเฉลี่ยกราฟนี้ทุก ๆ 15 นาที ค่าเฉลี่ยในแต่ละช่วงเวลาเรียกว่าค่าความต้องการพลังไฟฟ้า ดังนั้นใน 1 ชั่วโมง จะมีค่าความต้องการพลังไฟฟ้า 4 ค่า ใน 1 วันจะมีค่าความต้องการพลังไฟฟ้า 96 ค่า ใน 1 เดือนจะมีค่าความต้องการพลังไฟฟ้ามากถึง 2,880 ค่า ค่าความต้องการพลังไฟฟ้าในช่วงเวลาใดเป็นตัวเลขที่สูงที่สุด ก็จะถูกหยิบออกมาใช้เป็นค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดของเดือนนั้น ๆ สำหรับกรณีอัตราค่าไฟฟ้าแบบ TOD และ TOU ค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดจะถูกพิจารณาจาก

ช่วงเวลาตามโครงสร้างค่าไฟฟ้า พิจารณารูปที่ 2-23 อัตราค่าไฟฟ้าของกิจการประเภทที่ 4 กิจการขนาดใหญ่ หากโรงงานเป็นผู้ใช้ไฟฟ้าประเภท 4.1.2 แรงดัน 22-33 kV ที่มีโครงสร้างค่าไฟฟ้าพิจารณาเป็น 3 ช่วงเวลาในรอบวัน ดังรูปที่ 2-24 ในการนี้เครื่องวัดของการไฟฟ้าจะบันทึกค่าความต้องการพลังไฟฟ้าแบ่งตามช่วงเวลาทั้ง 3 คือ

|                   |                 |                    |                                    |                   |
|-------------------|-----------------|--------------------|------------------------------------|-------------------|
| ช่วง Peak         | : 18.30 – 21.30 | 3 ชั่วโมงต่อวัน    | มีความต้องการพลังไฟฟ้าวันละ 12 ค่า | เดือนละ 360 ค่า   |
| ช่วง Partial Peak | : 08.00 – 18.30 | 10.5 ชั่วโมงต่อวัน | มีความต้องการพลังไฟฟ้าวันละ 42 ค่า | เดือนละ 1,260 ค่า |
| ช่วง Off Peak     | : 21.30 – 08.00 | 10.5 ชั่วโมงต่อวัน | มีความต้องการพลังไฟฟ้าวันละ 42 ค่า | เดือนละ 1,260 ค่า |

เมื่อถึงรอบการจด (รอบการจดค่าไฟฟ้าในแต่ละเดือน) ก็จะสรุปค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดของแต่ละช่วงเวลาออกมา ดังรูปที่ 2-25 ตัวอย่างใบแจ้งหนี้ค่าไฟฟ้าที่แสดงการจดค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดทั้ง 3 ช่วงเวลา พร้อม ๆ กันนั้นตลอดช่วงเวลาในแต่ละเดือน เครื่องวัดของการไฟฟ้าก็จะบันทึกค่าความต้องการพลังไฟฟ้าของกำลังไฟฟ้าในหน่วย kVar เอาไว้ด้วย เมื่อถึงรอบการจดค่าไฟฟ้าในแต่ละเดือน ก็จะสรุปค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดที่เป็น kVar ออกมาด้วย (โดยไม่สนใจว่าเป็นช่วงเวลาใด) จากนั้น จะพิจารณาจากข้อมูลใบแจ้งหนี้ว่า ความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดที่เป็น kW = ? และความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดที่เป็น kVar = ? แล้วนำตัวเลขทั้งสองมาคำนวณว่าจะต้องเสียค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์) หรือไม่ ดังแผนภูมิในรูปที่ 2-26 ซึ่งจะเห็นได้ว่า ความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดที่เป็น kW และความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดที่เป็น kVar อาจเกิดขึ้นคนละเวลากันก็ได้ ดังนั้นการเรียกเก็บค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้านี้ จึงเป็นเพียงวิธีการในทางปฏิบัติที่อาจไม่ตรงกับค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าจริง ๆ ก็ได้ แต่อย่างไรก็ดีโดยหลักการแล้วหากโรงงาน หรืออาคาร มีค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าไม่ต่ำกว่า 0.85 ตลอดเวลาแล้ว ก็ไม่น่าจะถูกเรียกเก็บค่าใช้จ่ายในส่วนนี้

อนึ่ง สำหรับอัตราค่าไฟฟ้าแบบ TOU ก็พิจารณาในลักษณะคล้าย ๆ กันนี้ แต่ต้องระวังว่าวันใดในปฏิทินที่ถือเป็นวันหยุดราชการบ้าง (ไม่นับวันหยุดชดเชย) เพราะจะนับเป็นช่วง Off Peak



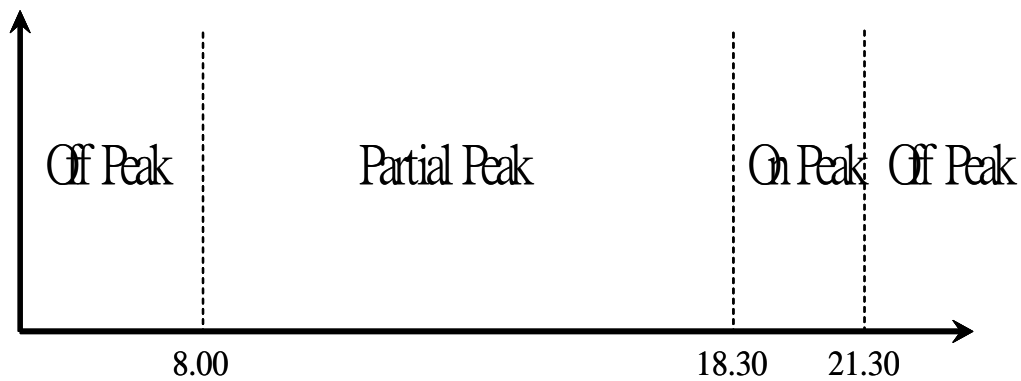
รูปที่ 2-22 กราฟแสดงพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าในรอบวัน (Daily Load Curve)

### ประเภทที่ 4 กิจการขนาดใหญ่

สำหรับการใช้ไฟฟ้าเพื่อประกอบธุรกิจ อุตสาหกรรม ส่วนราชการ รัฐวิสาหกิจ ตลอดจนบริเวณที่เกี่ยวข้อง ซึ่งมีความต้องการพลังไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาทีสูงสุดตั้งแต่ 1,000 กิโลวัตต์ขึ้นไป หรือมีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 3 เดือนเกิน 250,000 หน่วยต่อเดือน โดยต่อผ่านเครื่องวัดไฟฟ้าเครื่องเดียว

| 4.1  | อัตราตามช่วงเวลาของวัน<br>(Time of Day Rate : TOD)    | ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า<br>(บาท/กิโลวัตต์) |                                |          | ค่าพลังงานไฟฟ้า<br>(บาท/หน่วย) |
|--|---|--|--------------------------------|----------|--------------------------------|
|  |   | Peak                                       | Partial                        | Off Peak |                                |
| 4.1.1  | แรงดันตั้งแต่ 69 กิโลโวลต์ขึ้นไป                      | 224.30                                     | 29.91                          | 0        | 1.6660                         |
| 4.1.2  | แรงดัน 22-33 กิโลโวลต์                                | 285.05                                     | 58.88                          | 0        | 1.7034                         |
| 4.1.3  | แรงดันต่ำกว่า 22 กิโลโวลต์                            | 332.71                                     | 68.22                          | 0        | 1.7314                         |
| Peak : เวลา 18.30 - 21.30 น. ของทุกวัน<br>Partial : เวลา 08.00 - 18.30 น. ของทุกวัน (ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า คิดเฉพาะส่วนที่เกิน Peak)<br>Off Peak : เวลา 21.30 - 08.00 น. ของทุกวัน |   |  |                                |          |                                |
| 4.2  | อัตราตามช่วงเวลาของการใช้<br>(Time of Use Rate : TOU) | ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า<br>(บาท/กิโลวัตต์) | ค่าพลังงานไฟฟ้า<br>(บาท/หน่วย) |          | ค่าบริการ<br>(บาท/เดือน)       |
|  |   |  | Peak                           | Off Peak |                                |
| 4.2.1  | แรงดันตั้งแต่ 69 กิโลโวลต์ขึ้นไป                      | 74.14                                      | 2.6136                         | 1.1726   | 228.17                         |
| 4.2.2  | แรงดัน 22-33 กิโลโวลต์                                | 132.93                                     | 2.6950                         | 1.1914   | 228.17                         |
| 4.2.3  | แรงดันต่ำกว่า 22 กิโลโวลต์                            | 210.00                                     | 2.8408                         | 1.2246   | 228.17                         |

รูปที่ 2-23 อัตราค่าไฟฟ้าของกิจการประเภทที่ 4 กิจการขนาดใหญ่



รูปที่ 2-24 การแบ่งช่วงเวลาตามอัตรา TOD

การไฟฟ้านครหลวง

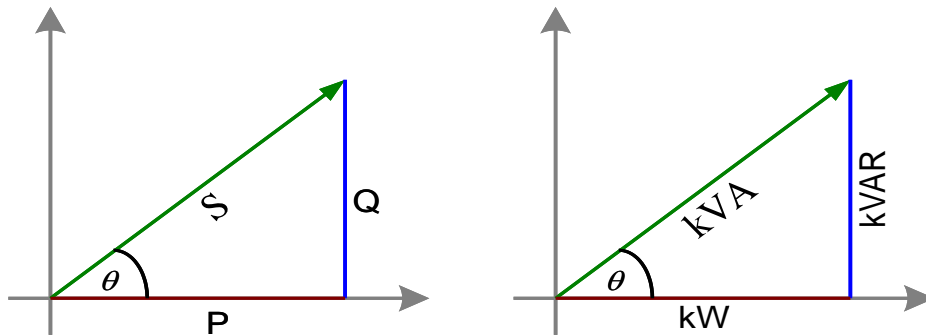
รายละเอียดเพิ่มเติม (เดือนปัจจุบัน)

\*\*ท่านที่ประสงค์ชำระค่าค่านับตาม โปลชำระค่านับตามวิธีระบุไว้ตามหลังทาบกัน\*\*

| ประเภท                    | 4.1.2 | ตัวคูณ | 1000         | อัตราค่าไฟฟ้าผันแปร (Fv) พ | 73.42 | สต./หน่วย |
|---------------------------|-------|--------|--------------|----------------------------|-------|-----------|
| ค่าพลังงานไฟฟ้า           |       |        | 688,173.60   | บาท                        | จำนวน | 404,000   |
| ค่าตามมาตรการประหยัดไฟฟ้า | On    |        | 57,865.00    | บาท                        | จำนวน | 203       |
|                           | Pa    |        | 79,724.00    | บาท                        | จำนวน | 1,557     |
|                           | OFF   |        |              | บาท                        | จำนวน | 119       |
| ค่าหน่วยรับฟูกเตอร์       |       |        | 4,220.00     | บาท                        | จำนวน | 1,266     |
| (รวมค่าไฟฟ้า)             |       |        | 829,982.60   | บาท                        |       |           |
| ค่า Fv (เหิม/ลด)          | พ     |        | 296,616.80   | บาท                        |       |           |
| ค่าไฟฟ้ารวม               |       |        | 1,126,599.40 | บาท                        |       |           |
| ภาษีมูลค่าเพิ่ม           | 7%    |        | 78,861.96    | บาท                        |       |           |
| รวมเงิน                   |       |        | 1,205,461.36 | บาท                        |       |           |

รวมเงิน 1,205,461.36 บาท

รูปที่ 2-25 ตัวอย่างใบแจ้งหนี้ค่าไฟฟ้าอัตรา TOD ของ กฟน.



$$\cos^{-1}0.85 = 31.788^\circ$$

$$\tan\theta = \frac{\text{Var}}{W} \rightarrow \tan(31.788^\circ) = 0.6197$$

$$\therefore Q = 0.6197P$$


ถ้า kVAR สูงสุด > 61.97% ของ kW สูงสุด  
เฉพาะส่วนที่เกินจะต้องเสียค่า PF  
ในอัตรา kVAR ละ 14.02 บาท

รูปที่ 2-26 แผนภูมิแสดงวิธีการคำนวณค่า kVar ที่จะเรียกเก็บเงิน

จากรูปที่ 2-25 ความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดที่เป็น kW = 1,557 kW  
ความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดที่เป็น kVar = 1,266 kVar  
61.97% ของ 1,557 = 964.87 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดที่เป็น kVar


∴ ต้องเสียค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์) จำนวน 1,266 - 964.87 = 301 kVar (พิเศษแล้ว)  
คิดเป็นเงิน = 14.02 × 301 = 4,220.02 บาท

สำหรับรูปที่ 2-27 และ 2-28 แสดงตัวอย่างใบแจ้งหนี้ค่าไฟฟ้าอัตรา TOU ของ กฟน. และ กฟภ. ที่มีรูปแบบของ  
รายละเอียดใบแจ้งหนี้ค่าไฟฟ้าแตกต่างกัน



**การไฟฟ้านครหลวง**  
รายละเอียดเพิ่มเติม (เดือนปัจจุบัน)

|                           |             |                          |
|---------------------------|-------------|--------------------------|
| ประเภท 4.2.1              | ตัวคูณ 1000 |                          |
| ค่าพลังงานไฟฟ้า           |             | 11,670,876.80 บาท        |
| ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า   |             | 855,872.00 บาท           |
| ** 61.97% of              |             | 11,544 kW **             |
| ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์       | →           | 28,825.00 บาท            |
| ค่าบริการรายเดือน         |             | 228.17 บาท               |
| (รวมค่าไฟฟ้าและค่าบริการ) |             | 12,555,801.97 บาท        |
| ค่า Ft (เพิ่ม/ลด) พ       |             | 2,952,994.40 บาท         |
| ค่าไฟฟ้ารวม               |             | 15,508,796.37 บาท        |
| ภาษีมูลค่าเพิ่ม 7%        |             | 1,085,615.75 บาท         |
| <b>รวมเงิน</b>            |             | <b>16,594,412.12 บาท</b> |



30159089202271237616594412121247

|                            |           |           |
|----------------------------|-----------|-----------|
| อัตราค่าไฟฟ้าผันแปร (Ft) พ | 43.28     | สต./หน่วย |
| จำนวน 1*                   | 2,547,000 | หน่วย     |
| จำนวน 2*                   | 4,276,000 | หน่วย     |
| จำนวน 1*                   | → 11,544  | กิโลวัตต์ |
| จำนวน 2*                   | 11,430    | กิโลวัตต์ |
| จำนวน 2*                   | → 9,210   | กิโลวาร์  |

**PF Charge**

61.97 % of 11,544 = 7,153.82

9,210 - 7,153.82 = 2,056.18

14.02 x 2,056 = 28,825.12

% % ทานที่ประสงคชำระผ่านตัวแทน โปรดชำระผ่านตัวแทนที่ระบุไว้ด้านหลังเท่านั้น %

รูปที่ 2-27 ตัวอย่างใบแจ้งหนี้ค่าไฟฟ้าอัตรา TOU ของ กฟน.

การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ขอแจ้งค่าไฟฟ้าประจำเดือน ส.ค. 2551 ตามรายละเอียดดังนี้

| รหัสการไฟฟ้า | หมายเลขผู้ใช้ไฟฟ้า | รหัสเครื่องวัด | ประเภทอัตรา | แรงดัน    | ตัวคูณ | วันที่อ่านหน่วย |
|--------------|--------------------|----------------|-------------|-----------|--------|-----------------|
|              |                    |                | 3.2.2       | 22-33 KV. | 800    | 31/08/51        |

| รหัสการไฟฟ้า           | เลขอ่านครั้งหลัง                             | เลขอ่านครั้งก่อน | กิโลวัตต์ / หน่วย / กิโลวาร์ | จำนวนเงิน (บาท) |  |
|------------------------|--|------------------|------------------------------|-----------------|--|
| พลังไฟฟ้าสูงสุด P      | 0.461  | 0.339            | 87.20                        | 11591.50        | ค่า Ft ระบบผลิต (บาท/หน่วย) 0.6937     |
| กิโลวัตต์ DP           | 0.441  | 0.339            | 81.60                        |                 | ค่า Ft ระบบส่ง (บาท/หน่วย) -0.0241     |
| H                      | 0.429  | 0.322            | 85.60                        |                 | ค่า Ft ระบบจำหน่าย (บาท/หน่วย) -0.0411 |
|                        |  |                  |                              |                 | รวมค่า Ft (บาท/หน่วย) 0.6285           |
|                        |  |                  |                              |                 | หน่วยที่คิดค่า Ft (หน่วย) 30280.00     |
|                        |  |                  |                              |                 | รวมจำนวนเงินค่า Ft (บาท) 19030.98      |
| พลังงานไฟฟ้า (หน่วย) P | 64.860                                       | 48.730           | 12904.00                     | 34776.28        |  |
| DP                     | 45.570                                       | 34.580           | 8792.00                      | 20701.77        |  |
| H                      | 38.000                                       | 27.270           | 8584.00                      |                 |  |
|                        |  |                  |                              |                 | จำนวนเงิน (บาท)                        |
|                        |  |                  |                              |                 | ค่าไฟฟ้าฐาน 67297.72                   |
|                        |  |                  |                              |                 | ค่าไฟฟ้า + ค่า Ft 86328.70             |
|                        |  |                  |                              |                 | ค่าเช่าเรอรับเคเบิล 897.28             |
|                        |  |                  |                              |                 | รวมเงินค่าไฟฟ้า 87225.98               |
|                        |  |                  |                              |                 | ภาษีมูลค่าเพิ่ม 7 % 6105.82            |
|                        |  |                  |                              |                 | รวมเงินที่ต้องชำระ *****93331.80       |
| ตัวคูณ KVAR 800        | ค่าบริการ 228.17 บาท ได้รับการชดเชย 0.00 บาท |                  |                              | 228.17          |  |
| กิโลวาร์               | 0.384  | 117.60           | 897.28                       |                 |  |
|                        |  |                  |                              |                 | รวมเงินค่าไฟฟ้า 67297.72               |
|                        |  |                  |                              |                 | ภาษีมูลค่าเพิ่ม 7 % 6105.82            |
|                        |  |                  |                              |                 | รวมเงินที่ต้องชำระ *****93331.80       |

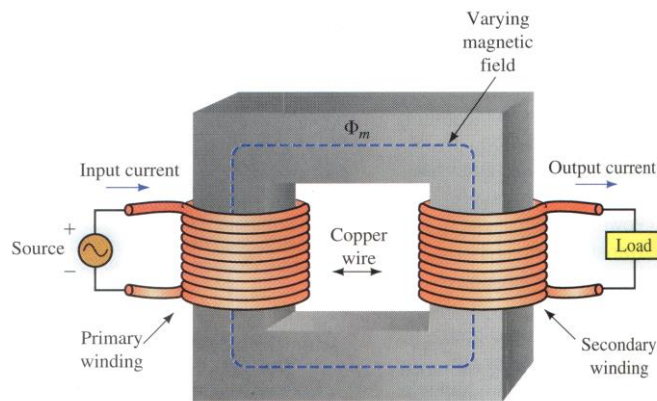
|                    | ระบบผลิต (บาท) | ระบบส่ง (บาท) | ระบบจำหน่าย (บาท) |
|--------------------|----------------|---------------|-------------------|
| ค่าพลังไฟฟ้าสูงสุด | 46370.41       | 9107.64       | 11591.50          |
| ค่าพลังงานไฟฟ้า    |                |               |                   |
| การชดเชยค่าไฟฟ้า   |                |               |                   |
| ค่า Ft             | 21005.24       | -729.75       | -1244.51          |

61.97% of 87.2 kW = 54.04 kW  
 117.60 - 54.04 = 63.56 → 64 kVAR  
 64 x 14.02 = 897.28 Baht

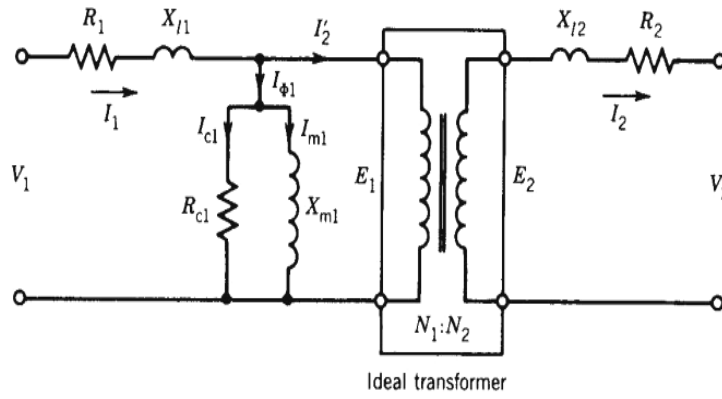
รูปที่ 2-28 ตัวอย่างใบแจ้งหนี้ค่าไฟฟ้าอัตรา TOU ของ กฟภ.

### 2.5 การลดความสูญเสียในหม้อแปลงไฟฟ้า

หม้อแปลงเป็นเครื่องกลไฟฟ้ากระแสสลับ มีหน้าที่หลัก 2 ประการ คือ แปลงแรงดัน และแยกวงจร 2 ฟังออกจากกันทางไฟฟ้า หม้อแปลงไม่ได้เป็นแหล่งกำเนิดไฟฟ้า แต่เป็นตัวส่งผ่านพลังงานจากฝั่งปฐมภูมิ (Primary) ไปยังฝั่งทุติยภูมิ (Secondary) โดยการเปลี่ยนรูปพลังงานระหว่างแม่เหล็กกับไฟฟ้า จากรูปที่ 2-29 จะเห็นว่าขดลวดทั้ง 2 ฟัง ไม่ได้ต่อกันทางไฟฟ้าแต่อย่างใด การที่ฝั่งทุติยภูมิสามารถจ่ายไฟได้ เพราะพลังงานจากฝั่งปฐมภูมิจะเปลี่ยนรูปจากพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานสนามแม่เหล็กแล้วเหนี่ยวนำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าขึ้นที่ขดลวดฝั่งทุติยภูมินั่นเอง ขนาดของแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำ (แรงดันไฟฟ้า) จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับจำนวนรอบของขดลวดที่พันบนแกนเหล็กเป็นสำคัญ ในการนี้จะพบว่าหม้อแปลงในทางปฏิบัติมีความแตกต่างไปจากหม้อแปลงในทางอุดมคติ เพราะมีความต้านทานในขดลวด ทำให้เกิดการสูญเสียในลวดตัวนำได้ และยังเกิดการสูญเสียขึ้นในแกนเหล็กที่ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัสดุอีกด้วย โดยมีวงจรสมมูลย์ที่สามารถอธิบายปรากฏการณ์ต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในหม้อแปลงได้ดังรูปที่ 2-30 ซึ่งมีความซับซ้อนที่จะอธิบาย จึงขออธิบายเพียงเนื้อหาที่ควรทราบพอสังเขปเท่านั้น



รูปที่ 2-29 แสดงโครงสร้างของหม้อแปลงไฟฟ้า



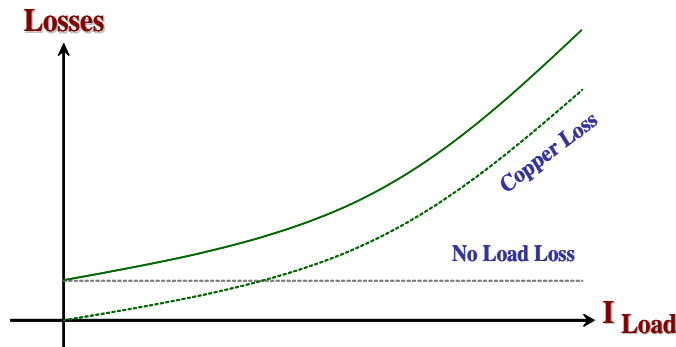
รูปที่ 2-30 แสดงวงจรสมมูลย์ของหม้อแปลง

ในทางปฏิบัติหม้อแปลงไฟฟ้ามีกำลังงานสูญเสีย 2 ลักษณะ คือ

1. กำลังไฟฟ้าสูญเสียขณะไม่มีโหลด (No Load Loss) หมายถึง กำลังไฟฟ้าที่สูญเสียขณะที่หม้อแปลงไฟฟ้ายังไม่ได้จ่ายโหลด แต่มีการต่อไฟทางฝั่งปฐมภูมิเข้ากับระบบของการไฟฟ้า ประมาณว่าเป็นการสูญเสียในแกนเหล็ก จึงอาจเรียกว่า Iron Loss หรือ Core Loss มีค่าเกือบคงที่ไม่ขึ้นอยู่กับภาระจ่ายโหลด

2. กำลังไฟฟ้าสูญเสียขณะมีโหลด (Load Loss) หมายถึง กำลังงานไฟฟ้าที่สูญเสียเนื่องจากความต้านทานของขดลวดขณะที่หม้อแปลงไฟฟ้ามีการจ่ายโหลด มีค่าแปรผันตามกระแสยกกำลังสอง เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า Copper Loss

หากพิจารณาจากรูปที่ 2-31 จะเห็นว่าการสูญเสียทั้ง 2 ลักษณะสามารถเขียนแทนได้ด้วยเส้นประ และมีการสูญเสียรวมดังเส้นทึบ จะเห็นว่าแม้ไม่มีการจ่ายโหลดเลย แต่ก็ยังคงมีการสูญเสียในหม้อแปลงเสมอ



รูปที่ 2-31 แสดงลักษณะการสูญเสียในหม้อแปลง

หม้อแปลงไฟฟ้ามีพิกัดกำลังไฟฟ้าเป็น kVA โดยทั่วไปประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้าจะดีที่สุดเมื่อใช้งานที่โหลดประมาณ 60-75% ของพิกัด ถ้าหากใช้งานที่โหลดสูงหรือต่ำกว่านี้จะทำให้ประสิทธิภาพลดต่ำลงบ้าง โดยทั่วไปนิยมใช้หม้อแปลง 2 ตัว แบ่งภาระการจ่ายโหลด โดยหม้อแปลงแต่ละตัวจะรับโหลดประมาณ 75% ในทางปฏิบัติแล้ว มีหลายกรณีที่มีการใช้หม้อแปลงขนาดใหญ่เกินภาระการใช้งานจริง จึงทำให้เกิดการสูญเสียมากจึงควรระมัดระวังการใช้หม้อแปลงในลักษณะนี้ พิจารณาตารางที่ 2-6 และ 2-7 แสดงค่าการสูญเสียของหม้อแปลงสำหรับรับไฟฟ้าแรงสูง 22 kV และ 33 kV ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าพิกัดของหม้อแปลงยิ่งมาก การสูญเสีย No Load Loss ก็ยิ่งมาก ดังนั้นหากมีการอนุรักษ์พลังงานในอาคารหรือโรงงาน ตลอดจนจะมีการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าแล้ว ก็จะช่วยลดกระแสที่หม้อแปลงต้องจ่ายได้ ถือเป็นลดการสูญเสีย Copper Loss ได้ อีกทางหนึ่งด้วย

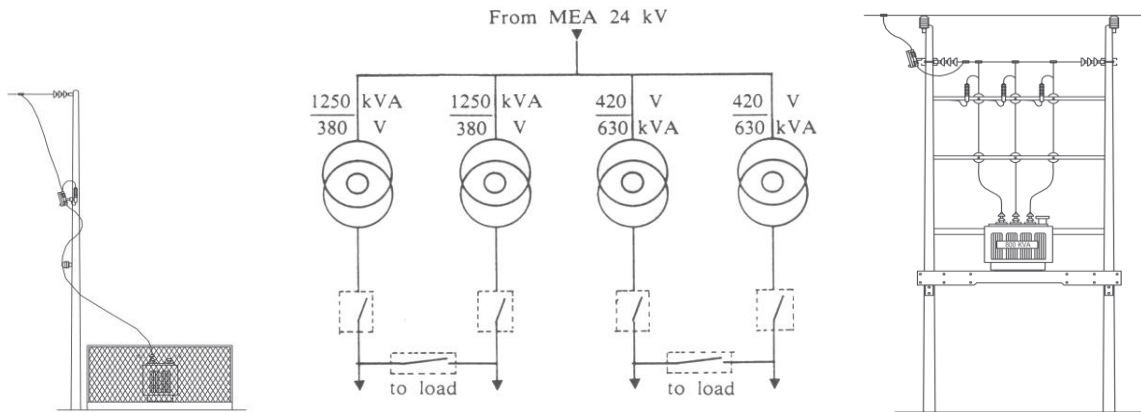
พิจารณาตัวอย่างในรูปที่ 2-32 แสดงผลการตรวจวัดเพื่อลดการใช้หม้อแปลงจะพบว่าหม้อแปลงแต่ละตัวจ่ายโหลดน้อยมาก โดยหม้อแปลงแต่ละตัวจ่ายโหลดไม่เกิน 20 % หากพิจารณารวมโหลดของหม้อแปลงตัวที่ 1 และ 2 เข้าด้วยกัน และรวมโหลดของหม้อแปลงตัวที่ 3 และ 4 เข้าด้วยกัน ก็จะสามารถปลดหม้อแปลงได้ 2 ตัว เป็นการใช้งานหม้อแปลงให้มีจุดทำงานที่มีประสิทธิภาพที่สูงขึ้น และลดการสูญเสียโดยไม่จำเป็น

ตารางที่ 2-6 ค่าการสูญเสียของหม้อแปลงสำหรับรับไฟฟ้าแรงสูง 22 kV

| ขนาด<br>kVA | V1 / V2<br>(kV / V) | หม้อแปลงธรรมดา                     |                                     |                    | หม้อแปลงประสิทธิภาพสูง             |                                     |                    |
|-------------|---------------------|------------------------------------|-------------------------------------|--------------------|------------------------------------|-------------------------------------|--------------------|
|             |                     | สูญเสียขณะ<br>ไม่มีโหลด<br>(วัตต์) | สูญเสียเนื่อง<br>จากโหลด<br>(วัตต์) | ประสิทธิภาพ<br>(%) | สูญเสียขณะ<br>ไม่มีโหลด<br>(วัตต์) | สูญเสียเนื่อง<br>จากโหลด<br>(วัตต์) | ประสิทธิภาพ<br>(%) |
| 315         | 22/400              | 900                                | 3,900                               | 98.47              | 700                                | 3,900                               | 98.53              |
| 400         | 22/400              | 980                                | 4,600                               | 98.60              | 850                                | 4,600                               | 98.63              |
| 500         | 22/400              | 1,150                              | 5,500                               | 98.67              | 1,000                              | 5,500                               | 98.70              |
| 630         | 22/400              | 1,350                              | 6,500                               | 98.75              | 1,200                              | 6,500                               | 98.77              |
| 800         | 22/400              | 1,600                              | 11,000                              | 98.43              | 1,300                              | 11,000                              | 98.46              |
| 1,000       | 22/400              | 1,900                              | 13,500                              | 98.46              | 1,600                              | 13,500                              | 98.49              |
| 1,250       | 22/400              | 2,300                              | 16,400                              | 98.50              | 1,800                              | 16,400                              | 98.54              |
| 1,500       | 22/400              | 2,800                              | 19,800                              | 98.50              | 2,100                              | 19,800                              | 98.54              |
| 2,000       | 22/400              | 3,250                              | 24,000                              | 98.63              | 2,700                              | 24,000                              | 98.67              |

ตารางที่ 2-7 ค่าการสูญเสียของหม้อแปลงรุ่นหนึ่งสำหรับรับไฟฟ้าแรงสูง 33 kV ของผู้ผลิตรายหนึ่ง

| <ul style="list-style-type: none"> <li>Rated Primary Voltage : 33 kV.</li> <li>Secondary Voltage : 433/250 V., 400/230 V.</li> </ul>                            |                             |                                      |                                    |                                 |                      |                 |  |                                 | <b>(ON LOAD TAP CHANGER)<br/>HERMETICALLY SEALED</b> |      |      | Page 4 of 6             |                           |
|---|-----------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|----------------------|-----------------|--|---------------------------------|--|------|------|-------------------------|---------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Rated Primary Voltage : 33 kV.</li> <li>Secondary Voltage : 3.3 kV., 6.6 kV., 11 kV., (2000 kVA. - 5000 kVA.)</li> </ul> |                             |                                      |                                    |                                 |                      |                 |  |                                 |  |      |      |                         |                           |
| Capacity<br>(kVA.)  | No-Load<br>Losses<br>Po (W) | Load<br>Losses<br>at 75°C.<br>PK (W) | Total<br>Losses<br>at 75°C.<br>(W) | Impedance<br>at 75°C.<br>Un (%) | Efficiency<br>P.F.=1 |                 | Voltage<br>Regulation<br>P.F.=1<br>(%) | Noise<br>Level<br>dB<br>(A):1m. | Outline Dimension<br>Approx.(mm.)                    |      |      | Oil<br>qty.<br>(Litres) | Total<br>Weight<br>(kgs.) |
|   |                             |                                      |                                    |                                 | 1/2<br>Load(%)       | Full<br>Load(%) |  |                                 | H  | L    | M    |                         |                           |
| 50  | 230                         | 1050                                 | 1280                               | 4                               | 98.07                | 97.50           | 2.16                                   | 45                              | 1185   | 1170 | 670  | 165                     | 500                       |
| 100   | 350                         | 1750                                 | 2100                               | 4                               | 98.45                | 97.94           | 1.82                                   | 46                              | 1270   | 1275 | 685  | 205                     | 680                       |
| 160   | 500                         | 2350                                 | 2850                               | 4                               | 98.66                | 98.25           | 1.54                                   | 47                              | 1355   | 1330 | 720  | 270                     | 925                       |
| 200   | 590                         | 2850                                 | 3440                               | 4                               | 98.71                | 98.31           | 1.50                                   | 47                              | 1390   | 1380 | 805  | 285                     | 1015                      |
| 250   | 700                         | 3250                                 | 3950                               | 4                               | 98.80                | 98.14           | 1.37                                   | 48                              | 1405   | 1410 | 815  | 335                     | 1230                      |
| 315   | 850                         | 3900                                 | 4750                               | 4                               | 98.85                | 98.51           | 1.31                                   | 50                              | 1445   | 1425 | 825  | 370                     | 1405                      |
| 400   | 950                         | 4600                                 | 5550                               | 4                               | 98.86                | 98.63           | 1.22                                   | 50                              | 1450   | 1470 | 840  | 365                     | 1520                      |
| 500   | 1100                        | 5500                                 | 6600                               | 4                               | 99.02                | 98.70           | 1.17                                   | 52                              | 1525   | 1560 | 860  | 400                     | 1850                      |
| 630   | 1300                        | 6500                                 | 7800                               | 4                               | 99.08                | 98.78           | 1.11                                   | 52                              | 1585   | 1560 | 880  | 475                     | 2100                      |
| 750   | 1500                        | 9000                                 | 10500                              | 5                               | 99.01                | 98.62           | 1.32                                   | 54                              | 1640   | 1705 | 990  | 525                     | 2400                      |
| 800   | 1500                        | 9900                                 | 11400                              | 5                               | 99.02                | 98.60           | 1.35                                   | 54                              | 1640   | 1705 | 990  | 600                     | 2400                      |
| 1000  | 1800                        | 12500                                | 14300                              | 5.5                             | 99.02                | 98.59           | 1.39                                   | 54                              | 1705   | 1970 | 1210 | 660                     | 2840                      |
| 1250  | 2100                        | 14500                                | 16600                              | 6                               | 99.09                | 98.69           | 1.33                                   | 56                              | 1735   | 2010 | 1230 | 755                     | 3240                      |
| 1500  | 2300                        | 17500                                | 19800                              | 6                               | 99.12                | 98.70           | 1.34                                   | 56                              | 1795   | 2010 | 1175 | 890                     | 3885                      |
| 1600  | 2300                        | 19500                                | 21800                              | 6                               | 99.11                | 98.66           | 1.39                                   | 56                              | 1795   | 2010 | 1175 | 945                     | 3960                      |
| 2000  | 2900                        | 22500                                | 25400                              | 6                               | 99.15                | 98.75           | 1.30                                   | 56                              | 1905   | 2125 | 1265 | 1025                    | 4670                      |
| 2500  | 3300                        | 26500                                | 29800                              | 6                               | 99.21                | 98.82           | 1.23                                   | 56                              | 2070   | 2180 | 1290 | 1200                    | 5445                      |
| 3000  | 3800                        | 30500                                | 34300                              | 6                               | 99.24                | 98.87           | 1.19                                   | 56                              | 2120   | 2260 | 1310 | 1350                    | 6155                      |
| 4000  | 4700                        | 36000                                | 40700                              | 6                               | 99.32                | 98.99           | 1.08                                   | 56                              | 2260   | 2520 | 1550 | 2175                    | 8585                      |
| 5000  | 5500                        | 42000                                | 47500                              | 6                               | 99.36                | 99.06           | 1.02                                   | 56                              | 2340   | 2620 | 1580 | 2275                    | 9945                      |



| Transformer | Rating (KVA) | Actual (KVA) | Load factor (Percentage) |
|-------------|--------------|--------------|--------------------------|
| No. 1       | 1250         | 240          | 19                       |
| No. 2       | 1250         | 176          | 14                       |
| No. 3       | 630          | 71           | 11                       |
| No. 4       | 630          | 108          | 17                       |

รูปที่ 2-32 ผลการตรวจวัดเพื่อลดการใช้หม้อแปลง

หากต้องการหาประสิทธิภาพของหม้อแปลง สามารถคำนวณได้จากสมการข้างล่างนี้

$$\text{ประสิทธิภาพ} = \frac{\text{กำลังไฟฟ้าที่จ่าย}}{\text{กำลังไฟฟ้าที่จ่าย} + \text{กำลังไฟฟ้าที่สูญเสียไปขณะไม่มีโหลด} + \text{กำลังไฟฟ้าที่สูญเสียไปขณะมีโหลด}}$$

ประสิทธิภาพสูงสุดจะเกิดขึ้นเมื่อ Copper Loss = Iron Loss

$$\text{ประสิทธิภาพทั้งวัน} = \frac{\text{กำลังไฟฟ้าที่จ่าย} \times \text{ชั่วโมงที่จ่ายไฟฟ้าในแต่ละวัน}}{(\text{กำลังไฟฟ้าที่จ่าย} \times \text{ชั่วโมงที่จ่ายไฟฟ้าในแต่ละวัน}) + (\text{กำลังไฟฟ้าสูญเสียขณะไม่มีโหลด} \times 24) + (\text{กำลังไฟฟ้าสูญเสียขณะมีโหลด} \times \text{ชั่วโมงที่จ่ายไฟฟ้าในแต่ละวัน})}$$

อนึ่ง โดยปกติแรงดันของระบบไฟฟ้าจำหน่ายในรอบวันอาจจะไม่คงที่นัก เพราะพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าในระบบไม่ได้มีการใช้ไฟฟ้าอย่างสม่ำเสมอ อีกทั้งทางฝั่งระบบไฟฟ้าแรงต่ำ ก็มีการเปิดใช้งานอุปกรณ์ หรือเครื่องจักรที่อาจจะไม่คงที่เช่นกัน เป็นผลให้แรงดันไฟฟ้า ณ จุดใช้งานอาจจะมีค่าแรงดันใช้งานไม่ตรงกับค่าในทางทฤษฎีซึ่งในทางปฏิบัติแล้ว วิศวกรไฟฟ้าจะออกแบบให้ระบบมีค่าแรงดันไฟฟ้าสูงกว่าค่าแรงดันใช้งานในทางทฤษฎี เพื่อต้องการเผื่อแรงดันตกในสายไฟในช่วงที่มีการใช้กระแสหนัก ๆ ด้วย ดังนั้นจากเหตุผลที่กล่าวมานี้ทำให้ผลการตรวจวัดค่าแรงดันไฟฟ้าในโรงงานหรืออาคารมักจะพบว่า บ้างก็มีแรงดันเกินแรงดันใช้งานไปมาก บ้างก็มีแรงดันเกินแรงดันใช้งานไปน้อย และมีในบางกรณีที่แรงดันใช้งานใกล้เคียงกับแรงดันใช้งาน

สำหรับระบบไฟฟ้าของประเทศไทยนั้น ค่าแรงดันใช้งานตามปกติ (ตามทฤษฎี) คือ ระบบไฟฟ้า 3 เฟส มีค่าแรงดันใช้งานอยู่ที่ 380 V และระบบไฟฟ้า 1 เฟส มีค่าแรงดันใช้งานอยู่ที่ 220 V ในกรณีที่ตรวจวัดแรงดันไฟฟ้า ณ ตำแหน่งปลายสายไฟหรือตำแหน่งที่ห่างจากตู้ควบคุมไฟฟ้ามาก ๆ แล้วพบว่าแรงดันเกินแรงดันไปจากแรงดันใช้งานมาก อาจมีผลให้อุปกรณ์บางชนิดใช้ไฟฟ้ามากขึ้นตามไปด้วย ที่เห็นได้ชัดได้แก่ หลอดไฟฟ้า ซึ่งมีสัดส่วนการใช้ไฟฟ้ามากพอสมควร และมีอุปกรณ์อีกหลายประเภทเมื่อแรงดันไฟฟ้าที่ได้รับสูงขึ้น ก็อาจใช้ไฟฟ้ามากขึ้นบ้างเล็กน้อย ทำให้โดยภาพรวม ในกรณีที่แรงดันไฟฟ้าในระบบเกินไปจากค่าแรงดันใช้งานมากการสูญเสียในระบบก็จะมีค่ามากตามไปด้วย เป็นผลให้มีการสูญเสียในสายและในหม้อแปลงมากขึ้นอีกด้วย

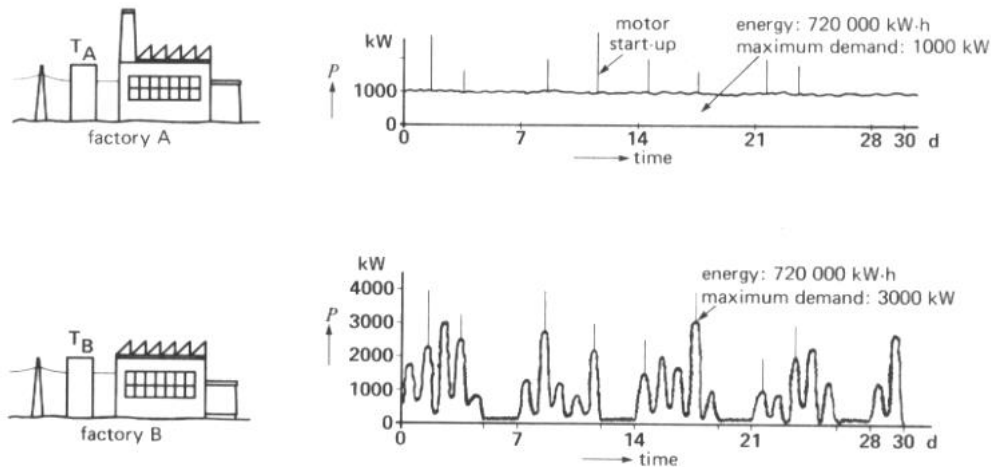
การแก้ไขสามารถทำได้โดยตรวจวัดแรงดันไฟฟ้าที่ปลายสาย หลายๆ ตำแหน่ง และหลายช่วงเวลา โดยเฉพาะอย่างยิ่ง หากพบว่าในช่วงเวลาที่มีการใช้ไฟฟ้ามาก ๆ แล้ว แรงดันในระบบยังเกินจากแรงดันใช้งานไปมาก มาตรการอนุรักษ์พลังงานอันหนึ่งซึ่งพึงกระทำได้ คือ ลดแรงดันไฟฟ้า โดยสามารถปรึกษากับการไฟฟ้าในพื้นที่เพื่อใช้บริการปรับลด Tap ของหม้อแปลงให้มี



แรงดันไฟฟ้าด้านแรงต่ำลดลง หรือในกรณีที่สถานีประกอบการมีระบบรองรับการปรับ Tap หม้อแปลงได้อยู่แล้ว ก็อาจจะดำเนินการได้เอง อย่างไรก็ตามเนื่องจากแรงดันไฟฟ้าในรอบวันมีค่าไม่คงที่ตามปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่ไม่แน่นอน และแต่ละพื้นที่ ๆ ให้บริการของการไฟฟ้าก็มีพฤติกรรมของแรงดันไฟฟ้าที่ไม่เหมือนกัน จึงยากที่จะคำนวณให้ประจักษ์ว่าจะประหยัดค่าไฟฟ้าได้เท่าใดแน่ (สามารถคำนวณตามทฤษฎีพอเป็นข้อมูลประกอบการพิจารณาได้ แต่ก็อาจจะคลาดเคลื่อนไปจากข้อเท็จจริงได้บ้าง) เพราะผลประหยัดที่ชัดเจนที่สุด คือผลประหยัดจากการตรวจวัดเป็นระยะเวลานาน ๆ มาตรการนี้ จึงเหมาะที่จะเป็นมาตรการประเภทที่ไม่ต้องลงทุนมากนัก เพื่อลดความเสี่ยงจากความไม่แน่นอนของการคำนวณ

**2.6 การลดค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุด และการบริหารพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้า**

เนื่องจากค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุด หรือค่าความต้องการพลังไฟฟ้าที่ได้กล่าวถึงมาแล้วก่อนหน้านี้ เป็นค่าใช้จ่ายที่ผู้ใช้ไฟส่วนใหญ่ต้องการจะลดเป็นอย่างมาก ดังนั้นในการบริหารจัดการการใช้ไฟฟ้าจึงควรสังเกตพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าไว้เป็นสิ่งสำคัญ โดยเครื่องมือที่ดีในการประกอบการพิจารณา คือ กราฟแสดงพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าเป็นรายสัปดาห์ (Weekly Load Curve) เพื่อจะได้ทราบว่าช่วงเวลาใด เป็นช่วงเวลาที่มีการใช้ไฟฟ้าค่อนข้างสูงและควรหลีกเลี่ยงการใช้งานอุปกรณ์พร้อม ๆ กัน นอกจากนี้ ยังทำให้ทราบอีกว่าวันหยุดเสาร์-อาทิตย์ มีพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าเป็นเช่นไร เมื่อพิจารณาประกอบกับโครงสร้างค่าไฟฟ้าแล้ว จะได้ทราบว่าในช่วงเวลาใดความต้องการพลังไฟฟ้าแพง จะได้ทำการหลีกเลี่ยง (สำหรับอัตรา TOD) หรือ ในช่วงเวลาใดค่าไฟฟ้าต่อหน่วยแพง จะได้ทำการหลีกเลี่ยง (สำหรับอัตรา TOU) ดังนั้นหากทราบโครงสร้างค่าไฟฟ้าของโรงงานหรืออาคารที่รับผิดชอบ และมีกราฟแสดงพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าแล้ว ก็จะช่วยให้การวางแผนลดค่าไฟฟ้าเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ



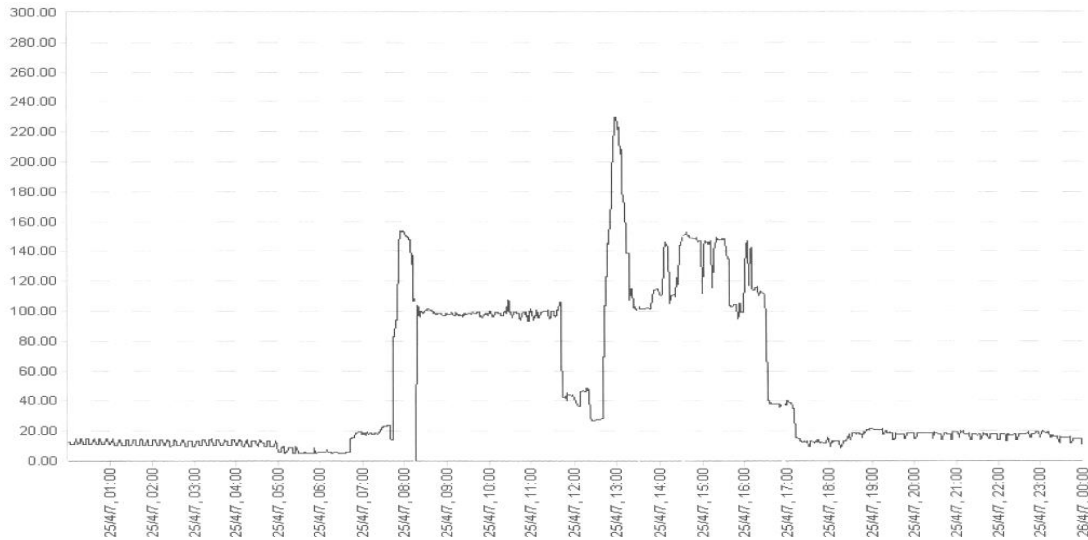
รูปที่ 2-33 กราฟแสดงพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้ารายเดือนของโรงงาน 2 กรณี

พิจารณารูปที่ 2-33 ซึ่งเป็นกราฟแสดงพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของโรงงาน 2 กรณี จะพบว่า

|                            | Factory A   | Factory B |
|----------------------------|---|-----------|
| หน่วยไฟฟ้าที่ใช้           | 720,000 เท่ากัน   |           |
| ค่า Ft                     | จ่ายเท่ากัน เพราะหน่วยเท่ากัน   |           |
| ความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุด | 1000 kW   | 3000 kW   |
| ขนาดหม้อแปลง               | Factory B > Factory A<br>(เพราะกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ใช้ไม่เท่ากัน)                                      |           |
| การสูญเสียในหม้อแปลง       | Factory B > Factory A<br>(No Load Loss ไม่เท่ากัน และหม้อแปลง ของ Factory B ประสิทธิภาพ น่าจะต่ำกว่า) |           |
| ค่าไฟฟ้ารวม                | Factory B > Factory A   |           |

จากตัวอย่างนี้ จะเห็นว่าโรงงาน 2 แห่งนี้ใช้พลังงานไฟฟ้าเท่ากัน (หน่วยใช้ไฟเท่ากัน) แต่มีค่าใช้จ่ายรวมไม่เท่ากัน ดังนั้น หาก Factory B สามารถปรับปรุงพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าได้เหมือน Factory A แล้ว ค่าไฟฟ้าก็จะลดลงเพราะค่าความต้องการพลังไฟฟ้าลดลง แต่ถือว่าไม่มีการอนุรักษ์พลังงานเกิดขึ้น เพราะหน่วยไฟฟ้าที่ใช้อย่างเดิม

ลองพิจารณาผู้ใช้ไฟฟ้าอัตรา TOU รายหนึ่ง จากอัตราค่าไฟฟ้าในรูปที่ 2-34 จะเห็นว่าค่าไฟฟ้าในช่วง Peak (09.00 – 22.00 น. ของวันจันทร์ถึงวันศุกร์ เว้นวันหยุดราชการ ไม่นับวันหยุดชดเชย) แพงกว่าช่วง Off Peak (ช่วงเวลาที่ยกเว้นจาก Peak) กว่า 2 เท่า โดยเสียค่าความต้องการพลังไฟฟ้าเฉพาะช่วง Peak เท่านั้น

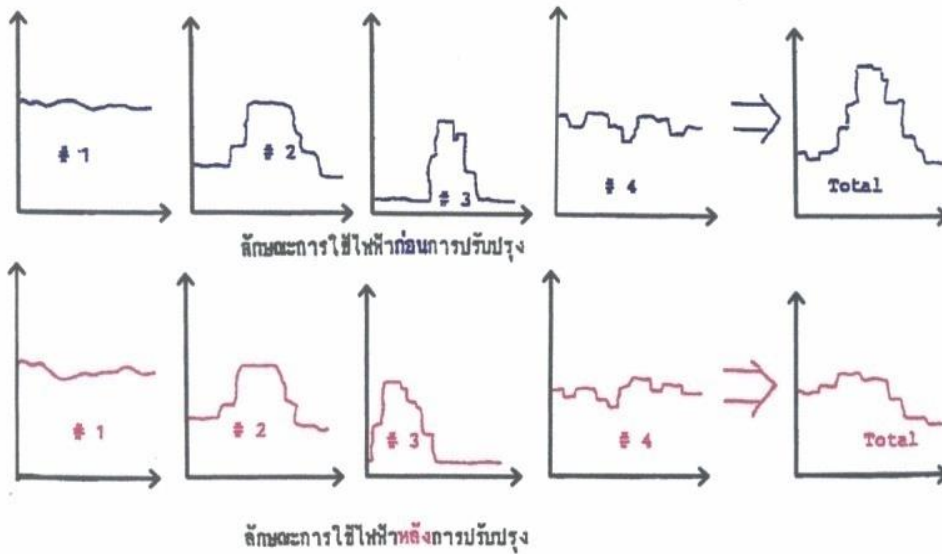
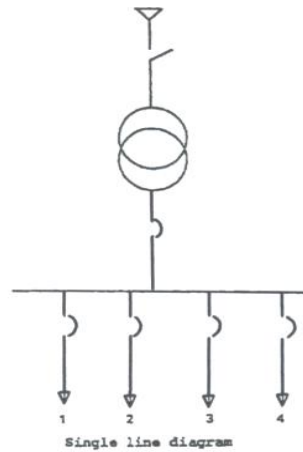


รูปที่ 2-34 กราฟแสดงพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้ารายวันของโรงงานแห่งหนึ่ง

จากกราฟจะเห็นว่า โรงงานแห่งนี้ไม่ได้ใช้ประโยชน์จากโครงสร้างค่าไฟฟ้าเลย เพราะใช้ไฟในช่วง Peak ซึ่งเป็นช่วงค่าไฟแพงเป็นหลัก ในช่วงค่าไฟถูกไม่ได้ใช้ให้เกิดประโยชน์เลย อีกทั้ง มีพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอ หากค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดคือ ค่า 230 kW ในช่วงบ่ายดังที่ปรากฏในรูป การจ่ายค่าความต้องการพลังไฟฟ้าในลักษณะนี้ ถือว่าไม่คุ้มค่า เพราะช่วงเวลาอื่นๆในรอบวัน ไม่ได้มีการใช้ไฟฟ้าสูงกว่า 160 kW เลย และช่วงเวลาส่วนใหญ่มีการใช้ไฟน้อยเสียอีกด้วย ดังนั้นหากต้องการให้ค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดมีค่าลดลง ก็ต้องเพิ่มความสม่ำเสมอของกราฟให้มากขึ้น คือ เปลี่ยนการใช้งานอุปกรณ์ให้ใช้งานไม่พร้อมกันให้ได้มากที่สุด ในกรณีของโรงงานที่เปิดทำงานตลอด 24 ชั่วโมง จะสามารถบริหารพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าได้ง่ายกว่าโรงงานที่ทำงาน 8 – 10 ชั่วโมงต่อวัน ในทำนองเดียวกันอาคารสำนักงานของส่วนราชการจะบริหารพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าให้สม่ำเสมอได้ยากกว่าอาคารธุรกิจหรือโรงพยาบาลที่มีชั่วโมงการทำงานต่อวันที่มากกว่า

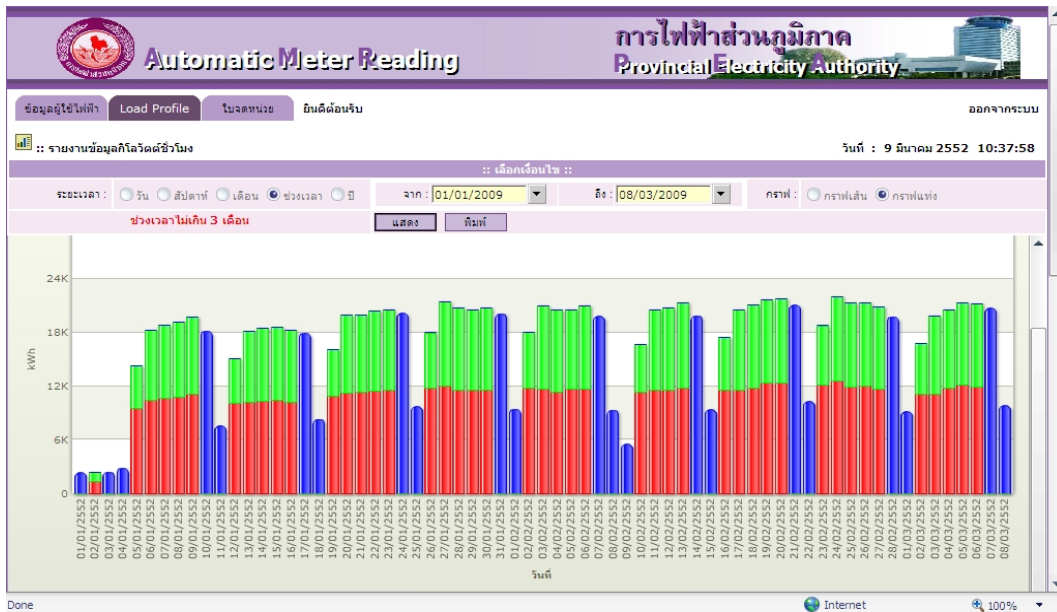
**หมายเหตุ** ผู้เชี่ยวชาญแนะนำให้พิจารณาความคุ้มค่าในการจ่ายค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดจากค่า Load Factor (ค่าเฉลี่ยต่อค่าสูงสุด) ว่ามีค่าเท่าใด หากมีค่าตั้งแต่ 0.9 ขึ้นไป ถือว่าคุ้มค่าที่จะใช้อัตรา TOU

ในกรณีของโรงงานขนาดใหญ่ที่มีการติดตั้งเครื่องวัดคอยเฝ้าดูการใช้พลังงานของกระบวนการผลิตย่อย หรือโรงงานย่อย และสามารถทราบกราฟแสดงพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าได้ อาจจะบริหารการใช้ไฟฟ้าได้ดังรูปที่ 2-35 โดยกราฟทางขวา คือกราฟแสดงพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าในรอบวัน ซึ่งได้มาจากการเอากราฟของโรงงานย่อยทั้ง 4 บวกกัน ซึ่งจะเห็นได้ว่าความต้องการพลังไฟฟ้ามีค่าสูง เมื่อทำการบริหารระบบ โดยมีการย้ายเวลาการทำงานของโรงงานย่อยที่ 3 (ถือว่ามีการใช้ไฟฟ้าเท่าเดิมและเหมือนเดิม) ให้ทำงานเร็วขึ้นจะพบว่าหลังการปรับปรุงการทำงานกราฟทางขวามีค่าความต้องการพลังไฟฟ้าลดลงอย่างเห็นได้ชัด

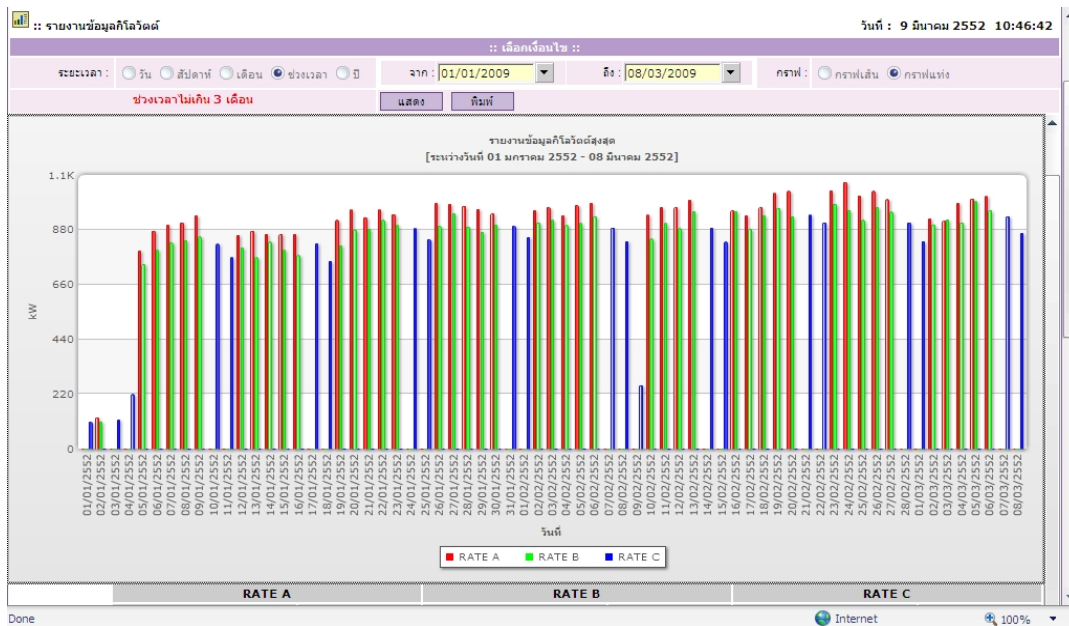


รูปที่ 2-35 แสดงการลดค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยการย้ายเวลาการทำงาน

ในพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคในปัจจุบัน กรณีของผู้ใช้ไฟฟ้ายรายใหญ่ ทางการไฟฟ้าได้เริ่มโครงการพัฒนาการอ่านหน่วยด้วยระบบอัตโนมัติ หรือระบบ Automatic Meter Reading (AMR) โดยการไฟฟ้าเป็นผู้ลงทุนติดตั้งเครื่องวัดให้ แล้วมีการส่งข้อมูลการใช้ไฟฟ้าผ่านระบบ GPRS หรือ GSM เข้าไปยังศูนย์ข้อมูลของการไฟฟ้าทุก ๆ 15 นาที ทั้งนี้ ผู้ใช้ไฟสามารถเข้าไปดูข้อมูลประวัติการใช้ไฟฟ้าของตนเองได้ทางเว็บไซต์ตลอดเวลา โดยมีการปรับปรุงข้อมูลอย่างต่อเนื่อง (Real Time) ดังตัวอย่างในรูปที่ 2-36 และ 2-37 ซึ่งอาจเป็นประโยชน์ต่อการบริหารจัดการการใช้ไฟฟ้าได้พอสมควร โดยที่ผู้ใช้ไฟไม่ต้องลงทุน



รูปที่ 2-36 แสดงหน่วยใช้ไฟฟ้า (kWh) ผ่านระบบ AMR ของผู้ใช้ไฟฟ้ารายหนึ่ง

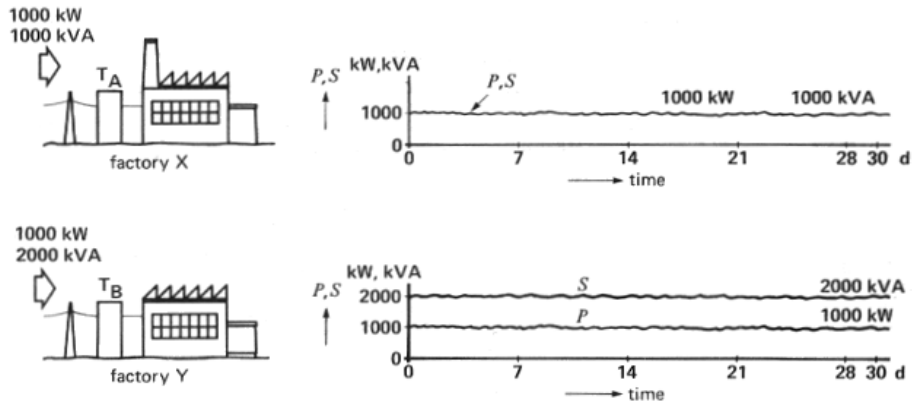


รูปที่ 2-37 ความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดผ่านระบบ AMR ของผู้ใช้ไฟฟ้ารายหนึ่ง

จากรูปที่ 2-36 จะเห็นว่า การใช้ไฟฟ้าในช่วงวันหยุด (วันอาทิตย์) หน่วยไฟฟ้าที่ใช้มีค่าลดลงต่ำกว่าปกติ หากโรงงานแห่งนี้ต้องการใช้ประโยชน์จากโครงสร้างค่าไฟฟ้าแบบ TOU ก็อาจจะพิจารณาการทำงานในช่วง Peak เพื่อมาเพิ่มการทำงานในวันอาทิตย์แทน เพื่อลดค่าใช้จ่ายลง เพราะช่วง Off Peak ค่าไฟถูกกว่าในช่วง Peak มาก นี่ก็เป็นอีกช่องทางหนึ่งที่กระทำได้

จะเห็นได้ว่า หากมีข้อมูลที่เพียงพอ การบริหารจัดการการใช้ไฟฟ้าก็สามารถพิจารณาได้อย่างมีตรรกะที่ชัดเจน แต่ก็มีความรู้ข้อมูลที่มากเพียงพอที่จะยืนยันแนวความคิดใหม่ๆ ได้

คำถาม จากข้อมูลข้างล่างนี้ Factory X และ Factory Y ใช้กำลังไฟฟ้า 1,000 kW เท่ากัน จงพิจารณาว่ามีความแตกต่างของการใช้ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นอย่างไร



ตอบ

- Factory X ใช้พลังงานเท่ากับ Factory Y เพราะมีการใช้กำลังไฟฟ้า 1000 kW เท่ากัน ความต้องการพลังไฟฟ้าจึงเท่ากัน
- หากทำงานด้วยจำนวนชั่วโมงที่เท่ากันแล้ว หน่วยไฟฟ้าที่ใช้ (kWh) ก็จะเท่ากันด้วย แต่ Factory X มีค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าสูงกว่า Factory Y เพราะใช้กำลังไฟฟ้า  $P = S$  หรือ  $\cos \theta = \frac{P}{S} = 1$

ขณะที่ Factory Y ใช้กำลังไฟฟ้า  $P = 0.5 S$  หรือ  $\cos \theta = \frac{P}{S} = 0.5$

∴ Factory Y ต้องเสียค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (ค่าปรับ) อย่างแน่นอน

- เพราะ Factory Y ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าค่อนข้างต่ำ กระแสที่ไหลผ่านหม้อแปลงและสายไฟจึงมากกว่ามีการสูญเสียในระบบส่งจ่ายที่มากกว่า
  - จะเห็นว่า Factory Y ใช้กำลังไฟฟ้าในหน่วย kVA มากกว่า Factory X ถึง 2 เท่า ดังนั้น Factory Y จึงต้องใช้หม้อแปลงขนาดใหญ่กว่า Factory X อย่างน้อย 2 เท่าด้วย (เงินลงทุนด้านระบบไฟฟ้าก็ไม่เท่ากัน)
  - เพราะ Factory Y ใช้หม้อแปลงขนาดใหญ่กว่า จึงมี No Load Loss มากกว่าด้วย
- ∴ Factory Y น่าจะมีค่าไฟฟ้าแพงกว่า Factory X

## 2.7 การพิจารณาเพื่อคัดเลือกกิจกรรมที่เหมาะสม

การทำกิจกรรมมีทั้งมาตรการที่ไม่ต้องลงทุนและมาตรการที่ต้องลงทุน และในแต่ละมาตรการมีกิจกรรมหรือทางเลือกในการอนุรักษ์พลังงานมากมาย ดังนั้นเพื่อให้ สามารถคัดเลือกกิจกรรมที่เหมาะสมและได้ ประสิทธิภาพมากที่สุดจำเป็นต้องมีการศึกษาและพิจารณาความเป็นไปได้และศักยภาพในการดำเนินกิจกรรม โดยพิจารณาจาก

- ผลการประหยัดพลังงาน กิจกรรมที่มีการประหยัดพลังงานมากจะเป็นทางเลือกที่น่าสนใจมากกว่ากิจกรรมที่ประหยัดพลังงานได้น้อยกว่า
- เงินลงทุนที่ใช้ กิจกรรมใดที่มีเงินลงทุนต่ำหรือไม่จำเป็นต้องใช้เงินลงทุน แต่มีผลการประหยัดพลังงานมากถือเป็นมาตรการที่มีความน่าสนใจที่จะดำเนินการมาก
- ระยะเวลาคืนทุนและอายุการใช้งานของอุปกรณ์ กิจกรรมใดที่มีระยะเวลาคืนทุนสั้นเมื่อเทียบกับอายุการใช้งาน ถือเป็นมาตรการที่น่าสนใจเนื่องจากหลังจากที่คืนทุนแล้วผลการประหยัดพลังงานที่ได้คือกำไร
- ระยะเวลาในการดำเนินการ กิจกรรมที่ดำเนินการง่ายและใช้ระยะเวลาอันน้อยยิ่งทั้งไม่กระทบกับกระบวนการผลิตของโรงงานจัดเป็นมาตรการที่น่าสนใจ
- กำลังคนที่ต้องใช้กิจกรรมที่ต้องใช้คนมากมักจะเป็นกิจกรรมที่ยุงยาก

การกำหนดว่ากิจกรรมใดหรือทางเลือกใดควรดำเนินการก่อนหลัง ควรประเมินดังนี้

- การประเมินเบื้องต้น สามารถทำให้เห็นลักษณะความซับซ้อน และศักยภาพเบื้องต้นของแต่ละกิจกรรม ซึ่งกิจกรรมที่เปลี่ยนวิธีทำงานได้ง่าย ลงทุนต่ำและผลกระทบต่อคนอื่น ๆ ต่ำ สามารถลงมือปฏิบัติได้ในทันทีและอาจไม่จำเป็นต้องศึกษาประเมินละเอียดในขั้นต่อไป ควรได้รับการพิจารณาเป็นระดับต้น ตัวอย่างได้แก่ การปรับเปลี่ยนพฤติกรรมและการฝึกอบรมให้แก่พนักงาน
- การประเมินทางเทคนิค สามารถทำการประเมินโดยการทดลองจริงในบางส่วนของการผลิตหรือศึกษาจากมาตรการที่ประสบความสำเร็จแล้วจากบริษัทอื่นหรือความรู้จากผู้เชี่ยวชาญ
- การประเมินทางเศรษฐศาสตร์ ควรพิจารณาข้อเสนอหรือกิจกรรมที่ให้ผลตอบแทนที่คุ้มค่าการลงทุนมากที่สุด และมีระยะเวลาคืนทุนสั้นที่สุด

วิธีการประเมินแบบง่ายและเป็นที่ยอมรับคือการประเมินจากระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$(ป) = \frac{\text{เงินลงทุนทั้งหมด (บาท)}}{\text{ระยะเวลาคืนทุน} \times \text{ผลประโยชน์ที่ได้รับต่อปี (บาท/ปี)}}$$

## 2.8 กรณีศึกษา

### กรณีศึกษาที่ 1 การปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน

สถานประกอบการแห่งหนึ่ง มีการใช้หม้อแปลงไฟฟ้า 2 ลูก คือ MDB 1 และMDB 2 ทางด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงมีค่าแรงดันไฟฟ้า 403 V และมีค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ค่อนข้างต่ำ คือที่ MDB 1 มีค่า 0.81 และMDB 2 มีค่า 0.78 จากข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าของโรงงาน มีค่าพลังไฟฟ้าสูงสุดเฉลี่ย 1,100 kW

ปัญหาของอุปกรณ์/ระบบก่อนปรับปรุง

เนื่องจากตัวเก็บประจุไฟฟ้าที่ตู้ MDB เสีย ทำให้ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ต่ำ เกิด Copper loss ในหม้อแปลงไฟฟ้า จึงต้องมีการปรับปรุงค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์จาก 0.81 และ 0.78 ให้สูงขึ้น โดยการติดตั้งตัวเก็บประจุใหม่ (Capacitor) ที่ Load Center ของ MDB 1 และ MDB 2 จะทำให้กระแสไฟฟ้าและ Copper loss ของหม้อแปลงไฟฟ้าลดลง

แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินการ

ติดตั้ง Capacitor ที่ตู้ MDB 1 และ MDB 2 เพื่อปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าจาก 0.81 และ 0.78 ให้มีค่าสูงขึ้นมากกว่า 0.85

ก่อนปรับปรุง



สภาพหลังปรับปรุง

ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าที่ตู้ MDB 1 และ MDB 2 มีค่าเท่ากับ 0.90 และ 0.96 ตามลำดับ ทำให้มีการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าลดลง



หลังปรับปรุง

|                      |   |
|----------------------|---|
| ระยะเวลาดำเนินการ    | เดือนธันวาคม พ.ศ. 2550                  |
| เงินลงทุน            | 240,000.00 บาท                          |
| พลังงานที่ประหยัดได้ | 91,584.00 kWh/ปี คิดเป็น 0.0078 ktoe/ปี |
| ผลประโยชน์ที่ได้     | 262,846.08 บาท/ปี                       |
| ระยะเวลาคืนทุน       | 0.91 ปี                                 |

ข้อเสนอแนะ

ทางบริษัทควรตรวจสอบค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์อย่างสม่ำเสมอ ถ้ามีค่าน้อยกว่า 0.85 ให้รีบดำเนินการแก้ไขทันที  
วิธีการคำนวณผลการอนุรักษ์พลังงาน

ตู้ MDB 1

$$\begin{aligned} \text{เปอร์เซ็นต์การประหยัด} &= [1 - (PF_{\text{เดิม}} / PF_{\text{ใหม่}})^2] \times 100 \\ &= [1 - (0.81 / 0.90)^2] \times 100 \end{aligned}$$

$$\text{ดังนั้นสามารถลด Copper loss ลงมาได้} = 19 \%$$

หม้อแปลงขนาด 2,000 kVA มีการสูญเสียที่ Copper loss เท่ากับ 24 kW

ดังนั้น ถ้าปรับปรุงเพาเวอร์แฟคเตอร์แล้วจะประหยัดได้

$$\text{พลังงานที่ประหยัดได้} = 24 \times 0.19 \text{ kW}$$

|  |   |   |        |
|--|---|---|--------|
|  | = | 4.56  | kW     |
| พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัด   | = | $kW_{\text{ที่ประหยัด}} \times \text{ชั่วโมงทำงานต่อวัน} \times \text{วันทำงานต่อปี}$ |        |
|  | = | $4.56 \times 24 \times 300$   | kWh/ปี |
|  | = | 32,832  | kWh/ปี |
| จำนวนเงินที่ประหยัด  | = | $32,832.00 \times 2.87$   | บาท/ปี |
|  | = | 94,227.84   | บาท/ปี |
| <u>ตู้ MDB 2</u>   |   |   |        |
| เปอร์เซ็นต์การประหยัด  | = | $[1 - (PF_{\text{เดิม}} / PF_{\text{ใหม่}})^2] \times 100$                            |        |
|  | = | $[1 - (0.78 / 0.96)^2] \times 100$  |        |
|  | = | 34 %  |        |
| หม้อแปลงขนาด 2,000 kVA มีการสูญเสียที่ Copper loss เท่ากับ 24 kW |   |   |        |
| ดังนั้น ถ้าปรับปรุงเพาเวอร์แฟคเตอร์แล้วจะประหยัดได้              |   |   |        |
| พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้  | = | $24 \times 0.34$  | kW     |
|  | = | 8.16  | kW     |
| พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัด   | = | $kW_{\text{ที่ประหยัด}} \times \text{ชั่วโมงทำงานต่อวัน} \times \text{วันทำงานต่อปี}$ |        |
|  | = | $8.16 \times 24 \times 300$   | kWh/ปี |
|  | = | 58,752  | kWh/ปี |
| จำนวนเงินที่ประหยัด  | = | $58,752 \times 2.87$  | บาท/ปี |
|  | = | 168,618.24  | บาท/ปี |
| รวมพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัด  | = | $32,832 + 58,752$   | kWh/ปี |
|  | = | 91,584  | kWh/ปี |
| รวมจำนวนเงินที่ประหยัด   | = | $94,227.84 + 168,618.24$  | บาท/ปี |
|  | = | 262,846.08  | บาท/ปี |

การลงทุน

ตู้ MDB 1

1. ก่อนปรับปรุง ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า 0.81

$$\cos \theta_1 = 0.81^\circ \quad \theta_1 = 35.90^\circ$$

2. หลังปรับปรุง ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า 0.95

$$\cos \theta_2 = 0.90^\circ \quad \theta_2 = 25.84^\circ$$

3. ขนาดของ Capacitor

$$\begin{aligned}
 &= \text{ภาระไฟฟ้าจริง} \times (\tan \theta_1 - \tan \theta_2) \\
 &= kW \times (\tan \theta_1 - \tan \theta_2) \\
 &= 1,100 \times (\tan 35.90^\circ - \tan 25.84^\circ) \\
 &= 263.56 \quad \text{kVar}
 \end{aligned}$$

ตู้ MDB 2

1. ก่อนปรับปรุง ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า 0.78

$$\cos \theta_1 = 0.78^\circ \quad \theta_1 = 38.74^\circ$$

2. หลังปรับปรุง ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า 0.96

$$\cos \theta_2 = 0.96^\circ \quad \theta_2 = 16.26^\circ$$

3. ขนาดของ Capacitor

$$\begin{aligned}
 &= \text{ภาระไฟฟ้าจริง} \times (\tan \theta_1 - \tan \theta_2) \\
 &= kW \times (\tan \theta_1 - \tan \theta_2) \\
 &= 1,100 \times (\tan 38.74^\circ - \tan 16.26^\circ) \\
 &= 561.70 \quad \text{kVar}
 \end{aligned}$$



ตู้ MDB 1 ติดตั้ง Capacitor 600 kVar ขนาด 50 kVar จำนวน 12 ตัว ราคาตัวละ 13,333 บาท รวมเป็นเงิน 160,000 บาท

ตู้ MDB 2 ติดตั้ง Capacitor 600 kVar ขนาด 50 kVar จำนวน 6 ตัว ราคาตัวละ 13,333 บาท รวมเป็นเงิน 80,000 บาท

รวมเป็นเงินลงทุนทั้งสิ้น 240,000 บาท

**กรณีศึกษาที่ 2** ปรับลดระดับแรงดันไฟฟ้า

สถานประกอบการแห่งหนึ่ง ติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 2000 kVA จำนวน 3 ชุด ใช้งาน 11 ชั่วโมงต่อวัน 300 วันต่อปี

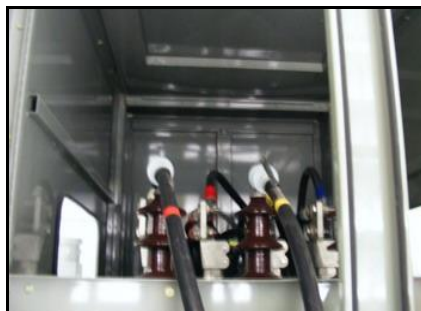
**ปัญหาของอุปสรรค / ระบบก่อนปรับปรุง**

จากการตรวจสอบแรงดันไฟฟ้าปลายทางของหม้อแปลงไฟฟ้า (หลังจากรวมโหลดแล้ว) พบว่ามีแรงดันไฟฟ้าเท่ากับทั้งสองชุดที่ 398 Volts โดยที่วัดแรงดันต้นทางได้ 406 Volts



**แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินงาน**

หม้อแปลงไฟฟ้าที่จ่ายแรงดันไฟฟ้าสูง Core loss ในตัวหม้อแปลงไฟฟ้าจะสูงตาม ถ้าสามารถลดแรงดันที่จ่ายจากหม้อแปลงไฟฟ้าลง 1 Tap (เท่ากับ 10 Volts) จะทำให้ประหยัดพลังงานไฟฟ้าลงได้  
สภาพหลังปรับปรุง



ระยะเวลาดำเนินงาน : ทุก ๆ วัน  
 ผลประหยัดที่ได้ : 6,434.83บาท/ปี คิดเป็น 0.00018 ktoe/ปี  
 ไม่ต้องใช้เงินลงทุน และ ระยะเวลาคืนทุนทันที

**วิธีการคำนวณผลการประหยัดพลังงาน**

$$\begin{aligned}
 \text{Core loss TR1 และ TR3 ลดลง} &= 2.378 \times [(406/396)^2 - 1] \times 24 \times 365 \times 2 \\
 &= 2,130.74 \text{ kWh/ ปี} \\
 \text{คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้} &= 2,130.74 \times 3.02 \\
 &= 6,434.83 \text{ บาท/ปี} \\
 \text{ค่า ktoe ที่ลดลง} &= 2,130.74 \times 85.21 \times 10^{-9}
 \end{aligned}$$

$$= 0.00018 \text{ ktoe/y}$$

**กรณีศึกษาที่ 3** ปลดไฟต้านแรงสูงของหม้อแปลงที่ไม่ได้ใช้งาน

*ความเป็นมาและลักษณะการใช้พลังงาน*

สถานประกอบการแห่งหนึ่งมีการใช้งานหม้อแปลงไฟฟ้าทั้งหมด 7 ลูก พิกัดติดตั้งรวม 4,600 kVA สำหรับจ่ายกระแสไฟฟ้าให้แก่เครื่องจักรและอุปกรณ์ต่างๆในกระบวนการผลิตของโรงงาน

*ปัญหาของอุปกรณ์/ระบบก่อนปรับปรุง*

จากการสำรวจการใช้พลังงานไฟฟ้าของโรงงาน พบว่า หม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 500 kVA จำนวน 3 ลูก ซึ่งแยกจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้แก่เครื่องผสมยาง 3 ชุด ซึ่งปัจจุบันเครื่องผสมยางได้ชำรุดไป 1 ชุด และต้องใช้ระยะเวลาในการซ่อมแซมค่อนข้างนานมาก ซึ่งส่งผลทำให้หม้อแปลงไฟฟ้าไม่ได้จ่ายโหลดไป 1 ลูก เช่นกัน แต่ยังคงเกิดความสูญเสียในแกนเหล็กของหม้อแปลงตลอดเวลา

*แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินงาน*

เนื่องจากการใช้งานหม้อแปลงไฟฟ้าโดยที่ไม่ได้จ่ายโหลด เป็นการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าในรูปของความสูญเสียในแกนเหล็กของหม้อแปลง (No Load Loss; Core Loss) ดังนั้น หากสามารถทำการปลดไฟต้านแรงสูงของหม้อแปลงดังกล่าวได้ ก็จะเป็นการช่วยประหยัดพลังงานไฟฟ้าของโรงงานได้อีกหนทางหนึ่งเช่นกัน โดยมีขั้นตอนในการดำเนินการ ดังนี้

1. ตรวจสอบแผนผังระบบไฟฟ้า (Single Line Diagram) ของโรงงาน เพื่อศึกษาการทำงานจ่ายโหลดของหม้อแปลงไฟฟ้าแต่ละลูก
2. ดำเนินการปลด Drop-out Fuse ด้านแรงสูงของหม้อแปลงที่ไม่ได้ใช้งานออก
3. วิเคราะห์ผลประหยัดที่ได้

*สภาพหลังปรับปรุง*

หลังจกดำเนินการปลดไฟต้านแรงสูงของหม้อแปลงขนาด 500 kVA ที่ไม่ได้ใช้งานในการจ่ายโหลดให้แก่เครื่องจักรแล้ว ทำให้สามารถลดความสูญเสียในแกนเหล็กของหม้อแปลงลูกดังกล่าวได้

*การปลดไฟต้านแรงสูงของหม้อแปลงที่ไม่ได้ใช้งาน*

|   |           |                                |
|---|-----------|--------------------------------|
| ระยะเวลาดำเนินการ                       | 2         | สัปดาห์                        |
| ผลประหยัดที่ได้                         | 32,473.32 | บาท/ปี คิดเป็น 0.00082 ktoe/ปี |
| ไม่ต้องใช้เงินลงทุน ระยะเวลาคืนทุนทันที |           |                                |

*ข้อเสนอแนะ*

ควรมีแผนการตรวจสอบระบบไฟฟ้าของโรงงานอย่างสม่ำเสมอ และอาจต้องจัดทำระบบการตรวจเช็คสภาพของหม้อแปลงไฟฟ้าชุดที่ปลดด้านแรงสูงออก เพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับตัวหม้อแปลงเมื่อไม่ได้ใช้งานเป็นระยะเวลานาน ๆ

*วิธีการคำนวณผลการอนุรักษ์พลังงาน*

*ข้อมูลเบื้องต้น*

|   |   |       |             |
|---|---|-------|-------------|
| พิกัดติดตั้งของหม้อแปลง                 | = | 500   | kVA         |
| กำลังไฟฟ้าสูญเสียในแกนเหล็ก (Core Loss) | = | 1.10  | kW          |
| ระยะเวลาการใช้งาน                       | = | 24    | ชั่วโมง/วัน |
| จำนวนวันทำงาน                           | = | 365   | วัน/ปี      |
|   | = | 8,760 | ชั่วโมง/ปี  |
| ค่าไฟฟ้าเฉลี่ย                          | = | 3.37  | บาท/kWh     |

*ก่อนปรับปรุง*

|                                     |   |   |
|-------------------------------------|---|---|
| ค่าความสูญเสีย Core Loss ในหม้อแปลง | = | Core loss rated x ชั่วโมงใช้งานหม้อแปลง |
|                                     | = | 1.1 x 24 x 365                          |

|  |   |       |        |
|--|---|-------|--------|
|  | = | 9,636 | kWh/ปี |
| หลังปรับปรุง : ปลด Drop-out Fuse ด้านแรงสูงของหม้อแปลงที่ไม่ได้ใช้งานออก |   |       |        |
| กำลังไฟฟ้าสูญเสียที่ลดลง   | = | 1.10  | kW     |
| พลังงานไฟฟ้าลดลง   | = | 9,636 | kWh/ปี |

**ผลการประหยัด**

|                           |   |              |                    |
|---------------------------|---|--------------|--------------------|
| พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ | = | 9,636        | kWh/ปี             |
|                           | = | 0.00082      | ktoe/ปี            |
| คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้  | = | 9,636 x 3.37 | = 32,473.32 บาท/ปี |

**การวิเคราะห์ทางการเงิน**

ไม่ต้องใช้เงินลงทุน สามารถดำเนินการได้เลย ระยะเวลาคืนทุนทันที

**บทสรุป**

ตัวประกอบกำลังไฟฟ้ามีความสำคัญในระบบไฟฟ้า เนื่องจากเป็นส่วนที่ทำให้ค่าใช้จ่ายต่างๆ เพิ่มขึ้นหรือลดลงได้ ระบบไฟฟ้าที่มีตัวประกอบกำลังไฟฟ้าต่ำจะมีความสูญเสียในระบบมาก อุปกรณ์ที่ใช้ต้องมีขนาดใหญ่มากขึ้น ค่าใช้จ่ายในการซื้ออุปกรณ์ต่าง ๆ ตั้งแต่ต้นทางจนถึงปลายทางต้องเสียมากขึ้นต้องเสียค่าไฟฟ้ามากขึ้นด้วย ดังนั้น การแก้ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าให้สูงขึ้นจึงมีความจำเป็น แต่ทั้งนี้ต้องพิจารณาถึงเงินลงทุนกับค่าอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่นำมาแก้ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าเทียบกับค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้จาก การแก้ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

ค่าใช้จ่ายด้านการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ผู้ใช้ถูกเรียกเก็บในแต่ละเดือนจะประกอบไปด้วยค่าไฟฟ้าหลายส่วน ผู้ใช้ไฟฟ้าบางรายต้องเสียค่าไฟฟ้าครบทุกส่วน แต่ผู้ใช้ไฟฟ้าบางรายอาจเสียค่าไฟฟ้าเพียงบางส่วน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับประเภทของผู้ใช้ไฟฟ้า และปริมาณการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้า ส่วนประกอบของค่าไฟฟ้ามีทั้งหมด 6 ส่วน ประกอบด้วยค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้า (Demand Charge) ค่าพลังงานไฟฟ้า (Energy Charge) ค่าปรับราคาค่าไฟฟ้าโดยอัตโนมัติ (ค่า Ft) ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ (Power Factor Charge) ค่าบริการ (Service Charge) ค่าภาษีมูลค่าเพิ่ม (VAT) นอกจากการปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้าแล้ว การควบคุมหรือปรับพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าเพื่อให้ค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้ามีค่าต่ำ จะช่วยให้ลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าได้อย่างมาก

**เอกสารอ้างอิง**

- [1] คู่มือการจัดการพลังงานไฟฟ้าในโรงงาน  
โครงการเครือข่ายสารสนเทศด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมของประเทศไทย (TEENET)  
<http://teenet.tei.or.th/Knowledge/knowledge.html>
- [2] การแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า  
กองทุนส่งเสริมเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ
- [3] Allan H. Robbins and Wilhelm C. Miller, 2003, Circuit Analysis: Theory and Practice, Delmar.
- [4] Theodore Wildi, 1991, Electrical Machines Drives and Power Systems 2nd Edition, Prentice Hall.
- [5] “อัตราค่าไฟฟ้า” การไฟฟ้านครหลวง
- [6] “อัตราค่าไฟฟ้า” การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค
- [7] ธวัชชัย ชยวานิช, เอกสารประกอบการบรรยาย วิชา Electrical Energy Conservation and Management ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- [8] เอกสารกรณีตัวอย่าง, โครงการอนุรักษ์พลังงานแบบมีส่วนร่วม โดยโรงงานควบคุม (กลุ่ม 4)  
กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน
- [9] โครงการทีมเทคนิคและอาชีวศึกษาเพื่อการประหยัดพลังงาน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- [10] Technical Data บ.เจริญชัยหม้อแปลง จำกัด <http://www.charoenchai.com/technical.htm>



### บทที่ 3

## การอนุรักษ์พลังงานในระบบไฟฟ้าแสงสว่าง

### ความสำคัญของเนื้อหาวิชา (Overview)

หลักการที่สำคัญในการประหยัดพลังงานไฟฟ้าแสงสว่าง คือ การใช้แสงสว่างให้มีประสิทธิภาพสูงสุด หรือใช้แสงสว่างในบริเวณอย่างเพียงพอทั้งปริมาณและคุณภาพ ซึ่งทำให้การทำงานมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นส่งผลต่อการผลิต ดังนั้น การปรับปรุงระบบไฟฟ้าแสงสว่าง จึงเป็นอีกหัวข้อหนึ่งที่มีบทบาทต่อการประหยัดพลังงาน

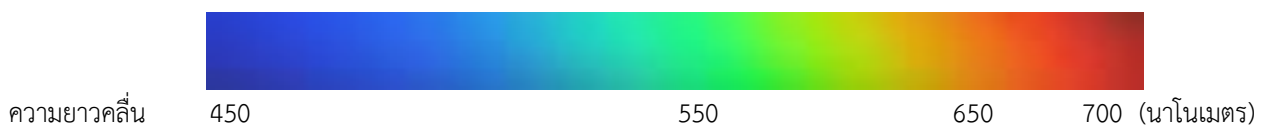
### วัตถุประสงค์ (Objective)

1. บอกทฤษฎีของแสงและการมองเห็นวัตถุได้
2. บอกอุปกรณ์และหลักการทำงานของอุปกรณ์ด้านไฟฟ้าแสงสว่างได้
3. บอกวิธีประเมินและตรวจวัดประสิทธิภาพพลังงานในระบบไฟฟ้าแสงสว่างได้
4. บอกแนวทางในการอนุรักษ์พลังงานในระบบไฟฟ้าแสงสว่างได้

### 3.1 บทนำ

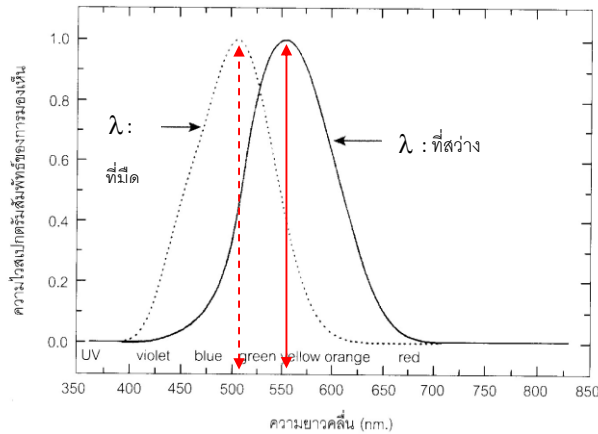
"แสงสว่าง" เป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งในการดำรงชีวิตของมนุษย์ระบบแสงสว่างที่ดี นอกจากจะทำให้การประกอบกิจกรรมต่าง ๆ เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพแล้วยังเสียค่าใช้จ่ายในการใช้งานน้อยด้วย

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



รูปที่ 3-1 สีต่าง ๆ ที่ประกอบเป็นแสงที่ตามนุษย์สามารถมองเห็นได้

การมองเห็นของมนุษย์นั้นเกิดจากการที่แสงจากวัตถุเดินทางผ่านดวงตา ไปกระตุ้นเซลล์ที่จอตา (retina) ให้ทำการสร้างคลื่นไฟฟ้าบนเส้นประสาท และส่งผ่านเส้นประสาทตาไปยังสมอง ทำให้เกิดการรับรู้มองเห็น เซลล์บนจอตาประกอบด้วยเซลล์สองกลุ่มใหญ่ ๆ ได้แก่ เซลล์รูปกรวยในจอตา (cone cell) ซึ่งทำหน้าที่ได้ดีในช่วงเวลากลางวันหรือในยามที่มีปริมาณแสงมาก มีหน้าที่สำคัญในการรับรู้สีทางด้านสีและช่วยแยกแยะรายละเอียดของสิ่งต่าง ๆ ส่วนเซลล์อีกกลุ่มหนึ่งเป็น เซลล์รูปแท่งในจอตา (rod cell) ทำหน้าที่ได้ดีในตอนกลางคืนหรือในเวลามืดสลัว ช่วยให้สามารถเห็นภาพต่าง ๆ ได้อย่างหยاب ๆ เซลล์กลุ่มนี้ไม่มีความสามารถในการตอบสนองทางด้านสีเลย ด้วยความสามารถในการทำงานและตอบสนองได้ต่างกันของ เซลล์รูปกรวย และ เซลล์รูปแท่ง ทำให้ตามนุษย์ไม่สามารถตอบสนองต่อความยาวคลื่นต่าง ๆ ได้เท่ากัน ดังแสดงในรูปที่ 3-2



รูปที่ 3-2 การตอบสนองของดวงตาต่อแสงที่ความยาวคลื่นต่าง ๆ ในเวลากลางวัน และกลางคืน

### 3.2 แหล่งกำเนิดแสง

แหล่งกำเนิดแสงสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท

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

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

### 3.3 นิยามศัพท์ที่สำคัญเกี่ยวกับปริมาณแสง

1) ความเข้มการส่องสว่าง ( Luminous Intensity : I ) หรือกำลังส่องสว่าง (Candle power) เป็นค่าแสดงระดับกำลังงานของแหล่งกำเนิดแสง มีหน่วยวัดเป็น แคนเดลา (Candela) การกำหนดมาตรฐานของปริมาณความเข้มการส่องสว่างมีพัฒนาการมาอย่างต่อเนื่องตั้งแต่ปี ค.ศ. 1948 โดยคณะกรรมการระหว่างประเทศในเรื่องการส่องสว่าง (International Commission on Lllumination, CIE) ปัจจุบัน ได้มีการกำหนดให้ปริมาณ 1 แคนเดลา มีค่าเท่ากับ ความเข้มการส่องสว่างในทิศทางที่กำหนดของ แหล่งกำเนิดที่แผ่รังสีชนิดสีเดียวที่มีความถี่เป็น 540\*10 เฮิร์ตซ์ และมีความเข้มการแผ่รังสีในทิศทาง 1/683 วัตต์ต่อสเตอเรเดียน

2) ฟลักซ์การส่องสว่าง (Luminous Flux :  $\Phi$ ) เป็นปริมาณแสงทั้งหมดที่ปลดปล่อยออกจากแหล่งกำเนิดแสงมีหน่วยเป็น ลูเมน ( lumen : lm ) ซึ่งมีค่าเท่ากับปริมาณแสงที่ตกลงพื้นที่ 1 ตารางหน่วย ที่ห่างจากจุดกำเนิดแสง 1 แคนเดลาเป็นระยะทาง 1 หน่วย

3) ความสว่าง (Illuminance : E) เป็นปริมาณแสงที่ตกกระทบตั้งฉากกับพื้นที่ขนาด 1 ตารางเมตร โดยทั่วไปเรียกว่า ระดับความสว่าง (Lighting level) จึงเป็นค่าที่บ่งบอกพื้นที่นั้นๆได้รับ แสงสว่างเพียงพอหรือไม่ มีหน่วยเป็นลูเมนต่อตารางเมตร (  $lm/m^2$  ) หรือลักซ์ (Lux) ค่าความสว่างจะแปรโดยตรงกับความเข้มการส่องสว่าง และแปรผกผันกับระยะทางกำลังสองระหว่างแหล่งกำเนิดแสงและพื้นที่รับแสง ซึ่งสามารถเขียนความสัมพันธ์ได้เป็น

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

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

$$Efficacy = \frac{\phi}{P} \tag{3.2}$$

โดยที่

Efficacy คือ ประสิทธิภาพการส่องสว่าง (lm/W)

$\phi$  คือ ฟลักซ์การส่องสว่าง (lm)

P คือ กำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่แหล่งกำเนิดแสง (W)

### 3.4 อุปกรณ์สำคัญในระบบไฟฟ้าแสงสว่าง

#### 3.4.1 หลอดไฟฟ้า

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

**3.4.1.1 หลอดอินแคนเดสเซนต์ (Incandescent lamp)** หลอดประเภทนี้อาศัยหลักการจ่ายกระแสไฟฟ้าผ่านไส้หลอดทั่วไปทำจากทังสแตน ซึ่งทำให้เกิดความร้อนและแสงสว่างขึ้น หลอดไส้เป็นหลอดที่มีประสิทธิภาพการส่องสว่างน้อยที่สุดในบรรดาหลอดทั้งหมด รวมทั้งมีอายุการใช้งานที่ค่อนข้างสั้นคือประมาณ 1,000 – 3,000 ชั่วโมงแต่หลอดชนิดนี้ยังเป็นหลอดที่นิยมใช้เป็นอย่างมาก เนื่องจากง่ายต่อการติดตั้งและค่าติดตั้งเริ่มต้นมีราคาถูก สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทได้แก่ หลอดไส้แบบธรรมดา (Normal Incandescent Lamp) และหลอดทังสแตนฮาโลเจน (Tungsten Halogen Lamp)

**3.4.1.2 หลอดไส้แบบธรรมดา** หลอดชนิดนี้ประกอบด้วยขดลวดทังสแตนบรรจุในหลอดแก้ว เมื่อกระแสไหลผ่านไส้หลอดจะเกิดการเปล่งแสงออกมา ขณะหลอดทำงานขดลวดทังสแตนจะค่อย ๆ ระเหย จนกระทั่งหมดอายุการใช้งาน ซึ่งไส้หลอดมีลักษณะเป็นขดลวด ส่วนใหญ่ทำจากทังสแตน (Tungsten) มีข้อดีคือจุดหลอมเหลว มีค่าสูง (3,653 K) และมีความดันไอต่ำ ทำให้สามารถใช้งานที่อุณหภูมิสูงได้ โดยที่อุณหภูมิทำงานของไส้หลอดมีค่าประมาณ 2,500-2,700 K ในยุคแรก ๆ ไส้หลอดของหลอดเผาไส้จะทำจากทังสแตนเป็นแบบ Coil ขึ้นเดียว และต่อมาได้พัฒนาให้เป็นแบบ “Coiled-Coil” Filament ดังแสดงในรูปที่ 3-3 ลักษณะดังกล่าวช่วยลดการระเหิดของทังสแตนที่ใช้เป็นไส้หลอด ทำให้อายุการใช้งานหลอดยาวนานขึ้นเป็น 1,000 ชั่วโมง สำหรับขั้วของหลอดทำด้วยทองเหลือง (Brass) หรืออะลูมิเนียม (Aluminum) ขนาดที่นิยมใช้ได้แก่ E10 E14 E27 E40 โดยที่ตัวเลขหมายถึง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของขั้วหลอด (มิลลิเมตร)



รูปที่ 3-3 ภาพขยายของไส้หลอดแบบ “Coiled-Coil” Filament

หลอดไส้แบบธรรมดาเหมาะสำหรับการให้แสงสว่างทั่วไปโดยเฉพาะบริเวณที่ต้องการความรู้สึกแบบอบอุ่น การให้แสงเน้นบรรยากาศเช่น บ้าน โรงแรม และร้านอาหาร เป็นต้น และการใช้งานแสงสว่างในระยะเวลายาวนาน ๆ เช่น ห้องเก็บของ ห้องน้ำ หลอดประเภทนี้มีอายุการใช้งานประมาณ 1,000 ชั่วโมง

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

ตารางที่ 3-1 หลอดไส้แบบธรรมดาชนิดต่างๆ

| ประเภทของหลอดไส้แบบธรรมดา                 | รูปร่างลักษณะ   | รายละเอียด   |
|---|---|--|
| หลอด GLS                                  |    | หลอดประเภทนี้มีทั้งประเภทใสและขุ่น ซึ่งเกิดจากการเคลือบผิวด้วยซิลิกา   |
| หลอดสะท้อนแสงชนิด Blown bulb lamp         |   | เป็นหลอดที่มีสารเคลือบด้านข้างเพื่อให้แสงสะท้อนออกมาด้านหน้า โดยมีจุดประสงค์เพื่อการส่องเน้น ซึ่งมีทั้งแบบมุมลำแสงกว้างและมุมลำแสงแคบ                        |
| หลอดสะท้อนแสงชนิด Parabolic หรือ หลอด PAR |  | เป็นหลอดที่ประกอบด้วยแก้ว 2 ส่วน ได้แก่ ตัวสะท้อนแสง (Reflector) ซึ่งมีลักษณะเป็นพาราโบลาอยด์ (Paraboloid) ประกอบอยู่กับกระจกส่วนที่ 2 ซึ่งเป็นเลนส์ด้านหน้า |

ประสิทธิภาพพลังงานของหลอดไส้ชนิดธรรมดาขึ้นอยู่กับขนาดของหลอด ข้อมูลค่าฟลักซ์การส่องสว่าง และประสิทธิภาพการส่องสว่าง ของหลอดที่ใช้กำลังไฟฟ้าต่าง ๆ กัน แสดงได้ดังตารางที่ 3-2

ตารางที่ 3-2 มูลค่าฟลักซ์การส่องสว่าง และประสิทธิภาพการส่องสว่าง ของหลอดที่ใช้กำลังไฟฟ้าต่าง ๆ กัน

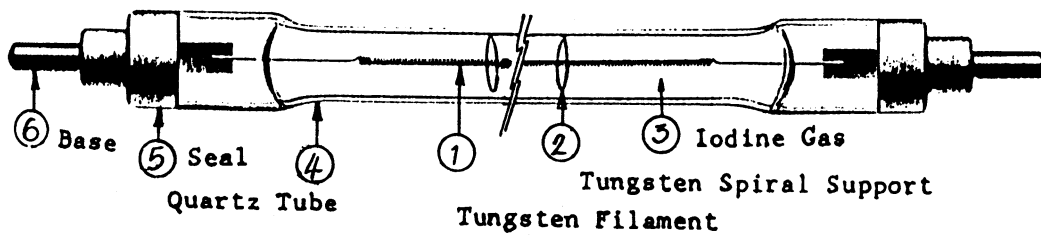
| กำลังไฟฟ้า (W) | ฟลักซ์การส่องสว่าง (lm) | ประสิทธิภาพการส่องสว่าง (lm/W) |
|----------------|-------------------------|--------------------------------|
| 25             | 200                     | 8.0                            |
| 40             | 400                     | 10.0                 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

การเปรียบเทียบข้อดีและข้อด้อยของหลอดไส้แบบธรรมดาสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 3-3

ตารางที่ 3-3 การเปรียบเทียบข้อดีและข้อด้อยของหลอดไส้แบบธรรมดา

| ข้อดี  | ข้อด้อย   |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>ให้แสงที่มีความถูกต้องของสีมาก</li> <li>สามารถหรี่หรือปรับความสว่างได้ง่ายๆ ด้วยระบบหรี่ไฟ</li> <li>หลอดจะสว่างทันทีที่เปิดสวิตช์ใช้งาน</li> <li>ไม่เกิดคลื่นสัญญาณรบกวน</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>ใช้กำลังไฟฟ้ามากทำให้ต้องเสียค่าไฟฟ้ามาก</li> <li>อายุการใช้งานสั้น ประมาณ 750 – 1,000 ชั่วโมง</li> <li>เป็นแหล่งกำเนิดความร้อน</li> <li>ประสิทธิภาพในการส่องสว่างต่ำ</li> </ul> |

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



รูปที่ 3-4 โครงสร้างของหลอดทังสเตน-ฮาโลเจน

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

หลอดทังสเตนฮาโลเจนนี้มีขนาดเล็กจึงเหมาะสำหรับทำเป็นหลอดแบบส่องเน้น เพราะสามารถให้ลำแสงแคบได้ สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทตามระดับแรงดันการใช้งานได้แก่ หลอดทังสเตนฮาโลเจนชนิดใช้งานกับแรงดันปกติ และหลอดทังสเตนฮาโลเจนชนิดใช้งานกับแรงดันต่ำ ลักษณะของหลอดแสดงดังรูปที่ 3-5 โดยหลอดทังสเตนฮาโลเจนนี้มีค่าประสิทธิภาพการส่องสว่างสูงกว่าหลอดไส้แบบธรรมดาประมาณ 10% และมีอายุการใช้งานประมาณ 3,000 ชั่วโมง หลอดทังสเตนฮาโลเจนแรงดันต่ำ เป็นหลอดที่มีขนาดเล็กใช้งานกับงานส่องเน้นให้สีออกขาว กว่าหลอดอินแคนเดสเซนต์ (อุณหภูมิสีประมาณ 3200 เคลวิน) ระดับแรงดันที่ใช้งานคือ 6V 12V หรือ 24V โดยต่อผ่านหม้อแปลงซึ่งจะต้องไม่ติดตั้งห่างจากตัวโคมมากเกินไป เนื่องจากจะมีปัญหาเรื่องแรงดันตกในสาย โดยมีมุมแสงให้เลือกขนาดที่ 12 24 และ 36 องศา หลอดชนิดที่ไม่มีกระจกป้องกันหลอด ไม่ควรสัมผัสถูกบริเวณหลอดเพราะจะทำให้อายุการใช้งานของหลอดลดลงได้ ข้อมูลประสิทธิภาพพลังงานของหลอดทังสเตนฮาโลเจนแสดงในตารางที่ 3-4 และ 3-5





ก) ชนิดใช้งานกับแรงดันปกติ 220 V



ข) ชนิดใช้งานกับแรงดันต่ำ

รูปที่ 3-5 หลอดทั้งสแตนฮาโลเจน

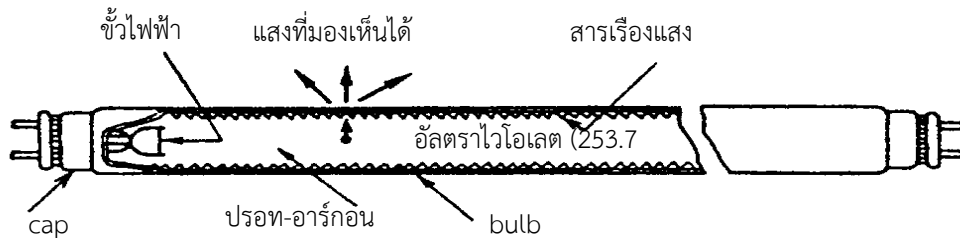
ตารางที่ 3-4 ข้อมูลทั่วไปของหลอดทั้งสแตนฮาโลเจนชนิดใช้งานกับแรงดันปกติ 220 V อายุการใช้งานเฉลี่ย 2,000 ชั่วโมง

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

ตารางที่ 3-5 ข้อมูลทั่วไปของหลอดทั้งสแตนฮาโลเจนชนิดใช้งานกับแรงดันต่ำอายุการใช้งานเฉลี่ย 3,000 ชั่วโมง

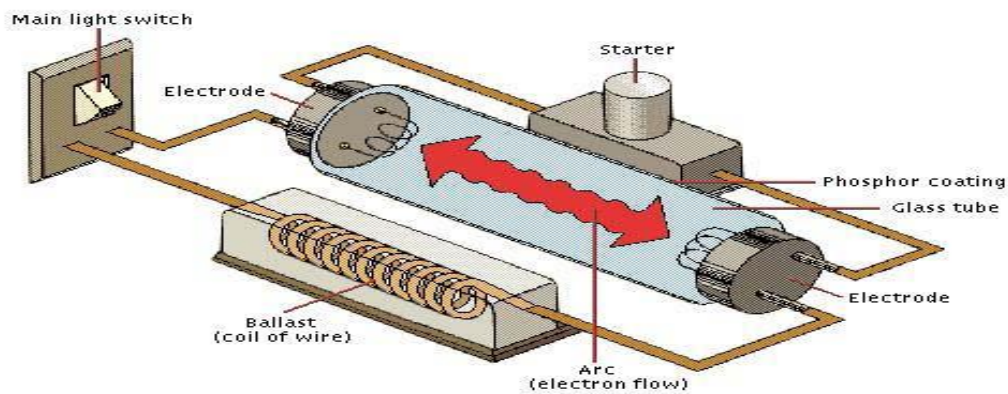
| กำลังไฟฟ้า (W) | ฟลักซ์การส่องสว่าง (lm) | ประสิทธิภาพการส่องสว่าง (lm/W) |
|----------------|-------------------------|--------------------------------|
| 20             | 320                     | 16                             |
| 35             | 600                     | 17.2                 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

**3.4.1.4 หลอดฟลูออเรสเซนต์ (Fluorescent Lamp)** เป็นหลอด Discharge lamp ที่กำเนิดแสงที่มองเห็นได้ด้วยการที่รังสีอัลตราไวโอเล็ตที่เกิดจากการคายประจุของไอปรอทความดันต่ำ ไปกระตุ้นสารเรืองแสง โครงสร้างของหลอดแสดงไว้ในรูปที่ 3-6 โดยภายในผิวหลอดแก้วจะมีสารเรืองแสงเคลือบอยู่และที่ไส้หลอดรูปคอยล์ที่ขั้วหลอดจะมีสาร Emitter เคลือบอยู่ ในหลอดจะมีปรอทจำนวนเล็กน้อยกับก๊าซอาร์กอนบรรจุอยู่ เมื่อให้แรงดันไฟฟ้าระหว่างขั้วไฟฟ้าจะเกิดการคายประจุขึ้น ขั้วหลอดจะปลดปล่อยอิเล็กตรอนร้อนออกมา อิเล็กตรอนจะไปชนกับอะตอมของปรอทเกิดรังสีอัลตราไวโอเล็ต (253.7 nm เป็นส่วนใหญ่) ขึ้น รังสีอัลตราไวโอเล็ตจะไปกระตุ้นสารเรืองแสงและถูกแปลงเป็นแสงที่มองเห็นได้ (ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า Photoluminescence)



รูปที่ 3-6 โครงสร้างทั่วไปของหลอดฟลูออเรสเซนต์

การทำงานของหลอดฟลูออเรสเซนต์จะมีบัลลาสต์และสตาร์ทเตอร์เข้ามาเกี่ยวข้องด้วยตามวงจร แสดงในรูปที่ 3-7 โดยบัลลาสต์จะต่ออนุกรมกับหลอด ทำหน้าที่ควบคุมกระแสที่ไหลเข้าสู่ขั้วหลอด ส่วนสตาร์ทเตอร์ (Starter) จะต่อขนานกับขั้วหลอดทั้งสองข้าง ทำหน้าที่จุดหลอดและถูกตัดออกมาจากวงจรเมื่อหลอดติดแล้ว วงจรตั้งรูปเป็นวงจรสำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์ส่วนมากที่ใส่หลอดจะต้องทำการอุ่นก่อนการจุดหลอด ซึ่งการอุ่นจะอาศัยสตาร์ทเตอร์ อย่างไรก็ตามหลอดฟลูออเรสเซนต์แบบจุดติดเร็วซึ่งมีการอุ่นไส้หลอดตลอดเวลาและหลอดแบบจุดติดทันที (Instant Start) ซึ่งไม่ต้องอุ่นไส้หลอด หลอดทั้ง 2 แบบนี้ไม่จำเป็นต้องมีสตาร์ทเตอร์



รูปที่ 3-7 วงจรการทำงานและการนำกระแสของก๊าซเมื่อจ่ายแรงดัน

ชนิดของหลอดฟลูออเรสเซนต์อาจแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ ๆ ได้แก่ หลอดฟลูออเรสเซนต์รูปทรงกระบอก (Tubular Fluorescent) และหลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ (Compact Fluorescent) นอกจากนี้ยังมีหลอด ฟลูออเรสเซนต์อีกประเภทคือ หลอดฟลูออเรสเซนต์แบบเหนียวน่า (Induction Fluorescent) ซึ่งใช้หลักการเปล่งแสงคล้ายหลอดฟลูออเรสเซนต์ทั่วไปแต่วิธีการจุดหลอดปล่อยประจุต่างกัน

**3.4.1.5 หลอดฟลูออเรสเซนต์รูปทรงกระบอก (Tubular Fluorescent)** เป็นหลอดฟลูออเรสเซนต์รุ่นแรก que ผลิตออกมา ได้รับความนิยมมาก เนื่องจากมีประสิทธิภาพผลสูง และมีอายุการใช้งานที่นานกว่าหลอดไส้ รูปร่างของหลอดมีลักษณะแตกต่างกัน 3 แบบ ได้แก่ แบบทรงกระบอกตรง แบบทรงกระบอกรูปตัวยู (U-shape) และแบบทรงกระบอกรูปวงกลม ดังแสดงในรูปที่ 3-8



(ก) แบบทรงกระบอกตรง (ข) แบบทรงกระบอกรูปตัวยู (ค) แบบทรงกระบอกรูปวงกลม

รูปที่ 3-8 หลอดฟลูออเรสเซนต์รูปทรงกระบอกรูปแบบต่าง ๆ

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

ปัจจุบันหลอดฟลูออเรสเซนต์แบบฟลักซ์การส่องสว่างสูง ได้พัฒนาเทคโนโลยีสารเรืองแสงที่เคลือบด้านในใหม่ เรียกว่า ไตรฟอสเฟออร์ (Tri-phosphor) โดยมีชื่อเรียกทางการค้าว่า หลอดขี้เขี้ยว เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ควบคุมปริมาณสารปรอทให้ต่ำเพียง 3 - 5 มิลลิกรัมต่อหลอด (ขณะที่ของเดิมมีปริมาณปรอทถึง 15 - 40 มิลลิกรัมต่อหลอด) ซึ่งใช้หลักการผสมแม่สี 3 สี คือ แดง เขียว น้ำเงิน เคลือบสารเป็นสารเรืองแสงภายใน ทำให้แสงสีที่เปล่งออกมาครบทุกเฉดสี ผลทำให้ดัชนีบอกความถูกต้องของสีของหลอดสูงขึ้นและทำให้ปริมาณฟลักซ์การส่องสว่างเพิ่มขึ้นถึง 30% มีประสิทธิภาพการส่องสว่างสูงขึ้น และอายุการใช้งานนานขึ้น

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

ต่อมาได้มีการพัฒนาหลอดฟลูออเรสเซนต์รุ่นใหม่คือหลอดฟลักซ์การส่องสว่างสูง ประสิทธิภาพสูง (High Efficiency Lamps: HE Lamps) หรือหลอด T5 หลอดฟลูออเรสเซนต์รุ่นใหม่นี้มีขนาดเล็กมาก คือมีเส้นผ่านศูนย์กลางเพียง 16 mm (หรือ 5/8 นิ้ว) มีรหัสเรียกว่า T5 แต่หลอดประเภทนี้จะต้องใช้ร่วมกับอิเล็กทรอนิกส์บัลลาสต์ โดยขนาดมีทั้งที่เป็นแบบมาตรฐาน (Standard) ที่มีขนาดต่าง ๆ ได้แก่ 14 W 21 W 28 W และ 35W และแบบความเข้มสูง (High output, HO) ที่มีขนาดต่าง ๆ ได้แก่ 24W 39W 54W และ 80W หากจะเปรียบเทียบปริมาณแสง และประสิทธิภาพการส่องสว่างของหลอด T5 T8 และ T12 สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 3-6 จะเห็นได้ว่าพัฒนาการของ T5 ทำให้ได้หลอดฟลูออเรสเซนต์ที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้น

ตารางที่ 3-6 การเปรียบเทียบปริมาณแสง และประสิทธิภาพการส่องสว่างของหลอด T5 T8 และ T12

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

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

3.4.1.6 หลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ (Compact Fluorescent) หลอดประเภทนี้เป็นหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้ทดแทนหลอดอินแคนเดสเซนต์ โดยหลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์นี้มีอายุการใช้งานประมาณ 8,000 ชั่วโมงและประหยัดไฟได้มากกว่าหลอดอินแคนเดสเซนต์ เนื่องจากหลอดประเภทนี้มีค่าประสิทธิภาพ

การส่องสว่างประมาณ 50 - 80 ลูเมนต่อวัตต์ ดังนั้นจึงสามารถใช้หลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ได้ในบางพื้นที่หรือบางกิจกรรม โดยเฉพาะบริเวณที่ต้องการเปิดไฟทิ้งไว้เป็นเวลานานเช่น ไฟส่องสว่างทางเดิน เป็นต้น

สำหรับการใช้หลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์เพื่อทดแทนหลอดฟลูออเรสเซนต์เช่นการส่องสว่าง ในสำนักงานนั้นจะต้องพิจารณาจากคุณลักษณะของแหล่งกำเนิดแสง เนื่องจากหลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์มีลักษณะของแสงที่เป็นจุด ดังนั้นหากใช้ทดแทนหลอดฟลูออเรสเซนต์ซึ่งลักษณะของแสงเป็น แนวนวยาวจะทำให้เกิดเงาขึ้นเป็นจำนวนมาก หลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์มีทั้งแบบบัลลาสต์แยก และแบบบัลลาสต์ในตัว ซึ่งมีรูปร่างลักษณะดังรูปที่ 3-9 และข้อมูลทั่วไปเกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพพลังงานได้แสดงไว้ในตารางที่ 3-7



ก) แบบบัลลาสต์แยกภายนอก



ข) แบบบัลลาสต์ในตัว

รูปที่ 3-9 หลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์แบบต่างๆ

ตารางที่ 3-7 ข้อมูลทั่วไปของหลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์

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

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



รูปที่ 3-10 หลอดฟลูออเรสเซนต์แบบเหนียวน้ำ

ตารางที่ 3-8 ข้อมูลทั่วไปของหลอดฟลูออเรสเซนต์แบบเหนียวน้ำ อายุการใช้งานเฉลี่ย 60,000 ชั่วโมง

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

**3.4.1.8 หลอดโซเดียมความดันต่ำ (Low Pressure Sodium)** เป็นหลอดที่มีประสิทธิภาพการส่องสว่างสูงที่สุดในบรรดาหลอดทั้งหมดคือจะมีค่าประสิทธิภาพการส่องสว่าง 100 – 189 lm/W หลอดโซเดียมความดันต่ำจะใช้ก๊าซนีออน (Neon) และก๊าซอาร์กอน (Argon) ช่วยในการจุดติดหลอด โดยในการติสซาร์จะทำให้ผนังหลอดแก้วร้อนขึ้นซึ่งจะทำให้โซเดียมกลายเป็นไอ ให้แสงสีเหลือง หลอดนี้มีช่วงเวลาที่ใช้ในการจุดติดหลอดและช่วงเริ่มเปล่งแสง (Run-Up) 12 - 15 นาที ข้อมูลทั่วไปแสดงดังตารางที่ 3-9

เนื่องด้วยประสิทธิภาพการส่องสว่างที่สูงของหลอดโซเดียมความดันต่ำ หลอดชนิดนี้จึงเหมาะที่จะใช้เพื่อการอนุรักษ์พลังงานในกรณีที่ต้องเปิดไฟไว้เป็นระยะเวลานาน อาทิเช่น ไฟส่องบริเวณหลอดให้ความเย็นสีสูง จึงไม่ควรนำไปใช้กับกิจกรรมหรือบริเวณที่ต่อความถูกต้องของสีสูง



รูปที่ 3-11 หลอดโซเดียมความดันต่ำ

ตารางที่ 3-9 ข้อมูลทั่วไปของหลอดโซเดียมความดันต่ำ อายุการใช้งานเฉลี่ย 14,000 ชั่วโมง

| ชนิด                                | กำลังไฟฟ้า (W) | ฟลักซ์การส่องสว่าง (lm) | ประสิทธิภาพการส่องสว่าง (lm/W) |
|-------------------------------------|----------------|-------------------------|--------------------------------|
| ชนิดธรรมดา                          | 35             | 4,500                   | 123                            |
|                                     | 55             | 7,800                   | 148                            |
|                                     | 90             | 13,000                  | 146                            |
|                                     | 135            | 20,800                  | 161                            |
|                                     | 180            | 32,500                  | 179                            |
| ชนิดปรับปรุงประสิทธิภาพการส่องสว่าง | 18             | 1,800                   | 100                            |
|                                     | 26             | 3,600                   | 144                            |

| ชนิด | กำลังไฟฟ้า (W) | ฟลักซ์การส่องสว่าง (lm) | ประสิทธิภาพการส่องสว่าง (lm/W) |
|------|----------------|-------------------------|--------------------------------|
|      | 36             | 5,800                   | 171                            |
|      | 66             | 10,500                  | 172                            |
|      | 91             | 17,000                  | 189                            |
|      | 180            | 32,500                  | 180.6                          |

**3.4.1.9 หลอดไอปรอทความดันสูง (High Pressure Mercury) หรือ หลอดแสงจันทร์** เป็นหลอดดีสชาร์จ ความดันสูงชนิดแรกที่มีการผลิตขึ้นมาใช้งาน เพื่อใช้ทดแทนหลอดฟลูออเรสเซนต์ หลอดชนิดนี้ที่ใช้เป็นไฟส่องสว่าง สำหรับไฟถนนในซอย หลักการทำงานของหลอดไอปรอทความดันสูง อาจแบ่งได้เป็น 3 ช่วงดังนี้ คือ ช่วงจุดหลอด (Ignition) ช่วงกำลังเริ่มเปล่งแสง (Run-Up) และช่วงสภาวะคงตัว (Stabilization)

**ช่วงจุดหลอด (Ignition)** เกิดจากการทำงานของขั้วไฟฟ้าช่วย (Auxiliary Electrode) ของหลอด โดยเมื่อเริ่มจุดหลอดจะเกิดแรงดันคร่อมระหว่างขั้วไฟฟ้าหลักและขั้วไฟฟ้าช่วย ซึ่งทำให้เกิดการดีสชาร์จของก๊าซ ตัวต้านทานที่ต่ออยู่ที่ขั้วไฟฟ้าจะเป็นตัวจำกัดกระแส จนสุดท้ายจะเกิดเป็นอาร์กดีสชาร์จระหว่างขั้วไฟฟ้าหลัก ซึ่งในช่วงจุดหลอดนี้ หลอดจะทำงานที่สภาวะความดันต่ำ และหลอดจะเกิดแสงสีฟ้าขึ้น

**ช่วงกำลังเริ่มเปล่งแสง (Run-Up)** หลังจากจุดหลอดแล้ว อาร์กดีสชาร์จที่เกิดขึ้นในหลอดจะ เป็นตัวทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นซึ่งจะทำให้ปรอทกลายเป็นไอ โดยแสงที่ได้จากหลอดจะยังมีค่าไม่เต็มที่จนกว่าปรอทในหลอดดีสชาร์จจะกลายเป็นไอทั้งหมด เมื่อความดันไออยู่ในช่วงประมาณ 2-15 kpa แสงจะเริ่มมีสีขาว ซึ่งระยะเวลาที่ใช้ตั้งแต่จุดไส้หลอดจนถึงเวลาที่หลอดให้แสงสว่าง 80% จะมีค่าประมาณ 4 นาที

**ช่วงสภาวะคงที่ (Stabilization)** เป็นช่วงที่หลอดให้ความสว่างเต็มที่ซึ่งจะใช้เวลาทั้งหมดประมาณ 5 นาที

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



หลอดไอปรอทความดันสูงแบบใส



หลอดไอปรอทความดันสูงแบบเคลือบ

รูปที่ 3-12 หลอดไอปรอทความดันสูงแบบใสและแบบเคลือบ

สำหรับในหลอดแบบไม่ใช้บัลลาสต์ช่วยจุดหลอดบางครั้งถูกเรียกว่า หลอดแสงผสม (Blended Light Lamp) เพื่อใช้ทดแทนหลอดไส้ที่กำลังไฟฟ้าสูง ๆ ภายในจะมีไส้หลอดลักษณะคล้ายหลอดไส้ให้ความร้อนและเปล่งแสงในช่วงแรกทันทีเพื่อช่วยกระตุ้นให้ก๊าซภายในหลอดอาร์กแตกตัว และเปล่งแสงจริงให้หลอดอาร์กสว่างเต็มที่ หลอดชนิดนี้มีประสิทธิภาพการส่องสว่างไม่สูงมากนัก คือ 19 - 28 ลูเมนต่อวัตต์ มีอายุการใช้งานเฉลี่ยประมาณ 6,000 ชั่วโมง ซึ่งสั้นกว่าแบบใช้บัลลาสต์แต่มีข้อดีคือเมื่อเปิดไฟจะมีแสงสว่างที่ได้จากหลอดไส้ในช่วงแรกทันที ทำให้ส่องสว่างพื้นที่ได้ไวกว่า ข้อมูลทั่วไปของหลอดไอปรอทความดันสูงแสดงดังตารางที่ 3-10 และ 3-11

ตารางที่ 3-10 ข้อมูลทั่วไปของหลอดไอปรอทความดันสูงแบบใช้บัลลาสต์ อายุการใช้งานเฉลี่ย 14,000 ชั่วโมง

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

ตารางที่ 3-11 ข้อมูลทั่วไปของหลอดไอปรอทความดันสูงแบบไม่ใช้บัลลาสต์ อายุการใช้งานเฉลี่ย 6,000 ชั่วโมง

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

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



รูปที่ 3-13 หลอดโซเดียมความดันสูง

หลอดโซเดียมความดันสูงเป็นหลอดที่มีประสิทธิภาพการส่องสว่างค่อนข้างสูง 70 – 140 lm/W แต่ให้ความถูกต้องของสีค่อนข้างต่ำ (CRI 23) ยกเว้นรุ่นที่มีการปรับปรุงคุณภาพของแสงซึ่งจะให้ความถูกต้องของสีประมาณ 60 – 85 หลอดไฟ

ประเภทนี้ ต้องจุดไส้หลอดด้วยพัลส์แรงดันสูงประมาณ 1.8-5 kV และต้องใช้เวลาในการอุ่นไส้หลอดประมาณ 3 – 7 นาที แสงที่ออกมาจากหลอดจึงจะสว่างเต็มที่

หลอดโซเดียมความดันสูงสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ประเภทดังนี้ คือ หลอดโซเดียมความดันสูงแบบมาตรฐาน หลอดโซเดียมความดันสูงแบบประสิทธิภาพการส่องสว่างสูง หลอดโซเดียมที่ออกแบบให้ใช้แทนหลอด ไอปรอทความดันสูงและ หลอดโซเดียมความดันสูงที่มีความถูกต้องของสีสูง หลอดโซเดียมความดันสูง แบบมาตรฐานใช้ Xenon เป็นก๊าซช่วยจุดติด ที่ความดันประมาณ 3 kPa โดยต้องใช้ไอกนิเตอร์ช่วยใน การทำให้หลอดติด (ยกเว้นหลอดที่มีขนาดกำลังไฟต่ำ เช่น 50W และ 70W เนื่องจากว่าแรงดันจุดหลอด (Ignition Voltage) มีค่าสูงถึง 2.8kV

หลอดโซเดียมความดันสูงแบบประสิทธิภาพการส่องสว่างสูง สามารถทำได้โดยเพิ่มความดันของ Xenon เป็น ประมาณ 30 kPa ซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพการส่องสว่างเพิ่มขึ้นจากหลอดโซเดียมความดันสูงแบบมาตรฐานประมาณ 15%

หลอดโซเดียมที่ออกแบบให้ใช้แทนหลอดไอปรอทความดันสูง หลอดประเภทนี้สามารถใช้กับบัลลาสต์หลอดไอปรอทความดันสูงได้ และไม่ต้องใช้ไอกนิเตอร์ (Igniter) เนื่องจากมี Build-in Starting Aid หลอดโซเดียมความดันสูงประเภทนี้เมื่อใช้แทนหลอดไอปรอทความดันสูง จะใช้กำลังไฟฟาลดลง 15% และให้ ฟลักซ์การส่องสว่างเพิ่มขึ้น 40 % ข้อมูลทั่วไปของหลอดโซเดียมความดันสูงแสดงไว้ในตารางที่ 3-12

ตารางที่ 3-12 ข้อมูลทั่วไปของหลอดโซเดียมความดันสูง อายุการใช้งานเฉลี่ย 18,000 ชั่วโมง

| ชนิด                           | กำลังไฟฟ้า (W) | ฟลักซ์การส่องสว่าง (lm) | ประสิทธิภาพการส่องสว่าง (lm/W) |
|--------------------------------|----------------|-------------------------|--------------------------------|
| ชนิดมาตรฐาน                    | 50             | 3,450                   | 69                             |
|                                | 70             | 5,600                   | 80                             |
|                                | 150            | 14,500                  | 96.7                           |
|                                | 250            | 26,500                  | 106                            |
|                                | 400            | 49,000                  | 122.5                          |
|                                | 1000           | 130,000                 | 130                            |
| ชนิดประสิทธิภาพการส่องสว่างสูง | 100            | 10,000                  | 100                            |
|                                | 150            | 16,000                  | 106.7                          |
|                                | 250            | 30,000                  | 120                            |
|                                | 400            | 56,000                  | 140                            |
| ชนิดใช้แทนหลอดไอปรอทความดันสูง | 220            | 20,000                  | 91                             |
|                                | 350            | 34,500                  | 98.6                           |

**3.4.1.11 หลอดเมทัลฮาไลด์ (Metal Halide)** มีลักษณะการทำงานคล้ายหลอดไอปรอทความดันสูง แต่แตกต่างกันตรงที่ภายในหลอดประเภทนี้จะเติมสารประกอบเมทัลฮาไลด์เข้าไปกับปรอท เพื่อให้ได้สีของแสงดีขึ้น ดังนั้นหลอดเมทัลฮาไลด์นี้จึงมีคุณสมบัติทางสีที่ดีเหมาะสำหรับใช้ในงานที่ต้องการแสงสีที่ดี เช่น สนามกีฬา และโรงงานอุตสาหกรรมที่ต้องการเห็นแสงสีของวัสดุ เป็นต้น

ประสิทธิภาพการส่องสว่างของหลอดเมทัลฮาไลด์ขึ้นอยู่กับขนาดกำลังไฟฟ้า แต่โดยทั่วไปแล้วจะมีค่าประมาณ 65 - 95 ลูเมนต่อวัตต์ อายุการใช้งานหลอดประเภทนี้จะมีอายุการใช้งานน้อยกว่าหลอดไอปรอทความดันสูง คือมีอายุการใช้งานประมาณ 9,000-20,000 ชั่วโมง ลักษณะและข้อมูลทั่วไปของหลอดเมทัลฮาไลด์แสดงอยู่ในรูปที่ 3-14 และ ตารางที่ 3-13 ตามลำดับ



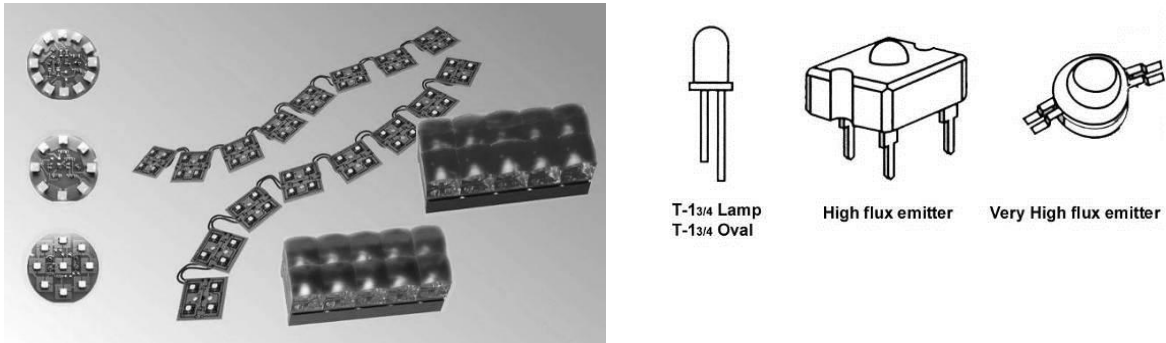


รูปที่ 3-14 หลอดเมทัลฮาไลด์

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

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

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



รูปที่ 3-15 หลอดแอลอีดีสมรรถนะสูง

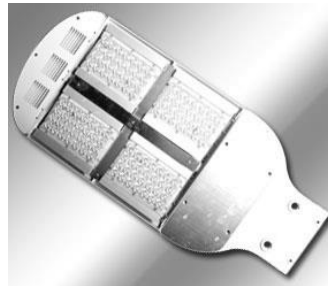
ปัจจุบันได้มีการพัฒนาแอลอีดีให้อยู่ในรูปหลอดไฟที่มีขั้วหลอดแบบทั่วไป เช่น E27 และ E40 ซึ่งสามารถเปลี่ยนทดแทนหลอดไส้ หรือหลอดปล่อยประจุความเข้มแสงสูง (HID) ได้เลย (ดูรูปที่ 3-16) สามารถใช้ได้ทั้งในและนอกอาคาร และในสถานที่ที่ไม่ต้องการการเกิดประกายไฟช่วงจุดหลอด ทำงานได้ในอุณหภูมิช่วงกว้างถึง -40 ถึง 180 องศาฟาเรนไฮต์ ความเสื่อมทางแสงต่ำจุดติดเร็วไม่ต้องใช้บัลลาสต์ในหลอดแอลอีดีย้อยแต่แต่ละตัวจะมีขนาดเล็ก มีเลนส์ค่าสะท้อนแสงสูงอยู่ในตัว และบังคับทิศทางแสงส่องลงด้านล่างเป็นหลัก จึงไม่จำเป็นต้องใช้โคมที่มีการสะท้อนแสงสูงมีแสงบาดตาต่ำประหยัดเงินค่าบำรุงรักษา หลอดประเภทนี้ยังไม่นิยมใช้แพร่หลายเนื่องจากมีราคาสูงอยู่มาก ข้อมูลทั่วไปของหลอดแอลอีดีสมรรถนะสูงแสดงไว้ในตารางที่ 3-14



ก) หลอดขนาด 5 W 300 lm ขั้วหลอด E27



ข) หลอดขนาด 28 W 2,100 lm ขั้วหลอด E40



ค) หลอดสำหรับไฟถนนชนิดสำเร็จรูปตั้งดวงโคม

รูปที่ 3-16 หลอดแอลอีดีสมรรถนะสูงที่ออกแบบใช้ทดแทนหลอดไฟแบบทั่วไป

ตารางที่ 3-14 ข้อมูลทั่วไปของหลอดแอลอีดีสมรรถนะสูงที่ออกแบบในรูปหลอดไฟขั้วหลอดแบบทั่วไป อายุการใช้งานเฉลี่ย 50,000 ชั่วโมง

| ชนิด            | กำลังไฟฟ้า (W) | ฟลักซ์การส่องสว่าง (lm) | ประสิทธิภาพการส่องสว่าง (lm/W) |
|-----------------|----------------|-------------------------|--------------------------------|
| ขั้วหลอดแบบ E27 | 5              | 300                     | 60                             |
|                 | 28             | 2,100                   | 75                             |
|                 | 48             | 3,300                   | 68.8                           |
|                 | 60             | 4,400                   | 73.4                           |

| ชนิด   | กำลังไฟฟ้า (W) | ฟลักซ์การส่องสว่าง (lm) | ประสิทธิภาพการส่องสว่าง (lm/W) |
|--|----------------|-------------------------|--------------------------------|
| ขั้วหลอดแบบ E40<br>และแบบสำเร็จรูป<br>ทั้งดวงโคม | 80             | 6,000                   | 75                             |
|  | 100            | 7,600                   | 76                             |
|  | 125            | 9,400                   | 75.2                           |
|  | 140            | 10,600                  | 75.7                           |
|  | 180            | 13,800                  | 76.7                           |

จากประเภทหลอดไฟที่ได้กล่าวมาข้างต้นทั้งหมด สามารถทำการสรุปเปรียบเทียบข้อมูลสำคัญเกี่ยวกับประสิทธิภาพพลังงานของหลอดไฟประเภทต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 3-15

ตารางที่ 3-15 การเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพพลังงานของหลอดไฟ

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

### 3.5 การพิจารณาเลือกใช้หลอดไฟ

การเลือกหลอดไฟเพื่อการอนุรักษ์พลังงานอาจพิจารณาได้จากค่าประสิทธิภาพการส่องสว่าง โดยหลอดที่มีประสิทธิภาพพลังงานที่สูงหมายถึง หลอดไฟนั้นมีค่าประสิทธิภาพการส่องสว่าง ซึ่งประหยัดพลังงานมากกว่าหลอดไฟที่มีค่าประสิทธิภาพพลังงานที่ต่ำ อย่างไรก็ตามโดยหลอดแต่ละประเภทมีความแตกต่างกัน การนำไปใช้งาน ดังนั้น จึงไม่ควรพิจารณาเฉพาะค่าประสิทธิภาพการส่องสว่างเพียงอย่างเดียว ยังต้องมีปัจจัยอื่นประกอบอีกมากมาย เช่น ฟลักซ์การส่องสว่าง กำลังไฟฟ้า อุปกรณ์ประกอบ อายุการใช้งาน ความถูกต้องของสี ราคาหลอดไฟ ประเภทกิจกรรม และข้อเปรียบเทียบด้านการใช้งานในที่ต่าง ๆ เป็นต้น ตารางที่ 3-16 ได้แสดงสรุปเปรียบเทียบสมบัติด้านต่าง ๆ ของหลอดไฟเพื่อประโยชน์ในการตัดสินใจเลือกใช้หลอดไฟ

ตารางที่ 3-16 การเปรียบเทียบสมบัติด้านต่าง ๆ ของหลอดประเภทต่าง ๆ

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

หมายเหตุ

<sup>1</sup> ดัชนีบอกความถูกต้องของสี (Color Rendering Index, CRI) เป็นการวัดค่าของหลอดไฟว่ามีประสิทธิภาพในการแสดงคุณลักษณะของสีเป็นอย่างไรโดยใช้ค่าดัชนีบอกความถูกต้องของสีเป็นตัวเปรียบเทียบ ดังนั้นค่า CRI จะเป็นตัวบ่งชี้ความถูกต้องของสีของหลอดไฟชนิดต่าง ๆ เปรียบเทียบกับความถูกต้องของสีที่ได้จากแสงอาทิตย์ซึ่งมีค่า CRI เท่ากับ 100

### 3.6 อุปกรณ์ที่ใช้ร่วมกับหลอดไฟฟ้าที่มีผลต่อประสิทธิภาพพลังงาน

#### 3.6.1 บัลลาสต์

บัลลาสต์เป็นอุปกรณ์ที่จำเป็นสำหรับการใช้งานควบคุมการทำงานของหลอดก๊าซดีสชาร์จ นอกจากนี้ จะช่วยในการทำงานของวงจรไฟฟ้าแสงสว่างให้สมบูรณ์แล้ว ยังมีผลต่อการควบคุมฟลักซ์การส่องสว่าง อายุการใช้งานของหลอด และการใช้พลังงานไฟฟ้าในวงจรด้วยบัลลาสต์มีหน้าที่หลักที่สำคัญ 2 ประการ คือ

ก) **ประการแรก** ช่วยสร้างให้เกิดแรงดันเพียงพอในการจุดหลอดก๊าซดีสชาร์จให้ติดควบคุมปริมาณกระแสไฟฟ้าผ่านหลอดขณะสตาร์ทและทำงาน

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

**3.6.1.1 บัลลาสต์แกนเหล็ก (Electromagnetic Ballast)** โครงสร้างเป็นขดลวดพันรอบแกนเหล็ก (core & coil) ซึ่งชนิดที่นิยมใช้ในประเทศไทยเป็นแบบตัวเหนี่ยวนำ (inductor) หรือเรียกว่า ไช้ก (choke) โดยทำหน้าที่หลักทั้ง 2 ประการของบัลลาสต์ คือ สร้างแรงดันสูงเหนี่ยวนำเพื่อใช้จุดหลอดให้ติดและจำกัดกระแสให้หลอดอย่างเหมาะสม ต้องเลือกให้เหมาะสมกับหลอดแต่ละประเภท แต่ละชนิด และแต่ละขนาด ซึ่งบัลลาสต์เป็นอุปกรณ์ที่จำเป็นสำหรับหลอด

ก๊าซฮีตซาร์จเพราะเมื่อหลอดไฟผ่านขั้นตอนการจุดติดแล้วนั้น ค่าความต้านทานของหลอดจะลดลงอย่างมาก จึงต้องนำบัลลาสต์มาต่ออนุกรมในวงจรเพื่อทำหน้าที่เป็นตัวต้านทานมิให้กระแสไหลเกินพิกัดจนไส้หลอดขาด

การใช้งานร่วมกันระหว่างหลอดไฟฟ้าและบัลลาสต์จะต้องเป็นชนิดที่ออกแบบให้ใช้งานร่วมกันได้ หากใช้งานผิดชนิดกันย่อมทำให้เกิดผลเสียหายหลายอย่าง เช่น จุดหลอดติดยาก หลอดเสื่อมสภาพเร็ว อายุใช้งานสั้น กำลังสูญเสียในบัลลาสต์สูงซึ่งจะทำให้อายุงานบัลลาสต์สั้นลงได้ การใช้งานอย่างมีประสิทธิภาพ จะต้องเลือกใช้บัลลาสต์ที่มีประสิทธิภาพสูงและเหมาะสมกับหลอดไฟ สามารถแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ

**3.6.1.1.1 บัลลาสต์แกนเหล็กทั่วไป (Conventional ballast)** ในการทำงานบัลลาสต์ซึ่งเป็นขดลวดพันอยู่รอบแกนเหล็กเพื่อสร้างค่าความเหนี่ยวนำสูง ซึ่งมีผลทำให้มีค่าความต้านทานสูงเกิดกำลังสูญเสียมากตามไปด้วยโดยมีค่ากำลังสูญเสียประมาณ 8 – 12 วัตต์ สำหรับบัลลาสต์ที่ใช้กับหลอด 36 หรือ 40 วัตต์ และหลอด 18 หรือ 20 วัตต์ การสูญเสียดังกล่าวจะเปลี่ยนไปในรูปของความร้อน ทำให้อุณหภูมิบัลลาสต์ขณะใช้งานอาจสูงถึง 75 – 90 °C จะทำให้หมวนที่เคลือบขดลวดค่อย ๆ เสื่อมสภาพและเสื่อมอายุการใช้งานตามเวลา โดยทั่วไปบัลลาสต์แกนเหล็กแบบทั่วไปตามมาตรฐาน มอก. มีอายุการใช้งานประมาณ 10 ปีใช้งาน (หากใช้งานไม่ตลอด 24 ชม. ต่อวัน ก็อาจใช้งานได้นานถึง 30 ปี ตลอดอายุอาคาร)

**3.6.1.1.2 บัลลาสต์แกนเหล็กแบบกำลังสูญเสียต่ำ (low loss ballast)** เป็นบัลลาสต์แกนเหล็กประสิทธิภาพสูง ที่ลดการสูญเสียพลังงานในบัลลาสต์เหลือเพียงประมาณ 5 – 6 วัตต์ โดยการใช้เส้นลวดที่มีขนาดใหญ่ขึ้นและใช้แกนเหล็กที่มีคุณภาพดี

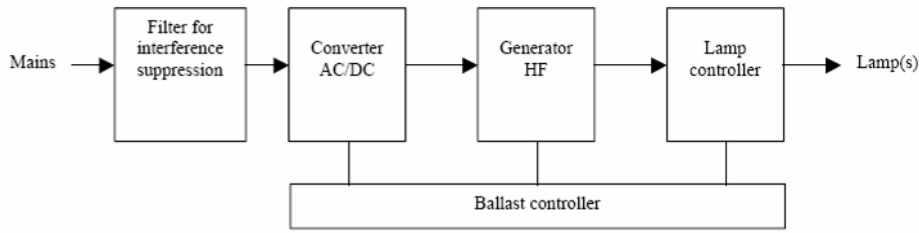
ปัจจุบัน ประเทศไทยมีโครงการจัดตั้งภายใต้ความร่วมมือระหว่างบริษัทผู้ผลิต และ/หรือนำเข้าผลิตภัณฑ์บัลลาสต์ สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.) การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย การไฟฟ้านครหลวง การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค รวมทั้งหน่วยงานที่เกี่ยวข้องต่าง ๆ เพื่อให้ข้อมูลที่ชัดเจนแก่ประชาชน เกี่ยวกับค่าความสูญเสียพลังงานของบัลลาสต์ และระดับประสิทธิภาพของบัลลาสต์นั้น ๆ เพื่อให้ผู้ประกอบการพัฒนาผลิตภัณฑ์บัลลาสต์ให้เป็นอุปกรณ์ที่ประหยัดพลังงานไฟฟ้าอีกประเภทหนึ่ง และเพื่อเป็นทางเลือกให้กับประชาชนในการใช้บัลลาสต์ที่มีคุณภาพสูงขึ้น สูญเสียพลังงานน้อยลงและสามารถหาซื้อได้ในราคาที่เหมาะสม เพื่อให้เกิดการยอมรับในมาตรฐานระดับประสิทธิภาพและคุณภาพของบัลลาสต์ประหยัดไฟฟ้า โดยกำหนดชื่อกกลางเพื่อเรียกบัลลาสต์ดังกล่าวว่า **“บัลลาสต์เบอร์ 5 นිරภัย”** ซึ่งจะต้องผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการทดสอบและรับรองจากสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 23-2521 และต้องมีค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในตัวบัลลาสต์ต่ำกว่า 6 W ที่กระแสไฟฟ้าทดสอบไม่ต่ำกว่า 0.398 A สำหรับบัลลาสต์ที่ใช้กับหลอด 36 W และกระแสทดสอบไม่ต่ำกว่า 0.343 A สำหรับบัลลาสต์ที่ใช้กับหลอด 18 W ในสภาวะ Hot Loss ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านเกณฑ์การทดสอบจะได้รับการติดฉลากเบอร์ 5 ลักษณะดังรูปที่ 3-17



รูปที่ 3-17 ตัวอย่างฉลากบัลลาสต์กำลังสูญเสียต่ำ หรือ “บัลลาสต์เบอร์ 5 นිරภัย” ที่มีค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในตัวบัลลาสต์ต่ำกว่า 6 W ใช้สำหรับสำหรับหลอดฟลูออโรลูมินิสเซนส์ขนาด 18 W หรือ 36 W

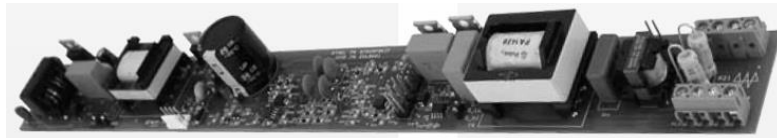
**3.6.1.2 บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ (Electronic ballast)** การทำงานของบัลลาสต์ชนิดนี้เหมือน บัลลาสต์แกนเหล็กมีใช้ทำหน้าที่หลักทั้ง 2 ประการของบัลลาสต์ แต่การจะลดการสูญเสียกำลังไฟฟ้าในโซ่กันได้โดยการลดขนาดโซ่ให้เล็กลงนั้น จำเป็นต้องใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์ทำการเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายปกติความถี่ 50 Hz เป็นความถี่

สูงไม่น้อยกว่า 20,000 Hz (เกณฑ์ 20 kHz เป็นความถี่สูงขั้นต่ำ ที่ทุกคนทั่วไปจะไม่ได้ยินเสียงการทำงาน) ซึ่งการใช้ความถี่สูงก็จะทำให้สามารถลดขนาดไซ้ของบัลลาสต์ให้มีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา มีการสูญเสียต่ำ และประหยัดไฟได้มากกว่าบัลลาสต์แกนเหล็กได้ ปัจจุบันมีการพัฒนาบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้งานในระดับความถี่ kHz – MHz ดังรูปที่ 3-18



รูปที่ 3-18 แผนผังแสดงส่วนทำงานหน้าที่ต่าง ๆ ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์จะประกอบด้วยส่วนสร้างความถี่สูง (HF Generator) และส่วนไซ้ (Lamp Controller) โดยมีวงจรควบคุม (Ballast Controller) ควบคุมการทำงาน ส่วนวงจรกำจัดคลื่นรบกวน (Filter for Interference Suppression) นั้นเป็นวงจรที่อาจมีในบัลลาสต์ที่มีราคาสูงและจัดว่ามีคุณภาพดี ซึ่งบัลลาสต์ราคาถูกบางรุ่นอาจไม่มีวงจรส่วนนี้ ดังรูปที่ 3-19



รูปที่ 3-19 ตัวอย่างภาพอุปกรณ์ภายในกล่องบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์โดยทั่วไปแล้วจะมีค่าตัวประกอบกำลังต่ำจึงต้องใช้อุปกรณ์ปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลัง อุปกรณ์ปรับปรุงตัวประกอบกำลังจะถูกต่อระหว่างแหล่งจ่ายไฟ และบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ อุปกรณ์ปรับปรุงตัวประกอบกำลังถูกออกแบบให้อยู่ในรูปขดลวดเหนี่ยวนำหรือวงจรอิเล็กทรอนิกส์ก็ได้ในขณะที่อุปกรณ์ปรับปรุงตัวประกอบกำลังชนิดวงจรอิเล็กทรอนิกส์มักจะประกอบเข้าเป็นส่วนหนึ่งของบัลลาสต์

**3.6.1.3 การเปรียบเทียบข้อดี ข้อเสีย และพลังงานที่ใช้ของบัลลาสต์** ในหัวข้อนี้กล่าวถึงข้อสรุปการเปรียบเทียบการใช้บัลลาสต์ชนิดต่าง ๆ ตั้งแต่เปรียบเทียบข้อดี ข้อเสียของบัลลาสต์แกนเหล็ก (ตารางที่ 3-17) และบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ (ตารางที่ 3-18) ในด้านการใช้งานและเปรียบเทียบกำลังสูญเสียในบัลลาสต์ของหลอดชนิดต่าง ๆ ข้อมูลทางไฟฟ้าของอินดิเคเตอร์ที่ใช้กับหลอดก๊าซดิสชาร์จความดันสูง เปรียบเทียบลักษณะกระแสผ่านหลอดและแรงดันคร่อมหลอดเมื่อใช้บัลลาสต์ต่างชนิด เปรียบเทียบลักษณะกระแสผ่านหลอดและแรงดันคร่อมหลอดเมื่อใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีคุณภาพต่ำและมีคุณภาพสูง เพื่อใช้เป็นแนวทางในการเลือกใช้งานให้เหมาะสม

ตารางที่ 3-17 ข้อดี-ข้อเสีย ของบัลลาสต์แกนเหล็ก

| ข้อดี   | ข้อเสีย  |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• ราคาต่ำ และอายุใช้งานยาวนานมาก (20 ปี)</li> <li>• ทนต่อสภาพแวดล้อม เช่น แรงดันไม่คงที่ อุณหภูมิสูง</li> <li>• ช่างติดตั้งได้อย่างคุ้นเคย และหาซื้อได้ทั่วไป</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• มีการสูญเสียพลังงานสูงประมาณ 20% (6-10W)</li> <li>• เกิดความร้อนสู่สภาพแวดล้อมสูง มีเสียงฮัม</li> <li>• มีค่าตัวประกอบกำลังต่ำ (PF = 0.27 – 0.52)</li> <li>• ใช้เวลาประมาณ 2-3 วินาทีจึงให้แสงสว่างและมีการกระเพื่อม</li> <li>• มีการกระพริบเมื่อหลอดไฟฟ้า บัลลาสต์ หรือ สตาร์ทเตอร์</li> </ul> |

| ข้อดี | ข้อเสีย  |
|-------|--|
|       | เสื่อม ซึ่งนอกจากเปลืองไฟแล้ว ยังอาจทำให้เกิดไฟไหม้ได้ |

**ตารางที่ 3-18 ข้อดี-ข้อเสีย ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์**

| ข้อดี   | ข้อเสีย  |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>● ลดสูญเสียพลังงานประมาณ 20 %</li> <li>● ลดความร้อนสู่สภาพแวดล้อม และลดเสียงคราง</li> <li>● มีตัวประกอบกำลังสูง (โดยทั่วไป PF &gt;0.96)</li> <li>● ให้แสงสว่างทันที และไม่มีการกระเพื่อม</li> <li>● มีวงจรควบคุมตัดการจ่ายกระแสไฟฟ้าเมื่อผิดปกติ</li> <li>● ความเสื่อมของหลอดไฟลดลง อายุใช้งานนานขึ้น</li> <li>● ใช้ไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงได้ และหรี่แสงได้</li> <li>● สามารถใช้กับหลอดไฟฟ้าได้ 3 – 4 หลอด</li> <li>● น้ำหนักเบา และไม่ต้องใช้สตาร์ทเตอร์ภายนอก</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>● ราคาสูง และอายุใช้งานสั้น</li> <li>● มีข้อจำกัดในการใช้งานในสถานที่ที่มีอุณหภูมิสูง</li> <li>● มีฝุ่นละออง น้ำ ไอน้ำ หรือแรงดันไม่คงที่</li> <li>● มีข้อที่ต้องระมัดระวังในการเลือกซื้อ และการเลือกใช้ให้เหมาะสมต่อลักษณะการใช้งาน</li> </ul> |

**3.6.2 โคมไฟส่องสว่าง (Luminaries)**

โคมไฟส่องสว่างเป็นอุปกรณ์ทำหน้าที่บังคับทิศทางของแสงจากหลอดไฟ ให้กระจายไปในทิศทางต่าง ๆ โคมไฟแต่ละชนิดจึงเหมาะสมกับงานที่แตกต่างกันไป การเลือกใช้โคมไฟจึงต้องพิจารณาปัจจัยต่าง ๆ ให้เหมาะสมกับสภาพการใช้งาน และความต้องการในเรื่องความสวยงามไปพร้อม ๆ กันด้วย ลักษณะของโคมไฟที่มีใช้แพร่หลายในโรงงานและอาคารมีลักษณะดังต่อไปนี้

การแบ่งดวงโคมประเภทต่างๆ ดวงโคมที่มีใช้กันอยู่ในปัจจุบันนี้จะมีอยู่หลายประเภท หลายขนาด และมีรูปร่างแตกต่างกันออกไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการนำไปใช้งานของดวงโคมแต่ละประเภท แต่ละสถานที่ ดวงโคมสามารถแยกประเภทได้ตามลักษณะการพิจารณา ดังนี้

- พิจารณาตามลักษณะประเภทและการติดตั้งดวงโคม
- พิจารณาตามลักษณะของการนำไปใช้งานของดวงโคม
- พิจารณาตามลักษณะของหลอดไฟที่จะใช้กับดวงโคม
- พิจารณาตามลักษณะของการกระจายแสงสว่างของดวงโคม

**3.6.2.1 พิจารณาตามลักษณะประเภทและการติดตั้งดวงโคม** เมื่อมีการติดตั้งดวงโคมผู้ออกแบบจะพิจารณาถึงลักษณะของสถานที่ที่จะติดตั้งดวงโคมว่าควรจะใช้ดวงโคมประเภทใด ซึ่งสามารถจำแนกประเภทของดวงโคมที่จะติดตั้งกับสถานที่ต่าง ๆ ได้ดังนี้

**3.6.2.1.1 ดวงโคมสำหรับติดตั้งแบบห้อย หรือแขวนจากเพดานหรือคานลงมา** มีลักษณะดังรูปที่ 3-20 (ก) และ (ข) ส่วนใหญ่แล้วดวงโคมประเภทนี้จะใช้สำหรับบริเวณที่มีความสูงจากพื้นงานถึงเพดานสูงกว่าปกติ หรือเพื่อความสวยงามและให้ได้แสงสว่างพอเพียง



(ก) ลักษณะดวงโคมของหลอดฟลูออเรสเซนต์แบบห้อยหรือ (ข) ลักษณะดวงโคมของหลอดอินแคนเดสเซนต์แบบ ห้อยหรือแขวน

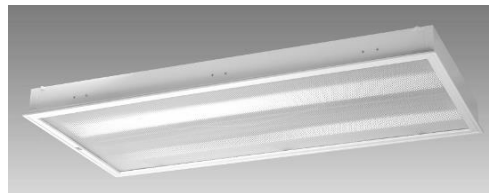
รูปที่ 3-20 ลักษณะของดวงโคมสำหรับติดตั้งแบบห้อยหรือแขวน

**3.6.2.1.2 ดวงโคมสำหรับยึดติดกับเพดาน** คือ ดวงโคมที่ติดตั้งให้ตัวดวงโคมยึดติดกับฝ้าหรือเพดานมีลักษณะดังรูปที่ 3-21 ส่วนใหญ่แล้วจะใช้สำหรับบริเวณที่มีความสูงจากพื้นงานถึงเพดานไม่สูงนัก มักจะใช้ติดตั้งในสำนักงานหรือตามบ้านเรือน



รูปที่ 3-21 ลักษณะของดวงโคมสำหรับยึดติดกับฝ้าหรือเพดาน

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



รูปที่ 3-22 ลักษณะดวงโคมของหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิดติดยึดเข้าไปในเพดานหรือฝ้า

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



รูปที่ 3-23 ลักษณะของดวงโคมตามลักษณะการนำไปใช้งานสำหรับไฟถนนบริเวณโรงงานที่มีสารเคมี



**3.6.2.3 พิจารณาตามลักษณะของหลอดไฟ** หลอดไฟที่ใช้อยู่ในปัจจุบันจะมีรูปร่าง ตลอดจนคุณลักษณะ เฉพาะตัวเช่นกำลังไฟฟ้าที่ใช้ต่างกันอย่างชัดเจน ดังนั้นโคมไฟต้องถูกออกแบบเพื่อให้เหมาะสมกับลักษณะของหลอด และความ ปลอดภัยเมื่อนำมาใช้งาน หากแบ่งโคมไฟตามประเภทของหลอดอาจแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภทใหญ่ ๆ ได้แก่ โคมไฟที่ ใช้กับหลอดอินแคนเดสเซนต์ โคมไฟที่ใช้กับหลอดฟลูออเรสเซนต์ และโคมไฟที่ใช้กับหลอด HID ดังรูปที่ 3-24



โคมไฟสำหรับหลอดอินแคนเดสเซนต์

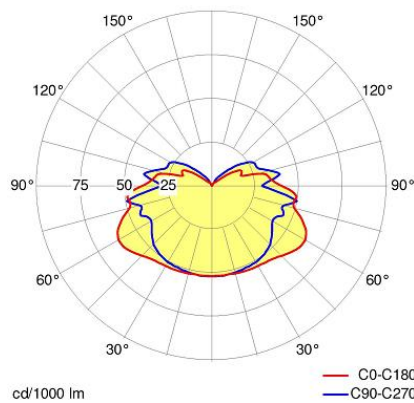
โคมไฟสำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์

โคมไฟสำหรับหลอดประเภท HID

รูปที่ 3-24 ลักษณะของดวงโคมที่พิจารณาตามลักษณะของหลอดไฟชนิดต่าง ๆ

**3.6.2.4 พิจารณาตามลักษณะการกระจายแสงสว่างของดวงโคม**

**3.6.2.4.1 การกระจายกำลังการส่องสว่างของแสงสว่างของดวงโคม** ดวงโคมแต่ละประเภท ที่ถูกสร้างขึ้นจะต้องมีการทดสอบหาการกระจายกำลังการส่องสว่างของแสงสว่างของดวงโคมหรือ หลอดไฟ (Candle Power Distribution) ซึ่งหมายถึงกราฟแสดงการกระจายแสงสว่างในหน่วยของกำลัง เทียน โดยปกติแล้วหน้าที่โดยตรงของดวงโคมจะเป็นตัวควบคุมการกระจายแสงสว่างให้ไปตกลงบนพื้นที่ที่เรา ต้องการส่องสว่าง และดวงโคมแต่ละแบบแต่ละชนิดจะมีลักษณะการกระจายแสงสว่างไม่เหมือนกัน ซึ่งสามารถที่จะหารูปทรงลักษณะการกระจายกำลังการส่องสว่างของแสงสว่างของดวงโคมแต่ละดวงโคม นั้น ณ มุมต่าง ๆ รอบดวงโคมโดยให้อยู่ในแนวรัศมีเดียวกัน แล้วนำมาบันทึกลงในกระดาษกราฟในระบบพิกัดเชิง ขั้วระยะเดียวกัน (Polar Coordinate) อาจจะได้เส้นโค้งการกระจายกำลังการส่องสว่างของแสงสว่างของดวง โคมออกมาดังรูป 3-25

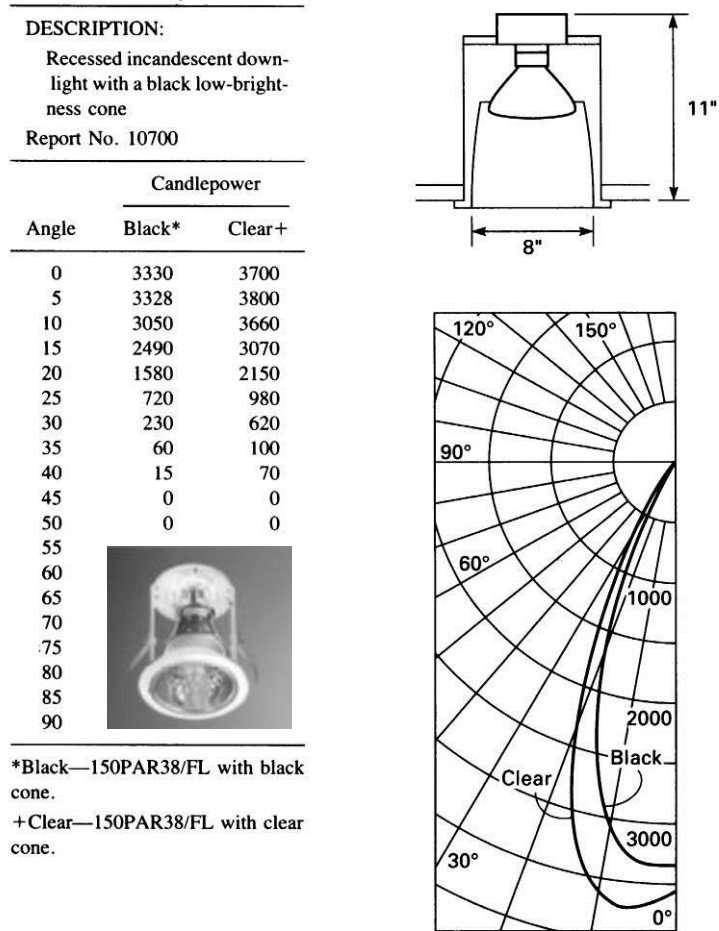


รูปที่ 3-25 กราฟเส้นโค้งการกระจายความเข้มการส่องสว่างของดวงโคม

โดยปกติแล้วเส้นโค้งการกระจายกำลังการส่องสว่างของแสงสว่างของดวงโคมนี้จะมีลักษณะ ที่แตกต่างกัน ออกไปอีกหลายแบบ แล้วแต่ชนิดของดวงโคมที่เรานำมาทดสอบหรือแล้วแต่ชนิดของหลอดไฟที่มีรูปร่างแตกต่างกัน ออกไป

ประโยชน์จากเส้นโค้งการกระจายกำลังการส่องสว่างของแสงสว่างของดวงโคมนี้คือ ทำให้ทราบถึงลักษณะการ กระจายแสงสว่างที่ออกจากดวงโคมแบบต่าง ๆ เพื่อให้สามารถเลือกใช้ดวงโคมได้เหมาะสมกับประเภทของงาน และ ค่าที่อ่านได้จากเส้นโค้งการกระจายกำลังการส่องสว่างของแสงสว่างของดวงโคมนี้เป็นค่าเฉพาะจุดใดจุดหนึ่งเท่านั้น ไม่ใช่ค่าเฉลี่ยทั่วพื้นที่บริเวณที่ต้องการคำนวณ บางครั้งดวงโคมสองชุดอาจจะมีค่าปริมาณจำนวนเส้นแรงของแสงสว่าง รวมเท่ากัน แต่ก็ไม่จำเป็นที่ลักษณะของการกระจายแสงสว่างที่ออกจากดวงโคมจะต้องเหมือนกัน หรือบางครั้งโรงงาน

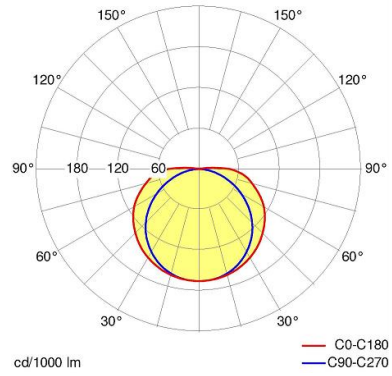
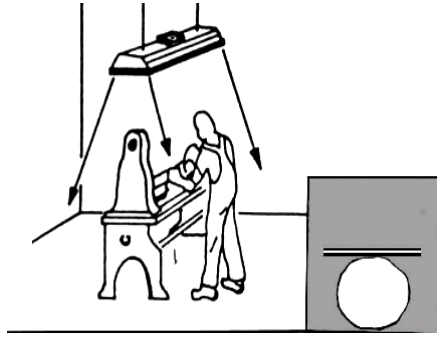
ผู้ผลิตดวงโคมอาจจะจัดทำตารางแสดงค่าของการกระจายแสงสว่างที่มุมต่าง ๆ มาให้ ดังรูปที่ 3-26 ทำให้สามารถคำนวณหรือบอกได้ว่าดวงโคมที่เห็นอยู่นั้นเป็นดวงโคมที่มีการกระจายแสงสว่างแบบใด



รูปที่ 3-26 ข้อมูลการกระจายแสงของดวงโคมดาวน์ไลน์

3.6.2.4.2 ลักษณะการกระจายแสงของดวงโคมประเภทต่างๆ ดวงโคมที่สร้างขึ้นมามีลักษณะของการกระจายแสงสว่างต่าง ๆ กันออกไป ขึ้นอยู่กับความต้องการของงานประเภทนั้น ๆ เมื่อมีการกระจายแสงสว่างออกเป็นหลาย ๆ ลักษณะ ก็จำเป็นจะต้องมีการจัดหมวดหมู่หรือจำแนกประเภทของการกระจายแสงสว่างของดวงโคมนั้นออกไป โดยใช้หลักการของการกระจายแสงสว่างในแนวตั้งของดวงโคม โดยพิจารณาจากอัตราส่วนของปริมาณพลังการส่องสว่างที่พุ่งออกมาจากดวงโคมที่ลงสู่พื้นต่อปริมาณของแสงสว่างที่กระจายออกจากดวงโคมขึ้นสู่เพดาน ซึ่งสามารถแบ่งประเภทของดวงโคมตามลักษณะของการกระจายแสงสว่างได้ 6 ชนิด คือ

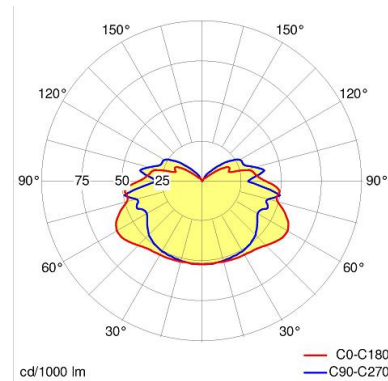
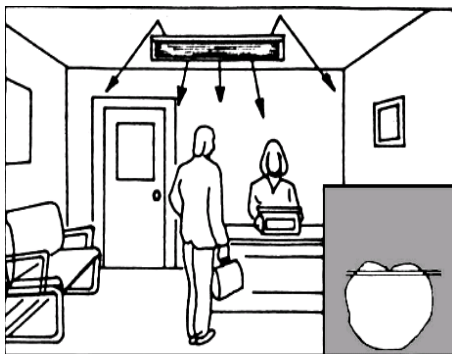
1) ดวงโคมแบบกระจายแสงสว่างลงด้านล่าง (Direct Luminaire) ดวงโคมประเภทนี้เป็นดวงโคมที่มีการกระจายแสงสว่างส่วนใหญ่ประมาณ 90 - 100 % ของแสงสว่างทั้งหมดลงสู่พื้น และส่วนที่เหลือประมาณ 0 - 10 % จะกระจายแสงสว่างขึ้นสู่เพดาน ดังรูปที่ 3-27



รูปที่ 3-27 ลักษณะของการกระจายแสงสว่างของดวงโคมแบบกระจายแสงสว่างลงด้านล่าง (Direct Luminaire)

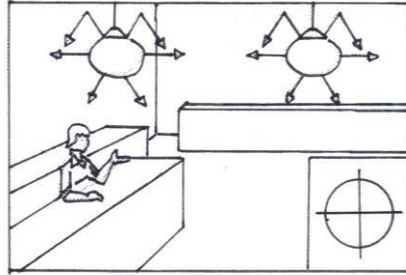
ดวงโคมประเภทนี้มีข้อดีอยู่ว่า เราสามารถที่จะควบคุมทิศทางของการกระจายแสงสว่างให้ไปตกลงพื้นงานที่ต้องการได้ง่าย แต่มีข้อควรระวังเวลาใช้ดวงโคมประเภทนี้คือ จะต้องจัดระยะห่างระหว่างดวงโคมให้เหมาะสม มิฉะนั้นอาจจะทำให้เกิดเงาขึ้นได้ระหว่างจุดกึ่งกลางของดวงโคมที่ใช้ในการติดตั้งและอีกประการหนึ่ง ก็คือ ความแตกต่างระหว่างความจ้าของแสงสว่างที่สะท้อนออกจากตัวดวงโคมกับผนังเพดานจะมีมาก จะต้องทำการแก้ไขโดยอาจจะใช้วิธีทาสีเข้าช่วย หรือติดตั้งอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่มีเปอร์เซ็นต์ในการสะท้อนแสงสว่างสูงเข้าช่วย

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



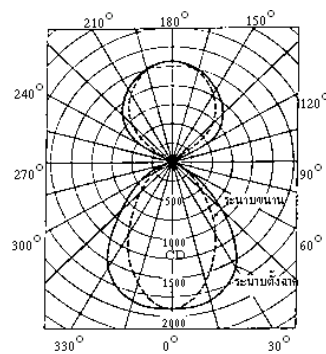
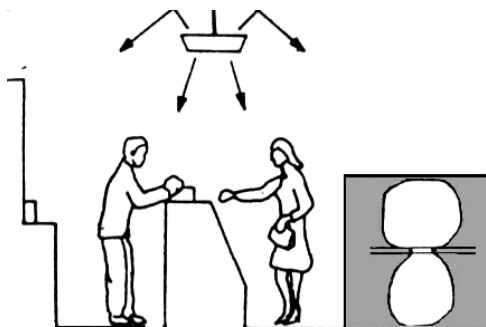
รูปที่ 3-28 ลักษณะของการกระจายแสงสว่างของดวงโคมแบบกึ่งกระจายแสงสว่างลงด้านล่าง (Semi - direct Luminaire)

3) **ดวงโคมแบบกระจายแสงสว่างรอบด้าน (General Diffuse Luminaire)** ดวงโคมประเภทนี้เป็นดวงโคมที่มีการกระจายแสงสว่างไฟฟ้ารอบดวงโคมทุกทิศทาง คือ มีการกระจายแสงสว่างลงสู่พื้นกระจายแสงสว่างขึ้นสู่เพดานและกระจายแสงสว่างตามแนวระดับของดวงโคมพอ ๆ กัน ดังรูปที่ 3-29 ดวงโคมประเภทนี้มีข้อดี คือ ค่าความจ้าของแสงสว่างจะสม่ำเสมอทั่วทั้งห้องและดูสบายกว่าสองแบบแรก แต่มีข้อเสีย คือ ค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์จะมีค่าต่ำกว่าสองแบบแรก เพราะการควบคุมแสงสว่างให้ไปตกในบริเวณที่ต้องการได้ยากกว่า



รูปที่ 3-29 ลักษณะของการกระจายแสงสว่างของดวงโคมแบบกระจายแสงสว่างรอบด้าน (General Diffuse Luminaire)

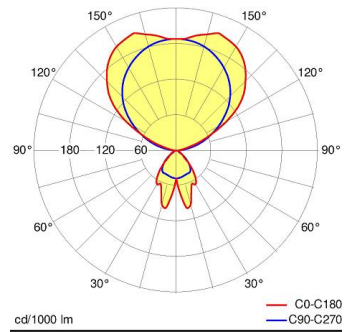
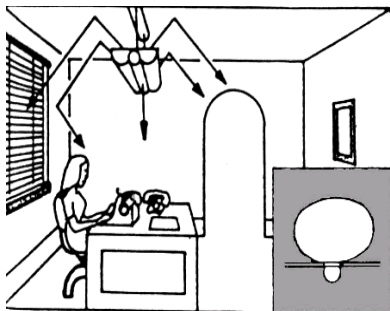
4) **ดวงโคมแบบกระจายแสงสว่างขึ้นด้านบนและลงด้านล่าง (Direct - Indirect Luminaire)** ดวงโคมประเภทนี้เป็นดวงโคมที่มีการกระจายแสงสว่างขึ้นสู่เพดานและกระจายแสงสว่างลงสู่พื้นเท่ากัน ไม่กระจายแสงสว่างสู่แนวระดับ ดังรูปที่ 3-30 ดวงโคมประเภทนี้มีข้อดีคือ ค่าความจ้าของแสงสว่างจะสม่ำเสมอทั่วทั้งห้องและดูสบายตาดีกว่าสองแบบแรก แต่มีข้อเสีย คือ ค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์มีค่าต่ำกว่าสองแบบแรกและการควบคุมแสงสว่างให้ไปตกในบริเวณที่ต้องการทำได้ยากกว่า



รูปที่ 3-30 ลักษณะของการกระจายแสงสว่างของดวงโคมแบบกระจายแสงสว่างขึ้นด้านบนและลงด้านล่าง (Direct - Indirect Luminaire)

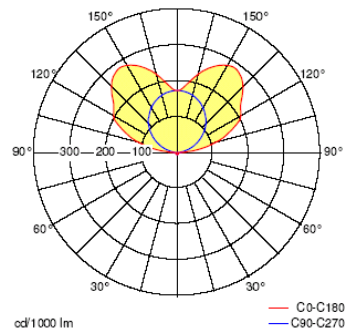
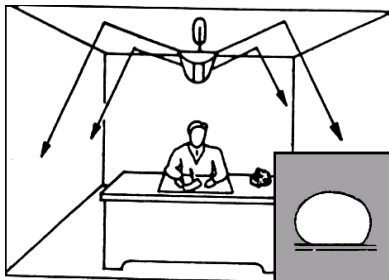
5) **ดวงโคมแบบกึ่งกระจายแสงสว่างขึ้นด้านบน (Semi - Indirect Luminaire)** ดวงโคมประเภทนี้เป็นดวงโคมที่มีการกระจายแสงสว่างส่วนใหญ่ประมาณ 60 - 90 % ของแสงสว่างทั้งหมดขึ้นสู่เพดาน และที่เหลือ 10 - 40 % กระจายแสงสว่างลงสู่พื้น ดังรูปที่ 3-31 ดวงโคมประเภทนี้มีข้อดีคือ สามารถลดการแยงตาของแสงสว่างได้ดี เหมาะที่จะติดตั้งในบริเวณที่ไม่ต้องการให้มีการแยงตาของแสงสว่าง เนื่องจากดวงโคมประเภทนี้มีการกระจายแสงสว่างส่วนใหญ่ขึ้นสู่เพดานมากกว่าลงบนพื้นงาน จึงดูเหมือนว่าเพดานจะทำหน้าที่คล้ายแหล่งกำเนิดแสงสว่างขนาดใหญ่แหล่งหนึ่ง และจะสะท้อนแสงสว่างลงสู่พื้นงาน เมื่อเป็นเช่นนี้ความสามารถในการสะท้อนแสงสว่างของเพดานจะต้องมีความสามารถในการสะท้อนแสงสว่างสูงมาก และค่าความจ้าของแสงสว่างที่สะท้อนแสงสว่างออกมาระหว่างเพดานกับดวงโคมจะต้องไม่แตกต่างกันมากนัก จึงจะ

ทำให้ความจ้าของแสงสว่างที่สะท้อนแสงสว่างออกมาพอใกล้เคียงกัน และระยะห่างระหว่างดวงโคมกับเพดาน จะต้องติดตั้งดวงโคมห่างจากเพดานพอสมควร



รูปที่ 3-31 ลักษณะของการกระจายแสงสว่างของดวงโคมแบบกึ่งกระจายแสงสว่างขึ้นด้านบน (Semi – Indirect Luminaire)

6) ดวงโคมแบบกระจายแสงสว่างขึ้นด้านบน (Indirect Luminaire) ดวงโคมประเภทนี้เป็นดวงโคมที่มีการกระจายแสงสว่างส่วนใหญ่ 90 – 100 % ขึ้นสู่เพดาน และที่เหลือ 0 – 10 % จะกระจายแสงสว่างลงสู่พื้น ดังรูปที่ 3-32 ดวงโคมประเภทนี้มีข้อดี คือ สามารถลดหรือควบคุมการแยงตาของแสงสว่างได้ดีมากและความจ้าของแสงสว่างภายในห้องจะสม่ำเสมอเกือบจะเท่ากันทั้งห้อง ข้อเสีย คือ การติดตั้งจะต้องติดตั้งดวงโคมให้สูงกว่าเพดานอย่างพอเหมาะจึงจะทำให้แสงสว่างสะท้อนออกจากเพดานลงมาบนพื้นได้สม่ำเสมอ และดวงโคมประเภทนี้จะมีค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์น้อยที่สุดในบรรดาประเภทของดวงโคมทั้งหมด



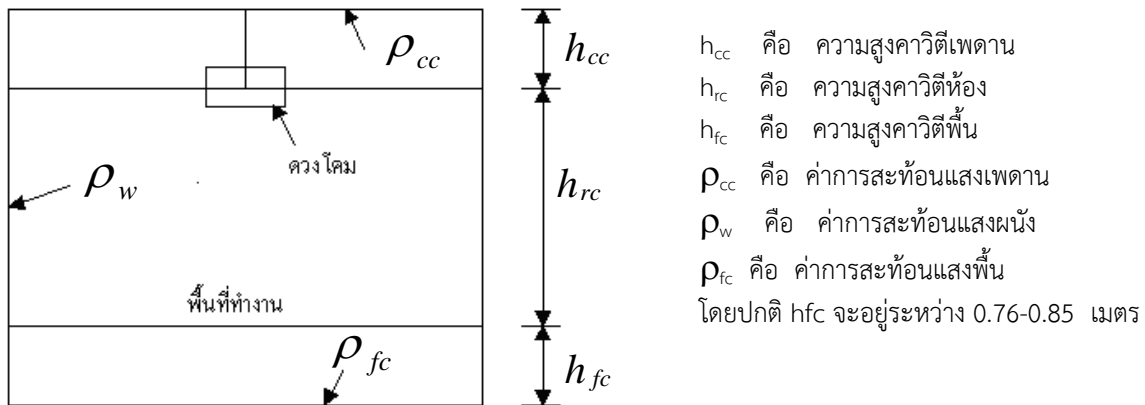
รูปที่ 3-32 ลักษณะของการกระจายแสงสว่างของดวงโคมแบบกระจายแสงสว่างขึ้นด้านบน (Indirect Luminaire)

3.6.2.4.3 ประสิทธิภาพในการกระจายแสงของโคมไฟ ในการพิจารณาความประสิทธิผลการกระจายแสงของโคม นั้น สามารถพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์ของดวงโคม (Coefficient of Utilization: CU) ตามแนวทางของ Illumination Engineering Society, IES) หรือ พิจารณาจากค่าตัวประกอบการใช้ประโยชน์ (Utilization factor, UF) ตามแนวทางของ CIE ซึ่งทั้งสองค่านี้มีความหมายเหมือนกันแสดงอัตราส่วนของฟลักซ์การส่องสว่างตกบนพื้นทำงานต่อฟลักซ์แสงสว่างทั้งหมดที่ออกจากโคม

ค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์นั้นขึ้นอยู่กับลักษณะการกระจายแสงสว่างของดวงโคม สัดส่วนของห้อง ความสูงของห้อง การสะท้อนแสงสว่างของเพดาน การสะท้อนแสงสว่างของผนัง และการสะท้อนแสงสว่างของพื้นที่ที่ต้องการส่องสว่าง โดยทั่วไปแล้วค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์นั้น โรงงานผู้ผลิตดวงโคมจะเป็นผู้จัดทำตารางค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์กำกับมาให้ และสามารถขอรายละเอียดจากบริษัทผู้ผลิตหรือตัวแทนจำหน่ายได้

1) การหาสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์ของดวงโคม (CU) ด้วยวิธีลูเมนโซนัลคาวิตี (Zonal Cavity) การหาสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์ของดวงโคมด้วยวิธีลูเมนโซนัลคาวิตี เป็นการคำนวณแสงสว่างของสมาคมวิศวกรรมแสงสว่างสหรัฐอเมริกา (Illumination Engineering Society) หรือ IES เป็นการหาอัตราส่วนคาวิตี รูปห้องที่ใช้ในการพิจารณาจะเป็นห้องสี่เหลี่ยม ซึ่งสามารถหาได้จากรูปที่ 3-33 อัตราส่วนคาวิตีห้อง (Room Cavity Ratio) หรือ RCR สามารถคำนวณได้จาก

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



รูปที่ 3-33 ค่าสัมประสิทธิ์เฉพาะทางแสงวิธีโซนัลคาวิตี

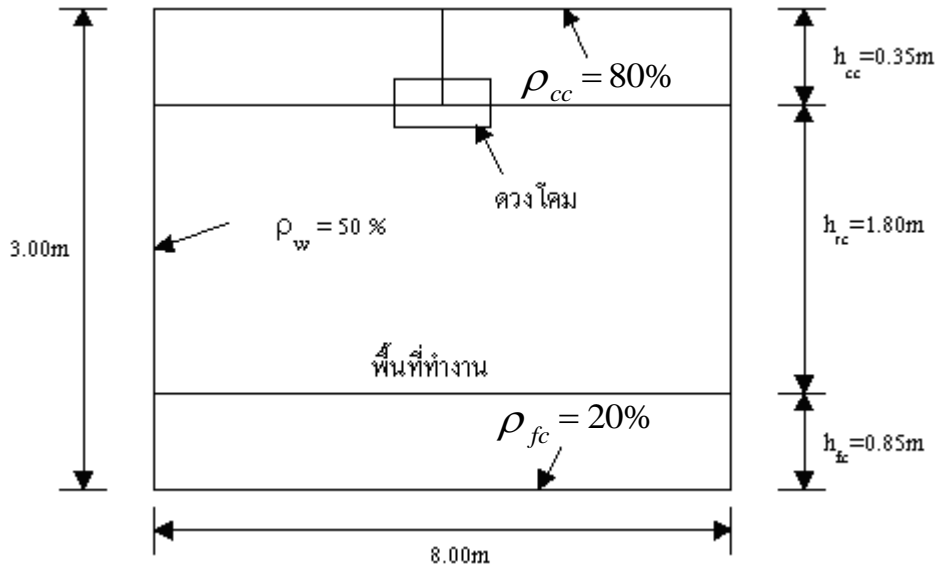
ตัวอย่างที่ 1 ห้องขนาดกว้าง 8 เมตร ยาว 10 เมตร สูง 3 เมตร พื้นที่ทำงานสูงจากพื้น 0.85 เมตร ตามรูปที่ 3-34 โคมไฟแขวนจากเพดานลงมา 0.35 เมตร ถ้าค่าการสะท้อนแสงเพดาน ( $\rho_{cc}$ ) 80% การสะท้อนแสงผนัง ( $\rho_w$ ) 50% ค่าการสะท้อนแสงพื้น ( $\rho_{fc}$ ) 20% จงคำนวณหาค่า RCR

วิธีทำ จากสมการที่ 3.3

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

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

ตอบ

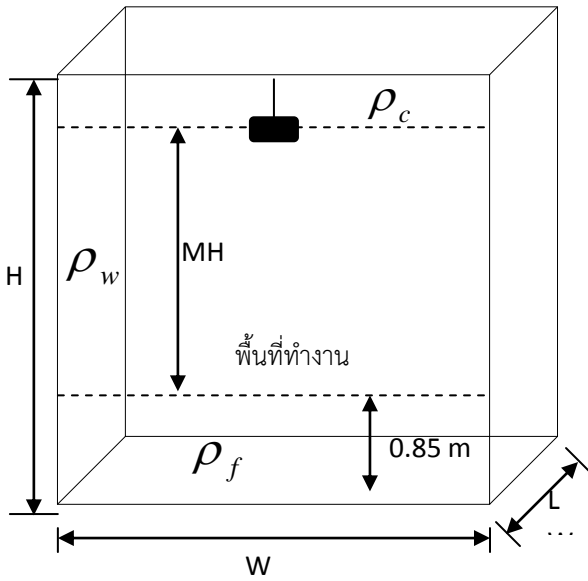


รูปที่ 3-34 การหาค่า RCR และค่า CU

ตัวอย่างที่ 2 ห้องตามตัวอย่างที่ 1 เมื่อค่า RCR = 2 ถ้าค่าการสะท้อนแสงเพดาน ( $\rho_{cc}$ ) 80% การสะท้อนแสงผนัง ( $\rho_w$ ) 50% ค่าการสะท้อนแสงพื้น ( $\rho_{fc}$ ) 20% โดยเลือกดวงโคมที่มีการแสดงค่า CU ตามตาราง จะสามารถอ่านค่า CU ได้เท่ากับ 0.66

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

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



- H คือ ความสูงห้อง
- W คือ ความกว้างห้อง
- L คือ ความยาวห้อง
- MH คือ ความสูงของดวงโคม เหนือพื้นที่ทำงาน
- $\rho_c$  คือ ค่าการสะท้อนแสงเพดาน
- $\rho_w$  คือ ค่าการสะท้อนแสงผนัง
- $\rho_f$  - ค่าการสะท้อนแสงพื้น

รูปที่ 3-35 คำศัพท์เฉพาะของการหาดัชนีห้อง

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

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

จากสมการที่ 3.3 และ 3.4 จะเห็นว่า RCR และ K มีความสัมพันธ์กัน แสดงได้เป็น

$$(RCR)(K) = 5 \tag{3-5}$$

สำหรับรูปที่ 3-36 เป็นตัวอย่างข้อมูลดวงโคม เมื่อคำนวณหาค่าดัชนีห้องก็สามารถนำไปหาค่า CU จากตาราง ซึ่งจะต้องทราบค่าการสะท้อนแสงเพดาน ( $\rho_c$ ) การสะท้อนแสงผนัง ( $\rho_w$ ) และการสะท้อนแสงพื้น ( $\rho_f$ ) ซึ่งจากตัวอย่างในตารางจะเขียนเปอร์เซ็นต์การสะท้อนเป็นสามค่าเช่น 851 จะหมายถึง การสะท้อนแสงเพดาน ( $\rho_c$ ) 80 % การสะท้อนแสงผนัง ( $\rho_w$ ) 50 % ค่าการสะท้อนแสงพื้น ( $\rho_f$ ) 10 %

| TBS 300 236 M1                                     |                          |        |                          |        |                 |
|--|--------------------------|--------|--------------------------|--------|-----------------|
| C.I.E. FLUX CODE : 60 91 98 100 70                 |                          |        |                          |        |                 |
| DIMENSIONS LUMINOUS AREA : L = 1.175 M W = 0.260 M |                          |        |                          |        |                 |
| $\gamma$   | INTENSITY PER 1000 LUMEN |        | LUMINANCE PER 1000 LUMEN |        | ZONAL FLUX IM % |
|  | 0-180                    | 90-270 | 0-180                    | 90-270 |                 |
| 0  | 254                      | 254    | 830                      | 830    | 0               |
| 5  | 257                      | 252    | 863                      | 826    | 6               |
| 10   | 270                      | 246    | 896                      | 816    | 24              |
| 15   | 295                      | 236    | 1000                     | 800    | 55              |
| 20   | 324                      | 225    | 1130                     | 782    | 99              |
| 25   | 349                      | 210    | 1260                     | 757    | 157             |
| 30   | 352                      | 194    | 1330                     | 734    | 228             |
| 35   | 327                      | 177    | 1308                     | 706    | 309             |
| 40   | 284                      | 158    | 1213                     | 676    | 394             |
| 45   | 204                      | 138    | 942                      | 637    | 475             |
| 50   | 116                      | 118    | 592                      | 601    | 546             |
| 55   | 42                       | 96     | 237                      | 546    | 600             |
| 60   | 14                       | 75     | 90                       | 491    | 637             |
| 65   | 7                        | 54     | 57                       | 414    | 660             |
| 70   | 5                        | 36     | 47                       | 341    | 674             |
| 75   | 3                        | 24     | 35                       | 298    | 685             |
| 80   | 1                        | 15     | 26                       | 275    | 692             |
| 85   | 1                        | 6      | 26                       | 229    | 696             |

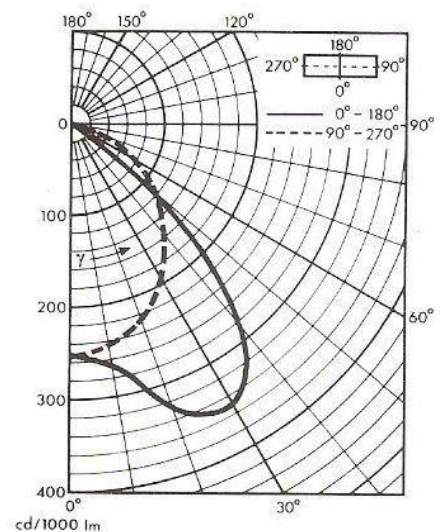
  

| LIGHT OUTPUT RATIO |        |
|--------------------|--------|
| SERVICE UPWARD     | = 0.00 |
| SERVICE DOWNWARD   | = 0.70 |
| TOTAL              | = 0.70 |
| OPTICAL TOTAL      | = 0.72 |

| TABLES OF REDUCED UTILIZATION FACTORS FOR THE CALCULATION OF AVERAGE ILLUMINANCES |  |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|---|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| LUMINAIRE ARRANGEMENTS : C.I.E. REFERENCE ARRANGEMENT                             |  |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| room index  | (REDUCED) WORKING PLANE UTILIZATION FACTOR |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|   | reflectances :                             |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 0.60  | .36  | .32 | .29 | .36 | .31 | .28 | .31 | .28 | .38 | .33 | .29 | .37 | .32 | .29 | .32 | .29 | .44 | .37 | .32 | .48 | .39 | .31 |
| 0.80  | .43  | .39 | .35 | .42 | .35 | .35 | .38 | .35 | .46 | .40 | .36 | .44 | .39 | .36 | .39 | .35 | .51 | .44 | .39 | .56 | .47 | .41 |
| 1.00  | .49  | .44 | .41 | .48 | .44 | .41 | .43 | .41 | .52 | .46 | .42 | .50 | .45 | .42 | .44 | .41 | .55 | .49 | .45 | .62 | .53 | .44 |
| 1.25  | .53  | .49 | .46 | .52 | .49 | .46 | .48 | .46 | .58 | .52 | .48 | .55 | .51 | .47 | .50 | .47 | .60 | .54 | .50 | .67 | .59 | .51 |
| 1.50  | .57  | .53 | .50 | .56 | .52 | .50 | .52 | .49 | .62 | .57 | .53 | .59 | .55 | .52 | .53 | .51 | .62 | .57 | .53 | .71 | .63 | .51 |
| 2.00  | .61  | .59 | .56 | .60 | .58 | .55 | .57 | .55 | .68 | .63 | .60 | .65 | .61 | .58 | .59 | .56 | .66 | .62 | .59 | .76 | .70 | .61 |
| 2.50  | .64  | .62 | .60 | .63 | .61 | .59 | .60 | .58 | .72 | .68 | .64 | .68 | .65 | .62 | .62 | .60 | .68 | .65 | .62 | .79 | .74 | .61 |
| 3.00  | .66  | .64 | .62 | .65 | .63 | .61 | .62 | .61 | .74 | .71 | .68 | .70 | .68 | .65 | .65 | .63 | .70 | .67 | .65 | .81 | .76 | .71 |
| 4.00  | .68  | .67 | .65 | .67 | .65 | .64 | .64 | .63 | .77 | .74 | .72 | .73 | .71 | .69 | .67 | .66 | .71 | .69 | .67 | .84 | .80 | .74 |
| 5.00  | .69  | .68 | .67 | .68 | .67 | .66 | .66 | .65 | .79 | .77 | .74 | .75 | .73 | .71 | .69 | .68 | .72 | .70 | .69 | .85 | .82 | .71 |

Luminous intensity diagram

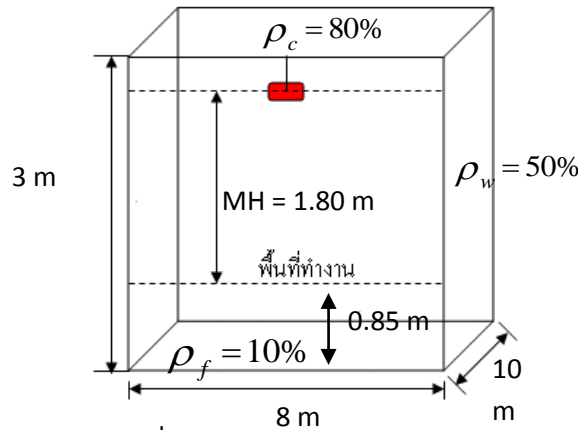


รูปที่ 3-36 ตัวอย่างตารางแสดงค่า Utilization factor



ตัวอย่างที่ 3 ห้องขนาดกว้าง 8 เมตร ยาว 10 เมตร สูง 3 เมตร พื้นที่ทำงานสูงจากพื้น 0.85 เมตร ตามรูปที่ 3-37 ถ้าค่าการสะท้อนแสงเพดาน ( $\rho_c$ ) 80 % การสะท้อนแสงผนัง ( $\rho_w$ ) 50 % ค่าการสะท้อนแสงพื้น ( $\rho_f$ ) 10 % จงคำนวณหาค่า K วิธีทำ

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



รูปที่ 3-37 ค่าศัพท์เฉพาะของการหาดัชนีห้อง

ตัวอย่างที่ 4 ห้องตามตัวอย่างที่ 3 เมื่อค่า K = 2.5 ถ้าค่าการสะท้อนแสงเพดาน ( $\rho_c$ ) 80 % การสะท้อนแสงผนัง ( $\rho_w$ ) 50 % ค่าการสะท้อนแสงพื้น ( $\rho_f$ ) 10 % โดยเลือกดวงโคมที่มีข้อมูลแสดงค่า Utilization factor ตามตาราง จงหาค่า CU

วิธีทำ

จากตาราง เมื่อ K = 2.5  $\rho_{cc}$  80 %  $\rho_w$  50 %  $\rho_{fc}$  10 % (851) UF = 0.65

| Room index | reflectances : |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|------------|----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|            | 751            | 731 | 711 | 551 | 531 | 511 | 331 | 311 | 753 | 733 | 713 | 553 | 533 | 513 | 333 | 313 | 871 | 851 | 831 | 811 | 000 |     |     |
| 0.40       | .37            | .33 | .30 | .36 | .32 | .29 | .32 | .29 | .39 | .34 | .30 | .38 | .33 | .30 | .33 | .30 | .45 | .37 | .33 | .48 | .39 | .34 | .28 |
| 0.80       | .44            | .40 | .36 | .43 | .39 | .36 | .39 | .36 | .46 | .41 | .37 | .45 | .40 | .37 | .40 | .37 | .51 | .44 | .40 | .56 | .47 | .41 | .35 |
| 1.00       | .49            | .45 | .42 | .48 | .45 | .42 | .44 | .42 | .53 | .47 | .43 | .51 | .46 | .43 | .45 | .42 | .56 | .50 | .45 | .62 | .53 | .48 | .40 |
| 1.25       | .54            | .50 | .47 | .53 | .50 | .47 | .49 | .47 | .58 | .53 | .49 | .56 | .52 | .48 | .50 | .48 | .59 | .54 | .50 | .67 | .59 | .54 | .45 |
| 1.50       | .57            | .54 | .51 | .56 | .53 | .51 | .52 | .50 | .62 | .57 | .54 | .60 | .56 | .52 | .54 | .51 | .62 | .58 | .54 | .70 | .63 | .58 | .49 |
| 2.00       | .62            | .59 | .57 | .60 | .58 | .56 | .57 | .55 | .68 | .64 | .60 | .65 | .62 | .59 | .59 | .57 | .66 | .62 | .59 | .75 | .70 | .65 | .54 |
| 2.50       | .64            | .62 | .60 | .63 | .61 | .59 | .60 | .59 | .71 | .68 | .65 | .68 | .65 | .63 | .63 | .61 | .68 | .65 | .62 | .78 | .73 | .69 | .57 |
| 3.00       | .66            | .64 | .62 | .65 | .63 | .61 | .62 | .61 | .74 | .71 | .68 | .70 | .68 | .65 | .65 | .63 | .69 | .67 | .64 | .80 | .76 | .72 | .59 |
| 4.00       | .68            | .66 | .65 | .66 | .65 | .64 | .64 | .63 | .77 | .74 | .72 | .73 | .70 | .69 | .67 | .66 | .70 | .68 | .67 | .83 | .79 | .76 | .61 |
| 5.00       | .69            | .67 | .66 | .67 | .66 | .65 | .65 | .64 | .78 | .76 | .74 | .74 | .72 | .70 | .69 | .67 | .71 | .70 | .68 | .84 | .81 | .78 | .63 |

### 3.7 มาตรฐานระดับความส่องสว่าง

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

- 1) พื้นที่ภายในอาคารทั่วไป
- 2) อาคารสำนักงาน
- 3) ร้านค้าปลีก
- 4) ห้องอาหาร และโรงแรม
- 5) ห้องสมุด
- 6) อาคารสถาบันการศึกษา โรงเรียน

- 7) พื้นที่จอดรถภายในอาคารทั่วไป
- 8) โรงพยาบาล
- 9) ร้านแต่งผม
- 10) พื้นที่สำหรับการแสดงและการบันเทิง
- 11) อุตสาหกรรมอาหาร
- 12) อุตสาหกรรมทำขนม เบเกอรี่
- 13) อุตสาหกรรมด้านการเกษตร ปศุสัตว์
- 14) อุตสาหกรรมซีเมนต์ คอนกรีต และอิฐ
- 15) อุตสาหกรรมเซรามิกและแก้ว
- 16) อุตสาหกรรมเคมี พลาสติก ยาง
- 17) อุตสาหกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์
- 18) อุตสาหกรรมหล่อหลอมโลหะ
- 19) อุตสาหกรรมเพชรพลอย
- 20) อุตสาหกรรมซัก อบ รีด
- 21) อุตสาหกรรมเครื่องหนัง
- 22) อุตสาหกรรมแปรรูปโลหะ
- 23) อุตสาหกรรมกระดาษ
- 24) อุตสาหกรรมผลิตไฟฟ้า
- 25) อุตสาหกรรมการพิมพ์
- 26) อุตสาหกรรมหลอมเหล็ก
- 27) อุตสาหกรรมทอผ้า
- 28) อุตสาหกรรมรถยนต์
- 29) อุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์และไม้
- 30) สนามบิน
- 31) วัด โบสถ์

### 3.8 วิธีการวัดค่าความส่องสว่างของพื้นที่ทำงาน

ในการวัดค่าความส่องสว่าง (E) ของพื้นที่ทำงานเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่ง เมื่อเราต้องการประหยัดพลังงาน เพราะเนื่องจากบางครั้งเราอาจจะเลยว่าการเปลี่ยนอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ประหยัดพลังงาน เช่น หลอดไฟ บัลลัสต์ โคมไฟ ซึ่งอาจสามารถลดการใช้พลังงานได้จริง แต่ระดับความส่องสว่างพื้นที่ทำงานอาจลดลงไปด้วย นั่นหมายถึงอาจมีผลต่อความปลอดภัยในการปฏิบัติงานหรือใช้งานพื้นที่นั้น ๆ

การวัดค่าความส่องสว่างพื้นที่ทำงาน ควรกระทำทั้งก่อนและหลังการปรับปรุงระบบแสงสว่างเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน ซึ่งควรวัดและตรวจสอบค่าความส่องสว่างให้เป็นตามมาตรฐานในแต่ละพื้นที่ดังภาคผนวก ก. โดยกำหนดเป็นขั้นตอน ดังนี้

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

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

ค) **ตำแหน่งการตั้งเครื่องมือวัด** เครื่องมือวัดความส่องสว่างเพื่อตรวจสอบค่าความส่องสว่างพื้นที่นั้น จะวัดความส่องสว่างแนวระนาบหรือแนวนอนขนานไปกับพื้น และหงายเซนเซอร์รับแสงขึ้นด้านบน (เนื่องจากต้องการตรวจสอบแสงที่ตก

กระทบลงพื้นที่ทำงาน) และตั้งเครื่องวัดอยู่ระดับพื้นที่ทำงานในห้องนั้น เช่น ถ้าทำงานบนโต๊ะ (ความสูงโต๊ะมาตรฐาน 0.85 เมตร) ก็ตั้งเครื่องวัดระดับโต๊ะทำงาน และควรระวังเรื่องเงาของผู้ทำการวัด เนื่องจากบางครั้งอาจบังเงาแหล่งกำเนิดแสงที่เข้าสู่เซนเซอร์รับแสง ดังนั้นเครื่องวัดบางรุ่นจะมีสายต่อแยกเซนเซอร์รับแสงแยกออกจากตัวเครื่องวัดเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว

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

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

$$E_{av} = \frac{\sum E_P}{n} \tag{3.6}$$

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

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

### 3.9 การคำนวณความส่องสว่างแบบลูเมน (Lumen Method)

วิธีนี้เหมาะสำหรับการออกแบบระบบไฟฟ้าแสงสว่างในบริเวณที่ต้องการความสม่ำเสมอของแสงทั่วทั้งพื้นที่เช่น สำนักงาน สถาบันการศึกษา หรือโรงเรียน เป็นต้น ซึ่งการคำนวณแบบลูเมนนี้จะรวมผลของการสะท้อนแสงของเพดาน กำแพง และพื้นด้วย ซึ่งสามารถคำนวณได้จาก

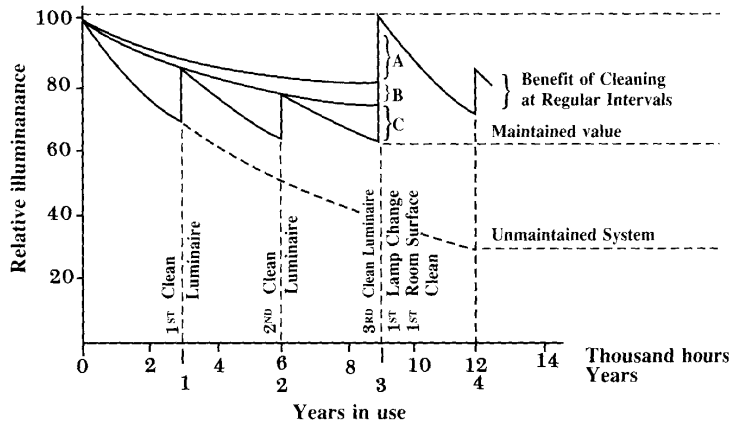
$$E = \frac{N \times \phi_L \times UF \times MF}{A} \tag{3-7}$$

โดยที่

|          |     |   |
|----------|-----|---|
| E        | คือ | ค่าความส่องสว่างเฉลี่ย (lux)                  |
| N        | คือ | จำนวนโคม                                      |
| $\phi_L$ | คือ | ฟลักซ์การส่องสว่างของหลอดต่อโคม (lm)          |
| MF       | คือ | ตัวประกอบการบำรุงรักษา (Maintenance Factor)   |
| UF       | คือ | ตัวประกอบการใช้งานของโคม (Utilization Factor) |
| A        | คือ | พื้นที่ ( $m^2$ )                             |

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

ความสกปรกของหลอดไฟและโคมไฟก่อให้เกิดการสูญเสียแสงอย่างมาก ส่วนใหญ่เกิดจากความสกปรกเนื่องจากการสะสมของฝุ่นละอองบนหลอดไฟหรือบริเวณผิวหน้าของโคมไฟ โคมไฟที่มีลักษณะเปิดกว้างและติดตั้งอยู่บนที่สูงจะมีโอกาสเกิดการสะสมของฝุ่นละอองมากกว่าโคมไฟที่ติดตั้งในที่ที่มีการระบายอากาศที่ดี ความสกปรกของห้องมีส่วนทำให้เกิดการสูญเสียทางแสงได้เช่นกัน เนื่องจากฝุ่นละอองที่สะสมอยู่บนเพดานและผนังห้องจะทำให้ประสิทธิภาพของการสะท้อนแสงลดลง สำหรับความเสื่อมของหลอดไฟ มีสาเหตุมาจากการที่ความส่องสว่างที่ได้จากหลอดไฟทั้งหมดจะลดลงตามอายุการใช้งาน ซึ่งอัตราการลดลงจะขึ้นอยู่กับชนิดของหลอดไฟ ค่าตัวประกอบการบำรุงรักษาที่เหมาะสมซึ่งขึ้นอยู่กับประเภทของห้องแสดงดังตารางที่ 3-19



รูปที่ 3-38 การสูญเสียทางแสงอันเนื่องมาจากการเสื่อมของหลอดไฟและโคมไฟ

ตารางที่ 3-19 ตัวประกอบการบำรุงรักษา

| ประเภทของห้อง | ค่าตัวประกอบการบำรุงรักษา |
|---------------|---------------------------|
| สะอาด         | 0.8                       |
| ปานกลาง       | 0.7                       |
| สกปรก         | 0.6                       |

ตัวประกอบการใช้งานของโคม หมายถึงอัตราส่วนปริมาณแสงที่ออกมาจากดวงโคมและสะท้อนเพดาน กำแพง และพื้น ก่อนจะตกลงมาที่ระนาบใช้งาน ต่อปริมาณแสงที่ออกจากหลอด โดยผู้ผลิตโคมจะเป็นผู้กำหนดค่าตัวประกอบการใช้งานของโคม จากสมการที่ 3-7 สามารถหาจำนวนของดวงโคมได้จาก

$$N = \frac{E \times A}{\Phi_L \times MF \times UF} \tag{3.8}$$

การที่จะประหยัดพลังงานในระบบไฟฟ้าแสงสว่าง จำนวนดวงโคมที่คำนวณได้ควรจะให้มีความน้อยที่สุด โดยที่ค่าความส่องสว่างเฉลี่ยยังคงได้มาตรฐานตามที่กำหนดไว้ ปัจจัยที่สามารถช่วยให้ดวงโคมมีจำนวนที่ลดลงได้แก่

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

### 3.10 การอนุรักษ์พลังงานในระบบไฟฟ้าแสงสว่าง

#### 3.10.1 ข้อกำหนดเพื่อการอนุรักษ์พลังงานในระบบไฟฟ้าแสงสว่างของอาคารควบคุมตามกฎหมายว่าด้วยการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน

กฎหมายกำหนดประเภท หรือขนาดของอาคาร และมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. ๒๕๕๒ ได้กำหนดเกณฑ์กำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการส่องสว่างในอาคาร ในกรณีที่มีการส่องสว่างด้วยไฟฟ้าในอาคารโดยไม่รวมพื้นที่ที่จอดรถจะต้องมีการออกแบบตามหลักและวิธีการที่ยอมรับได้ทางด้านวิศวกรรมให้ได้ระดับความส่องสว่างสำหรับงานแต่ละประเภทอย่างเพียงพอโดยที่อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ติดตั้งสำหรับใช้ส่องสว่างภายในอาคารแต่ละประเภท จะต้องใช้กำลังไฟฟ้าไม่เกินค่าที่กำหนดไว้ตามตารางที่ 3-20

ตารางที่ 3-20 ค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างสูงสุดสำหรับอาคารประเภทต่าง ๆ

| ประเภทอาคาร <sup>(1)</sup>  | ค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างสูงสุด, วัตต์/ตร.ม. ( $Wm^{-2}$ ) ของพื้นที่ใช้งาน |
|---|--|
| (ก) สำนักงาน สถานศึกษา  | 14   |
| (ข) โรงแรม โรงพยาบาล/ สถานพักฟื้น   | 12   |
| (ค) ร้านค้าย่อย ห้างสรรพสินค้า ศูนย์การค้า หรือซูเปอร์มาร์เก็ต <sup>(2)</sup> | 18   |

หมายเหตุ

- (1) สำหรับอาคารที่มีการใช้งานพื้นที่หลายลักษณะ พื้นที่แต่ละส่วนจะต้องใช้ค่าในตารางตามลักษณะการใช้งานของพื้นที่ส่วน นั้น ๆ
- (2) รวมถึงไฟฟ้าแสงสว่างทั่วไปที่ใช้ในการโฆษณาเผยแพร่สินค้า ยกเว้นที่ใช้ในตู้กระจกแสดงสินค้าและที่ไม่ได้ติดตั้งอย่างถาวร

### 3.10.2 ข้อแนะนำของการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างในอาคารตามมาตรฐาน IES

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

ข) ออกแบบดวงโคมให้มีประสิทธิภาพสูง ดวงโคมและระบบการออกแบบติดตั้ง ควรจะมีประสิทธิภาพสูงที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ โดยปราศจากแสงบาดตา

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

ง) ใช้ดวงโคมประสิทธิภาพสูง ประสิทธิภาพของดวงโคม จะเป็นการเพิ่มสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์ นอกจากนี้ยังรวมถึงการทำความสะอาด และความสะอาดในการเปลี่ยนหลอดไฟ

จ) ใช้ดวงโคมที่ควบคุมความร้อน เพื่อลดความร้อนที่เกิดจากหลอดไฟ

ฉ) ใช้สีอ่อนกับอาคาร การดูดกลืนแสงสว่างอันเนื่องมาจากการสะท้อนแสงต่ำจะเป็นการลดประสิทธิภาพแสงสว่าง จึงจำเป็นต้องใช้หลอดไฟเพิ่มขึ้น

ช) ใช้หลอดอินแคนเดสเซนต์ที่มีประสิทธิภาพสูง ถ้ามีความประสงค์ที่จะต้องใช้หลอดอินแคนเดสเซนต์ ควรเลือกใช้หลอดขนาดวัตต์สูง ซึ่งมีประสิทธิภาพดีกว่าและควรใช้คู่กับเครื่องหรี่ไฟ

ช) ปิดไฟเมื่อไม่ใช้ ปิดไฟเมื่อไม่ใช้จะช่วยประหยัดพลังงานและลดต้นทุน

ณ) ควบคุมแสงบาดตาที่หน้าต่าง แสงบาดตาที่เข้าจากหน้าต่างมายังสายตาส่งผลต่อความสบายตาและความสามารถในการมองเห็น อาจลดความสามารถในการทำงานลง

ญ) แสงธรรมชาติ ประสิทธิภาพของแสงธรรมชาติขึ้นอยู่กับการผสมระหว่างแสงธรรมชาติและแสงจากหลอดไฟฟ้า ขึ้นอยู่กับออกแบบควบคุมแสงสว่างอย่างเหมาะสม

ฎ) การบำรุงรักษา การบำรุงรักษาดี จะใช้จำนวนดวงโคมน้อยกว่า แต่ให้แสงสว่างเท่าเดิม การบำรุงรักษาจะรวมทั้งการเปลี่ยนหลอดไฟ และการทำความสะอาดดวงโคมตามกำหนด

ฏ) ปฏิบัติตามคู่มือการใช้งาน และการบำรุงรักษา การออกแบบแสงสว่างที่ดีและประหยัดผู้ออกแบบแสงสว่างควรจะต้องบอกรหัสใช้งานไว้ด้วย พลังงานจะสูญเสียเปลวถ้าผู้ใช้อาคารไม่รู้จักรหัสการบำรุงรักษา

## 3.11 กรณีศึกษา

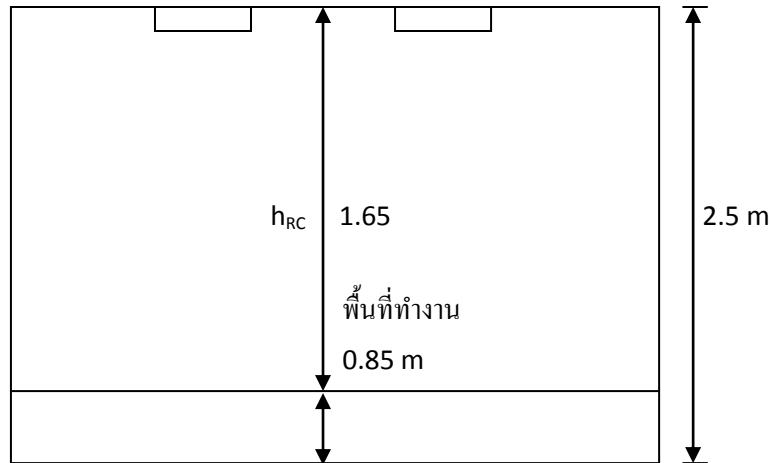
### กรณีศึกษาที่ 1 การเลือกใช้อุปกรณ์ประสิทธิภาพสูงโดยเน้นให้วัตต์ต่อตารางเมตรมีค่าต่ำ

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

มีเปอร์เซ็นต์การสะท้อนแสง 80/50/20% ( $p_{cc}/p_w/p_{fc}$ ) ค่า MF 0.70

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

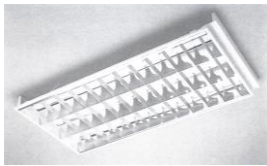
$$RCR = \frac{5 \times 1.65 \times (10 + 12)}{10 \times 12} = 1.5$$



รูปที่ 3-39 ข้อมูลและขนาดห้อง 10x12 ตารางเมตร

ก) ถ้าเลือกใช้ดวงโคมธรรมดา 3x36 W ดังรูปที่ 3.5 RCR = 1.5 หลอดธรรมดา 36 W ฟลักซ์แสงสว่าง 2600 lm

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



3x36 W

| IESNA Coefficient of Utilisation Table - Zonal Cavity Method. |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Spacing Criterion C O° IS 1.37 : 1 C 90° is 1.28 : 1          |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| Pfc = 20%   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| pcc %   | 80 | 80 | 80 | 80 | 70 | 70 | 70 | 70 | 50 | 50 | 50 | 30 | 30 | 30 | 10 | 10 | 10 | 0  |
| pw %  | 70 | 50 | 30 | 10 | 70 | 50 | 30 | 10 | 50 | 30 | 10 | 50 | 30 | 10 | 50 | 30 | 10 | 0  |
| RCR   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 0   | 82 | 82 | 82 | 82 | 80 | 80 | 80 | 80 | 77 | 77 | 77 | 74 | 74 | 74 | 71 | 71 | 71 | 69 |
| 1   | 77 | 74 | 72 | 69 | 75 | 73 | 70 | 68 | 70 | 68 | 66 | 67 | 66 | 64 | 65 | 63 | 62 | 61 |
| 2   | 71 | 66 | 62 | 59 | 69 | 65 | 61 | 58 | 63 | 60 | 57 | 60 | 58 | 56 | 58 | 56 | 55 | 53 |
| 3   | 66 | 59 | 55 | 51 | 64 | 58 | 54 | 50 | 56 | 53 | 50 | 55 | 51 | 49 | 53 | 50 | 48 | 47 |
| 4   | 61 | 54 | 48 | 44 | 59 | 53 | 48 | 44 | 51 | 47 | 43 | 50 | 46 | 43 | 48 | 45 | 42 | 41 |
| 5   | 56 | 49 | 43 | 39 | 55 | 48 | 43 | 39 | 46 | 42 | 38 | 45 | 41 | 38 | 44 | 40 | 38 | 36 |
| 6   | 52 | 44 | 39 | 35 | 51 | 44 | 38 | 34 | 42 | 38 | 34 | 41 | 37 | 34 | 40 | 37 | 34 | 32 |
| 7   | 49 | 40 | 35 | 31 | 48 | 40 | 35 | 31 | 39 | 34 | 31 | 38 | 38 | 30 | 37 | 33 | 30 | 29 |
| 8   | 46 | 37 | 32 | 28 | 45 | 37 | 31 | 28 | 36 | 31 | 28 | 35 | 34 | 28 | 34 | 30 | 27 | 26 |
| 9   | 43 | 34 | 29 | 25 | 42 | 34 | 29 | 25 | 33 | 28 | 25 | 32 | 28 | 25 | 32 | 28 | 25 | 24 |
| 10  | 40 | 32 | 27 | 23 | 39 | 31 | 26 | 23 | 31 | 26 | 23 | 30 | 26 | 23 | 29 | 26 | 23 | 22 |

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

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

$$= \frac{500\text{lux} \times 10\text{m} \times 12\text{m}}{2600\text{lm} \times 3 \times 0.70 \times 0.70} = 15.7 \text{ โคม}$$

เลือกใช้ = 16 โคม

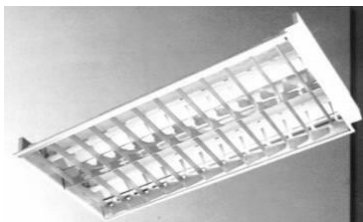
$$E = \frac{N \times \phi_L \times n \times CU \times MF}{A}$$

$$= \frac{16 \text{ โคม} \times 2600 \text{lm} \times 3 \times 0.70 \times 0.70}{10\text{m} \times 12\text{m}} = 509 \text{ lux}$$

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

$$= \frac{509 \text{ lux}}{56 \text{ lm/W} \times 0.70 \times 0.70} = 18.57 \text{ W/m}^2$$

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



2 X 36 W

Light Output Ratio  
Luminaire: **80.51%**  
  
DLOR (L) : 80.51%  
ULDR(L) 0.0%

IESNA Coefficient of Utilisation Table - Zonal Cavity Method.

Pfc = 20%

|       | 80   | 80   | 70   | 70   | 70   | 50   | 50   | 50   | 30   | 30   | 30   | 10   | 10   | 10   | 0    |      |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| pcc % | 80   | 80   | 70   | 70   | 70   | 50   | 50   | 50   | 30   | 30   | 30   | 10   | 10   | 10   | 0    |      |
| pw %  | 50   | 30   | 10   | 50   | 30   | 10   | 50   | 30   | 10   | 50   | 30   | 10   | 50   | 30   | 10   | 0    |
| RCR   |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 0     | .959 | .959 | .959 | .936 | .936 | .936 | .895 | .895 | .895 | .857 | .857 | .857 | .822 | .822 | .822 | .805 |
| 1     | .862 | .834 | .809 | .844 | .819 | .796 | .811 | .790 | .771 | .780 | .763 | .748 | .752 | .738 | .726 | .710 |
| 2     | .774 | .729 | .691 | .759 | .718 | .638 | .732 | .697 | .668 | .706 | .678 | .653 | .682 | .660 | .639 | .623 |
| 3     | .694 | .639 | .594 | .682 | .631 | .589 | .659 | .615 | .579 | .638 | .601 | .570 | .618 | .587 | .560 | .545 |
| 4     | .622 | .560 | .513 | .612 | .554 | .510 | .592 | .542 | .503 | .574 | .531 | .496 | .558 | .521 | .490 | .474 |
| 5     | .554 | .489 | .441 | .546 | .484 | .438 | .529 | .475 | .434 | .514 | .466 | .429 | .500 | .458 | .425 | .409 |
| 6     | .497 | .431 | .383 | .490 | .427 | .381 | .476 | .420 | .378 | .463 | .413 | .375 | .451 | .406 | .372 | .356 |
| 7     | .445 | .378 | .331 | .439 | .375 | .330 | .427 | .369 | .328 | .415 | .364 | .325 | .405 | .358 | .323 | .308 |
| 8     | .396 | .330 | .284 | .391 | .327 | .283 | .380 | .322 | .281 | .370 | .318 | .280 | .361 | .313 | .278 | .263 |
| 9     | .352 | .286 | .242 | .347 | .284 | .241 | .338 | .280 | .241 | .329 | .276 | .238 | .321 | .273 | .237 | .223 |
| 10    | .317 | .253 | .210 | .313 | .251 | .210 | .305 | .248 | .209 | .297 | .245 | .208 | .290 | .242 | .207 | .193 |

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

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

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

เลือกใช้

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

การคำนวณค่าใช้จ่ายและจุดคุ้มทุนเมื่อวัดต่อตารางเมตรต่ำ

การวิเคราะห์จุดคุ้มทุนของการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าประสิทธิภาพสูงตามรายการเปรียบเทียบตามตารางที่ 3-21 สามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 3-21 การเปรียบเทียบการประหยัดพลังงานของสถานที่ทำงานขนาด 10×12m<sup>2</sup> เปอร์เซนต์การสะท้อนแสง 80/50/20% (pcc / pw/ pfc)

| ข้อมูลเปรียบเทียบ | โคมทั่วไป | โคมประสิทธิภาพสูง |          |
|-------------------|-----------|-------------------|----------|
|                   | T8-3×36W  | T8-2×36W          | T8-2×36W |
| จำนวนหลอดต่อโคม   | 3×36W     | 2×36W             | 2×36W    |



| ข้อมูลเปรียบเทียบ                               | โคมทั่วไป     | โคมประสิทธิภาพสูง |                |
|---|---------------|-------------------|----------------|
|   | T8-3x36W      | T8-2x36W          | T8-2x36W       |
| ขนาดพื้นที่ใช้งาน (m <sup>2</sup> )             | 10x12         | 10x12             | 10x12          |
| ความส่องสว่างที่ได้ (lux)                       | 509           | 528               | 528            |
| ข้อมูลบัลลาสต์                                  | ธรรมดา        | สูญเสียต่ำ        | อิเล็กทรอนิกส์ |
| กำลังสูญเสียบัลลาสต์ (W)                        | 10            | 6                 | 0              |
| ข้อมูลหลอดไฟ T8 ขนาด 36 W                       | ธรรมดา        | ลูเมนสูง          | ลูเมนสูง       |
| ฟลักซ์แสงสว่างต่อหลอด (lm)                      | 2600          | 3450              | 3450           |
| ฟลักซ์แสงสว่างต่อโคม (lm)                       | 3x2600 = 7800 | 2x3450 = 6900     | 2x3450 = 6900  |
| กำลังไฟฟ้าหลอด (W)                              | 36            | 36                | 36             |
| กำลังไฟฟ้าอินพุตต่อหลอด (W)                     | 10+36=46      | 6+36=42           | 36+0=36        |
| กำลังไฟฟ้าหลอดต่อโคม (W)                        | 3x36 = 108    | 2x36 = 72         | 2x36 = 72      |
| กำลังไฟฟ้าอินพุตต่อโคม (W)                      | 3x46 = 138    | 2x42 = 84         | 2x36 = 72      |
| ประสิทธิภาพแสงสว่างหลอด (lm/W)                  | 2600/36 = 56  | 3450/36 = 95      | 3450/36 = 107  |
| ประสิทธิภาพแสงสว่างรวมบัลลาสต์ (lm/W)           | 2600/46 = 56  | 3450/42 = 82      | 3450/36 = 95   |
| อายุการใช้งาน (h)                               | 13,000        | 16,000            | 20,000         |
| ข้อมูลหลอดไฟ T8 ขนาด 36 W                       | ธรรมดา        | ลูเมนสูง          | ลูเมนสูง       |
| ความถูกต้องของสี (CRI)                          | 77            | 85                | 85             |
| ราคาหลอด (บาท)                                  | 41            | 55                | 55             |
| ราคาหลอดต่อโคม (บาท)                            | 3x41 = 123    | 2x55 = 110        | 110            |
| ข้อมูลดวงโคม                                    |               |                   |                |
| ประสิทธิภาพดวงโคม (%)                           | 68.9%         | 80.5%             | 80.5%          |
| CU (%)  | 0.70          | 0.82              | 0.82           |
| MF (%)  | 0.70          | 0.70              | 0.70           |
| จำนวนโคมทั้งหมด (โคม)                           | 16            | 16                | 16             |
| กำลังไฟฟ้าเพื่อประหยัดพลังงาน (วัตต์/ตารางเมตร) | 18.57         | 11.22             | 9.68           |

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

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

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

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

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

ข) โคมประสิทธิภาพสูงและบัลลาสต์การสูญเสียต่ำ

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

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

ค) ค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนหลอด T8 ธรรมดา เมื่อหมดอายุ เมื่อหลอด T8 ธรรมดา 3 x 36 W มีอายุการใช้งาน 13,000 ชั่วโมง และจำนวนชั่วโมงทำงาน 4368 ชั่วโมงต่อปี

อายุหลอด 13,000 ชั่วโมง , ถ้าราคาหลอด T8 ธรรมดา 41 บาท

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

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

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

ง) ถ้ารวมค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนหลอด เมื่อหลอดหมดอายุ เป็นการรวมค่าใช้จ่ายทั้งหมดทั้งปี

$$= (28934+661)-(17612+480) = 29595-18092 = 11,503 \text{ บาท ดังตารางที่ 3.22}$$

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

จ) ถ้าต้องการเปลี่ยนเป็นโคมประสิทธิภาพสูง 2 x 36W เปลี่ยนบัลลาสต์เป็นชนิดการสูญเสียต่ำ และเปลี่ยนมาใช้หลอด T8 หลุมสูง

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

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

$$\therefore \text{ระยะเวลาคืนทุน} = 25760/11503 = 2.24 \text{ ปี (ดังตารางที่ 3.22)}$$

ตารางที่ 3-22 การเปรียบเทียบเพื่อคำนวณค่าใช้จ่าย และจุดคุ้มทุนของสถานที่ทำงานขนาด 10 x 12m<sup>2</sup>

| ข้อมูลเปรียบเทียบ          | โคมทั่วไป  | โคมประสิทธิภาพสูง |            |
|----------------------------|------------|-------------------|------------|
|                            | T8 (3 36W) | T8 (2 36W)        | T8 (2 36W) |
| จำนวนหลอดต่อโคม            | 3 x 36W    | 2 x 36W           | 2 x 36W    |
| กำลังไฟฟ้าอินพุตต่อโคม (W) | 138        | 84                | 72         |

| ข้อมูลเปรียบเทียบ                        | โคมทั่วไป               | โคมประสิทธิภาพสูง      |                        |
|--|-------------------------|------------------------|------------------------|
|  | T8 (3 36W)              | T8 (2 36W)             | T8 (2 36W)             |
| ราคาหลอดไฟ (บาท)                         | 41                      | 55                     | 55                     |
| บัลลาสต์                                 | ธรรมดา                  | สูญเสียต่ำ             | อิเล็กทรอนิกส์         |
| อายุการใช้งาน (ชั่วโมง)                  | 13,000                  | 16,000                 | 20,000                 |
| การหาค่าใช้จ่ายและจุดคุ้มทุน             |                         |                        |                        |
| จำนวนโคม                                 | 16                      | 16                     | 16                     |
| กำลังไฟฟ้าอินพุตทั้งหมด (W)              | $138 \times 16 = 2,208$ | $84 \times 16 = 1,344$ | $72 \times 16 = 1,152$ |
| ค่าไฟฟ้าต่อหน่วย (บาท/kWh)               | 3                       | 3                      | 3                      |
| ชั่วโมงการทำงานต่อวัน                    | 12                      | 12                     | 12                     |
| วันทำงานต่อสัปดาห์                       | 7                       | 7                      | 7                      |
| สัปดาห์ทำงานต่อปี                        | 52                      | 52                     | 52                     |
| จำนวนชั่วโมงทำงานทั้งหมดต่อปี            | 4,368                   | 4,368                  | 4,368                  |
| ค่าไฟฟ้าต่อปี (บาท)                      | 28,934                  | 17,612                 | 15,096                 |
| ค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้ต่อปี (บาท)         | -                       | 11,322                 | 13,838                 |
| ค่าเปลี่ยนหลอดไฟทั้งหมดต่อปี (บาท)       | 661                     | 480                    | 384                    |
| ค่าใช้จ่ายรวมทั้งหมด (บาท)               | 29,595                  | 18,092                 | 15,480                 |
| ค่าใช้จ่ายทั้งหมดที่ประหยัดได้ (บาท)     | -                       | 11,503                 | 14,115                 |
| เปลี่ยนโคมและเปลี่ยนอุปกรณ์ใหม่ (16 โคม) |                         |                        |                        |
| ราคาโคมและอุปกรณ์ต่อโคม                  | -                       | 1,610                  | 1,870                  |
| ราคารวมทั้งหมด (บาท)                     | -                       | 25,760                 | 29,920                 |

## บทสรุป

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

## เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, **คู่มือพัฒนาบุคลากรภาคปฏิบัติด้านเทคโนโลยี การอนุรักษ์พลังงานในระบบไฟฟ้าแสงสว่าง**, 2551.
- [2] ชานุกศักดิ์ อภัยนิพัฒน์, **เทคนิคการออกแบบระบบแสงสว่าง(ฉบับปรับปรุง)**, กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2545.
- [3] ธนบูรณ์ ศศิภานุเดช, **วิศวกรรมการส่องสว่าง**, กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดดูเคชั่น, 2521.
- [4] พิบูลย์ ดิษฐอุตม, **การออกแบบระบบแสงสว่าง**, กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดดูเคชั่น, 2521.
- [5] กลุ่มบริษัท แสงมิตร กรุ๊ป และ ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์ , **การออกแบบระบบแสงสว่าง**, กรุงเทพฯ , 2543.

ตารางภาคผนวก ก ระดับความส่องสว่างสำหรับพื้นที่ทำงานและกิจกรรมต่าง ๆ ภายในอาคารตามข้อมแนะนำของสมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย

| พื้นที่และประเภทกิจกรรม   | ความส่องสว่าง (ลักซ์) |
|---|-----------------------|
| 1. พื้นที่ภายในอาคารทั่วไป  |                       |
| 1.1 โถงทางเข้าอาคาร   | 100                   |
| 1.2 โถงนั่งพัก  | 200                   |
| 1.3 พื้นที่ทางเดินภายในอาคาร  | 100                   |
| 1.4 บันได บันไดเลื่อน ทางเลื่อน                                       | 150                   |
| 1.5 พื้นที่ขนถ่ายสินค้าภายในอาคาร                                     | 150                   |
| 1.6 ห้องอาหารทั่วไปภายในอาคาร   | 200                   |
| 1.7 ห้องพักผ่อนทั่วไป   | 100                   |
| 1.8 ห้องออกกำลังกาย   | 300                   |
| 1.9 ห้องน้ำ ห้องสุขา ห้องรับฝากของ                                    | 200                   |
| 1.10 ห้องปฐมพยาบาล  | 500                   |
| 1.11 ห้องตรวจคนไข้ทั่วไป  | 500                   |
| 1.12 ห้องอุปกรณ์ไฟฟ้า Switch gear                                     | 200                   |
| 1.13 ห้องชุมสายโทรศัพท์ / ไปรษณีย์ / พัสดุ                            | 500                   |
| 1.14 ห้องเก็บของ  | 50                    |
| 1.15 ห้องบรรจุหีบห่อ ขนถ่ายวัสดุ                                      | 300                   |
| 1.16 ห้องควบคุม   | 200                   |
| 2. อาคารสำนักงาน  |                       |
| 2.1 พื้นที่เก็บเอกสาร ถ่ายเอกสาร และพื้นที่ทั่วไปที่มีการสัญจร        | 300                   |
| 2.2 พื้นที่ที่มีการเขียน พิมพ์ อ่าน ใช้คอมพิวเตอร์และ data processing | 500                   |
| 2.3 พื้นที่ที่ใช้สำหรับเขียนแบบ                                       | 750                   |
| 2.4 พื้นที่ทำงานด้าน CAD(Computer Aid Design)                         | 500                   |
| 2.5 ห้องประชุม  | 300                   |
| 2.6 พื้นที่เคาน์เตอร์ประชาสัมพันธ์ ต้อนรับ                            | 300                   |
| 2.7 ห้องเก็บเอกสารสำคัญ   | 200                   |
| 3. ร้านค้าปลีก  |                       |
| 3.1 พื้นที่ขาย (ขนาดเล็ก)   | 300                   |
| 3.2 พื้นที่ขาย (ขนาดใหญ่)   | 500                   |
| 3.3 พื้นที่เก็บเงิน /ห่อ บรรจุ  | 500                   |
| 4. ห้องอาหารและโรงแรม   |                       |
| 4.1 พื้นที่ต้อนรับ เคาน์เตอร์เก็บเงิน บริการของโรงแรม                 | 300                   |
| 4.2 ครูว์   | 500                   |
| 4.3 พื้นที่ภัตตาคาร ห้องอาหาร ห้องจัดเลี้ยง                           | 200                   |
| 4.4 ห้องอาหารแบบบริการตัวเอง  | 200                   |
| 4.5 ห้องอาหารแบบบุฟเฟ่ต์  | 300                   |
| 4.6 ห้องจัดงานประชุม สัมมนา   | 500                   |
| 4.7 พื้นที่ทางเดิน  | 100                   |
| 5. ห้องสมุด   |                       |
| 5.1 พื้นที่ชั้นวางหนังสือ   | 200                   |

| พื้นที่และประเภทกิจกรรม                         | ความส่องสว่าง (ลักซ์) |
|---|-----------------------|
| 5.2 พื้นที่อ่านหนังสือ                          | 500                   |
| 5.3 เคาน์เตอร์                                  | 500                   |
| 6. อาคารสถาบันการศึกษา โรงเรียน                 |                       |
| 6.1 พื้นที่สำหรับการเรียนการศึกษาทั่วไป         | 300                   |
| 6.2 พื้นที่สำหรับเรียนภาคค่ำ และการศึกษาผู้ใหญ่ | 500                   |
| 6.3 ห้องบรรยาย                                  | 500                   |
| 6.4 พื้นที่หน้ากระดานดำ                         | 500                   |
| 6.5 พื้นที่โต๊ะทำงาน                            | 500                   |
| 6.6 ห้องเรียนทางด้านศิลปะและหัตถกรรม            | 500                   |
| 6.7 ห้องแสดงศิลปะในโรงเรียนสอนศิลปะ             | 750                   |
| 6.8 ห้องเขียนแบบ                                | 750                   |
| 6.9 ห้องทดสอบและฝึกหัด                          | 500                   |
| 6.10 ห้องฝึกหัดทางดนตรี                         | 300                   |
| 6.11 ห้องฝึกหัดทางคอมพิวเตอร์                   | 500                   |
| 6.12 ห้องฝึกหัดทางด้านภาษา                      | 300                   |
| 6.13 ห้องเตรียมงานและฝึกหัดทั่วไป               | 500                   |
| 6.14 ห้องพักนักเรียนทั่วไป                      | 200                   |
| 6.15 ห้องทำงานครู อาจารย์                       | 300                   |
| 6.16 พื้นที่ออกกำลังกายในร่ม                    | 300                   |
| 7. พื้นที่จอดรถภายในอาคารทั่วไป                 |                       |
| 7.1 ทางเข้า-ออก (ช่วงกลางวัน)                   | 300                   |
| 7.2 ทางเข้า-ออก (ช่วงกลางคืน)                   | 75                    |
| 7.3 ช่องทางรถวิ่ง (ทางลาดชัน/ห้วมุม)            | 75                    |
| 7.4 พื้นที่จอดรถ                                | 75                    |
| 7.5 ห้องจ่าย/ เก็บบัตรจอดรถ                     | 300                   |
| 8. โรงพยาบาล                                    |                       |
| 8.1 พื้นที่รอรับการรักษา                        | 200                   |
| 8.2 ทางเดินทั่วไปเวลากลางวัน                    | 200                   |
| 8.3 ทางเดินทั่วไปเวลากลางคืน                    | 50                    |
| 8.4 ห้องพักรักษาผู้ป่วยนอก                      | 200                   |
| 8.5 ห้องทำงานแพทย์                              | 500                   |
| 8.6 ห้องพักแพทย์                                | 300                   |
| พื้นที่ห้องพักผู้ป่วยใน :                       |                       |
| 8.7 พื้นที่ทั่วไป                               | 100                   |
| 8.8 แสงสว่างสำหรับการอ่านหนังสือ                | 300                   |
| 8.9 พื้นที่ตรวจทั่วไปในห้องพักผู้ป่วย           | 300                   |
| 8.10 พื้นที่ตรวจโรคและรักษาโรค                  | 1000                  |
| 8.11 ความสว่างในเวลากลางคืน                     | 5                     |
| 8.12 ห้องน้ำผู้ป่วย                             | 200                   |
| 8.13 พื้นที่ตรวจโรคทั่วไป                       | 500                   |
| 8.14 ห้องตรวจหูและตา                            | 1,000                 |

| พื้นที่และประเภทกิจกรรม  | ความส่องสว่าง (ลักซ์) |
|--|-----------------------|
| 8.15 พื้นที่ตรวจสอบสายตาโดยการอ่านและดูแผ่นภาพทางสายตา                           | 500                   |
| 8.16 ห้องดูภาพจากจอภาพของเครื่อง Scanners  | 50                    |
| 8.17 ห้องถ่ายเลือด/เครื่องรักษาไตเทียม   | 500                   |
| 8.18 พื้นที่ตรวจรักษาโรคผิวหนัง  | 500                   |
| 8.19 ห้องส่องกล้องตรวจอวัยวะภายในร่างกาย   | 300                   |
| 8.20 ห้องเข้าเฝือก   | 500                   |
| 8.21 ห้องจ่ายยา  | 300                   |
| 8.22 ห้องสำหรับการรักษาโดยการนวดและแผ่รังสี                                      | 300                   |
| 8.23 ห้องพักฟื้นก่อนและหลังผ่าตัด  | 500                   |
| 8.24 ห้องผ่าตัด  | 1,000                 |
| 8.25 พื้นที่ใต้คอมผ่าตัด   | จำเพาะ                |
| พื้นที่สำหรับห้องดูแลพิเศษ ICU ( Intensive Care Unit )                           |                       |
| 8.26 พื้นที่ทั่วไป   | 100                   |
| 8.27 แสงสว่างใช้ในการตรวจทั่วไป  | 300                   |
| 8.28 พื้นที่สำหรับการตรวจรักษา   | 1,000                 |
| 8.29 ความสว่างสำหรับการเฝ้าไข้กลางคืน  | 20                    |
| พื้นที่ห้องทันตแพทย์   |                       |
| 8.30 แสงสว่างโดยทั่วไป   | 500                   |
| 8.31 แสงสว่าง ณ ตัวผู้ป่วย   | 1,000                 |
| 8.32 ใต้ดวงคอมผ่าตัด   | 5,000                 |
| 8.33 แสงสว่างสำหรับเปรียบเทียบ สีฟัน   | 5,000                 |
| 8.34 พื้นที่ทดสอบและตรวจสอบสี  | 1,000                 |
| 8.35 ห้องค่าเชื้อ  | 300                   |
| 8.36 ห้องปลอดเชื้อ   | 300                   |
| 8.37 ห้องชั้นสูตรพลิกศพ/ห้องเก็บศพ   | 750                   |
| 8.38 โต๊ะชั้นสูตรพลิกศพ  | 5,000                 |
| 9. ร้านแต่งผม  | 500                   |
| 10. พื้นที่สำหรับการแสดงและการบันเทิง  |                       |
| 10.1 โรงละคร พื้นที่แสดงคอนเสิร์ต  | 200                   |
| 10.2 พื้นที่สำหรับงานแสดงทั่วไป  | 300                   |
| 10.3 ห้องซ้อม ห้องเปลี่ยนเสื้อผ้า  | 300                   |
| 10.4 พิพิธภัณฑ   | 300                   |
| 11. อุตสาหกรรมอาหาร  |                       |
| 11.1 พื้นที่สำหรับขบวนการผลิตทั่วไป  | 200                   |
| 11.2 พื้นที่ล้าง คัดเลือกขนาดวัตถุดิบ ผสมวัตถุดิบ บรรจุหีบห่อ                    | 300                   |
| 11.3 พื้นที่สำหรับการตัดแยกชิ้นส่วนเนื้อสัตว์ ผสมนมเนย โรงกรองสำหรับโรงงานน้ำตาล | 500                   |
| 11.4 พื้นที่ตัดแยกผัก ผลไม้  | 300                   |
| 11.5 พื้นที่ผลิตสำหรับผลิตอาหารสำเร็จรูป ห้องครัว                                | 500                   |
| 11.6 พื้นที่ผลิตบุหรี  | 500                   |
| 11.7 พื้นที่ตรวจสอบบรรจุภัณฑ์ เช่น แก้ว ขวด ห้องควบคุมคุณภาพ ห้องตกแต่งอาหาร     | 500                   |

| พื้นที่และประเภทกิจกรรม                                 | ความส่องสว่าง (ลักซ์) |
|---|-----------------------|
| 11.8 ห้องทดสอบคุณภาพอาหาร                               | 500                   |
| 11.9 ห้องตรวจสอบสี                                      | 1,000                 |
| 12. อุตสาหกรรมทำขนม เบเกอรี่                            |                       |
| 12.1 พื้นที่เตรียมส่วนผสม และอบขนม                      | 300                   |
| 12.2 พื้นที่ตกแต่งหน้าขนม                               | 500                   |
| 13. อุตสาหกรรมด้านการเกษตร ปศุสัตว์                     |                       |
| 13.1 ห้องขนถ่ายสินค้า อุปกรณ์ เครื่องจักร               | 200                   |
| 13.2 พื้นที่ปศุสัตว์ภายในคอก                            | 50                    |
| 13.3 พื้นที่รักษาสัตว์                                  | 200                   |
| 13.4 พื้นที่เตรียมอาหารสัตว์ ทำความสะอาดสัตว์           | 200                   |
| 14. อุตสาหกรรมซีเมนต์ คอนกรีต และ อิฐ                   |                       |
| 14.1 พื้นที่สำหรับการอบแห้งวัตถุดิบ                     | 50                    |
| 14.2 พื้นที่เตรียมและผสมวัตถุดิบ                        | 200                   |
| 14.3 พื้นที่ทำงานของเครื่องจักรทั่วไป                   | 300                   |
| 15. อุตสาหกรรมเซรามิกและแก้ว                            |                       |
| 15.1 พื้นที่สำหรับการอบแห้ง                             | 50                    |
| 15.2 พื้นที่เตรียมงาน และการปฏิบัติงานของ               |                       |
| 15.3 เครื่องจักรทั่วไป                                  | 300                   |
| 15.4 พื้นที่ขึ้นรูปชิ้นส่วน เคลือบเงา และ เป่าแก้ว      | 300                   |
| 15.5 พื้นที่ขัดแต่งผิว และ แกะสลัก                      | 750                   |
| 15.6 พื้นที่ประดับตกแต่งชิ้นงาน                         | 500                   |
| 15.7 พื้นที่ขัดแต่งกระจกสำหรับแว่นตา เจียรนัย           | 750                   |
| 15.8 พื้นที่งานเจียรนัยละเอียด                          | 1,000                 |
| 15.9 พื้นที่ผลิตเครื่องแก้วเทียม เพชร พลอยเทียม         | 1,500                 |
| 16. อุตสาหกรรมเคมี พลาสติก ยาง                          |                       |
| 16.1 พื้นที่การผลิตที่ไม่มีการสูญจ                      | 50                    |
| 16.2 พื้นที่การผลิตที่เข้าถึงค่อนข้างลำบาก              | 150                   |
| 16.3 พื้นที่การผลิตที่มีคนประจำเกือบตลอดเวลา            | 300                   |
| 16.4 ห้องทดสอบที่ต้องการความละเอียดสำหรับการอ่านมาตรวัด | 500                   |
| 16.5 สายการผลิตที่เกี่ยวข้องกับเวชภัณฑ์                 | 500                   |
| 16.6 สายการผลิตยางรถยนต์                                | 500                   |
| 16.7 พื้นที่ตรวจสอบสี                                   | 1,000                 |
| 16.8 ขั้นตอนตรวจสอบ ตัดเจาะ ชิ้นสุดท้าย                 | 750                   |
| 17. อุตสาหกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์                    |                       |
| 17.1 พื้นที่ผลิตลวด สายไฟฟ้า                            | 300                   |
| 17.2 พื้นที่สำหรับการพันลวดขนาดใหญ่                     | 300                   |
| 17.3 พื้นที่สำหรับการพันลวดขนาดกลาง                     | 500                   |
| 17.4 พื้นที่สำหรับการพันลวดขนาดเล็ก                     | 750                   |



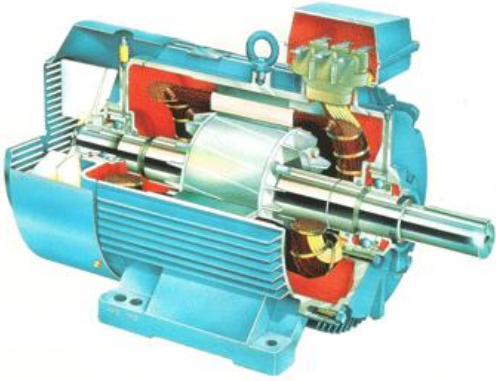
| พื้นที่และประเภทกิจกรรม   | ความส่องสว่าง (ลักซ์) |
|---|-----------------------|
| 17.5 พื้นที่ชุมชน้ายาเคลือบขดลวด                                  | 300                   |
| 17.6 พื้นที่สำหรับการชุบเคลือบผิว                                 | 300                   |
| พื้นที่ประกอบชิ้นส่วน   |                       |
| 17.6 ขนาดใหญ่ เช่น หม้อแปลงไฟฟ้า                                  | 300                   |
| 17.7 ขนาดกลาง เช่น สวิตช์บอร์ด                                    | 500                   |
| 17.8 ขนาดเล็ก เช่น เครื่องโทรศัพท์                                | 750                   |
| 17.9 ขนาดเล็กมากที่ต้องการความละเอียดมาก เช่น อุปกรณ์มาตรวัดต่างๆ | 1,000                 |
| 17.10 ห้องทดสอบทางด้านไฟฟ้า อิเล็กทรอนิกส์ที่ต้องมีการปรับแต่ง    | 1,500                 |
| 18. อุตสาหกรรมหล่อ หลอม โลหะ                                      |                       |
| 18.1 อุโมงค์ใต้พื้น   | 50                    |
| 18.2 แท่น ขนถ่ายโลหะ  | 100                   |
| 18.3 พื้นที่เตรียมพิมพ์ทรายสำหรับการหล่อ                          | 200                   |
| 18.4 พื้นที่ตกแต่งโลหะ  | 200                   |
| 18.5 พื้นที่ผสมโลหะ   | 200                   |
| 18.6 แท่นหล่อโลหะ   | 200                   |
| 18.7 พื้นที่ถอดพิมพ์  | 200                   |
| 18.8 พื้นที่เครื่องจักรหล่อโลหะ                                   | 200                   |
| 18.9 พื้นที่หล่อด้วยมือ   | 300                   |
| 18.10 พื้นที่หล่อโลหะด้วยพิมพ์                                    | 300                   |
| 18.11 พื้นที่ทำแบบจำลอง   | 500                   |
| 19. อุตสาหกรรมเพชรพลอย  |                       |
| 19.1 พื้นที่คัดเลือกเพชรพลอย                                      | 1,500                 |
| 19.2 พื้นที่ผลิตตัวเรือนเพชรพลอย                                  | 1,000                 |
| 19.3 พื้นที่ผลิตนาฬิกาด้วยมือ                                     | 1,500                 |
| 19.4 พื้นที่ผลิตนาฬิกาด้วยเครื่องจักร                             | 500                   |
| 20. อุตสาหกรรมซัก อบ รีด  |                       |
| 20.1 พื้นที่ขนถ่าย คัดเลือกสินค้า                                 | 300                   |
| 20.2 พื้นที่ซักแห้ง   | 300                   |
| 20.3 พื้นที่ซัก อบ รีด  | 300                   |
| 20.4 พื้นที่ตรวจเช็ค ซ่อมแซม                                      | 750                   |
| 21. อุตสาหกรรมเครื่องหนัง   |                       |
| 21.1 พื้นที่ขนถ่ายวัตถุดิบ  | 200                   |
| 21.2 พื้นที่ลอกขีดหนัง  | 300                   |
| 21.3 พื้นที่ตัดแต่ง เย็บ ขัดเงา เครื่องหนัง                       | 500                   |
| 21.4 พื้นที่คัดเลือกชิ้นส่วน                                      | 500                   |
| 21.5 พื้นที่ย้อมสีหนัง  | 500                   |
| 21.6 พื้นที่ตรวจสอบคุณภาพ   | 1,000                 |
| 21.7 พื้นที่ตรวจสอบสี   | 1,000                 |
| 21.8 พื้นที่ประกอบเครื่องหนัง                                     | 500                   |
| 22. อุตสาหกรรมแปรรูปโลหะ  |                       |
| 22.1 Open die forging   | 200                   |

| พื้นที่และประเภทกิจกรรม  | ความส่องสว่าง (ลักซ์) |
|--|-----------------------|
| 22.2 Drop forging welding cold forming                           | 300                   |
| 22.3 งานเครื่องจักรที่ไม่ต้องการความละเอียด ค่าผิดพลาด > 0-1 มม. | 300                   |
| 22.4 งานเครื่องจักรที่ต้องการความละเอียด ค่าผิดพลาด ≤ 0-1 มม.    | 500                   |
| 22.5 พื้นที่ตรวจสอบ  | 750                   |
| 22.6 พื้นที่รีด ดึงลวด ท่อ                                       | 300                   |
| 22.7 พื้นที่งานแผ่นโลหะหนา > 5 มม.                               | 200                   |
| 22.8 พื้นที่งานแผ่นโลหะบาง ≤ 5 มม.                               | 300                   |
| 22.9 พื้นที่งานสร้างแบบ พิมพ์ตัดเจาะ                             | 750                   |
| พื้นที่ประกอบชิ้นส่วน :  |                       |
| 22.10 ขนาดใหญ่   | 200                   |
| 22.11 ขนาดกลาง   | 300                   |
| 22.12 ขนาดเล็ก   | 500                   |
| 22.13 ขนาดเล็ก และรายละเอียดมาก                                  | 750                   |
| 22.14 พื้นที่ชุดสังกะสี  | 300                   |
| 22.15 พื้นที่ตกแต่งพื้นผิว เคลือบสี                              | 750                   |
| 22.16 พื้นที่สร้างพิมพ์ปั๊ม ตัดเจาะสำหรับเครื่องจักร ขนาดเล็ก    | 1,000                 |
| 23. อุตสาหกรรมกระดาษ   |                       |
| 23.1 พื้นที่ปั่นเยื่อกระดาษ                                      | 200                   |
| 23.2 พื้นที่ผลิตกระดาษ   | 300                   |
| 23.3 พื้นที่เข้าเล่ม เข้าปกทั่วไป พับ ตัดขอบ เย็บเล่ม            | 500                   |
| 24. อุตสาหกรรมผลิตไฟฟ้า  |                       |
| 24.1 พื้นที่เก็บเชื้อเพลิง                                       | 50                    |
| 24.2 พื้นที่หม้อน้ำ  | 100                   |
| 24.3 พื้นที่เครื่องจักร  | 200                   |
| 24.4 พื้นที่อื่นๆ  | 200                   |
| 24.5 ห้องควบคุม  | 500                   |
| 25. อุตสาหกรรมการพิมพ์   |                       |
| 25.1 พื้นที่ทั่วไปเช่น ตัด เคลือบ ป้อนนูนบนกระดาษ                | 500                   |
| 25.2 พื้นที่แท่นพิมพ์  | 500                   |
| 25.3 พื้นที่ตกแต่งงานพิมพ์                                       | 1,000                 |
| 25.4 พื้นที่ตรวจสอบสี  | 1,500                 |
| 25.5 พื้นที่ตกแต่งเพลท   | 2,000                 |
| 26. อุตสาหกรรมหลอมเหล็ก  |                       |
| 26.1 พื้นที่ที่คนไม่สามารถสัญจรไปมาได้                           | 50                    |
| 26.2 พื้นที่ที่คนสัญจรไปมาไม่บ่อยนัก                             | 150                   |
| 26.3 พื้นที่ที่คนสัญจรไปมาตลอดเวลา                               | 200                   |
| 26.4 พื้นที่เก็บ SLAB  | 50                    |
| 26.5 พื้นที่เตาหลอม  | 200                   |
| 26.6 พื้นที่ขนถ่าย ตัด รีดเหล็ก                                  | 300                   |
| 26.7 พื้นที่หรือแท่นควบคุมการผลิต                                | 300                   |
| 26.8 พื้นที่ทดสอบควบคุมคุณภาพ                                    | 500                   |

| พื้นที่และประเภทกิจกรรม   | ความส่องสว่าง (ลักซ์) |
|---|-----------------------|
| 26.9 อุโมงค์ขนส่ง   | 50                    |
| 27. อุตสาหกรรมทอผ้า   |                       |
| 27.1 พื้นที่ทั่วไป  | 200                   |
| 27.2 พื้นที่แต่ง ชัก รีด ดึงฝ้าย  | 300                   |
| 27.3 พื้นที่ปั่นด้าย ทอผ้า ถักผ้า   | 500                   |
| 27.4 พื้นที่เย็บ ถัก ปัก ละเยียด  | 750                   |
| 27.5 พื้นที่ออกแบบลวดลาย  | 750                   |
| 27.6 พื้นที่ย้อมผ้า   | 500                   |
| 27.7 พื้นที่อบแห้ง  | 100                   |
| 27.8 พื้นที่พิมพ์ผ้าด้วยเครื่องจักร   | 500                   |
| 27.9 พื้นที่พับ แต่งขอบ ผ้า   | 1,000                 |
| 27.10 พื้นที่ตรวจสอบสี คุณภาพผ้า  | 1,000                 |
| 27.11 พื้นที่ซ่อมแซมผ้า   | 1,500                 |
| 27.12 พื้นที่ตัดเย็บทั่วไป  | 500                   |
| 28. อุตสาหกรรมรถยนต์  |                       |
| 28.1 พื้นที่งานตัวถัง ประกอบรถยนต์  | 500                   |
| 28.2 ห้องพ่นสี เคลือบสี ชัดเงา  | 750                   |
| 28.3 พื้นที่ตากแต่งสี   | 1,000                 |
| 28.4 พื้นที่ผลิตทำงานใต้ท้องรถโดยคน   | 1,000                 |
| 28.5 พื้นที่ตรวจเช็คครั้งสุดท้าย  | 1,000                 |
| 29. อุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์และไม้  |                       |
| 29.1 ย้อมสีไม้ ผลิตไม้อัด   | 50                    |
| 29.2 พื้นที่อบไอน้ำ   | 150                   |
| 29.3 พื้นที่เลื่อย ตัด เจาะ   | 300                   |
| 29.4 พื้นที่ประกอบชิ้นส่วนหลัก  | 300                   |
| 29.5 พื้นที่ขัดเงา เคลือบสี ประกอบติดตั้งชิ้นส่วนตกแต่ง   | 750                   |
| 29.6 พื้นที่ทำงานการผลิตบนเครื่องจักรโดยคน  | 500                   |
| 29.7 พื้นที่คัดเลือกชิ้นส่วน  | 750                   |
| 29.8 พื้นที่ตรวจสอบคุณภาพ   | 1,000                 |
| 30. สนามบิน   |                       |
| 30.1 พื้นที่สำหรับผู้โดยสารขาเข้า ขาออก พื้นที่รับกระเป๋าเดินทาง บันไดเลื่อน ทางเลื่อน พื้นที่ทั่วไป          | 200                   |
| 30.2 เคาน์เตอร์ประชาสัมพันธ์ ติดต่อสอบถาม ตรวจเช็คบัตรโดยสาร ตรวจหนังสือเดินทาง จุดตรวจผ่านศุลกากร            | 500                   |
| 30.3 พื้นที่นั่งรอ  | 200                   |
| 30.4 ห้องเก็บกระเป๋าเดินทาง   | 200                   |
| 30.5 พื้นที่ควบคุมของเจ้าหน้าที่รักษาความปลอดภัย  | 300                   |
| 30.6 หอควบคุมจราจรทางอากาศ  | 500                   |
| 30.7 พื้นที่ทดสอบตรวจซ่อมอากาศยาน ทดสอบเครื่องยนต์ เครื่องวัดสำหรับอากาศยาน พื้นที่ขนขาลาสถานีสำหรับผู้โดยสาร | 500                   |
| 30.8 ขึ้นรถไฟ (ใต้ดิน)  | 50                    |
| 30.9 พื้นที่ขายตั๋วโดยสาร   | 300                   |

| พื้นที่และประเภทกิจกรรม               | ความส่องสว่าง (ลักซ์) |
|---------------------------------------|-----------------------|
| 30.10 พื้นที่นั่งรอ                   | 200                   |
| 31. วัด โบสถ์                         |                       |
| 31.1 พื้นที่โดยรอบ                    | 100                   |
| 31.2 ที่นั่ง แทนบูชา แทนยืน นั่งเทศน์ | 300                   |
| 31.3 การส่องเน้น (พระพุทธรูป พระรูป)  | 750                   |

ที่มา: TIEA – GD 003 สมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย



## บทที่ 4 การอนุรักษ์พลังงานสำหรับมอเตอร์ (Energy conservation for motor)

### ความสำคัญ

ประสิทธิภาพของมอเตอร์ขึ้นอยู่กับค่าของการสูญเสียที่เกิดขึ้นในตัวมอเตอร์ มอเตอร์ที่มีประสิทธิภาพสูงจะต้องการกำลังไฟฟ้าป้อนเข้าน้อยกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับมอเตอร์ที่มีประสิทธิภาพต่ำที่ให้กำลังงานขาออกเท่ากัน หลายปีที่ผ่านมาจากทางผู้ผลิตมอเตอร์ได้วิจัยและพัฒนาเพื่อผลิตมอเตอร์ที่มีประสิทธิภาพสูงออกสู่ตลาด สามารถลดการสูญเสียพลังงานได้ประมาณ 25 - 30% ของการสูญเสียเดิม นอกจากประหยัดพลังงานแล้วมอเตอร์ประสิทธิภาพสูงยังมีข้อดีอื่น ๆ อีกคือ เกิดความร้อนจากการทำงานน้อยกว่า อายุการใช้งานของฉนวน และลูกปืนยาวนานขึ้น การสั่นสะเทือนน้อยกว่า มีเสียงรบกวนน้อย และค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ดีขึ้น การติดตั้งเครื่องควบคุมความเร็วรอบในเครื่องปั๊มน้ำ พัดลม เครื่องอัดอากาศ (Air compressor) เป็นที่ยอมรับมานานแล้วว่า สามารถประหยัดพลังงานได้มาก การลดความเร็วรอบของปั๊มน้ำลง 50 % จะทำให้อัตราการไหลลดลง 50 % ในขณะที่ความดันลดลง 75 % และแรงม้าของต้นกำลัง (Break Horsepower, BHP) ลดลงมากถึง 87.5 % ตามทฤษฎีของ Affinity Laws

### วัตถุประสงค์

1. บอกชนิดและหลักการทำงานของมอเตอร์ประเภทต่าง ๆ ได้
2. อธิบายเรื่องประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้าได้
3. บอกความแตกต่างของมอเตอร์ประสิทธิภาพสูงกับมอเตอร์มาตรฐานทั่วไปได้
4. เลือกใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูงและอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบเพื่อให้เกิดการอนุรักษ์พลังงานได้
5. บอกแนวทางในการอนุรักษ์พลังงานในมอเตอร์ได้

### 4.1 บทนำ

มอเตอร์ไฟฟ้า(Motor) หมายถึงเป็นเครื่องกลไฟฟ้าชนิดหนึ่ง que เปลี่ยนแปลงพลังงานไฟฟ้ามาเป็นพลังงานกลมอเตอร์ไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์ต้นกำลังและเป็นอุปกรณ์ควบคุมเครื่องจักรกลต่าง ๆ ที่ใช้ในระบบต่าง ๆ ในโรงงานและอาคาร

### 4.2 ชนิดและหลักการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้า

มอเตอร์ไฟฟ้าสามารถแบ่งประเภทของกระแสไฟฟ้าได้ 2 ชนิดคือ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (Direct current motor) และมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternating Current Motor)

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงหรือเรียกว่าดี.ซี มอเตอร์ อาจแบ่งออกเป็น 3 ชนิด ได้แก่

- มอเตอร์แบบอนุกรมหรือเรียกว่าซีรีส์มอเตอร์ (Series Motor)
- มอเตอร์แบบอนุขนานหรือเรียกว่าชันทมอเตอร์ (Shunt Motor)
- มอเตอร์ไฟฟ้าแบบผสมหรือเรียกว่าคอมเปาวด์มอเตอร์ (Compound Motor)

ส่วนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับหรือเรียกว่า เอ.ซี มอเตอร์ สามารถแบ่งออกตามจำนวนเฟสของกระแสไฟฟ้าได้ดังนี้

- มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับชนิด 1 เฟส หรือเรียกว่า ซิงเกิลเฟสมอเตอร์ (A.C. Sing phase motor) ซึ่งสามารถจำแนกย่อยได้เป็น 5 ประเภท ได้แก่

- สปลิทเฟสมอเตอร์ (Split-phase motor) หรืออินดักชันมอเตอร์ (Induction motor) มอเตอร์ชนิดนี้นิยมใช้งานมากในตู้เย็น เครื่องสูบน้ำขนาดเล็ก เครื่องซักผ้า เป็นต้น มีขนาดแรงม้าขนาดตั้งแต่ 1/4 แรงม้า, 1/3 แรงม้า, 1/2 แรงม้า จะมีขนาดไม่เกิน 1 แรงม้า
- คาปาซิเตอร์มอเตอร์ (Capacitor motor)
- รีพัลชันมอเตอร์ (Repulsion motor)
- ยูนิเวอร์แซลมอเตอร์ (Universal motor)
- เซดเดดโพล มอเตอร์ (Shaded-pole motor)
- มอเตอร์ไฟฟ้าสลับชนิด 3 เฟสหรือเรียกว่า ทรีเฟสมอเตอร์ (A.C. Three phase motor)

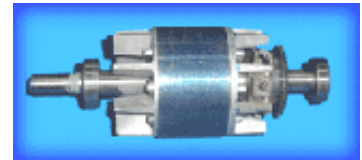
### 4.3 ส่วนประกอบและหลักการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้า

#### 4.3.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส

##### 4.3.1.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับสปลิทเฟสมอเตอร์ (Split-phase motor)

- โรเตอร์ (Rotor)

โรเตอร์ทำด้วยแผ่นเหล็กบาง ๆ (Laminated) อัดซ้อนกันเป็นแกนและมีเพลาร้อยทะลุเหล็กบางๆ เพื่อยึดให้แน่นรอบโรเตอร์นี้จะมีร่องไปตามทางยาวในร่องนี้จะมีทองแดงหรือลুমินีเยมเส้นโต ๆ ฝังอยู่โดยรอบปลายของทองแดงหรือลุมินีเยมนี้จะเชื่อมติดอยู่กับวงแหวนทองแดงหรือลุมินีเยม ซึ่งมีลักษณะคล้ายกรงกระรอกจึงเรียกชื่อว่า โรเตอร์กรงกระรอก (Squirrel cage rotor)



- สเตเตอร์ (Stator)

สเตเตอร์ (Stator) หรือเรียกว่าโครงสร้างสนามแม่เหล็กซึ่งประกอบด้วยแผ่นเหล็กบางๆ อัดแน่น มีร่องสำเร็จไว้ใส่ขดลวดเรียกว่าช่องสลอต (slot) อัดเป็นปีกแผ่น อยู่ภายในกรอบโครง (Frame) ซึ่งเฟรมนั้นจะทำมาจากเหล็กหล่อ (Cast iron) หรือเหล็กเหนียว (Steel) ที่สเตเตอร์ของสปลิทเฟสมอเตอร์จะมีขดลวดพันอยู่ 2 ชุด คือขดรันหรือขดเมน (Running Winding หรือ Main Winding) พันด้วยลวดเส้นใหญ่จำนวนรอบมากขดลวดรันนี้จะมีไฟฟ้าไหลผ่านอยู่ตลอดเวลา ไม่ว่าจะเป็นการเริ่มสตาร์ทหรือทำงานปกติ ขดลวดชุดที่สอง สำหรับเริ่มหมุนหรือขดสตาร์ท (Starting winding) พันด้วยลวดเส้นเล็กและจำนวนรอบน้อยกว่าขดรันขดลวดสตาร์ทจะต่ออนุกรมอยู่กับสวิตซ์แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางแล้วจึงนำไปต่อขนานกับขดรัน



- ฝาครอบ

ฝาครอบของมอเตอร์ทั้งสองข้างส่วนใหญ่ทำมาจากเหล็กหล่อหรือเหล็กเหนียวทั้งสองข้างจะถูกยึดด้วยสลักเกลียวให้แน่นและยังมีแบริ่งแบบตลับลูกปืน (Ball bearing) สำหรับรองเพลลาในการหมุนของโรเตอร์ให้ตรงแนวศูนย์กลางไม่เกิดการเสียดสีกับสเตเตอร์ และที่ฝาปิดอีกด้านหนึ่งจะมีส่วนประกอบของสวิตซ์แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางอยู่ในส่วนที่เป็นหน้าสัมผัสที่อยู่กับที่



ฝาครอบปิดหัว-ท้ายของมอเตอร์

- **สวิตช์แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal switch)**

สวิตช์แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางนี้ทำหน้าที่ตัดวงจรสตาร์ทหรือบางที่เรียกว่าสวิตซ์ตัดวงจรสตาร์ท สวิตซ์แรงเหวี่ยงนี้ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วนดังนี้ คือส่วนที่อยู่กับที่ (Stationary part) จะประกบติดอยู่กับฝาปิดหัวท้ายของมอเตอร์ซึ่งเป็นส่วนของหน้าสัมผัสหรือหน้าทองขาวอยู่ 2 อันและส่วนที่หมุน (Rotating part) ส่วนที่ติดอยู่กับเพลลาของโรเตอร์ การทำงานของสวิตซ์หนีศูนย์กลางเมื่อความเร็วรอบของมอเตอร์ได้ 75 เปอร์เซ็นต์ ของความเร็วรอบสูงสุดของมอเตอร์จะทำให้ส่วนที่ติดอยู่กับแกนเพลลาของโรเตอร์ผลักดันส่วนที่ติดตั้งอยู่กับฝาของมอเตอร์ทำให้หน้าสัมผัสแยกออกจากกันตัดวงจรขดสตาร์ทอย่างอัตโนมัติ



สวิตซ์แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางส่วนเคลื่อนที่ได้



สวิตซ์แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางส่วนอยู่กับที่

การทำงานอาศัยหลักการเหนี่ยวนำทางแม่เหล็กไฟฟ้า โดยที่ขดรีนและขดสตาร์ทที่วางทำมุมกัน 90 องศา ทางไฟฟ้า เพื่อทำให้เกิดสนามแม่เหล็กหมุน (Rotating magnetic field) ไปเหนี่ยวนำให้เกิดกระแสไหลในขดลวดกรงกระรอก (Squirrel cage winding) กระแสส่วนนี้จะสร้างสนามแม่เหล็กขึ้นไปผลักกับสนามแม่เหล็กที่สเตเตอร์เกิดเป็นแรงบิดที่โรเตอร์ให้หมุนไป เมื่อโรเตอร์หมุนด้วยความเร็ว 75 เปอร์เซ็นต์ ของความเร็วสูงสุดสวิตซ์แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางจะตัดขดลวดสตาร์ทออก จากวงจรขดลวดสตาร์ทจะทำงานเฉพาะตอนสตาร์ทเท่านั้น ส่วนขดรีนจะทำงานตลอดตั้งแต่เริ่มเดินมอเตอร์จนหยุดหมุนเมื่อจะนำมอเตอร์นี้ไปใช้งานต้องให้หมุนตัวเปล่าก่อนแล้วจึงจะต่อโหลด

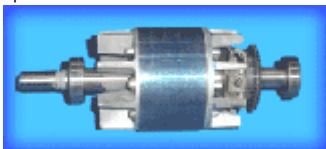
#### 4.3.1.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับคาปาซิเตอร์มอเตอร์ (Capacitor motor)

คาปาซิเตอร์มอเตอร์เป็นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟสที่มีลักษณะคล้ายสปลิทเฟสมอเตอร์มาก ต่างกันตรงที่มีคาปาซิเตอร์เพิ่มขึ้นมาทำให้มอเตอร์แบบนี้มีคุณสมบัติพิเศษกว่าสปลิทเฟสมอเตอร์คือมีแรงบิดขณะสตาร์ทสูงใช้กระแสขณะสตาร์ทน้อยมอเตอร์ชนิดนี้มีขนาดตั้งแต่ 1/20 แรงม้า ถึง 10 แรงม้า มอเตอร์นี้นิยมใช้งานเกี่ยวกับ ปั้มน้ำ เครื่องอัดลม ตู้แช่ ตู้เย็น

โครงสร้างของคาปาซิเตอร์มอเตอร์ มีส่วนประกอบส่วนใหญ่เหมือนกับแบบสปลิทเฟสเกือบทุกอย่าง คือ

- โรเตอร์เป็นแบบกรงกระรอก
- สเตเตอร์ประกอบด้วยขดลวด 2 ชุด คือ ขดสตาร์ทและขดรีน
- ฝาปิดหัวท้ายประกอบด้วย ปลอกทองเหลือง (Bush) หรือตลับลูกปืน (Ball bearing) สำหรับรองรับเพลลา

- คาปาซิเตอร์หรือคอนเดนเซอร์ (Capacitor or Condenser) โดยทั่วไปมี 3 ชนิด คือ 1. แบบกระดาษหรือ Paper capacitor 2. แบบเติมน้ำมันหรือ Oil -filled capacitor 3. แบบน้ำยาไฟฟ้าหรือ Electrolytic capacitor



โรเตอร์แบบกรงกระรอก



สเตเตอร์ประกอบด้วยขดลวด 2 ชุด คือ ขดสตาร์ทและขดรีน



ฝาปิดหัวท้าย



คาปาซิเตอร์หรือคอนเดนเซอร์

#### 4.3.1.3 รีพัลชันมอเตอร์ (Repulsion motor)

โครงสร้างที่สำคัญของรีพัลชันมอเตอร์ประกอบไปด้วย 5 ส่วนสำคัญคือ

1. สเตเตอร์ (Stator)
2. โรเตอร์ (Rotor)
3. แปรงถ่านและช่องแปรงถ่าน (Brush and Brush Holder)
4. ฝาปิดหัวท้าย (End Plate)
5. อุปกรณ์แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal Device)



สเตเตอร์ของรีพัลชันมอเตอร์จะมีขดลวดพันอยู่เพียงชุดเดียวเหมือนกับขดรีนของสลิปเฟสมอเตอร์



โรเตอร์ คือตัวหมุนของรีพัลชันมอเตอร์ มีขดลวดพันอยู่ในร่อง (Slots) และปลายของขดลวดจะไปต่อตรงที่ขั้วคอมมิวเตเตอร์



แปรงถ่านและช่องแปรงถ่าน แปรงถ่านทำจากแท่งคาร์บอนมีสองอันต่อด้วยสายตัวนำถึงกันวางอยู่บนช่องแปรงถ่านและมีสลีปรึงกดเหมือนกับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

การทำงานของมอเตอร์อาศัยสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นและอุปกรณ์แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางจะทำหน้าที่กดวงแหวนตัวนำ (Neck Lace) ให้ติดกับขั้วคอมมิวเตเตอร์เหมือนกับลวดวงจรคอมมิวเตเตอร์ การลัดขั้วคอมมิวเตเตอร์นั้น เพื่อให้ขณะที่มอเตอร์สตาร์ทไปแล้วที่ความเร็วประมาณ 75% ของความเร็วพิกัดของมอเตอร์อุปกรณ์แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางนี้จะทำงานโดยกดวงแหวนตัวนำลัดขั้วคอมมิวเตเตอร์ ทำให้มอเตอร์หมุนรันไปแบบอินดักชันเพราะขณะนี้โรเตอร์จะมีคุณสมบัติเหมือนโรเตอร์แบบกรงกระรอก รีพัลชันมอเตอร์บางชนิดจะมีตัวยกแปรงถ่านออกจากคอมมิวเตเตอร์ ในขณะที่อุปกรณ์แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางทำงานอีกด้วย

#### 4.3.1.4 ยูนิเวอร์แซลมอเตอร์

เป็นมอเตอร์ขนาดเล็กมีขนาดกำลังไฟฟ้าตั้งแต่ 1/200 แรงม้าถึง 1/30 แรงม้า นำไปใช้ได้กับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงและใช้ได้กับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับชนิด 1 เฟส มอเตอร์ชนิดนี้มีคุณสมบัติที่โดดเด่น คือให้แรงบิดเริ่มหมุนสูงนำไปปรับความเร็วได้ ทั้งปรับความเร็วได้ง่ายทั้งวงจรลดแรงดันและวงจรควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ นิยมนำไปใช้เป็นตัวขับเคลื่อนใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน เช่น เครื่องบดและผสมอาหาร มีดโกนหนวดไฟฟ้า เครื่องนวดไฟฟ้า มอเตอร์จักรเย็บผ้า ส่วนไฟฟ้า เป็นต้น

การทำงานของยูนิเวอร์แซลมอเตอร์จะอาศัยการที่ขดอาร์เมเจอร์และขดลวดสนาม แม่เหล็กที่ต่ออนุกรมกัน เมื่อจ่ายไฟฟ้าเข้าจะเกิดขั้วแม่เหล็กขึ้นที่ตัวอาร์เมเจอร์ และที่ขั้วสนามแม่เหล็ก ทำให้เกิดแรงผลักกันทำให้มอเตอร์หมุนไปได้

#### 4.3.1.5 เซดเดดโพลมอเตอร์ (Shaded pole motor)

เซดเดดโพลมอเตอร์เป็นมอเตอร์กระแสสลับ 1 เฟส มีขนาดเล็กที่สุดมีแรงบิดเริ่มหมุนต่ำมากนำไปใช้งานได้กับเครื่องใช้ไฟฟ้าขนาดเล็ก ๆ เช่น ไดร์เป่าผม พัดลมขนาดเล็ก โครงสร้างของมอเตอร์ประกอบด้วย

1. ขดลวดสนามแม่เหล็ก จะพันอยู่รอบ ๆ แกนของตัวสเตเตอร์
2. โรเตอร์ (ตัวหมุน) มีลักษณะเป็นโรเตอร์ แบบกรงกระรอก



3. สเตเตอร์ เป็นแผ่นเหล็กบางวางอัดซ้อนกัน บริเวณขั้วสนามแม่เหล็กแต่ละด้านแบ่ง 2 ส่วน ส่วนที่เล็กกว่าจะมีวงแหวนทองแดงพันอยู่รอบ ๆ
4. วงแหวนทองแดง (Shaded Coil)

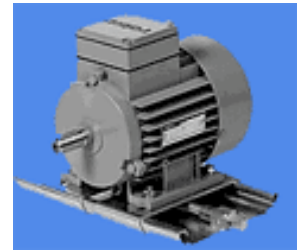
การทำงานของเซดเดดโพลมอเตอร์จะอาศัยขดลวดช่วยหมุนคือลวดทองแดงเส้นใหญ่ที่พันอยู่กับขั้วสนามแม่เหล็กเรียกว่าเซดเดด (Shaded Coil) หรือขดลวดช่วยหมุน (Auxiliary Winding) เมื่อจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับเข้าขดลวดสเตเตอร์ของมอเตอร์จะเกิดเส้นแรงแม่เหล็กเคลื่อนที่ผ่านโรเตอร์ของมอเตอร์และมีสนามแม่เหล็กส่วนหนึ่งที่ผ่าน ขดลวดเซดเดดทำให้เกิดแรงแม่เหล็กบิดเบี้ยวไป การบิดเบี้ยวไปนี้ทำให้เกิดแรงบิดหมุนขนาดเล็กทำให้มอเตอร์หมุนได้

#### 4.3.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส สามารถแบ่งออกตามโครงสร้างและหลักการทำงานของมอเตอร์ได้ 2 แบบ คือ

1. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส แบบอินดักชัน (3 Phase Induction Motor)
2. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส แบบซิงโครนัส (3 Phase Synchronous Motor)

**4.3.2.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส แบบอินดักชัน** มอเตอร์ไฟสลับ 3 ที่มีคุณสมบัติที่ดี คือมีความเร็วรอบคงที่เนื่องจากความเร็วรอบอินดักชันมอเตอร์ขึ้นอยู่กับความถี่ (Frequency) ของแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับมีราคาถูกโครงสร้างไม่ซับซ้อน สะดวกในการบำรุงรักษาเพราะไม่มีคอมมิวเตเตอร์และแปรงถ่านเหมือนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง เมื่อใช้ร่วมกับเครื่องควบคุมความเร็วแบบอินเวอร์เตอร์ (Inverter) สามารถควบคุมความเร็ว (Speed) ได้ตั้งแต่ศูนย์จนถึงความเร็วตามพิกัดของมอเตอร์นิยมใช้กันมากเป็นต้นกำลังในโรงงานอุตสาหกรรม ขับเคลื่อนลิฟท์ ขับเคลื่อนสายพานลำเลียง ขับเคลื่อนเครื่องจักรไฟฟ้า เช่น เครื่องไส เครื่องกลึงมอเตอร์อินดักชันมี 2 แบบ แบ่งตามลักษณะตัวหมุนคือ



- **อินดักชันมอเตอร์ที่มีโรเตอร์แบบกรงกระรอก (Squirrel Cage Induction Motor)** อินดักชันมอเตอร์แบบนี้ ตัวโรเตอร์จะมีโครงสร้างแบบกรงกระรอกเหมือนกับโรเตอร์ของสปลิตเฟสมอเตอร์
- **อินดักชันมอเตอร์ที่มีโรเตอร์แบบขดลวด(Wound Rotor Induction Motors)** อินดักชันมอเตอร์ชนิดนี้ตัวโรเตอร์จะทำจากเหล็กแผ่นบาง ๆ อัดซ้อนกันเป็นตัวหุ้่นคล้าย ๆ อาร์เมเจอร์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงมีร่องสำหรับวางขดลวดของตัวโรเตอร์เป็นขดลวด 3 ชุด สำหรับสร้างขั้วแม่เหล็ก 3 เฟส เช่นกัน ปลายของขดลวดทั้ง 3 ชุด ต่อกับสลีปริง (Slip Ring) จำนวน 3 อัน สำหรับเป็นทางให้กระแสไฟฟ้าครบวงจรทั้ง 3 เฟส การทำงานของอินดักชันมอเตอร์เมื่อจ่ายไฟฟ้าสลับ 3 เฟส ให้ที่ขดลวดทั้ง 3 ของตัวสเตเตอร์จะเกิดสนามแม่เหล็กหมุนรอบ ๆ ตัวสเตเตอร์ทำให้ตัวหมุน(โรเตอร์) ได้รับการเหนี่ยวนำทำให้เกิดขั้วแม่เหล็กที่ตัวโรเตอร์และขั้วแม่เหล็กนี้จะพยายามดึงดูดกับสนามแม่เหล็กที่หมุนอยู่รอบ ๆ ทำให้มอเตอร์ของอินดักชันมอเตอร์หมุนไปได้ความเร็วของสนามแม่เหล็กหมุนที่ตัวสเตเตอร์นี้จะคงที่ตามความถี่ของไฟฟ้ากระแสสลับ ดังนั้น โรเตอร์ของอินดักชันของมอเตอร์จึงหมุนตามสนามหมุนดังกล่าวไปด้วยความเร็วเท่ากับความเร็วของสนามแม่เหล็กหมุน

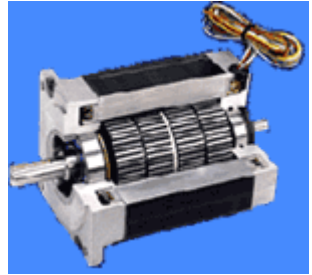
#### 4.3.2.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟสแบบซิงโครนัส

ซิงโครนัสมอเตอร์เป็นมอเตอร์ขนาดใหญ่ที่สุด ที่ขนาดพิกัดของกำลังไฟฟ้าตั้งแต่ 150 kW (200 hp) จนถึง 15 MW (20,000 hp) มีความเร็วตั้งแต่ 150 ถึง 1,800 RPM โครงสร้างของซิงโครนัสมอเตอร์ ที่สำคัญมี 2 ส่วนคือ

1. สเตเตอร์ (Stator) มีร่องสำหรับพันขดลวดจำนวน 3 ชุด เฟสละ 1 ชุด เมื่อจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส ให้กับสเตเตอร์จะเกิดสนามแม่เหล็กหมุนขึ้นเมื่อสนามแม่เหล็กหมุนอินดักชันมอเตอร์



2. โรเตอร์ (Rotor) เป็นแบบขั้วแม่เหล็กยื่น (Salient Poles) และมีขดลวดพันข้าง ๆ ขั้วแม่เหล็กยื่นเหล่านั้นขดลวดสนามแม่เหล็กที่พันรอบขั้วแม่เหล็กยื่นต่อกับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงภายนอก เพื่อสร้างขั้วแม่เหล็กขึ้นที่ตัวโรเตอร์



การทำงานของซิงโครนัสมอเตอร์เมื่อจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟสให้กับสเตเตอร์ของซิงโครนัสมอเตอร์จะเกิดสนามแม่เหล็กหมุนเนื่องจากตัวหมุน (โรเตอร์) ของซิงโครนัสมอเตอร์เป็นแบบขั้วแม่เหล็กยื่น และมีขดลวดสนามแม่เหล็กพันอยู่รอบ ๆ โดยใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับภายนอก เมื่อจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงให้กับโรเตอร์จะทำให้เกิดขั้วแม่เหล็กที่โรเตอร์ขึ้นขั้วแม่เหล็กนี้จะเกาะตามการหมุนของสนามหมุนของสเตเตอร์ ทำให้มอเตอร์หมุนไปด้วยความเร็วเท่ากับความเร็วของสนามแม่เหล็กที่สเตเตอร์

#### 4.4 ประสิทธิภาพมอเตอร์ไฟฟ้า

ประสิทธิภาพของมอเตอร์ขึ้นอยู่กับค่าของการสูญเสียที่เกิดขึ้นในตัวมอเตอร์ โดยทั่วไปแล้วการสูญเสียในมอเตอร์จะมาจาก การสูญเสียที่มีค่าคงที่ และการสูญเสียที่เปลี่ยนแปลงตามโหลดของมอเตอร์ ได้ดังนี้

ก. การสูญเสียที่แกนเหล็ก (Core losses) เกิดจากพลังงานที่ใช้ในการเปลี่ยนทิศทางของสนามแม่เหล็กที่ไหลอยู่ในแกนเหล็ก (Hysteresis losses) รวมทั้งการสูญเสียที่เกิดจากกระแสไหลวนในแกนเหล็ก (Eddy current losses)

ข. การสูญเสียจากแรงลมที่ต้านทานการหมุนและแรงเสียดทาน (Windage and friction losses) เกิดจากแรงเสียดทานในตลับลูกปืน และแรงต้านของครีบบระบายอากาศที่ตัวมอเตอร์ โดยรวมแล้วการสูญเสียที่แกนเหล็ก การสูญเสียจากแรงลมและแรงเสียดทาน เป็นค่าการสูญเสียที่คงที่ และไม่ขึ้นกับโหลดของมอเตอร์เรียกโดยรวมว่า “ค่าการสูญเสียขณะที่มีมอเตอร์ไม่มีโหลด” (No - Load losses)

ค. การสูญเสียที่สเตเตอร์ (Stator losses) จะอยู่ในรูปของความร้อนเกิดจากกระแสที่ไหลผ่านขดลวดที่มีความต้านทานอยู่ภายใน

ง. การสูญเสียที่โรเตอร์ (Rotor losses) อยู่ในรูปความร้อนเช่นเดียวกับสเตเตอร์ แต่เกิดที่ตัวนำในโรเตอร์

จ. การสูญเสียจากภาระการใช้งาน (Stray losses) เป็นผลมาจากค่าการสูญเสียที่เกิดจากความถี่ในแกนเหล็กที่โรเตอร์ ค่ากระแสไหลวนในขดลวดที่สเตเตอร์ ค่าการสูญเสียจากค่ากระแสฮาร์โมนิกในตัวนำของโรเตอร์ขณะที่มีโหลดค่าสนามแม่เหล็กรั่วไหลที่เกิดจากกระแสไหลวน ซึ่งการสูญเสียที่สเตเตอร์ โรเตอร์ และจากภาระการใช้งาน จะเพิ่มขึ้นตามขนาดของโหลดเรียกโดยรวมว่า “ค่าความสูญเสียขณะมีโหลด” (Load losses)

ค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์หาได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{ประสิทธิภาพ, \%} &= \frac{746 \times \text{แรงม้าขาออก (HP)}}{\text{กำลังไฟฟ้าป้อนเข้า (วัตต์)}} \times 100 \\ &= \frac{\text{กำลังงานขาออก (วัตต์)}}{\text{กำลังไฟฟ้าป้อนเข้า (วัตต์)}} \times 100 \end{aligned}$$

ค่าประสิทธิภาพอาจเขียนอยู่ในรูปที่แสดงค่ากำลังงานสูญเสียของมอเตอร์ด้วยก็ได้ ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{ประสิทธิภาพ, \%} &= \frac{\text{กำลังงานขาออก(วัตต์)}}{\text{กำลังงานขาออก(วัตต์) + กำลังงานสูญเสีย(วัตต์)}} \times 100 \\ \text{หรือ} \\ \text{ประสิทธิภาพ, \%} &= \frac{\text{กำลังไฟฟ้าป้อนเข้า(วัตต์) - กำลังงานสูญเสีย (วัตต์)}}{\text{กำลังงานขาออก(วัตต์)}} \times 100 \end{aligned}$$

ปริมาณของกำลังไฟฟ้าป้อนเข้าที่ใช้ผลิตแรงม้าตามพิกัดนั้น จะต่างกันสำหรับมอเตอร์แต่ละตัว มอเตอร์ที่มีประสิทธิภาพสูงกว่าจะต้องการกำลังงานป้อนเข้าที่น้อย เมื่อเปรียบเทียบกับมอเตอร์ที่มี ประสิทธิภาพต่ำกว่าที่ให้ขาออกเท่ากัน

#### 4.5 ความแตกต่างระหว่างมอเตอร์ไฟฟ้าประสิทธิภาพสูงและมอเตอร์ไฟฟ้ามาตรฐานทั่วไป

ในช่วงหลายปีที่ผ่านมาทางผู้ผลิตมอเตอร์ได้วิจัยและพัฒนาเพื่อผลิตมอเตอร์ที่มีประสิทธิภาพสูงออกสู่ตลาด โดยพยายามให้มีราคาสูงขึ้นไม่มากมอเตอร์รุ่นใหม่มีส่วนประกอบและลักษณะการทำงานเหมือนมอเตอร์แบบเดิมแต่ใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยกว่า เนื่องจากเปลี่ยนแปลงรายละเอียดในการออกแบบใช้วัสดุที่ดีขึ้น และพิถีพิถันในกระบวนการผลิตมากขึ้นทำให้ประสิทธิภาพของมอเตอร์สูงขึ้นประมาณ 2-4 % หรือสามารถลดการสูญเสียพลังงานได้ประมาณ 25 - 30 % จากการสูญเสีย นอกจากประหยัดพลังงานแล้วมอเตอร์ประสิทธิภาพสูงยังมีข้อดีอื่น ๆ อีกคือ เกิดความร้อนจากการทำงานน้อยกว่าอายุการใช้งานของฉนวนและลูกปืนยาวนานขึ้นการสิ้นเสือน้อยกว่ามีเสียงรบกวนน้อยและค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ดีขึ้น

นับตั้งแต่วิกฤตการณ์พลังงานในทศวรรษที่ 70 บรรดาผู้ผลิตมอเตอร์ได้พัฒนามอเตอร์ประสิทธิภาพสูงโดยการนำเทคโนโลยีเพื่อการปรับปรุงชิ้นส่วนอุปกรณ์ต่าง ๆ ในมอเตอร์ดังนี้

1. ปรับปรุงคุณภาพของแกนเหล็ก มอเตอร์ทั่ว ๆ ไปใช้เหล็กแผ่นที่มีมอดูล์ประกอบของคาร์บอนต่ำ (Low-carbon laminated steel) สำหรับทำตัวแกนเหล็กที่สเตเตอร์และโรเตอร์ ซึ่งแกนเหล็กดังกล่าวมีค่าการสูญเสียทางไฟฟ้าเทียบกับน้ำหนักประมาณ 6.6 วัตต์ต่อเหล็ก 1 กิโลกรัม ซึ่งมอเตอร์ไฟฟ้าประสิทธิภาพสูงจะใช้แผ่นเหล็กซิลิกอนคุณภาพสูง (High grade silicon steel) ซึ่งจะมีค่าการสูญเสียทางไฟฟ้าลดลงถึงครึ่งหนึ่งคือเหลือเพียงประมาณ 3.3 วัตต์ต่อเหล็ก 1 กิโลกรัม

2. แผ่นเหล็กที่บางขึ้น การลดความหนาของแผ่นเหล็กที่ใช้ทำแกนเหล็ก ทั้งในสเตเตอร์และโรเตอร์ จะช่วยลดการสูญเสียที่เกิดจากกระแสไหลวนซึ่งเมื่อรวมกับการปรับปรุงฉนวนระหว่างแผ่นเหล็กแล้วจะช่วยลดค่าการสูญเสียที่เกิดจากกระแสไหลวนได้มากยิ่งขึ้น

3. เพิ่มปริมาณของตัวนำ มอเตอร์รุ่นเก่า ๆ จะใช้ลวดทองแดง หรือลวดอะลูมิเนียมที่มีขนาดพอดีกับกระแสสูงสุดที่เกิดจากโหลดของมอเตอร์ แต่มอเตอร์ไฟฟ้าประสิทธิภาพสูงจะใช้ลวดทองแดงขนาดใหญ่ขึ้นเพื่อลดค่าความต้านทานในขดลวดโดยขนาดของตัวนำจะใหญ่กว่าประมาณ 35 ถึง 40 เปอร์เซ็นต์

4. ปรับปรุงการออกแบบร่องสลิต เพื่อที่จะรองรับกับขนาดขดลวดที่ใหญ่ขึ้นทำให้ต้องมีการปรับปรุงและออกแบบร่องสลิตใหม่ รวมทั้งเพิ่มความยาวของแกนเหล็กที่สเตเตอร์ซึ่งแกนเหล็กที่ยาวขึ้นจะเป็นผลต่อค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ที่ดีขึ้นด้วย

5. ลดช่องว่างระหว่างสเตเตอร์และโรเตอร์ การลดช่องว่างที่เป็นทางเดินของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจะทำให้สนามแม่เหล็กไฟฟ้าจากสเตเตอร์ที่วิ่งผ่านไปยังโรเตอร์มีค่าเพิ่มสูงขึ้น ดังนั้นมอเตอร์จะใช้พลังงานไฟฟ้าลดลงเพื่อที่จะสร้างแรงบิดเท่าเดิม นอกจากนี้การเพิ่มความยาวของแกนเหล็กยังเป็นการเพิ่มปริมาณสนามแม่เหล็ก ที่จะเกิดผลทำให้เกิดผลแบบเดียวกันกับการลดช่องว่างระหว่างโรเตอร์กับสเตเตอร์

6. ปรับปรุงฉนวนที่โรเตอร์ในมอเตอร์ประสิทธิภาพสูงร่องสลิตที่โรเตอร์จะได้รับการตรวจสอบเป็นอย่างดีและเคลือบด้วยฉนวนที่สามารถทนความร้อนได้สูงซึ่งจะลดค่าการสูญเสียจากตัวนำที่ไม่เรียบร้อยที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตขณะที่ฝั่งตัวนำเข้าไว้ในโรเตอร์ ซึ่งโดยปกติแล้วตัวนำที่อยู่ที่โรเตอร์จะถูกออกแบบไว้ในลักษณะเดียวกับแนวแกนของโรเตอร์เพื่อที่จะลดเสียงรบกวนและแรงบิดที่ไม่สม่ำเสมอในมอเตอร์ขนาดเล็ก

7. ออกแบบพัดลมใหม่เนื่องจากมอเตอร์ไฟฟ้าประสิทธิภาพสูงมีอุณหภูมิในการทำงานต่ำกว่ามอเตอร์ธรรมดาเป็นผลให้พัดลมที่ใช้ระบายความร้อนมีขนาดเล็กซึ่งเป็นการลดการสูญเสียจากแรงลมรวมถึงระดับเสียงของพัดลมในการทำงานด้วย

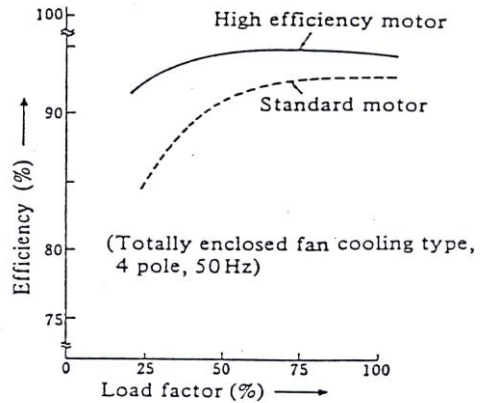
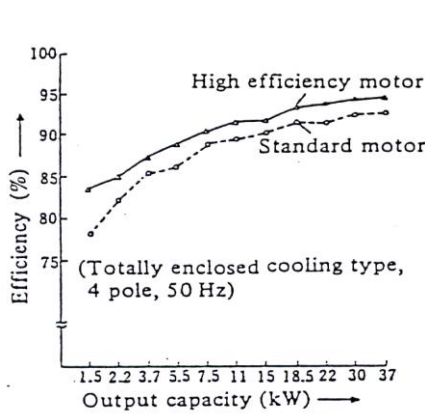
มอเตอร์ที่ผลิตได้มาตรฐาน จะต้องได้รับการทดสอบเพื่อรับรองมาตรฐาน ซึ่งปัจจุบันหลายประเทศได้พัฒนามาตรฐานการทดสอบที่สากลยอมรับ อาทิ มาตรฐาน CSA ของประเทศแคนาดา มาตรฐาน NEMA ของประเทศสหรัฐอเมริกา มาตรฐาน IEC ของยุโรป และมาตรฐาน JEC ของประเทศญี่ปุ่น เป็นต้น ซึ่งแต่ละมาตรฐานดังกล่าวนี้ อาจมีรายละเอียดในการทดสอบแตกต่างกัน ลักษณะของกราฟแสดงประสิทธิภาพของมอเตอร์แสดงได้ดังรูปที่ 4-1 และ 4-2

วิธีการทดสอบตามมาตรฐานจะสามารถแสดงประสิทธิภาพของมอเตอร์ ซึ่งค่าประสิทธิภาพนั้นมี 2 ลักษณะ คือ ค่าเฉลี่ยมาตรฐาน (Nominal) หรือค่ารับประกันต่ำสุด (Guaranteed Minimum) ซึ่งมีความแตกต่างกัน ดังนี้

- **ค่าประสิทธิภาพมาตรฐาน** เป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากมอเตอร์แบบเดียวกันจำนวนมากจากผู้ผลิตมอเตอร์แต่ละตัวอาจมีค่าประสิทธิภาพที่ต่างจากค่าเฉลี่ยนี้มาก

- ค่าประสิทธิภาพรับประกันต่ำสุด เป็นค่าที่ผู้ผลิตรับประกันว่ามอเตอร์ขนาดนั้นๆจะมีค่าประสิทธิภาพไม่น้อยกว่านั้นมาตรฐานระดับชาติส่วนใหญ่จะมีขีดกำหนดความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยและค่ารับประกันต่ำสุดเอาไว้

ตารางที่ 4-1 แสดงความแตกต่างของค่าประสิทธิภาพมาตรฐาน และค่าประสิทธิภาพรับประกันต่ำสุด ของมอเตอร์ที่มีพิกัดต่างกัน



รูปที่ 4-1 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับ พิกัดมอเตอร์ของมอเตอร์อินดักชัน ชนิด 3 เฟส แบบกรงกระรอก

รูปที่ 4-2 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับ เปอร์เซ็นต์การใช้งานมอเตอร์ของมอเตอร์ อินดักชัน กรงกระรอก ชนิด 3 เฟส

ที่มา : Energy Conservation of Electrical Equipment

ตารางที่ 4-1 เปรียบเทียบประสิทธิภาพมอเตอร์มาตรฐานกับมอเตอร์ประสิทธิภาพสูง

| ขนาดพิกัด (แรงม้า) | 2 ขั้ว (3,000 รอบ/นาที) |                        | 4 ขั้ว (1,500 รอบ/นาที) |                        |
|--------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|
|                    | มอเตอร์ มาตรฐาน         | มอเตอร์ ประสิทธิภาพสูง | มอเตอร์ มาตรฐาน         | มอเตอร์ ประสิทธิภาพสูง |
| 3                  | 80.0                    | 84.0                   | 81.5                    | 86.5                   |
| 5                  | 82.5                    | 86.5                   | 82.5                    | 86.5                   |
| 7.5                | 82.5                    | 87.5                   | 85.5                    | 88.5                   |
| 10                 | 85.5                    | 88.5                   | 85.5                    | 88.5                   |
| 15                 | 85.5                    | 89.5                   | 86.5                    | 90.2                   |
| 20                 | 86.5                    | 89.5                   | 88.5                    | 90.2                   |
| 25                 | 87.5                    | 90.2                   | 89.5                    | 91.7                   |
| 30                 | 87.5                    | 90.2                   | 89.5                    | 91.7                   |
| 40                 | 88.5                    | 91.0                   | 90.2                    | 92.4                   |
| 50                 | 88.5                    | 91.7                   | 91.0                    | 92.4                   |
| 60                 | 90.2                    | 92.4                   | 91.7                    | 93.0                   |
| 75                 | 91.0                    | 92.4                   | 91.7                    | 93.6                   |
| 100                | 91.7                    | 93.0                   | 92.4                    | 94.1                   |
| 125                | 91.7                    | 94.1                   | 92.4                    | 94.1                   |
| 150                | 91.7                    | 94.1                   | 93.0                    | 94.5                   |
| 200                | 93.0                    | 94.5                   | 93.6                    | 94.5                   |
| 250                | 93.5                    | 95.0                   | 93.8                    | 95.0                   |

| ขนาดพิกัด<br>(แรงม้า) | 2 ชั่วโมง (3,000 รอบ/นาที) |                           | 4 ชั่วโมง (1,500 รอบ/นาที) |                           |
|-----------------------|----------------------------|---------------------------|----------------------------|---------------------------|
|                       | มอเตอร์<br>มาตรฐาน         | มอเตอร์<br>ประสิทธิภาพสูง | มอเตอร์<br>มาตรฐาน         | มอเตอร์<br>ประสิทธิภาพสูง |
| 300                   | 93.5                       | 95.0                      | 93.8                       | 95.0                      |
| 400                   | 93.5                       | 95.0                      | 93.8                       | 95.0                      |
| 500                   | 93.5                       | 95.0                      | 94.0                       | 95.4                      |

ที่มา : “กระบวนการและเทคนิคการลดค่าใช้จ่ายพลังงาน” ศูนย์อนุรักษ์พลังงานแห่งประเทศไทย

#### 4.6 การอนุรักษ์พลังงานที่เกิดจากการใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูง

ในปัจจุบันมอเตอร์ประสิทธิภาพสูงจะมีราคาสูงกว่ามอเตอร์มาตรฐานประมาณ 20% ราคาที่เพิ่มขึ้นนี้จะกลับคืนมาในรูปของการประหยัดค่าพลังงาน จากการที่ประสิทธิภาพของมอเตอร์นั้นสูงขึ้น การประหยัดค่าพลังงานสามารถคำนวณได้ดังนี้ :-

$$\text{ค่าพลังงานที่ประหยัดได้} = \text{ค่าไฟฟ้าโดยเฉลี่ย} \times \text{กิโลวัตต์ชั่วโมงที่ประหยัดได้}$$

เมื่อ:

$$\text{กิโลวัตต์ชั่วโมงที่ประหยัด} = \text{กิโลวัตต์ที่ลดลง} \times \text{ชั่วโมงการทำงานตลอดปี}$$

$$\text{กิโลวัตต์ที่ลดลง} = \text{ภาระกิโลวัตต์} \times \left( \frac{100}{\text{ประสิทธิภาพมอเตอร์มาตรฐาน}} - \frac{100}{\text{ประสิทธิภาพมอเตอร์ประสิทธิภาพสูง}} \right)$$

การคำนวณความคุ้มค่าการลงทุนใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูงโดยทั่วไปจะดูจากระยะเวลาคืนทุนเบื้องต้น หากเป็นการซื้อมอเตอร์ใหม่ ระยะคืนทุนเบื้องต้น คือ อัตราส่วนระหว่างราคาที่เพิ่มขึ้นของมอเตอร์ประสิทธิภาพสูงกับค่าพลังงานที่ประหยัดได้

$$\begin{aligned} \text{ระยะคืนทุนเบื้องต้น} &= \frac{\text{ราคาที่เพิ่มขึ้น*}}{\text{ค่าพลังงานที่ประหยัดได้}} \\ &= \frac{\text{ราคาของมอเตอร์ประสิทธิภาพสูง} - \text{ราคามอเตอร์มาตรฐาน}}{\text{ค่าพลังงานที่ประหยัดได้}} \end{aligned}$$

ที่มา : Energy Conservation of Electrical Equipment

หมายเหตุ : \* ใช้เมื่อซื้อมอเตอร์ใหม่เท่านั้น

#### ตัวอย่างที่ 4.1 ข้อมูลมอเตอร์มาตรฐานและมอเตอร์ประสิทธิภาพสูงแสดงโดยสังเขป ดังต่อไปนี้

|  |          |                            |
|--|----------|----------------------------|
| ข้อมูล : ขนาดมอเตอร์                   | = 45     | กิโลวัตต์                  |
| ค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์มาตรฐาน        | = 91.5%  | (ที่ 75% ของภาระเต็มกำลัง) |
| ค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์ประสิทธิภาพสูง | = 93.9%  | (ที่ 75% ของภาระเต็มกำลัง) |
| ราคาที่สูงกว่าของมอเตอร์ประสิทธิภาพสูง | = 10,000 | บาท                        |
| ชั่วโมงการใช้งาน                       | = 2,000  | ชั่วโมงต่อปี               |
| ค่าไฟฟ้าโดยเฉลี่ย                      | = 1.1    | บาท/กิโลวัตต์ชั่วโมง       |

จึงคำนวณผลการประหยัดพลังงานและระยะเวลาในการคืนทุนอย่างง่าย เมื่อซื้อมอเตอร์ประสิทธิภาพสูงเครื่องใหม่มาใช้แทนมอเตอร์มาตรฐาน ถ้าหากขนาดของมอเตอร์ที่ต้องใช้นั้นเท่ากับ 45 กิโลวัตต์

การคำนวณ :

$$\begin{aligned} \text{กิโลวัตต์ที่ลดลง} &= 45 \text{ กิโลวัตต์} \times (100/91.5 - 100/93.9) \times 0.75 \\ &= 0.95 \text{ กิโลวัตต์} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{กิโลวัตต์ที่ประหยัดได้} &= 0.95 \text{ กิโลวัตต์} \times 2000 \text{ ชั่วโมง} \\
 &= 1,900 \text{ กิโลวัตต์ชั่วโมง} \\
 \text{ค่าพลังงานที่ประหยัดได้} &= 1,900 \text{ กิโลวัตต์ชั่วโมง} \times 1.1 \text{ บาท/กิโลวัตต์ชั่วโมง} \\
 &= 2,090 \text{ บาท} \\
 \text{ค่าพลังงานที่ประหยัดได้ตลอดอายุการใช้งาน} &= 41,800 \text{ บาท ในเวลา 20 ปี} \\
 &= 10,000 \text{ บาท} \\
 \text{ระยะเวลาคืนทุนแบบเชิงเดียว} &= \frac{10,000 \text{ บาท}}{2,090 \text{ บาท}} \\
 &= 5 \text{ ปี}
 \end{aligned}$$

**ตัวอย่างที่ 4.2** พิจารณาถึงประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้น 1 % เช่นจาก 94 % เป็น 95 % ของมอเตอร์ขนาด 500 แรงม้า ทำงานที่ 80 % ของพิกัดกำลังจะทำให้มอเตอร์กินกำลังไฟฟ้าลดลงเท่าใด

**การคำนวณ :**

กำลังไฟฟ้า ที่มอเตอร์ประสิทธิภาพ 94 % ต้องการ

$$\begin{aligned}
 &= 0.746 \times 500 \times \frac{0.8}{0.94} \\
 &= 317.45 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

กำลังไฟฟ้า ที่มอเตอร์ประสิทธิภาพ 95 % ต้องการ

$$\begin{aligned}
 &= 0.746 \times 500 \times \frac{0.8}{0.95} \\
 &= 314.11 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

โดยกำหนดให้ 746 W เท่ากับ 1 แรงม้า

ดังนั้นมอเตอร์ไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพ 95% จะกินกำลังไฟฟ้าน้อยกว่ามอเตอร์ไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพ 94% เป็นจำนวนเท่ากับ

$$317.45 - 314.11 = 3.34 \text{ kW}$$

ถ้ามอเตอร์ทำงานในลักษณะที่ต่อเนื่องทุกวัน ๆ ละ 24 ชั่วโมง ตลอดปีประมาณ  $365 \times 24 = 8,760$  ชั่วโมง แต่ถ้ามอเตอร์ทำงานในลักษณะที่ต่อเนื่องเป็นช่วง ๆ ซึ่งชั่วโมงการทำงานจะลดลง เช่น ประมาณ 6,000 ชั่วโมงใน 1 ปี และคิดค่าไฟฟ้าที่ 3 บาท ต่อ kWh ก็จะสามารถประหยัดค่าไฟฟ้าได้จากค่าประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้น 1 % ได้เท่ากับ

$$\begin{aligned}
 &= 3.34 \times 6,000 \times 3 \\
 &= 60,120 \text{ บาทต่อปี}
 \end{aligned}$$

ซึ่งในการใช้งานจริง ๆ นั้น นอกจากค่ากำลังไฟฟ้าที่ผู้ประกอบการต้องชำระแล้ว ผู้ประกอบการยังต้องชำระค่าพลังไฟฟ้า (Demand) ให้กับทางการไฟฟ้าด้วย ดังนั้นค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้ จะมีค่ามากกว่าตัวเลขที่คำนวณได้

ต้นทุนจากการบำรุงรักษาโดยทั่วไปแล้ว มาจากความเสียหายของมอเตอร์ที่เกิดขึ้นที่มีสาเหตุมาจากตลับลูกปืน แม้ว่าในปัจจุบันนี้ จะมีเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจสอบ วิเคราะห์และทำนายสภาพของตลับลูกปืน เพื่อที่จะได้ทำการบำรุงรักษาก่อนที่จะเกิดความเสียหายที่รุนแรงขึ้น แต่การใช้อุปกรณ์เหล่านั้นไม่ใช่การแก้ปัญหาที่ต้นเหตุของความเสียหาย

สาเหตุของความเสียหายของตลับลูกปืน ไม่ได้เกิดจากการขาดการบำรุงรักษาเท่านั้น อุณหภูมิของมอเตอร์ในขณะที่ทำงาน ก็เป็นองค์ประกอบอีกอันหนึ่ง ที่ทำให้อายุการใช้งานของตลับลูกปืนลดลง อุณหภูมิของมอเตอร์ในขณะที่ทำงาน เป็นผลมาจากอุณหภูมิภายนอก และอุณหภูมิที่เกิดขึ้นภายในตัวมอเตอร์เอง ซึ่งโดยปกติแล้วจะไม่ควบคุมอุณหภูมิภายนอกของมอเตอร์ แต่จะเลือกใช้มอเตอร์ที่มีอุณหภูมิขณะทำงานต่ำแทน

มอเตอร์ประสิทธิภาพสูงเองมีอุณหภูมิของมอเตอร์ในขณะที่ทำงานที่ต่ำเมื่อเทียบกับมอเตอร์ธรรมดาทั่วไปในการรับโหลดขนาดต่าง ๆ กัน และมอเตอร์ประสิทธิภาพสูงยังใช้ตลับลูกปืนที่มีคุณภาพสูงอีกด้วย ดังนั้นมอเตอร์

ประสิทธิภาพสูงโดยทั่วไปจะมีค่าใช้จ่ายจากการบำรุงรักษาที่ต่ำ เนื่องจากอายุการใช้งานที่ยาวนานกว่า และประสิทธิภาพสูงกว่า

เทคโนโลยีใหม่ของมอเตอร์นี้ ทำให้ได้มอเตอร์ที่มีประสิทธิภาพที่สูงขึ้น และอายุการใช้งานที่ยาวนานกว่าเดิม โดยมีข้อมูลจากบริษัทผู้ผลิตยืนยันว่ามอเตอร์ที่เสียหายในช่วงระยะเวลาการรับประกันลดลงเนื่องจากค่าการสูญเสียทางไฟฟ้าที่ลดลงทำให้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูงสามารถทนความร้อนได้ดีกว่ามอเตอร์ธรรมดา

มีรายงานผลการตรวจสอบการใช้มอเตอร์ว่าอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นของตลับลูกปืนของมอเตอร์เหนียวมาแบบกรงกระรอก ชนิดระบายความร้อนด้วยตัวเอง (Total enclosed fan cool motor) จะเพิ่มขึ้นประมาณ 50 % ถึง 75 % ของอุณหภูมิที่ขดลวด และการออกแบบของมอเตอร์ประสิทธิภาพสูง จะเพิ่มอายุการใช้งานของสารหล่อลื่นในตลับลูกปืนขึ้นอีกถึง 200% เทียบกับมอเตอร์ธรรมดาทั่ว ๆ ไปอายุการใช้งานของสารหล่อลื่นที่ยาวนานขึ้นจะเป็น ผลให้ความทนทานของตลับลูกปืนและมอเตอร์เพิ่มขึ้นตามไปด้วย

จากข้อมูลที่กล่าวมา สรุปได้ว่า อุณหภูมิของขดลวด เป็นตัวแปรสำคัญสำหรับอายุการใช้งานของตลับลูกปืน การลดอุณหภูมิของขดลวดเท่ากับเป็นการเพิ่มอายุการใช้งานของตลับลูกปืนและมอเตอร์

แม้ว่าตลับลูกปืนจะเป็นสาเหตุหลักของความเสียหายของมอเตอร์ แต่องค์ประกอบอื่น ๆ เช่น ความเสียหายทางกล (Mechanical damage) สภาพแวดล้อมที่มอเตอร์ติดตั้งอยู่ และการติดตั้ง (Alignment) ยังคงเป็นองค์ประกอบสำคัญที่ทำให้มอเตอร์เสียหายได้ ดังนั้นเมื่อพิจารณาถึงอายุการใช้งานของมอเตอร์จะต้องนำเอาตัวแปรอื่น ๆ มาวิเคราะห์ด้วย

มอเตอร์ไฟฟ้าประสิทธิภาพสูง ถึงแม้ว่าจะมีราคาที่สูงกว่ามอเตอร์ธรรมดา แต่อย่างไรก็ดี ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานเมื่อใช้มอเตอร์ไฟฟ้าประสิทธิภาพสูงจะต่ำกว่าเมื่อใช้มอเตอร์ทั่ว ๆ ไป เพื่อให้มองเห็นภาพได้ชัดเจนยิ่งขึ้นจึงขอยกตัวอย่างให้เห็น ได้ดังนี้

การตัดสินใจที่แตกต่างกันในการซื้อรถยนต์และมอเตอร์ไฟฟ้า ความแตกต่างระหว่างการซื้อรถยนต์และมอเตอร์ไฟฟ้า จะสามารถแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างขององค์ประกอบที่ใช้ในการตัดสินใจซื้อได้ โดยส่วนใหญ่แล้วในการซื้อรถยนต์ผู้ซื้อมักจะคิดค่าใช้จ่ายในการใช้งานและค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา และนำไปเป็นองค์ประกอบในการตัดสินใจซื้อด้วยเสมอ และในบางครั้งองค์ประกอบเหล่านี้ คือตัวแปรสำคัญที่ผู้ซื้อตัดสินใจเลือกซื้อรถยนต์ยี่ห้อใดยี่ห้อหนึ่งในทางกลับกันผู้ประกอบการส่วนใหญ่เวลาเลือกซื้อมอเตอร์ มักจะตัดสินใจจากราคาของมอเตอร์มากกว่าค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการใช้งานของมอเตอร์

พิจารณาต้นทุนการดำเนินงาน เนื่องจากมูลค่าที่สูงของค่าไฟฟ้าและค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาของมอเตอร์ ผู้ประกอบการหรือผู้ซื้อจึงควรที่จะใช้ค่าใช้จ่ายเหล่านี้เป็นองค์ประกอบในการตัดสินใจซื้อมอเตอร์ด้วยราคาที่สูงกว่าของมอเตอร์ประสิทธิภาพสูงเมื่อเทียบกับมอเตอร์ธรรมดาทั่วไปจะชดเชยได้จากค่าไฟฟ้าและค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาที่ต่ำกว่า ดังนั้นการพิจารณาต้นทุนการดำเนินงานทั้งหมด จะช่วยให้ผู้ประกอบการมีต้นทุนในการผลิตที่ต่ำลง

ความคุ้มค่าในเชิงเศรษฐศาสตร์จากการออกแบบที่ดีกว่า และการใช้วัสดุคุณภาพสูง ทำให้มอเตอร์ไฟฟ้าประสิทธิภาพสูงมีราคาสูงกว่ามอเตอร์ธรรมดาทั่วไปประมาณ 15 ถึง 30 เปอร์เซ็นต์ โดยทั่วไปแล้ว ราคาซื้อที่เพิ่มขึ้นจะถูกชดเชย และคืนทุนในระยะเวลาที่สั้นซึ่งมาจากค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้ การคิดความคุ้มค่าในการลงทุนในทางเศรษฐศาสตร์สามารถประเมินได้จากการประหยัดไฟฟ้าใน 1 ปี เทียบกับมูลค่าของมอเตอร์ที่สูงขึ้น

หลังจากระยะเวลาของการคืนทุนแล้วจำนวนเงินที่ประหยัดได้ในแต่ละปีจะเป็นผลให้ต้นทุนในการผลิตของผู้ประกอบการลดลง ดังนั้นการเปลี่ยนมอเตอร์ที่หมดอายุ ด้วยมอเตอร์ประสิทธิภาพสูง หรือใช้ต้นทุนในการดำเนินงานเป็นตัวแปรร่วมในการตัดสินใจในการซื้อมอเตอร์ จะทำให้ผู้ประกอบการมีความพร้อมต่อสภาวะตลาดที่ผู้ บริโภคได้ตื่นตัวเป็นอย่างมากเกี่ยวกับการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม ซึ่งจากการใช้ไฟฟ้าที่ลดลงของผู้ประกอบการเป็นผลกระทบจากการผลิตไฟฟ้าต่อสิ่งแวดล้อม หรือมลภาวะที่เกิดจากปฏิกิริยาเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวภาพในกระบวนการผลิตไฟฟ้าลดลงด้วย ดังนั้นผู้ประกอบการที่รักษาสภาพแวดล้อมย่อมเข้าไปอยู่ในใจของผู้บริโภคได้ดีกว่า ซึ่งเป็นผลพลอยได้ของผู้ประกอบการนอกเหนือจากการประหยัดค่าไฟฟ้า

#### 4.7 หลักการพิจารณาใช้มอเตอร์ไฟฟ้าประสิทธิภาพสูงและอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบ

##### (1) การพิจารณาเลือกซื้อมอเตอร์ประสิทธิภาพสูง

การเลือกซื้อหรือเปลี่ยนมอเตอร์ใหม่ให้เป็นมอเตอร์ประสิทธิภาพสูง ควรพิจารณาเมื่อเครื่องที่ใช้อยู่เดิมชำรุด ซึ่งพิจารณาได้ดังนี้

- หากมอเตอร์ที่มีอาการเสียที่มีขนาดต่ำกว่า 10 kW ให้เปลี่ยนได้เลย
- หากมอเตอร์ที่มีอาการเสียที่มีขนาดมากกว่า 10 kW สามารถไปพันขดลวดได้ใหม่ประมาณ 1 – 2 ครั้ง เพราะหากเกินกว่านี้ราคาซ่อมจะสูงกว่าการซื้อเครื่องใหม่
- ให้เลือกเปลี่ยนจากมอเตอร์ที่มีขนาดเล็กและมีชั่วโมงการทำงานสูง
- มอเตอร์ที่มีอายุการใช้งานเกินกว่า 15 ปี ให้เปลี่ยนได้ทันที

##### (2) เมื่อไรจึงจะใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูง

ควรพิจารณาการใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูงในสถานการณ์ดังต่อไปนี้ :

- ควรซื้อมอเตอร์ประสิทธิภาพสูงสำหรับโรงงานใหม่
  - เมื่อมีการซื้อมอเตอร์ใหม่มักจะมียกจ่ายที่เพิ่มขึ้น (ซึ่งเรียกว่า Price Premium) : ราคามอเตอร์ประสิทธิภาพสูง - ราคามอเตอร์มาตรฐาน ถึงแม้ว่าจะมียกจ่ายดังกล่าวเพิ่มเติม แต่การใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูงยังคงเป็นที่น่าสนใจในการลงทุน
- ควรซื้อมอเตอร์ประสิทธิภาพสูงแทนการนำมอเตอร์มาตรฐานมาพันขดลวดใหม่
  - มอเตอร์ที่นำมาพันขดลวดใหม่ (ส่วนใหญ่จะเป็นมอเตอร์ขนาดใหญ่กว่า 10 กิโลวัตต์) ประสิทธิภาพจะลดลงถึง 2%
  - ในกรณีนี้ ประสิทธิภาพที่ดีขึ้นทั้งหมดจะเท่ากับผลรวมของประสิทธิภาพที่ลดลง เนื่องจากจากการพันขดลวดใหม่ (มากถึง 2%) กับ ประสิทธิภาพที่ขึ้นจากประสิทธิภาพของมอเตอร์มาตรฐาน
  - สำหรับกรณีนี้ ราคาที่สูงขึ้นคือราคาของมอเตอร์ประสิทธิภาพสูงลบด้วยค่าพันขดลวดใหม่
- ควรซื้อมอเตอร์ประสิทธิภาพสูง เพื่อนำมาใช้เป็นมอเตอร์สำรอง
  - เมื่อจำเป็นต้องซื้อมอเตอร์สำหรับเป็นมอเตอร์สำรองเพื่อใช้แทนมอเตอร์ที่ไหม้ จะเป็นโอกาสที่เหมาะสมและเป็นการคุ้มค่าที่จะเปลี่ยนมาใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูงแทนมอเตอร์มาตรฐาน

ในแต่ละกรณีที่กล่าวมาข้างต้น ควรมีการคำนวณระยะคืนทุนเชิงเดียว (ดังตัวอย่างในหน้าที่แล้ว) เพื่อช่วยในการตัดสินใจว่าสมควรติดตั้งมอเตอร์ประสิทธิภาพสูงหรือไม่

##### (3) แนวทางการอนุรักษ์พลังงาน

- เลือกขนาดของมอเตอร์ให้เหมาะสมกับงานนั้น ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าบริเวณนั้นมีค่าต่ำ
- เลือกประสิทธิภาพของมอเตอร์ให้เหมาะสมกับสภาวะการดำเนินงาน ซึ่งควรอยู่บนพื้นฐานของการวิเคราะห์การลงทุน โดยพิจารณาถึงราคาซื้อ, ชั่วโมงการทำงาน, ประสิทธิภาพของมอเตอร์และค่าไฟฟ้า
- ปิดมอเตอร์ทุกครั้งเมื่อไม่มีการใช้ เนื่องจากการเดินเครื่องทิ้งไว้โดยไม่มีภาระงานจะใช้พลังงานประมาณ 10 -20% ของพลังงานที่ใช้ขณะที่มอเตอร์ทำงานเต็มกำลัง (Rated Load)
- ควรมีการตรวจสอบการใช้งานมอเตอร์เพื่อพิจารณาใช้ตัวควบคุมความเร็วของมอเตอร์
- ควรมีการตรวจสอบดูว่ามีอุณหภูมิที่สูงผิดปกติของทั้งมอเตอร์และระบบจ่ายไฟฟ้าหรือไม่ เนื่องจากความร้อนที่เกิดขึ้นจะแสดงถึงการสูญเสียกำลังของมอเตอร์ และทำให้ประสิทธิภาพที่ลดลง
- ควรใช้การขับเคลื่อนโดยตรงเมื่อมีโอกาส เนื่องจากการขับเคลื่อนทางอ้อม (เช่น ขับเคลื่อนด้วยสายพาน) จะเกิดการสูญเสียพลังงานเป็นจำนวนมาก
- ถ้าความต่างศักย์ (Voltage) ของสายแต่ละเส้นของมอเตอร์ 3 เฟส ไม่สมดุล อาจมีการสูญเสียพลังงานจำนวนมากได้ จึงควรมีการตรวจสอบความสมดุลของความต่างศักย์อยู่เป็นประจำ



#### 4.8 การพิจารณาใช้อุปกรณ์ปรับความเร็วรอบเพื่อประหยัดพลังงานในมอเตอร์

กำลังขาออกของมอเตอร์ จะมีความสัมพันธ์กับแรงบิดของโหลด ดังนี้

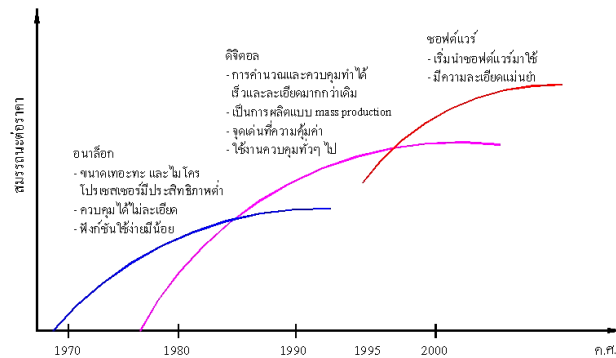
$$P = \frac{nT}{9550}$$

- โดยที่ P คือ กำลังขาออกที่เพลลาของมอเตอร์ (kW)
- n คือ ความเร็วรอบ (rpm)
- T คือ แรงบิดของโหลดของมอเตอร์ (N-m)

เพราะฉะนั้นถ้าความเร็วรอบลดลง กำลังขาออกที่เพลลาของมอเตอร์ก็จะน้อยลงด้วยในปัจจุบัน เครื่องควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ ได้มีการนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในงานอนุรักษ์พลังงาน เนื่องจากค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าวันจะเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง

##### 4.8.1 งานที่ใช้เครื่องควบคุมความเร็วรอบ

ในช่วงต้นปี ค.ศ. 1980 ค่าใช้จ่ายสำหรับพลังงานไฟฟ้าเพิ่มสูงขึ้น ในขณะที่เครื่องควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ ได้ใช้เทคโนโลยีการผลิตแบบ Mass Production ทั้งยังได้นำเทคโนโลยีทางด้านไมโครโพรเซสเซอร์ มาใช้ในการออกแบบระบบควบคุมของเครื่อง ขนาดของเครื่อง และราคาต่ำลง ทำให้โอกาสในการนำมาใช้ในงานอนุรักษ์พลังงานเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากระยะเวลาคืนทุนสั้นลงอยู่ในช่วง 1 ถึง 2 ปี ดังรูปที่ 4-3



รูปที่ 4-3 วิวัฒนาการทางเทคโนโลยีของเครื่องควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์

การติดตั้งเครื่องควบคุมความเร็วรอบในเครื่องปั๊มน้ำ พัดลม เครื่องอัดอากาศ (Air compressor) เป็นที่ยอมรับกันมานานแล้วว่า สามารถประหยัดพลังงานได้มาก โดยการลดความเร็วรอบของปั๊มน้ำลง 50 % จะทำให้อัตราการไหลลดลง 50 % ในขณะที่ความดันลดลง 75 % และแรงม้าของต้นกำลัง (Break Horsepower, BHp) ลดลงมากถึง 87.5 % ตามทฤษฎีของ Affinity laws

ในช่วง 20 ปีที่ผ่านมา ผู้ผลิตเครื่องปั๊มน้ำ และเครื่องอัดอากาศ ได้พยายามใช้ประโยชน์จากความสัมพันธ์ของความเร็วรอบที่ลดลงกับการประหยัดพลังงานของอุปกรณ์ต้นกำลัง ซึ่งเดิมต้องใช้อุปกรณ์เชิงกลเข้ามาช่วยจำนวนมาก เช่น อุปกรณ์ส่งถ่ายกำลังด้วยของเหลว (Fluid coupling) และอุปกรณ์ส่งถ่ายกำลังด้วยคลัตช์ไฟฟ้า ซึ่งต้องออกแบบมอเตอร์ขับเคลื่อนขนาดใหญ่ ทำให้ระบบมีความซับซ้อน รวมทั้งราคา และค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงระบบสูง

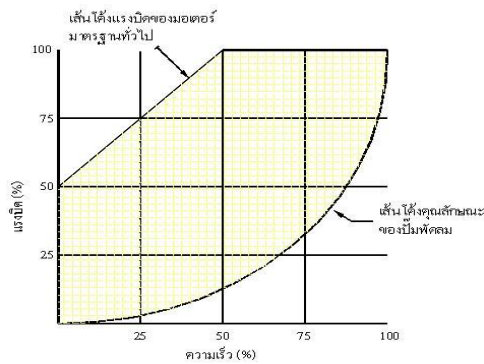
การใช้เครื่องควบคุมความเร็วรอบ เพื่อปรับเปลี่ยนความถี่และแรงดัน (Voltage/Frequency Control, V/f) สำหรับมอเตอร์ไฟฟ้า เพื่อควบคุมความเร็วรอบให้สัมพันธ์กับความต้องการของระบบ (Load demand) แม้ว่าจะเกิดการสูญเสียพลังงานบางส่วน หรือเกิดความร้อนเพิ่มขึ้นในระบบ เมื่อใช้เครื่องควบคุมความเร็วรอบร่วมกับมอเตอร์ประสิทธิภาพสูง เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพในการส่งพลังงานสูงสุด ซึ่งในปัจจุบันทำได้สูงถึง 97% เพื่อเป็นการให้ความมั่นใจว่า ค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าที่เพิ่มสูงขึ้นนั้น เมื่อมีการใช้เครื่องควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์เข้าช่วย โดยควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ให้เหมาะสมกับลักษณะของโหลดตามกระบวนการผลิตในแต่ละอุตสาหกรรมแล้ว จะทำให้ระบบสามารถใช้พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และประหยัดพลังงานได้สูงสุด สำหรับอุปกรณ์เครื่องปั๊มน้ำ พัดลม และเครื่องอัดอากาศ จะมีจุดทำงานที่เหมาะสมและให้ประสิทธิภาพสูงสุดที่ความเร็วรอบประมาณ 70 % ของความเร็วรอบสูงสุด

ผู้ผลิตมอเตอร์อุตสาหกรรมในปัจจุบัน ได้พยายามพัฒนามอเตอร์ประสิทธิภาพสูง โดยการออกแบบให้ลดการสูญเสียทางไฟฟ้า และปรับปรุงโครงสร้างเชิงกล เพื่อให้ประสิทธิภาพรวมสูงสุด เนื่องจากมอเตอร์เป็นอุปกรณ์หนึ่งในระบบไฟฟ้าซึ่งมีประสิทธิภาพต่ำที่สุด ดังนั้นการพัฒนามอเตอร์ให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น จึงเป็นปัจจัยสำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพรวมของระบบ

มอเตอร์ที่ออกแบบสำหรับใช้งานร่วมกับเครื่องควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ (Inverter Duty Motors) ในปัจจุบันจะแตกต่างจากเมื่อ 10 ปีที่ผ่านมา ในระยะแรกการออกแบบมอเตอร์สำหรับใช้งานร่วมกับเครื่องควบคุมความเร็วรอบ จะเน้นที่การออกแบบเพื่อรองรับการขับโหลดในลักษณะที่ให้แรงบิดคงที่ เช่น สายพานลำเลียง เครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบ และปั๊มแบบโรตารี หรือแบบเพิ่มปริมาตรของของเหลว (Positive displacement) โดยให้มอเตอร์ทำงานที่ความเร็วรอบต่ำ ขณะที่รักษาแรงบิดให้คงที่ โดยมีพัดลม (Air blower) ช่วยระบายความร้อนออกจากมอเตอร์

ในปัจจุบัน นอกจากการใช้พัดลมช่วยแล้ว ยังได้ปรับปรุงในส่วนของฉนวน และการจัดเรียงขดลวดภายใน เพื่อให้สามารถรองรับแรงดันสไปค์ (Spike voltage) ซึ่งเกิดการทำงานของวงจร Pulse-Width Modulation (PWM) ในเครื่องควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ นอกจากนี้ ยังได้ใช้เทคนิคในการพัฒนามอเตอร์ประสิทธิภาพสูงร่วมกับการปรับปรุงฉนวน และการจัดเรียงขดลวด (Spike resistance /Inverter wire) ทำให้ได้ประสิทธิภาพสูง สำหรับใช้กับเครื่องควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ (High Efficiency Inverter Duty Motors)

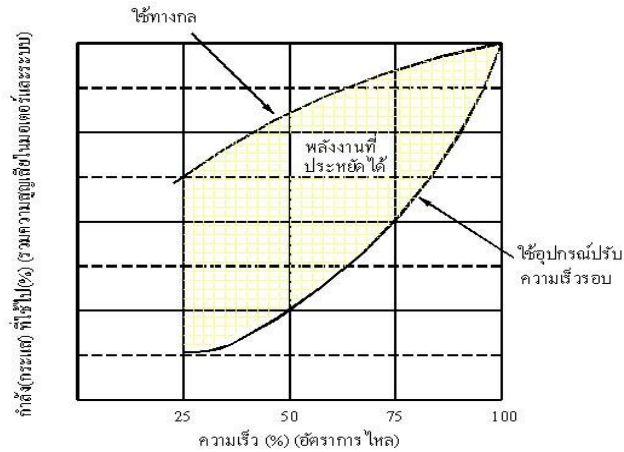
มอเตอร์ไฟฟ้ามาตรฐาน หรือมอเตอร์ประสิทธิภาพสูง โดยทั่วไปสามารถใช้ขับโหลดแบบแรงบิดคงที่ได้ที่ความเร็วรอบ 50% ของความเร็วรอบสูงสุดโดยไม่เกิดความเสียหายที่มอเตอร์ ซึ่งในกรณีที่ขับโหลดแบบแรงบิดไม่คงที่ สำหรับมอเตอร์ขนาดเดียวกัน ก็ไม่จำเป็นต้องลดขนาดมอเตอร์ หรือเพิ่มพัดลมระบายความร้อนให้แก่มอเตอร์ ดังรูปที่ 4-4



รูปที่ 4-4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของแรงบิดที่ความเร็วรอบต่างๆ ของมอเตอร์มาตรฐาน ในการขับโหลดแบบแรงบิดไม่คงที่

การประยุกต์ใช้เครื่องควบคุมความเร็วรอบเพื่อการอนุรักษ์พลังงานในโหลดแบบแรงบิดไม่คงที่ โดยเฉพาะเครื่องปั๊มน้ำ จำแนกได้เป็นสี่ประเภท

1. แบบรักษาแรงดันคงที่ เช่น สถานีส่งจ่ายน้ำประปา, ระบบน้ำเย็น (Chilled water system) ระบบปั๊มสำหรับหม้อไอน้ำ ระบบชลประทาน ระบบซีลด้วยน้ำ (Water seal systems) ระบบน้ำร้อน และน้ำหล่อเย็น เป็นต้น
2. แบบรักษาระดับคงที่ เช่น สถานีสูบน้ำประปา ระบบปั๊มน้ำเสียในอุตสาหกรรม ระบบบำบัดน้ำเสีย ระบบบรรจุของเหลว และระบบ Condensate return เป็นต้น
3. แบบรักษาอุณหภูมิคงที่ เช่น ระบบน้ำหล่อเย็นในเตาอบ และเตาเผา ระบบแลกเปลี่ยนความร้อน การหล่อเย็นต้กลูกปืน และระบบหมุนเวียนน้ำหล่อเย็น
4. แบบรักษาอัตราการไหลคงที่ เช่น การหมุนเวียนตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสีย และการหมุนเวียนของของเหลวในกระบวนการผลิต เป็นต้น ดังรูปที่ 4-5



รูปที่ 4-5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของการประหยัดพลังงานของมอเตอร์ที่ค่าความเร็วรอบและอัตราการใช้พลังงานต่าง ๆ

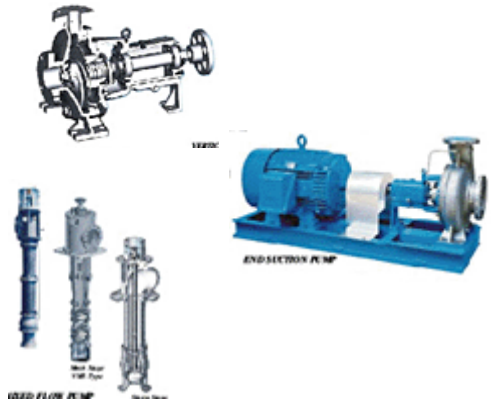
### สรุปแนวทางการอนุรักษ์พลังงานมอเตอร์ไฟฟ้า

มอเตอร์เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้พลังงานไฟฟ้ามาก การใช้มอเตอร์ให้ประหยัดพลังงานไฟฟ้ามีข้อปฏิบัติ ดังนี้

- เลือกขนาดของมอเตอร์ให้เหมาะสมกับงานนั้น ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าบริเวณนั้นมีค่าต่ำ ขนาดของมอเตอร์ต้องเหมาะสมกับภาระจึงจะทำให้การสูญเสียที่เกิดขึ้นโดยไม่จำเป็นนั้นลดน้อยลง
- เลือกประสิทธิภาพของมอเตอร์ให้เหมาะสมกับสภาวะการดำเนินงานซึ่งควรอยู่บนพื้นฐานของการวิเคราะห์การลงทุนโดยพิจารณาถึงราคาซื้อ ชั่วโมงการทำงาน ประสิทธิภาพของมอเตอร์และค่าไฟฟ้า
- ปิดมอเตอร์ทุกครั้งเมื่อไม่มีการใช้ เนื่องจากการเดินเครื่องทิ้งไว้โดยไม่มีการใช้งานจะใช้พลังงานประมาณ 10-20% ของพลังงานที่ใช้ขณะที่มอเตอร์ทำงานที่ภาระเต็มกำลัง
- ควรมีการตรวจสอบการใช้งานมอเตอร์เพื่อพิจารณาใช้ตัวควบคุมความเร็วของมอเตอร์
- ควรมีการตรวจสอบว่ามีอุณหภูมิที่สูงผิดปกติของทั้งมอเตอร์และระบบจ่ายไฟฟ้าหรือไม่ เนื่องจากความร้อนที่เกิดขึ้นจะแสดงถึงการสูญเสียกำลังของมอเตอร์และทำให้ประสิทธิภาพลดลง
- ควรใช้การขับเคลื่อนโดยตรงเมื่อมีโอกาส เนื่องจากการขับเคลื่อนทางอ้อม (เช่น ขับเคลื่อนด้วยสายพาน) จะเกิดการสูญเสียพลังงานเป็นจำนวนมาก
- ถ้าแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ 3 เฟสไม่สมดุลอาจมีการสูญเสียพลังงานจำนวนมากได้ จึงควรมีการตรวจสอบความสมดุลของแรงดันไฟฟ้าเป็นประจำ
- เลือกใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูงแทนมอเตอร์แบบมาตรฐานเมื่อเปลี่ยนมอเตอร์ใหม่
- หลีกเลี่ยงการเริ่มเดินเครื่องและกลับทิศทางการหมุนของมอเตอร์ขนาดใหญ่ในช่วงเวลาที่มีความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุด
- ปรับปรุงและบำรุงรักษาระบบทางกลของมอเตอร์อยู่เสมอ เช่น ตรวจสอบความตึงของสายพาน อัดจาระบี และหยอดน้ำมันหล่อลื่นตามกำหนด เพื่อลดกำลังงานสูญเสียเนื่องจากแรงเสียดทานหรือความฝืด
- ควรติดตั้งมอเตอร์ในบริเวณที่มีอากาศถ่ายเทได้ดี เพราะการใช้งานมอเตอร์ในที่ ๆ มีอุณหภูมิสูงจะทำให้กำลังงานสูญเสียของมอเตอร์เพิ่มขึ้น เนื่องจากความร้อนของขดลวดมีค่าเพิ่มขึ้น
- ตรวจสอบแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้มอเตอร์ ถ้าหากแรงดันไฟฟ้าสูงเกินกว่าพิกัดที่บอกไว้บนป้ายเครื่อง จะทำให้เกิดกำลังสูญเสียในแกนเหล็กมากขึ้นกว่าพิกัด ทำให้สมรรถนะการทำงานของมอเตอร์เปลี่ยนไปและมีผลต่ออายุการใช้งานมอเตอร์
- การใช้งานมอเตอร์อย่างถูกต้อง จะใช้พลังงานไฟฟ้าลดลงทำให้อัตราต้นทุนลดลง ช่วยเพิ่มศักยภาพ การแข่งขันทางการตลาดได้ ทำให้เกิดความมั่นคงแก่อุตสาหกรรมมากขึ้น และสิ่งสำคัญนอกเหนือจากนี้ก็คือ เป็นการช่วยประหยัดพลังงานโดยรวมของประเทศได้อีกทางหนึ่งด้วย

## เอกสารอ้างอิง

- [1] ศิริพรรณ ชงชัย. การใช้มอเตอร์เป็นตัวขับเคลื่อนอย่างมีประสิทธิภาพ. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
- [2] กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน, การประยุกต์ใช้พระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน. มาตรการประหยัดพลังงาน มาตรฐาน มอเตอร์ประสิทธิภาพสูง. พฤษภาคม, 2543
- [3] MOTOKI MAYSUO. เทคนิคการประหยัดพลังงานไฟฟ้าในอุตสาหกรรม. แปลโดย ดร.บัณฑิต วิจารณ์อารยานนท์ และคณะ. กรุงเทพฯ. สำนักพิมพ์ ส.ส.ท. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2543



## บทที่ 5 การอนุรักษ์พลังงานสำหรับเครื่องสูบน้ำ (Energy conservation of water pump)

### ความสำคัญ

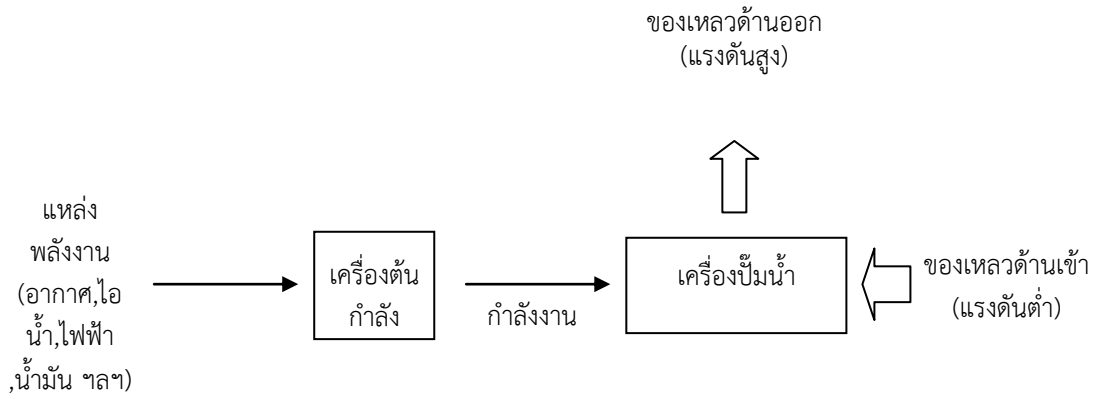
เครื่องสูบน้ำเป็นอุปกรณ์ที่ช่วยสูบน้ำหรือทำให้น้ำเคลื่อนที่จากตำแหน่งหนึ่งไปยังอีกตำแหน่งหนึ่ง ปัจจุบันเครื่องสูบน้ำเป็นอุปกรณ์ที่มีความจำเป็นสำหรับบ้านพักอาศัยโดยเฉพาะอาคารชุดหรืออาคารที่มีความสูงหลายชั้น เครื่องสูบน้ำทำงานโดยใช้พลังงานไฟฟ้า ความรู้และความเข้าใจเกี่ยวกับปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพพลังงานของเครื่องสูบน้ำ จะช่วยให้ทราบถึงแนวทางการใช้งานและบำรุงรักษาเครื่องสูบน้ำอย่างถูกวิธีจะทำให้ประหยัดน้ำและไฟฟ้า

### วัตถุประสงค์

1. ทราบชนิดและหลักการทำงานของเครื่องสูบน้ำ
2. ทราบปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพพลังงานของเครื่องสูบน้ำ
3. ทราบวิธีการสำรวจและประเมินประสิทธิภาพพลังงานของเครื่องสูบน้ำ
4. สามารถประเมินประสิทธิภาพพลังงานของเครื่องสูบน้ำจากตัวอย่างข้อมูลการสำรวจ
5. ทราบแนวทางการอนุรักษ์พลังงานของเครื่องสูบน้ำ

### 5.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับเครื่องสูบน้ำ

เครื่องสูบน้ำหรือ บัมพ์น้ำ เป็นอุปกรณ์สำหรับขับเคลื่อนของเหลวหรือก๊าซผ่านทางระบบท่อปิด (Pipe) ไปสู่จุดหมายการใช้งานที่ต้องการโดยการเพิ่มความดันและเพิ่มพลังงานให้แก่ของไหลนั้นๆ เป็นผลให้ของไหลนั้นเคลื่อนที่จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง หรือจากระดับหนึ่งไปยังอีกระดับหนึ่ง แต่กลไกที่ใช้ในการเพิ่มพลังงานให้ของเหลวไม่ได้จำกัดอยู่เฉพาะใบพัด อาจเป็นได้ทั้งใบพัด (Impeller) เกลียว (Screw) ลูกสูบ (Piston) ไดอะแฟรม (Diaphragm) เฟือง (Gear) และกลไกอื่น ๆ ซึ่งสามารถที่จะถ่ายทอดพลังงานให้กับของเหลวได้ ซึ่งเครื่องแต่ละแบบมีความเหมาะสมในการใช้งานต่างๆ แตกต่างกันไป การเลือกใช้งานจะต้องพิจารณาถึงปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องอีกมากมายหลายอย่าง ดังรูปที่ 5-1



รูปที่ 5-1 การเปลี่ยนแปลงพลังงานในการเพิ่มแรงดันให้แก่ของไหล

## 5.2 ประเภทของเครื่องสูบน้ำ

ปั๊มน้ำสามารถจัดแบ่งประเภทได้หลายรูปแบบ และมีการเรียกชื่อแตกต่างกันออกไปมากมาย ซึ่งแต่ที่นิยมแบ่งมีอยู่ 2 แบบด้วยกัน คือ

5.2.1 แยกตามลักษณะการเพิ่มพลังงานให้แก่ของเหลว หรือการไหลของของเหลวในปั๊ม ซึ่งได้แก่

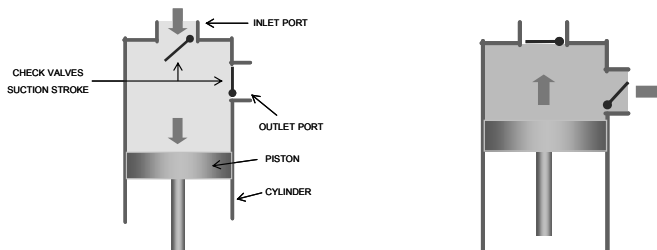
- ประเภทแบบปั๊มแรงเหวี่ยง (Centrifugal Pump) เป็นปั๊มที่มีการทำงานโดยการเพิ่มพลังงานให้แก่ของเหลวโดยอาศัยแรงเหวี่ยงหนีจุดศูนย์กลาง ปั๊มแบบนี้บางครั้งเรียกว่าเป็นแบบ Roto - dynamic
- ประเภทโรตารี (Rotary Pump) เป็นปั๊มที่มีการทำงานโดยการเพิ่มพลังงานให้แก่ของเหลวโดยอาศัยการหมุนของฟันเฟืองรอบแกนกลาง
- ประเภทลูกสูบ (Reciprocating Pump) เป็นปั๊มที่มีการทำงานโดยการเพิ่มพลังงานให้แก่ของเหลวโดยอาศัยการอัดโดยตรงในกระบอกสูบ
- ประเภทพิเศษ (Special Pump) เป็นปั๊มที่มีลักษณะพิเศษไม่สามารถจัดให้อยู่ในสามประเภทข้างต้นได้

5.2.2 แยกตามลักษณะการขับเคลื่อนของเหลวในปั๊ม ซึ่งแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทด้วยกันคือ

- ปริมาตรแทนที่เชิงบวก หรือแทนที่โดยตรง (Positive Displacement)

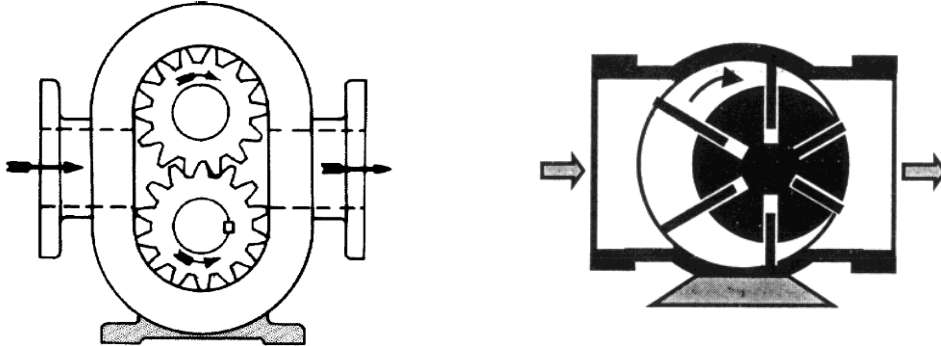
ปั๊มน้ำประเภทปริมาตรแทนที่เชิงบวก หรือแทนที่โดยตรง เป็นปั๊มชนิดที่มีการถ่ายเทพลังงานให้แก่ของไหลแบบไม่ต่อเนื่อง โดยการดูดของไหลเข้าไปในห้องปิดแล้วลดปริมาตรของห้องนั้นให้เล็กลงเพื่อให้ความดันเพิ่มขึ้น โดยปั๊มที่จัดอยู่ในประเภทนี้ คือ ปั๊มลูกสูบ (Reciprocating Pump) และปั๊มโรตารี (Rotary Pump) ปั๊มชนิดนี้จะจ่ายของไหลด้วยปริมาตรที่แน่นอนค่าหนึ่งต่อการหมุนรอบหนึ่งของเพลลา และสามารถรับความดันที่สูงขึ้นในระบบได้ดี ปั๊มประเภทนี้เหมาะสำหรับสูบของไหลในปริมาณที่ไม่มากนัก แต่ต้องการเฮดในระบบที่สูง

ปั๊มแบบลูกสูบจะมีลักษณะการเคลื่อนที่กลับไปกลับมา โดยมีลูกสูบทำหน้าที่ในการอัดของไหลภายในกระบอกสูบให้มีความดันสูงขึ้น ของเหลวที่ใช้ปั๊มประเภทนี้จะต้องมีความสะอาดเพียงพอที่ไม่ทำให้ชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่ภายในกระบอกสูบเกิดการสึกหรอที่เร็วขึ้น การอัดตัวของของไหลแต่ละครั้งจะเป็นจังหวะตามการเคลื่อนที่กลับไปมาของลูกสูบ ไม่มีการต่อเนื่องกันจึงทำให้การไหลของของไหลมีลักษณะเป็นห้วง ๆ (Pulsation)



รูปที่ 5-2 ลักษณะการทำงานของปั๊มลูกสูบในจังหวะดูด (ซ้าย) และจังหวะจ่าย (ขวา)

ปั๊มโรตารีทำงานโดยเพิ่มพลังงานให้แก่ของเหลวโดยอาศัยการหมุนของชิ้นส่วนที่ เรียกว่า โรเตอร์รอบแกนกลาง ซึ่งหมุนเพื่อทำให้เกิดความแตกต่างของความดันภายในระบบของเหลวจะถูกดูดเข้าและอัดให้เกิดแรงดันสูงขึ้นแล้วปล่อยออกมาทางด้านปล่อย การหมุนของโรเตอร์ จะก่อให้เกิดการแทนที่ของของเหลวขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทำให้ของไหลที่ไหลผ่านปั๊มมีอัตราการไหลอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา ปั๊มแบบนี้จะมีอัตราการสูบต่ำกว่าปั๊มประเภทอื่น ๆ เนื่องจากอัตราการแทนที่ของเหลวมีค่าต่ำ

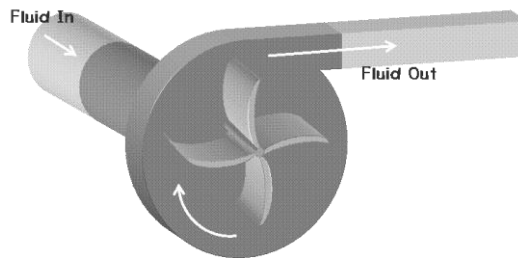


รูปที่ 5-3 ปั๊มโรตารีชนิดปั๊มเฟือง (ซ้าย) และปั๊มแบบแผ่นกวาด (ขวา)

- ไคเนติกส์ (Kinetic) หรือปริมาตรแทนที่ไม่เชิงบวก (Non-positive Displacement)

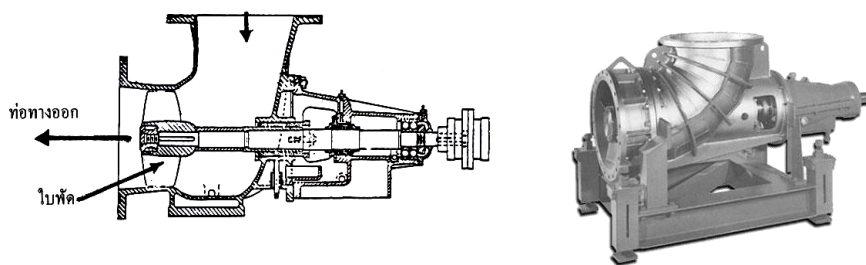
ปั๊มน้ำประเภทไคเนติกส์ เป็นปั๊มชนิดที่มีการถ่ายเทพลังงานอย่างต่อเนื่อง เพื่อเพิ่มความเร็วให้แก่ของไหล โดยการใช้ใบพัดที่หมุนด้วยความเร็วสูงส่งถ่ายพลังงานเข้าสู่ของไหลโดยตรง ไม่มีการกักไว้ในชั่วขณะใดเลย โดยปั๊มที่จัดอยู่ในประเภทนี้ได้แก่ ปั๊มแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal Pump) ปั๊มแบบไหลตามแกน (Axial Flow Pump) และปั๊มแบบไหลผสม (Mixed Flow Pump)

ปั๊มแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง นิยมใช้อย่างแพร่หลาย ชิ้นส่วนที่หมุนอยู่ภายในเรือนปั๊มจะทำให้เกิดการขับเคลื่อนของไหล ของไหลที่ถูกสูบจะไหลผ่านเข้าสู่ช่องทางเข้าซึ่งขนานกับพื้นระนาบ และถูกผลักร้อนออกไปตามแนวรัศมีของใบพัดตั้งฉากกับเพลลา ดังรูปที่ 5-4



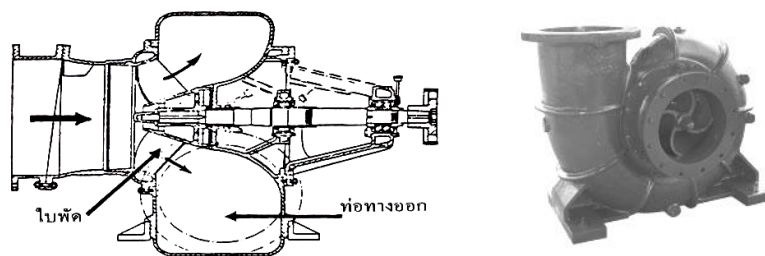
รูปที่ 5-4 ลักษณะการทำงานของ Centrifugal Pump

ปั๊มแบบไหลตามแกนทำงานโดยให้ของเหลวไหลเข้าและออกขนานกับเพลลา สามารถใช้ได้กับของไหลที่มีสารแขวนลอยปะปนมาด้วย นิยมใช้มากในโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ ซึ่งต้องการความดันต่ำ ๆ แต่มีอัตราการไหลสูง ดังรูปที่ 5-5



รูปที่ 5-5 ปั๊มแบบไหลตามแกน Axial Flow Pump

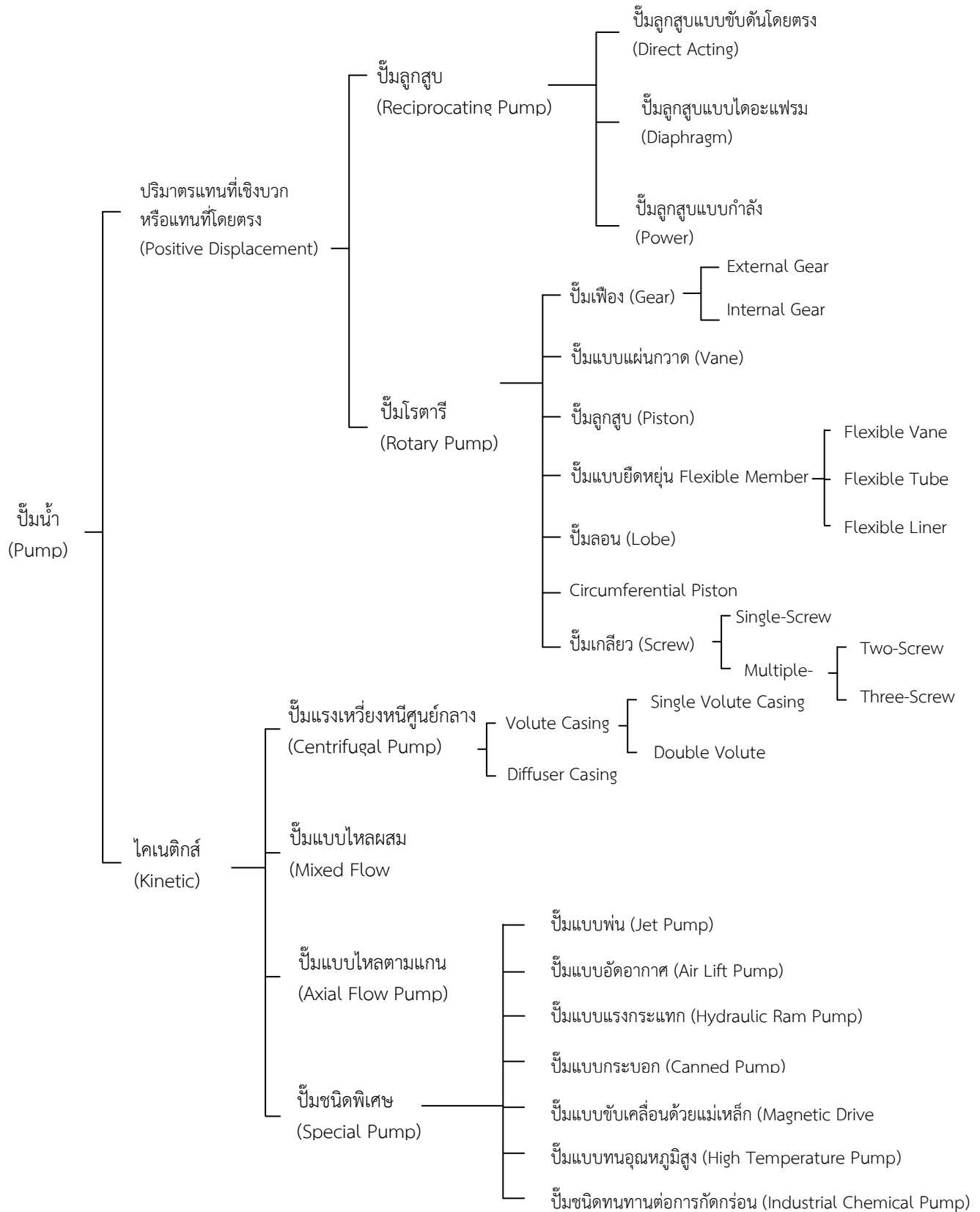
ปั๊มแบบไหลผสมจะขับเคลื่อนของเหลวที่ไหลเข้ามาในทิศทางขนานกับเพลา ให้ไหลออกจากปั๊มโดยทำมุมกับเพลาตั้งแต่ 45 – 80 องศา การไหลทั้งในแนวแกนและในแนวรัศมีของใบพัดจะทำให้เกิดแรงในแนวรัศมีและแรงในแนวแกนขึ้น ช่วยในการขับเคลื่อนของไหล นิยมใช้กับงานที่ต้องการความดันต่ำ ๆ แต่มีอัตราการไหลสูง ดังรูปที่ 5-6



รูปที่ 5-6 ปั๊มแบบผสม Mixed Flow Pump

จากวิธีจำแนกประเภทของปั๊มน้ำที่กล่าวมาข้างต้น สามารถสรุปเป็นแผนภูมิการจำแนกประเภทปั๊มน้ำตามวิธีข้างต้นได้ดังรูปที่ 5-7





รูปที่ 5-7 การจำแนกประเภทของปั๊มน้ำ

### 5.3 เฮด (Head)

การเข้าใจถึงพลังงานของของไหลเป็นสิ่งจำเป็นในการวิเคราะห์การทำงานและการกำหนดขนาดของปั๊ม พลังงานของของไหลประกอบด้วยพลังงานสามส่วนคือ พลังงานเนื่องจากความดันของของไหล พลังงานจลน์เนื่องจากความเร็วของของไหล และพลังงานศักย์เนื่องจากความสูง พลังงานทั้งสามส่วนนี้จะมีหน่วยในการคำนวณเป็นหน่วย จูล (J)

เมื่อนำพลังงานของไหลมาคำนวณเทียบกับน้ำหนักของของไหล จะมีหน่วยเป็นความสูงของของไหลและเรียกว่าเฮด มีหน่วยเป็นเมตร (m) ในระบบ SI หรือ นิ้ว (in) ในระบบอังกฤษ เฮดทั้งหมดที่ใช้ในการวิเคราะห์ในระบบปั๊มน้ำหรือ Total Dynamic Head (TDH) ประกอบด้วยพลังงานสามส่วนของของไหลของไหลที่กล่าวมาข้างต้นและพลังงานที่สูญเสียไปในระหว่างการไหล กล่าวคือ เฮดความดัน เฮดความเร็ว เฮดความสูง และเฮดการสูญเสียรวม

#### 5.3.1 เฮดความดัน (Pressure Head, $H_p$ )

ค่าความดันนอกจากจะบอกเป็นแรงต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ เช่น นิวตันต่อตารางเมตร ( $N/m^2$ ) หรือปอนด์ต่อตารางนิ้ว (psi) แล้ว ถ้าเป็นความดันของของเหลวก็มักจะนิยมบอกเป็นแท่งความสูงของของเหลวที่จะก่อให้เกิดความดันที่กำหนด บนผิวหน้าซึ่งรองรับแท่งของเหลว นั้น ความดันซึ่งบอกเป็นแท่งความสูงของของเหลวนี้เรียกว่า เฮดความดัน (Pressure Head) โดยความสัมพันธ์ระหว่างความดัน  $P$  และเฮดความดัน  $H_p$  คือ

$$H_p = \frac{P}{\gamma} = \frac{P}{\rho g} \quad (5-1)$$

เมื่อ  $\gamma$  คือ น้ำหนักจำเพาะ มีหน่วยเป็น  $N/m^3$

$\rho$  คือ ความหนาแน่นของของเหลว มีหน่วยเป็น  $kg/m^3$

$g$  คือ ความเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก มีหน่วยเป็น  $m/s^2$

#### 5.3.2 เฮดความเร็ว (Velocity Head, $H_v$ )

ของเหลวที่ไหลในท่อหรือทางน้ำเปิดด้วยความเร็วใด ๆ นั้นมีพลังงานจลน์อยู่ พลังงานส่วนนี้เมื่อบอกในรูปของเฮดความเร็ว คือ

$$H_v = \frac{V^2}{2g} \quad (5-2)$$

เมื่อ  $V$  คือ ความเร็วของการไหล มีหน่วยเป็น  $m/s$

เฮดความเร็วอาจให้คำจำกัดความอีกอย่างหนึ่งว่า เป็นความสูงที่ของเหลวตกลงมาด้วยแรงดึงดูดของโลก จนได้ความเร็วเท่ากับความเร็วในการไหลของของเหลว นั้น

#### 5.3.3 เฮดสถิตย (Potential Head, $Z$ )

เฮดสถิตย คือระยะทางตามแนวตั้งของของเหลวที่ไหลผ่านท่อหรือทางน้ำเปิดซึ่งมีพลังงานศักย์อยู่ภายใน พลังงานศักย์ส่วนนี้ สามารถเขียนในรูปเฮดความสูงได้เป็น

$$\text{เฮดความสูง} = Z \quad (5-3)$$

#### 5.3.4 เฮดการสูญเสียรวม (Total Head Loss, $H_L$ )

Osborne Reynolds วิศวกรชาวฝรั่งเศสได้ทำการทดลองเพื่อแบ่งรูปแบบการไหลของของไหล โดยกำหนดตามอัตราส่วนของแรงเฉื่อย ต่อแรงหนืด (หรือแรงที่เกิดเนื่องจากความฝืดของของไหล) และเรียกอัตราส่วนของแรงเฉื่อยกับแรงหนืดนี้ว่า ค่าเรย์โนลด์ ( $Re$ ) คำนวณหาได้จากสมการ

$$Re = \frac{VD\rho}{\mu} = \frac{VD}{\nu} \quad (5-4)$$

เมื่อ  $V$  = ความเร็วการไหลในท่อ ( $m/s$ )

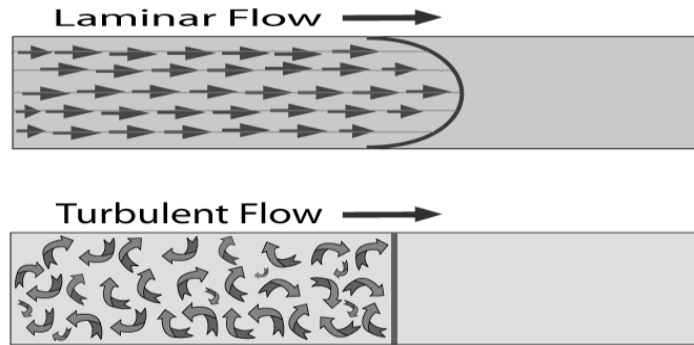
$D$  = ขนาดวัดผ่านศูนย์กลางท่อ (m)

$\rho$  = ความหนาแน่นของไหล ( $\text{kg/m}^3$ )

$\mu$  = ความหนืดสมบูรณ์ ( $\text{N}\cdot\text{s/m}^2$ )

$V$  = ความหนืดจลน์ ( $\text{m}^2/\text{s}$ )

ถ้าค่า  $Re \leq 2000$  ถือว่าเป็นการไหลแบบราบเรียบ  
 $Re \geq 4000$  ถือว่าเป็นการไหลแบบปั่นป่วน  
 $2000 \leq Re \leq 4000$  ถือว่าเป็นการไหลที่อยู่ในช่วงการเปลี่ยนแปลง



รูปที่ 5-8 ลักษณะการไหลแบบราบเรียบ (บน) และแบบปั่นป่วน (ล่าง)

ในขณะที่ของไหลไหลผ่านระบบท่อทั้งทางด้านดูดและด้านจ่าย พลังงานหรือเฮดในการไหลส่วนหนึ่งจะสูญเสียไปเนื่องจากความฝืดระหว่างของไหลกับผนังภายในของท่อ และพลังงานหรือเฮดในการไหลอีกส่วนหนึ่งจะสูญเสียไปเนื่องจากการสูญเสียพลังงานจลน์เมื่อไหลผ่านอุปกรณ์ต่าง ๆ ผลรวมของการสูญเสียพลังงานหรือเฮดทั้งสองส่วนนี้รวมเรียกว่าเฮดการสูญเสียรวม

**การเสียดทานความฝืดหรือการสูญเสียหลัก**

เมื่อของไหลไหลภายในท่อจะเกิดแรงเสียดทานระหว่างผนังท่อกับของไหล ซึ่งแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นจะทำให้เกิดความดันสูญเสียของของไหลภายในท่อ การสูญเสียพลังงานในลักษณะนี้เรียกว่าการเสียดทานความฝืดหรือการสูญเสียหลัก (Major Losses) โดยสามารถคำนวณได้จากวิธีคำนวณของ Darcy – Weisbach

$$H_{L_f} = f \frac{L V^2}{D 2g} \tag{5-5}$$

เมื่อ  $H_{L_f}$  = เฮดของการสูญเสียเนื่องจากความฝืด หรือเฮดการสูญเสียหลัก (m)

$f$  = ตัวประกอบความเสียดทาน

$L$  = ความยาวท่อ (m)

$D$  = ขนาดวัดผ่านศูนย์กลางท่อ (m)

$V$  = ความเร็วของการไหล (m/s)

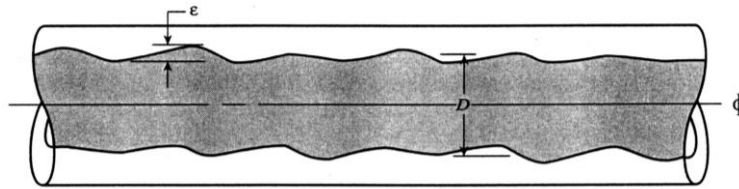
ค่าตัวประกอบความเสียดทาน  $f$  ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของท่อ ลักษณะการไหลว่าเป็นแบบราบเรียบหรือแบบปั่นป่วนและความขรุขระของผนังท่อ ( $\epsilon$ )

ในกรณีที่การไหลเป็นแบบราบเรียบ ค่าสัมประสิทธิ์ความฝืดดังกล่าวสามารถหาได้จากสมการ

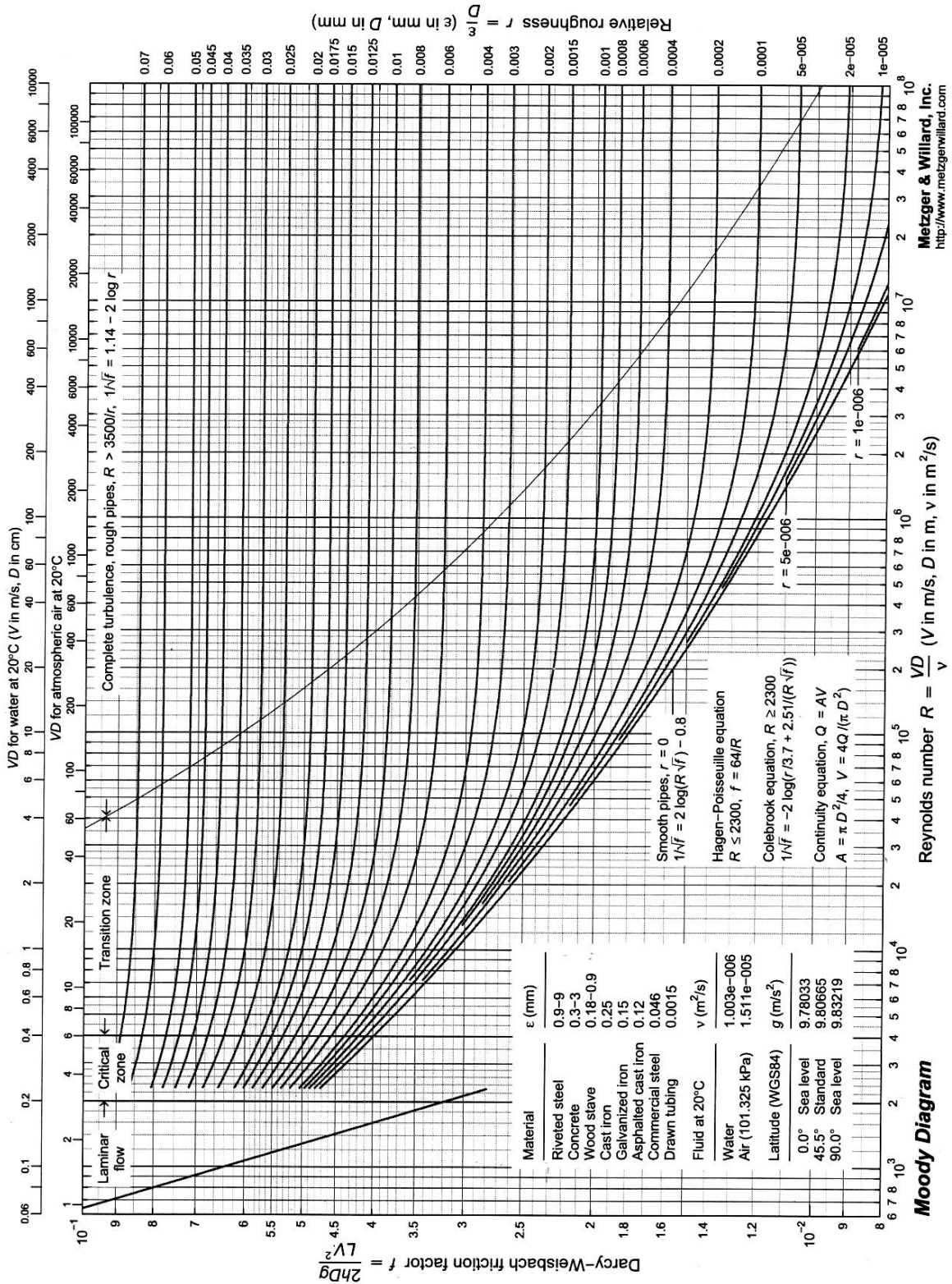
$$f = \frac{64}{Re} \quad (\text{Laminar Flow, } Re \leq 2,000) \tag{5-6}$$

สำหรับการไหลเป็นแบบปั่นป่วนที่มีค่าเรย์โนลด์มีค่ามากกว่าประมาณ 4,000 นั้น ค่าตัวประกอบความเสียดทาน  $f$  ก็จะขึ้นอยู่กับทั้ง  $Re$  และอัตราส่วนระหว่างความขรุขระของผนังท่อต่อความยาวของเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน ( $\epsilon/D$ ) ค่าความขรุขระของผนังท่อ ( $\epsilon$ ) ขึ้นอยู่กับชนิดของท่อดังตารางที่ 5-1 และการหาค่าตัวประกอบความเสียดทาน  $f$  นั้นสามารถหาได้จากแผนภาพมูดี้ (Moody Diagram) ดังแสดงในรูป 5-9

ตารางที่ 5-1 ค่าความขรุขระของผนังท่อ



| Pipe Material                    | Absolute Roughness ( $\epsilon$ ) |              |
|----------------------------------|-----------------------------------|--------------|
|                                  | Feet                              | Millimeters  |
| Glass or plastic                 | 0.0 (smooth)                      | 0.0 (smooth) |
| Drawn tubing                     | 0.000005                          | 0.0015       |
| Commercial steel or wrought iron | 0.00015                           | 0.045        |
| Galvanized iron                  | 0.0005                            | 0.15         |
| Cast iron                        | 0.00085                           | 0.26         |
| Wood stave                       | 0.0006–0.003                      | 0.18–0.90    |
| Concrete                         | 0.001–0.01                        | 0.3–3.0      |
| Riveted steel                    | 0.003–0.03                        | 0.9–9.0      |



รูปที่ 5-9 แผนภาพมูดี้ (Moody Diagram)

ตัวอย่างที่ 5-1 ท่อเหล็กหล่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 ซม. ยาว 400 ม. ใช้ส่งน้ำที่อุณหภูมิ 20 °C ด้วยอัตราการไหล 74.2 ลิตร/วินาที จงหาค่าเสดการสูญเสียหลักในท่อ

วิธีทำ จากตารางที่ 2-1 ท่อเหล็กหล่อมีค่า  $\mathcal{E} = 0.26 \text{ mm}$   
 ความขรุขระสัมพัทธ์  $\mathcal{E}/D = 0.26/150 = 0.0017$   
 จากตารางน้ำที่อุณหภูมิ 20 °C มีค่า  $\square = 1.007 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$   
 ความเร็วการไหลในท่อ  $V = Q/A$   
 $= (74.2 \times 10^{-3}) / ((\pi/4)(0.15^2)) \text{ m}^3/\text{s} = 4.22 \text{ m/s}$   
 ค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์  $Re = VD/\square$   
 $= (4.22 \times 0.15) / (1.007 \times 10^{-6}) = 6.29 \times 10^5$   
 ค่า  $Re$  มากกว่า 4000 แสดงว่าเป็นการไหลแบบปั่นป่วน  
 นำค่า  $Re$  และค่า  $\mathcal{E}/D$  ไปหาค่า  $f$  จากแผนภาพมูดี ได้ค่า  $f = 0.0226$   
 คำนวณเฮดการสูญเสียหลัก  $H_f = f \frac{L V^2}{D 2g}$   
 $= 0.0226 \times (400/0.15) \times (4.22^2 / (2 \times 9.81))$   
 $= 54.70 \text{ m}$  ตอบ

**การเสียเฮดเนื่องจากการไหลผ่านอุปกรณ์หรือการสูญเสียรอง**

ในระบบท่อ จำเป็นต้องมีส่วนประกอบจำพวก ข้อต่อ ข้อลด ข้อขยาย และวาล์วชนิดต่าง ๆ การไหลของของเหลวผ่านอุปกรณ์ดังกล่าว จะทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานจลน์ในการไหล การสูญเสียเนื่องจากการไหลผ่านอุปกรณ์ในระบบท่อดังกล่าว เรียกได้อีกอย่างหนึ่งว่า การสูญเสียรอง (Minor Losses) ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ

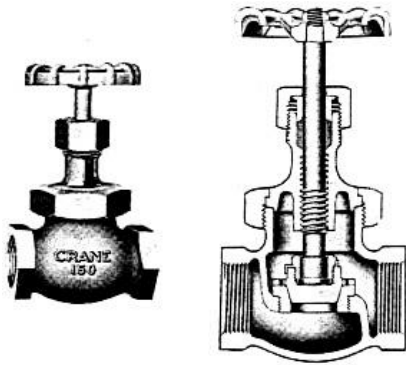
$$H_{Le} = K \frac{V^2}{2g} \tag{5-7}$$

- เมื่อ  $H_{Le}$  = การเสียเฮดเนื่องจากอุปกรณ์หรือการสูญเสียรอง (m)
- $K$  = สัมประสิทธิ์ความต้านทานการไหลซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดและขนาดของอุปกรณ์  
ไม่มีหน่วย
- $V$  = ความเร็วของการไหล (m/s)

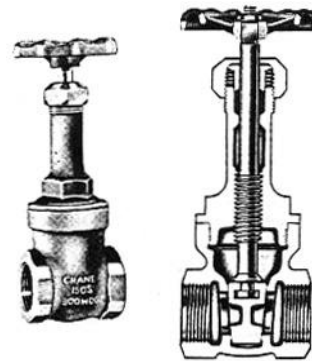
ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียรอง  $K$  สามารถหาได้จากตารางหรือจากกราฟของอุปกรณ์ประกอบท่อแต่ละชนิดเช่นวาล์ว ข้อต่อ และข้อต่าง ๆ ตาราง 5-2 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียรองของอุปกรณ์แต่ละชนิดรูป 5-10 ถึงรูป 5-14 แสดงตัวอย่างอุปกรณ์ประกอบท่อ

ตารางที่ 5-2 แสดงค่า Loss coefficients ( $K_L$ ) ของวาล์วและข้อต่อต่าง ๆ

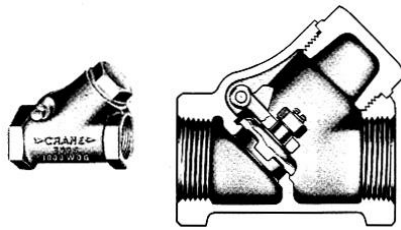
| Valve or Fitting     | Loss Coefficient $K_L$ |
|----------------------|------------------------|
| 1. Globe valve       |                        |
| Fully open           | 10.0                   |
| ½ open               | 12.5                   |
| 2. Gate valve        |                        |
| Fully open           | 0.19                   |
| ¾ open               | 0.90                   |
| ½ open               | 4.5                    |
| ¼ open               | 24.0                   |
| 3. Swing check valve |                        |
| Through flow         | 2.0                    |
| Blocked flow         | ∞                      |
| 4. Tee               |                        |
| Line flow            | 0.40                   |
| Branch flow          | 1.5                    |
| 5. Elbow             |                        |
| 45°                  | 0.40                   |
| 90°                  | 0.75                   |
| 6. Return bend       | 2.2                    |



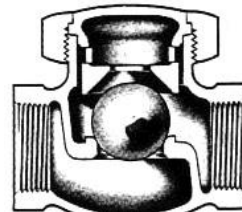
รูปที่ 5-10 ลักษณะโครงสร้างของโกลบวาล์ว



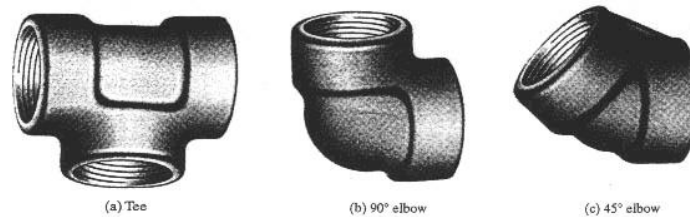
รูปที่ 5-11 ลักษณะโครงสร้างของเกตวาล์ว



รูปที่ 5-12 Swing Check Valve



รูปที่ 5-13 Ball Check Valve



รูปที่ 5-14 ข้อต่อตัว T และข้องอ 90 และ 45 องศา

การสูญเสียพลังงานทั้งหมดในการไหลของไหลประกอบด้วย การสูญเสียจากความฝืดหรือการสูญเสียหลัก และการสูญเสียเนื่องจากการไหลผ่านอุปกรณ์หรือการสูญเสียรอง ดังแสดงในสมการ

$$H_L = H_{L_f} + H_{L_e} \quad (5-8)$$

### 5.3.5 กราฟเฮดของระบบ (System Head Curve)

กราฟเฮดของระบบ คือ กราฟซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลผ่านระบบกับเฮดรวม ของระบบซึ่งเฮดรวมก็คือพลังงานที่ปั๊มจะต้องเพิ่มให้แก่ของเหลวเพื่อก่อให้เกิดการไหลนั้น โดยพลังงานที่ปั๊มจะต้องให้ (บอกเป็นความสูงของแท่งของเหลวหรือเฮด) มีค่าเท่ากับผลรวมของพลังงานสองอย่างด้วยกัน คือ

1. ความต่างระดับของของเหลวที่ปลายของท่อดูดหรือท่อจ่ายหรือเฮดสถิตย์
2. พลังงานที่สูญเสียเนื่องจากความฝืดในท่อ และจากการไหลผ่านอุปกรณ์ประกอบระบบท่อ

กราฟเฮดของระบบเป็นสิ่งสำคัญในการพิจารณานำมาใช้ในการออกแบบระบบปั๊ม โดยการเขียนกราฟเฮดของระบบ อาจจะแยกเขียนพลังงานที่ปั๊มจะต้องเพิ่มให้แก่ของเหลวตามข้อ 1 และ 2 ข้างต้น ในกรณีที่ความต่างระดับของของเหลวมีค่าคงที่ กราฟของพลังงานส่วนนี้จะเป็นเส้นราบขนานไปกับแกนนอน ซึ่งเป็นแกนของอัตราการไหล สำหรับการสูญเสียพลังงานหรือเฮดในข้อ 2 นั้น จะเป็นสัดส่วนกับกำลังสองของอัตราการไหล ดังนั้นลักษณะของกราฟจะเป็นเส้นโค้งพาราโบลา เมื่อมีการเขียนแยกกัน กราฟของข้อ 1 เรียกว่า กราฟเฮดสถิตย์ (Static Head Curve) และ กราฟของข้อ 2 เรียกว่า กราฟเฮดความฝืด (Friction Head

Curve หรือ Dynamic Head Curve) เมื่อรวมทั้งสองกราฟเข้าด้วยกันก็จะได้เป็น กราฟเฮดของระบบ (System Head Curve หรือ Total Dynamic Head -TDH- Curve)

เฮดของระบบ = เฮดความดัน + เฮดสถิตย์ + เฮดการสูญเสียรวม

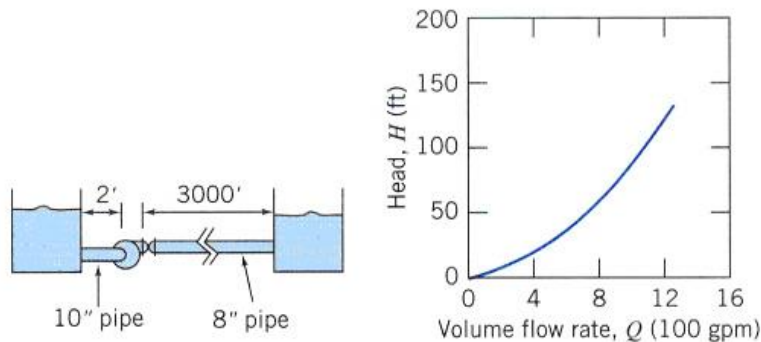
$$TDH = \left( \frac{P_2}{\gamma} - \frac{P_1}{\gamma} \right) + (Z_2 - Z_1) + H_L \tag{5-9}$$

ในกรณีที่ความแตกต่างของความดันของของเหลวที่จุด 1 และที่จุด 2 มีค่าใกล้เคียงกัน สมการ (5-10) ลดรูปเป็น

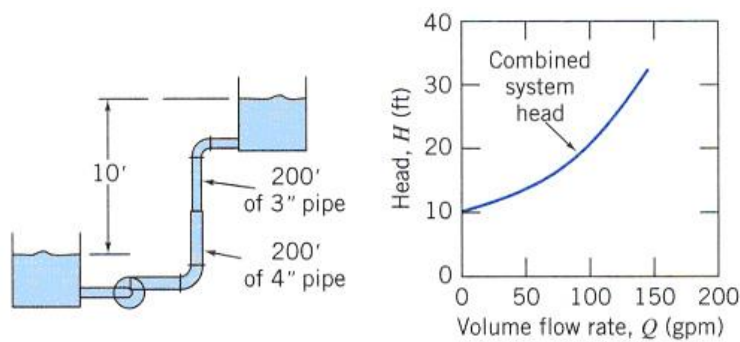
$$\begin{aligned} TDH &= (Z_2 - Z_1) + H_L \\ &= (Z_2 - Z_1) + CQ^2 \end{aligned} \tag{5-10}$$

เมื่อ 
$$C = \left( f \times \frac{L}{D} \times \frac{1}{2gA^2} + \frac{K}{2gA^2} \right)$$

รูปที่ 5-15 และ 5-16 แสดงตัวอย่างกราฟเฮดของระบบท่อน้ำเมื่อไม่มีเปลี่ยนแปลงความสูง กราฟเฮดของระบบท่อน้ำเมื่อมีเปลี่ยนแปลงความสูง ตามลำดับ



รูปที่ 5-15 กราฟเฮดของระบบท่อน้ำเมื่อไม่มีการเปลี่ยนแปลงความสูง

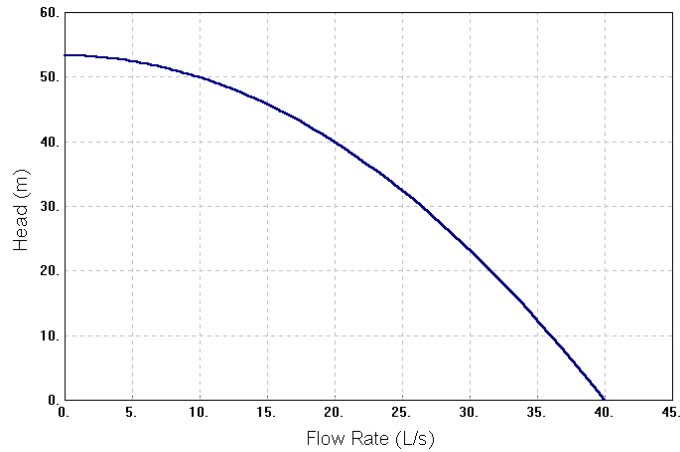


รูปที่ 5-16 กราฟเฮดของระบบท่อน้ำเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความสูง

### 5.3.6 กราฟเฮดของปั๊ม

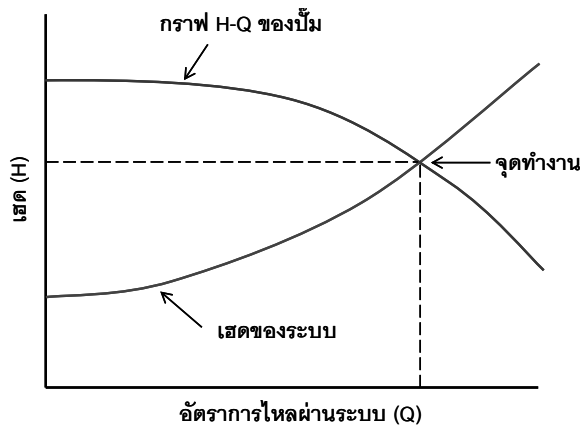
ในการเลือกใช้น้ำให้เหมาะกับสภาพการใช้งานจริง นอกจากพิจารณาถึงเฮดของระบบแล้ว ยังต้องพิจารณากราฟเฮด (หรือกราฟ H-Q) ของปั๊มด้วย กราฟเฮดของปั๊มเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการสูบของปั๊มหรืออัตราการไหลกับเฮด ตั้งแต่อัตราการไหลศูนย์ถึงอัตราการไหลสูงสุดของปั๊ม กราฟเฮดของปั๊มสามารถหาได้จากบริษัทผู้ผลิตปั๊ม กราฟเฮดยังสามารถหาได้จากการทดลอง โดยการนำอัตราการไหลของปั๊มมาเขียนกราฟเปรียบเทียบกับผลต่างเฮดความดันตรงทางออกและตรงทางเข้าของปั๊มที่ค่าต่างๆ





รูปที่ 5-17 กราฟคุณลักษณะ (กราฟเฮดหรือกราฟ H-Q) ของปั๊ม

เมื่อนำกราฟเฮดของระบบและกราฟเฮดของปั๊มมาเขียนรวมกันดังรูปที่ 5-18 พบว่าเส้นกราฟทั้งสองตัดกันที่จุดทำงาน (Operation Point) ของปั๊ม

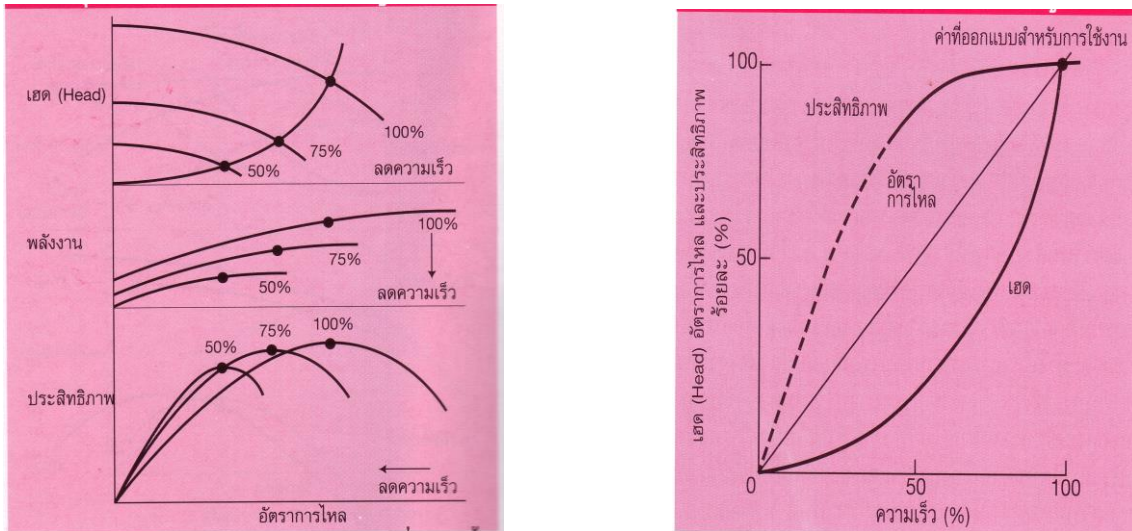


รูปที่ 5-18 จุดทำงานของปั๊มคือจุดตัดของกราฟเฮดของระบบและกราฟเฮดของปั๊ม

#### 5.4 ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพพลังงานของปั๊มน้ำ

ประสิทธิภาพพลังงานของปั๊มน้ำขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ นับตั้งแต่ ประเภทและคุณภาพของปั๊มน้ำ การออกแบบ และการติดตั้ง สภาวะการใช้งาน ตลอดจนการบำรุงรักษา

สภาวะการใช้งานปั๊มมีผลอย่างมากต่อประสิทธิภาพของปั๊ม โดยทางทฤษฎีแล้ว ประสิทธิภาพของปั๊มจะขึ้นอยู่กับตัวแปรสำคัญได้แก่ ความเร็วรอบ อัตราการไหล และเฮด (Head) หรือ ระดับความสูงของการปั๊ม ตัวอย่างลักษณะของความสัมพันธ์ของตัวแปรดังกล่าว แสดงดังรูปที่ 5-19



รูปที่ 5-19 ตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของปั๊มกับความเร็รรอบ อัตราการใช้ และเฮด

## 5.5 การตรวจสอบการทำงานและประสิทธิภาพพลังงานของปั๊มน้ำ

การใช้ปั๊มน้ำภายหลังการออกแบบและติดตั้ง จำเป็นต้องมีการตรวจสอบและบำรุงรักษาอย่างต่อเนื่องเป็นประจำ เพื่อให้ปั๊มทำงานอย่างปกติและมีประสิทธิภาพ

### 5.5.1 ข้อมูลที่สำคัญที่ควรตรวจวัด

สำหรับข้อมูลในระบบปั๊มที่ต้องตรวจวัด จะประกอบด้วยข้อมูลเบื้องต้น และข้อมูลการใช้งานจริง โดยข้อมูลที่สำคัญมีดังนี้

1. สำรองข้อมูลเบื้องต้นของปั๊ม
2. สำรองระบบสูบน้ำและการเปิดใช้งานจริง
3. ตรวจวัดค่ากำลังไฟฟ้า
4. ตรวจวัดค่าอัตราการไหล
5. ตรวจวัดค่าเฮด

#### 5.5.1.1 การสำรองข้อมูลเบื้องต้นของปั๊ม

ขั้นตอนแรกในการรวบรวมข้อมูล คือการสำรองข้อมูลเบื้องต้นของปั๊ม เพื่อให้ทราบถึง Spec ของเครื่องที่มีการใช้งาน และข้อมูลประสิทธิภาพจากผู้ผลิต ซึ่งควรมีรายละเอียดในเรื่องของ

- ชนิดของปั๊มที่ใช้งาน ว่าเป็นแบบ Centrifugal หรือ Rotary เป็นต้น พร้อมทั้งควรระบุจำนวนชั้น (Stage) หรือจำนวนลูกสูบด้วย
- ขนาดของปั๊ม เช่น พิกัดกำลังไฟฟ้าของมอเตอร์ปั๊ม พิกัดอัตราการไหลของน้ำที่พิกัด พิกัดกำลัง(เฮด)ของปั๊ม ความเร็รรอบของปั๊ม
- ลักษณะของตัวปั๊ม ว่าเป็นแบบเปลาดัง เปลานอน ชนิดของวัสดุที่ใช้ทำใบพัดและเรือนปั๊ม อุปกรณ์หรือส่วนประกอบต่าง ๆ รวมถึงสภาพการบำรุงรักษา
- จำนวน และยี่ห้อของปั๊มที่ใช้งาน

#### 5.5.1.2 การสำรองระบบสูบน้ำและการเปิดใช้งานจริง

เพื่อให้ทราบสภาพและลักษณะการใช้งานและการเดินในแต่ละเครื่องปั๊มน้ำควรมีรายละเอียดในเรื่องของ

- แผนผังการจัดวางปั๊ม และระยะเวลาการใช้งานแต่ละเครื่อง
- เวลาการเปิด - ปิด ปั๊ม (ชั่วโมงการทำงาน/วัน)
- ชนิดและคุณสมบัติของของเหลวที่ปั๊มทำการสูบ

- อุณหภูมิที่ตัวเครื่อง

### 5.5.1.3 การตรวจวัดค่ากำลังไฟฟ้า

เพื่อให้ทราบค่ากำลังไฟฟ้าที่ปั้มน้ำใช้งาน ซึ่งควรมีรายละเอียดในเรื่องของ

- แรงดันไฟฟ้า (Volt)
- กระแสไฟฟ้า (Amps)
- Power Factor
- กำลังไฟฟ้า (kW)

### 5.5.1.4 การตรวจวัดค่าอัตราการไหล

เพื่อให้ทราบอัตราการไหลของปั้มน้ำ ควรมีรายละเอียดในเรื่องของ

- อัตราการไหล ( $m^3/s$ )

### 5.5.1.5 การตรวจวัดค่าเฮด

เพื่อหาค่าเฮดของเครื่องปั้มน้ำที่จุดใช้งาน และเปรียบเทียบกับค่าที่ออกแบบ ควรมีรายละเอียดในเรื่องของ

- ความดันก่อนและหลังเข้าเครื่องสูบน้ำ (bar)
- ความสูงของระดับน้ำที่ทางท่อดูดถึงเครื่องสูบน้ำ (m)

## 5.5.2 อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการตรวจวัด

ในแต่ละอาคารหรือโรงงานอุตสาหกรรม ควรมีระบบเครื่องมือวัดค่าการใช้พลังงาน เช่น มาตรฐานวัดค่าเชิงปริมาณต่าง ๆ ไว้จำนวนหนึ่ง เช่น ด้านระบบไฟฟ้า ได้แก่ ค่ากระแส แรงดัน กำลังไฟฟ้า และค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ หรือบางอาคารหรือโรงงานอุตสาหกรรมอาจมีระบบติดตามตรวจสอบการใช้พลังงานไฟฟ้า (Monitoring System) และด้านระบบและอุปกรณ์ด้านเครื่องกล ได้แก่ มาตรฐานวัดอุณหภูมิ ความดัน อัตราการไหล เป็นต้น ทั้งนี้เพื่อให้เจ้าหน้าที่ปฏิบัติงานใช้ในการกำกับ ควบคุมดูแลการใช้ และติดตาม ตรวจสอบสภาพการทำงานของอุปกรณ์ ซึ่งทางสถานประกอบการควรสำรวจเครื่องมือวัดที่ติดตั้งอยู่เหล่านี้ว่ามีจำนวนเพียงพอหรือไม่ และมีความถูกต้องในการอ่านค่าเพียงใด หากมีจำนวนไม่เพียงพอ อาจเป็นอุปสรรคให้ไม่สามารถที่จะดำเนินการตรวจวัด และอนุรักษ์พลังงานให้บรรลุผลสำเร็จได้ ดังนั้นสิ่งแรกที่ต้องดำเนินการคือ สำรวจดูว่าเครื่องมือวัดที่มีอยู่สามารถให้ข้อมูลมากเพียงพอหรือไม่

การตรวจวัดเป็นขั้นตอนสำคัญในการตรวจสอบประสิทธิภาพการใช้งานของอุปกรณ์ ดังนั้นการใช้เครื่องมือวัดอย่างถูกต้องและเหมาะสมจึงเป็นสิ่งสำคัญที่ผู้ปฏิบัติงานจำเป็นต้องรู้ รวมถึงข้อมูลต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น ประเภท ชนิดของเครื่องมือวัดที่ใช้ หลักการทำงานของเครื่องมือวัดแต่ละประเภท หลักการเลือกเครื่องมือวัดที่เหมาะสมกับความต้องการใช้งาน ตลอดจนวงจรในการใช้งานเครื่องมือวัด

### 5.5.2.1 ประเภทและชนิดเครื่องมือวัดที่ใช้

ปัจจุบันได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีด้านการตรวจวัดขึ้นมา เครื่องมือวัดจึงมีความหลากหลายมากขึ้นด้วย อย่างไรก็ตาม สำหรับงานตรวจวัดพื้นฐาน ประเภทและชนิดของเครื่องมือวัดที่ใช้เป็นประจำอาจสรุปได้ดังนี้

#### 5.5.2.1.1 ประเภทเครื่องมือวัดด้านไฟฟ้าทั่วไป ได้แก่

ก) เครื่องวัดแรงดันไฟฟ้าหรือโวลต์มิเตอร์



ข) เครื่องวัดกระแสไฟฟ้าหรือแอมป์มิเตอร์



ค) เครื่องวัดกำลังไฟฟ้าหรือวัตต์มิเตอร์



ง) เครื่องมือตรวจวัดและบันทึกพลังงานไฟฟ้าแบบต่อเนื่อง



จ) เครื่องวัดตัวประกอบกำลังไฟฟ้าหรือเพาเวอร์แฟคเตอร์มิเตอร์ (P.F. meter) สำหรับทั้งระบบกระแสตรง (DC) และกระแสสลับ (AC)



เครื่องมือวัดเหล่านี้ ควรเป็นแบบพกพาได้ (Portable) และใช้งานง่าย เช่น เป็นประเภทหนีบ หรือคล้องกับสายไฟ ซึ่งในปัจจุบันเครื่องมือวัดไฟฟ้าแบบพกพาจะสามารถวัดได้ทั้งแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า และตัวประกอบกำลังไฟฟ้าในเครื่องเดียวกัน

5.5.2.1.2 ประเภทเครื่องมือวัดด้านความร้อน ได้แก่

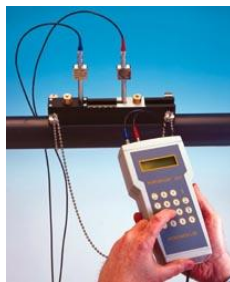
ก) เทอร์โมมิเตอร์ที่ใช้วัดอุณหภูมิบรรยากาศ อุณหภูมิผิวแบบสัมผัส



ข) เครื่องวัดความชื้นบรรยากาศ



ค) เครื่องวัดความเร็วและอัตราการไหลของก๊าซและของเหลว



ง) เครื่องมือวัดความดัน

ในอุตสาหกรรมที่นิยมใช้มากที่สุดคือเกจวัดความดันแบบติดตั้งอยู่กับที่ เพราะเป็นแบบที่มีโครงสร้างง่าย ราคาถูก วัดความดันได้ถึงย่านสูง ๆ ความเที่ยงตรงดีเมื่อเทียบกับราคา



จ) เครื่องวัดสภาพความเป็นกรดหรือด่างของน้ำ



ฉ) เครื่องมือวัดสภาพการนำไฟฟ้าของน้ำ (เพื่อทราบปริมาณสารละลายในน้ำ)



รายละเอียดการดำเนินการสำรวจตรวจวัดค่าต่าง ๆ สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 5-3 สำหรับตารางที่ 5-4 เป็นตัวอย่าง แสดงการบันทึกข้อมูลจากการตรวจวัดเครื่องปั้มน้ำ

ตารางที่ 5-3 สรุปข้อมูลที่ควรดำเนินการสำรวจ

| ลำดับ | การตรวจวัด/<br>วิธีการตรวจวัด                   | จุดประสงค์การ<br>ตรวจวัด  | ค่าที่บันทึก  | จุดตรวจวัด   | เครื่องมือที่ใช้ | ระยะเวลา<br>การบันทึก                  |
|-------|---|---|---|--|------------------|--|
| 1     | สำรวจ ชนิด<br>ขนาด จำนวน<br>ยี่ห้อและรุ่น       | เพื่อทราบ Spec<br>ของเครื่องที่มีการใช้<br>งาน และข้อมูล<br>ประสิทธิภาพจาก<br>ผู้ผลิต | - พิกัดกำลังไฟฟ้าของ<br>มอเตอร์เครื่องสูบน้ำ<br>- พิกัดอัตราการไหลของ<br>น้ำที่พิกัด<br>- พิกัดกำลัง(เฮด)ของ<br>เครื่องสูบน้ำ<br>- ความเร็วรอบของ<br>เครื่องสูบน้ำ<br>- สภาพการบำรุงรักษา | - Name Plate<br>- Performance<br>Curve ของ<br>เครื่องสูบน้ำ    | -                | -                                      |
| 2     | สำรวจระบบสูบ<br>จ่ายน้ำและการ<br>เปิดใช้งานจริง | เพื่อทราบสภาพและ<br>ลักษณะการใช้งาน<br>และการเดินในแต่ละ<br>เครื่อง                   | - จัดทำแผนผังการจัด<br>วางเครื่องและ<br>ระยะเวลาการใช้งาน<br>แต่ละเครื่อง<br>- เวลาการเปิด ปิด<br>เครื่อง(ชั่วโมงการ<br>ทำงาน/วัน)  | บริเวณที่ติดตั้ง<br>เครื่องสูบน้ำ และ<br>ระบบท่อส่งจ่าย<br>น้ำ | -                | -                                      |
| 3     | ตรวจวัดค่า<br>กำลังไฟฟ้า                        | หาค่ากำลังไฟฟ้า   | -แรงดันไฟฟ้า (Volt)<br>- กระแสไฟฟ้า (Amps)<br>- Power Factor<br>- กำลังไฟฟ้า (kW)   | ตู้ควบคุม  | - Power<br>Meter | บันทึก<br>ต่อเนื่องอย่าง<br>น้อย 1 วัน |

| ลำดับ | การตรวจวัด/<br>วิธีการตรวจวัด | จุดประสงค์การ<br>ตรวจวัด   | ค่าที่บันทึก  | จุดตรวจวัด                                   | เครื่องมือที่ใช้  | ระยะเวลา<br>การบันทึก |
|-------|-------------------------------|--|---|--|---|-----------------------|
| 4     | ค่าอัตราการไหล                | เพื่อทราบอัตราการไหลของเครื่องสูบน้ำ                                   | - อัตราการไหล (m <sup>3</sup> /s)   | - ท่อส่งทางออก                               | - Flow Meter  | -                     |
| 5     | ตรวจวัดค่าเฮด                 | เพื่อหาค่าเฮดของเครื่องสูบน้ำที่จุดใช้งานและเปรียบเทียบกับค่าที่ออกแบบ | - ความดันก่อนและหลังเข้าเครื่องสูบน้ำ (bar)<br>- ความสูงของระดับน้ำที่ทางท่อดูดถึงเครื่องสูบน้ำ (m) | - อ่านจากค่าที่เกจวัดความดัน<br>- วัดความสูง | - เกจวัดความดันที่ติดตั้งที่ทางดูดและทางส่ง<br>- ตลับเมตร | บันทึกชั่วขณะ         |

ตารางที่ 5-4 ตัวอย่างการบันทึกข้อมูลจากการตรวจวัดเครื่องปั๊มน้ำ

| รายการตรวจสอบ  | การตรวจวัดครั้งที่  |      |      |
|--|---|------|------|
|  | 1   | 2    | 3    |
| <b>ข้อมูลสำรวจเบื้องต้น</b>                                      | <b>เครื่องสูบน้ำ เครื่องที่ 1</b>                                     |      |      |
| ปี พ.ศ.  | 2540  |      |      |
| รุ่น   | Centrifugal TYPE 125-400  |      |      |
| หมายเลขเครื่อง   | Pump 001  |      |      |
| อัตราการไหล (m <sup>3</sup> /hr)                                 | 84 - 330  |      |      |
| เฮด (m)  | 40 - 60   |      |      |
| ความเร็วรอบ (rpm)  | 1450  |      |      |
| <b>พิกัดมอเตอร์</b>  |   |      |      |
| ค่ากำลังไฟฟ้า (kW), Pm   | 55  |      |      |
| แรงดันไฟฟ้า (Volt)   | 380 - 416   |      |      |
| กระแสไฟฟ้า (Amps)  | -   |      |      |
| Power Factor   | 0.9   |      |      |
| <b>ข้อมูลตรวจวัด</b>   | หาค่าเฉลี่ย   |      |      |
| ค่ากำลังไฟฟ้า (kW)   | 50.9  | 51.2 | 50.5 |
| แรงดันไฟฟ้า (Volt)   | 382.00  | 380  | 381  |
| กระแสไฟฟ้า (Amps)  | 91.6  | 90.5 | 90   |
| Power Factor   | 0.84  | 0.86 | 0.85 |
| <b>ความดัน</b>   |   |      |      |
| ความดันด้านจ่าย (bar)  | 5.5   | 5.5  | 5.5  |
| ความดันด้านดูด (bar)   | -   | -    | -    |
| ความสูงจากระดับน้ำในถังเก็บถึงเส้นผ่านศูนย์กลางเครื่องสูบน้ำ (m) | 2.0   | 2.0  | 2.0  |
| อัตราการไหล (m <sup>3</sup> /hr)                                 | 190   |      |      |
| <b>หมายเหตุ</b>  | 1. มีการหริ้วาล้วเพื่อลดอัตราการไหล<br>2. มีการตรวจสอบและบำรุงรักษาดี |      |      |

### 5.6 การวิเคราะห์การใช้พลังงานระบบปั้มน้ำ

การวิเคราะห์การใช้พลังงานในระบบปั้มน้ำนั้น เป็นขั้นตอนสำคัญในการหาประสิทธิภาพของปั้มน้ำเพื่อประเมินแนวทางการเดินเครื่องจักรอุปกรณ์ รวมถึงการอนุรักษ์พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพได้

#### 5.6.1 กำลังไฮดรอลิก

กำลังไฮดรอลิก (Hydraulic Power,  $P_H$ ) หมายถึงกำลังที่ปั้มจ่ายให้ของเหลวโดยผ่านใบพัดที่หมุน มีหน่วยเป็น kW ในหน่วยเมตริก สามารถคำนวณได้จากสมการข้างล่าง

$$P_H = \frac{\gamma \times Q \times TDH}{1000} \tag{5-11}$$

- เมื่อ  $\gamma$  = น้ำหนักจำเพาะของเหลว ( $N/m^3$ ) [ $\gamma = \rho \times g$ ]
- $Q$  = อัตราการสูบของปั้ม ( $m^3/s$ )
- $TDH$  = เสดรวมของปั้มหรือ Total Dynamic Head (m)

เนื่องจากกำลังขนาด 1 แรงม้า มีค่าเทียบเท่ากับ 0.746 kW กำลังม้าไฮดรอลิก (Hydraulic Horsepower) ในหน่วยแรงม้า (HHP) จึงสามารถคำนวณได้จาก

$$HHP = \frac{P_H}{0.746} \tag{5-12}$$

ในหน่วยอังกฤษ กำลังม้าไฮดรอลิกสามารถคำนวณได้จาก

$$HHP = \frac{\gamma \times Q \times TDH}{550} \tag{5-13}$$

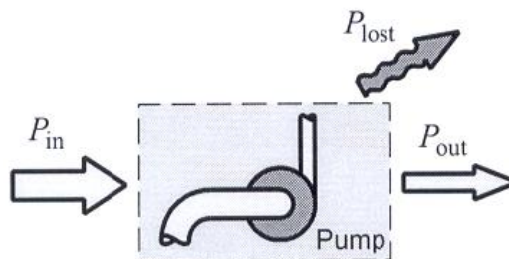
- เมื่อ  $\gamma$  = น้ำหนักจำเพาะของเหลว ( $lb/ft^3$ )
- $Q$  = อัตราการสูบของปั้ม ( $ft^3/s$ )
- $TDH$  = เสดรวมของปั้ม (ft)

ในกรณีที่อัตราการสูบบมีหน่วยเป็นอเมริกันแกลลอนต่อนาที (gpm) และ TDH มีหน่วยเป็นฟุต กำลังม้าไฮดรอลิกสามารถคำนวณได้จาก

$$HP = \frac{gpm \times TDH}{3960} \tag{5-14}$$

#### 5.6.2 ประสิทธิภาพของปั้ม

ประสิทธิภาพของปั้ม หมายถึง ร้อยละของกำลังที่ปั้มผลิตได้ซึ่งหมายถึงกำลังไฮดรอลิกเทียบกับกำลังขับปั้ม ซึ่งเป็นกำลังที่ปั้มรับมาจากต้นกำลังผ่านเพลาชั้บ



รูปที่ 5-20 การคำนวณหาค่า ประสิทธิภาพของปั้ม



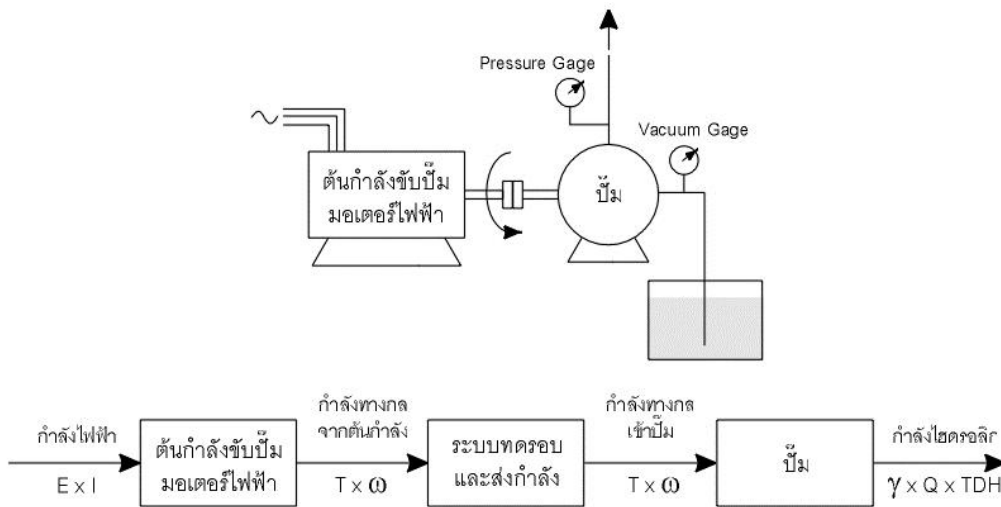
$$\eta_P = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \tag{5-15}$$

เมื่อ  $P_{out}$  = กำลังที่ปั๊มผลิตได้ซึ่งหมายถึงกำลังไฮดรอลิก (kW หรือแรงม้า)  
 $P_{in}$  = กำลังขับที่เพลลาของปั๊ม (kW หรือแรงม้า)

โดยปกติผู้ผลิตปั๊มจะแสดงประสิทธิภาพของปั๊มในกราฟสมรรถนะของปั๊ม ดังแสดงตัวอย่างในหัวข้อถัดไป ในรูปที่ 5-22 และ 5-23 ดังนั้นในการออกแบบระบบปั๊มน้ำ หากผู้ออกแบบเลือกขนาดของปั๊มที่เหมาะสมกับงานและสามารถกำหนดจุดทำงานของปั๊มให้ใกล้เคียงกับ ตำแหน่งที่ปั๊มมีประสิทธิภาพสูงสุด จะสามารถทำให้การใช้งานปั๊มมีประสิทธิภาพ ใช้พลังงานได้อย่างคุ้มค่า

### 5.6.3 การคำนวณขนาดต้นกำลังขับปั๊ม

การทำงานของระบบปั๊มจริงๆแล้วเป็นการเปลี่ยนรูปแบบของพลังงาน (รูป 5-21) ในกรณีที่ต้นกำลังขับปั๊มเป็นมอเตอร์ไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าที่ต้นกำลังรับเข้ามาจะถูกเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานกลเพื่อไปขับปั๊ม และปั๊มจะเปลี่ยนพลังงานทางกลที่รับเข้ามาให้เป็นกำลังไฮดรอลิก ในการคำนวณขนาดของต้นกำลังขับปั๊มนั้น จำเป็นต้องคำนึงถึงประสิทธิภาพของต้นกำลังด้วย



รูปที่ 5-21 การเปลี่ยนรูปของพลังงานของระบบปั๊ม

ประสิทธิภาพของปั๊มคำนวณได้จาก

$$\eta_P = \frac{\text{กำลังไฮดรอลิก}}{\text{กำลังทางกลเข้าปั๊ม}} \tag{5-16}$$

ประสิทธิภาพของระบบทดรอบและส่งกำลังคำนวณได้จาก

$$\eta_T = \frac{\text{กำลังทางกลเข้าปั๊ม}}{\text{กำลังทางกลจากต้นกำลัง}} \tag{5-17}$$

ประสิทธิภาพของระบบทดรอบและส่งกำลังมีค่าประมาณดังนี้

1. ส่งกำลังโดยตรง (ขับตรง) มีค่า 100 %
2. ระบบส่งกำลังแบบเฟืองทดมีค่าประมาณ 98 % สำหรับการทดรอบแต่ละครั้ง
3. ระบบส่งกำลังด้วยสายพานแบนมีค่าประมาณ 97 %
4. ระบบส่งกำลังด้วยสายพานรูปตัว V มีค่าประมาณ 95 %

ประสิทธิภาพของต้นกำลังปั๊มคำนวณได้จาก

$$\eta_{\text{ต้นกำลัง}} = \frac{\text{กำลังทางกลจากต้นกำลัง}}{\text{กำลังที่ต้องให้กับต้นกำลัง}} \quad (5-18)$$

นำสมการ (5-16) คูณกับสมการ (5-17) และ (5-18) เพื่อคำนวณหา กำลังที่ต้องให้กับต้นกำลังปั๊ม

$$\eta_P \times \eta_T \times \eta_{\text{ต้นกำลัง}} = \frac{\text{กำลังไฮดรอลิก}}{\text{กำลังที่ต้องให้กับต้นกำลัง}}$$

$$\text{กำลังที่ต้องให้กับต้นกำลัง} = \frac{\text{กำลังไฮดรอลิก}}{\eta_P \times \eta_T \times \eta_{\text{ต้นกำลัง}}} \quad (5-19)$$

**ตัวอย่างที่ 5-2** ปั๊มมีอัตราการไหล  $Q=0.01 \text{ m}^3/\text{s}$  และเฮดรวม 26.73 เมตร จงหาขนาดกำลังของมอเตอร์ต้นกำลังปั๊มที่ขับปั๊มโดยตรง ถ้ากำหนดให้ประสิทธิภาพของปั๊มและมอเตอร์ต้นกำลังปั๊มมีค่าเท่ากับ 75% และ 78% ตามลำดับ จงหาขนาดกำลังของมอเตอร์ต้นกำลังปั๊ม

**วิธีทำ** กำลังไฮดรอลิกของปั๊มคำนวณได้จากจาก

$$P_H = \frac{\gamma \times Q \times TDH}{1000}$$

แทนค่า  $Q=0.01 \text{ m}^3/\text{s}$   $TDH=26.73 \text{ m}$  และน้ำหนักจำเพาะของน้ำ  $\gamma = 9810 \text{ N/m}^3$

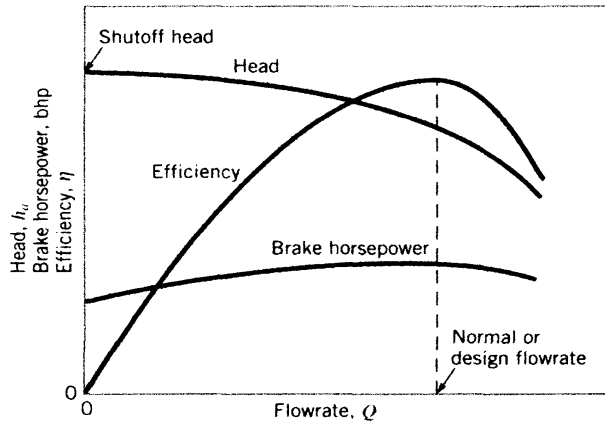
$$P_H = \frac{9810 \times 0.01 \times 26.73}{1000} = 2.62 \text{ kW}$$

ขนาดกำลังของมอเตอร์ต้นกำลังปั๊มคำนวณได้จาก

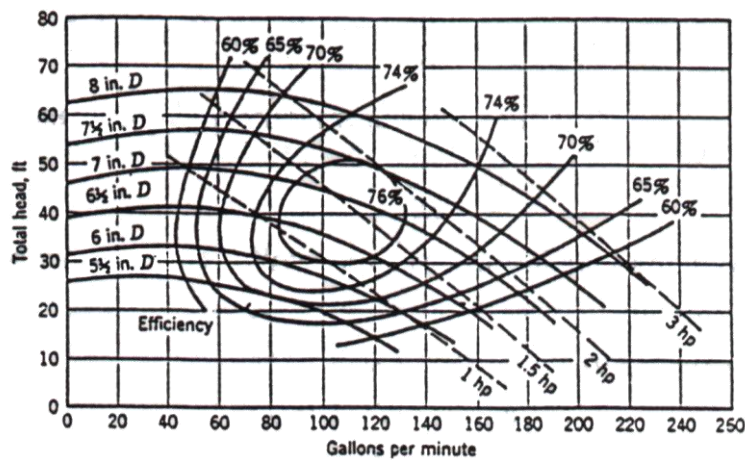
$$\begin{aligned} \text{กำลังของมอเตอร์ต้นกำลังปั๊ม} &= \frac{\text{กำลังไฮดรอลิก}}{\eta_P \times \eta_{\text{ต้นกำลัง}}} \\ &= \frac{2.62}{0.75 \times 0.78} = 4.48 \text{ kW} \\ &= \frac{4.48}{0.746} = 6 \text{ แรงม้า} \quad \text{ตอบ} \end{aligned}$$

#### 5.6.4 สมรรถนะการทำงานของปั๊ม

บริษัทผู้ผลิตปั๊มจะทำการทดสอบสมรรถนะของปั๊มที่ผลิต แล้วเขียนเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฮดประสิทธิภาพ และกำลังขับปั๊ม เทียบกับอัตราการไหล ดังตัวอย่างที่แสดงในรูปที่ 5-22 จากรูปจะเห็นว่าเมื่ออัตราการไหลเริ่มจากศูนย์ประสิทธิภาพก็จะเริ่มจากศูนย์จนกระทั่งถึงค่าสูงสุดแล้วจะลดลง จุดที่ให้ประสิทธิภาพสูงสุดเรียกว่า Best efficiency Point (BEP) อัตราการไหล ณ จุดนี้เรียกว่าอัตราการไหลออกแบบ (Design flow rate) ในการเลือกปั๊มมาใช้งานจะต้องเลือกที่อัตราไหลและประสิทธิภาพสูงสุดหรือใกล้เคียงสมรรถนะของปั๊มที่มีขนาดใบพัดต่าง ๆ กัน อาจแสดงได้ดังรูปที่ 5-23



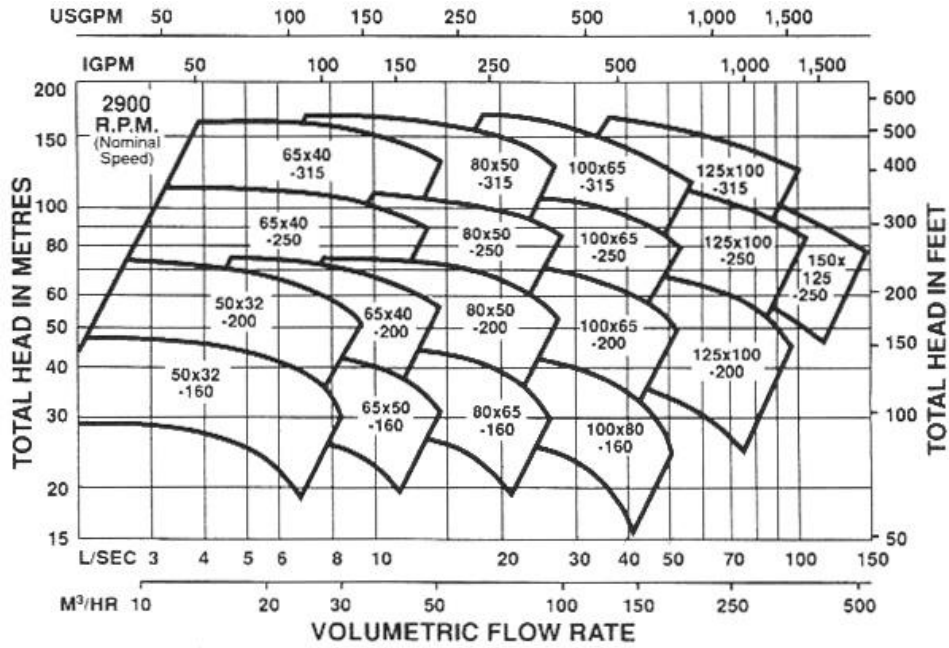
รูปที่ 5-22 ตัวอย่างกราฟแสดงสมรรถนะของปั๊ม



รูปที่ 5-23 ตัวอย่างสมรรถนะของปั๊มแบบหมุนเหวี่ยงใบพัดมีเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 5 ถึง 8 นิ้ว

ปั๊มในแต่ละรุ่นนั้นจะถูกผลิตออกมาหลายขนาด โดยปกติผู้ผลิตปั๊มมักจะแสดงสมรรถนะ ประสิทธิภาพและขอบเขตการทำงานที่เหมาะสมของปั๊มแต่ละขนาดรวมกันในกราฟแผ่นเดียว กราฟแสดงสมรรถนะดังกล่าวนี้เรียกว่า Composite Rating Chart ดังแสดงในรูปที่ 5-24

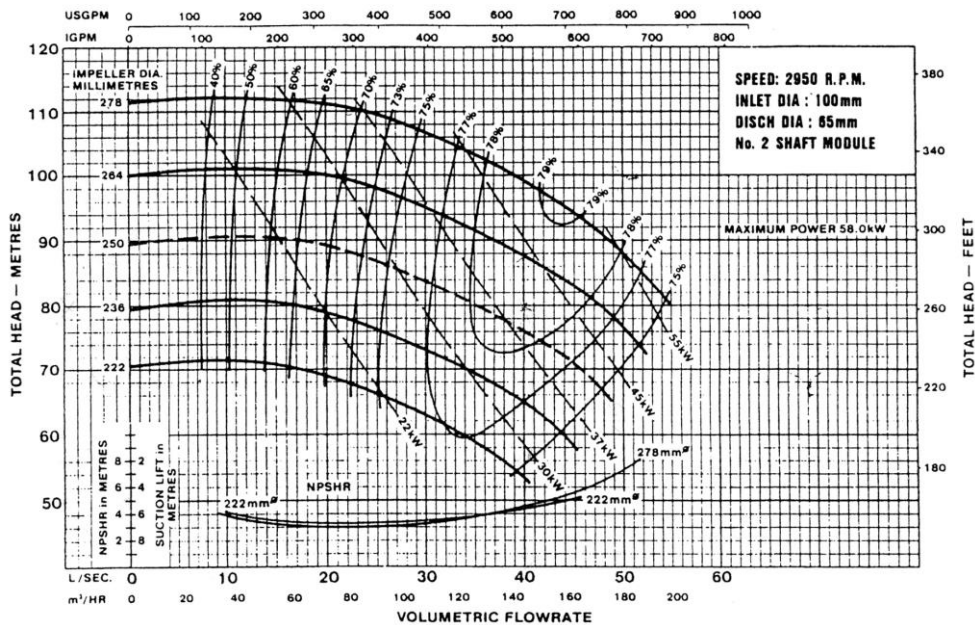
ตัวอย่างที่ 5-3 ต้องการสูบน้ำด้วยอัตราไหล 40 ลิตรต่อวินาที ที่เฮด 80 เมตร จงเลือกโมเดลของปั๊มจาก Composite Rating Chart ซึ่งแสดงในรูป 5-26 และให้บอกรายละเอียดของปั๊มที่เลือกจากชาร์ทที่ให้



รูปที่ 5-24 กราฟสมรรถนะของปั๊มแบบหมุนเหวี่ยงหลายขนาดรวมกัน (Composite Rating Chart)

วิธีทำ รายละเอียดของปั๊มซึ่งได้จากการอ่านชาร์ทข้างบนสำหรับอัตราการสูบ 40 ลบ.เมตร/ชั่วโมง และเฮด 80 เมตร คือ

1. ปั๊มที่จะใช้งานนี้ได้เหมาะสมคือ โมเดล 100x65-250 ในที่นี้ 100 หมายถึงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อดูดเป็น มม. 65 หมายถึงขนาดหน้างานของท่อส่งเป็น มม. และ 250 เป็นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบพัดคือ 250 มม.
2. ความเร็วรอบของใบพัดที่ใช้ในชาร์ทดังแสดงไว้ในกรอบด้านบนซ้ายมือคือ 2900 รอบต่อนาทีเมื่อเลือกรุ่นของปั๊มจากชาร์ทรวมได้แล้ว จะต้องไปดูรายละเอียดที่จำเป็นต้องใช้งานจาก Performance Curves ของปั๊มรุ่นที่เลือกดังแสดงในรูป 5-25



รูปที่ 5-25 ตัวอย่างกราฟแสดงสมรรถนะของปั๊มเฉพาะรุ่น 100x65-250 จากรูป 5-26

จากกราฟแสดงสมรรถนะสำหรับปั๊มรุ่น 100x65-250 ที่แสดงข้างต้น เราสามารถบอกรายละเอียดเกี่ยวกับปั๊มดังกล่าวได้ ดังนี้

1. ปั๊มรุ่นนี้ใช้ใบพัดขนาด 250 มม. เป็นขนาดมาตรฐาน แต่สามารถใช้ได้กับใบพัดขนาดตั้งแต่ 222 ถึง 278 มิลลิเมตร
2. สำหรับอัตราการสูบและเฮดที่ต้องการ คือ 40 ลิตรต่อนาที และเฮดที่ 80 เมตร ขนาดใบพัดที่เหมาะสมคือ 250 มิลลิเมตร และประสิทธิภาพของปั๊มที่ได้คือ 78.3%

### 5.6.5 กฎความคล้ายของปั๊ม

กฎความคล้ายของปั๊ม (Affinity Laws) แสดงค่าอัตราการสูบ เฮดรวมของปั๊ม และกำลังขับปั๊ม ที่เปลี่ยนแปลงไปตามค่าของรอบความเร็วใบพัด หรือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบพัด ที่มีค่าเปลี่ยนไป การแก้ปัญหาเมื่อลักษณะการทำงานของปั๊มแตกต่างไปจากกราฟ  $H-Q$  ที่บริษัทผู้ผลิตทดลองไว้ ทำได้โดยใช้กฎเกณฑ์ที่เรียกว่ากฎความคล้ายของปั๊ม

#### ก. รอบความเร็วของใบพัดเปลี่ยนไป

ข้อแตกต่างนี้เกิดขึ้นอยู่เสมอเมื่อใช้เครื่องยนต์เป็นต้นกำลัง ทั้งนี้เพราะตลอดช่วงเวลาการทำงานของเครื่องยนต์นั้น รอบความเร็วอาจแตกต่างกันได้มาก การเปลี่ยนแปลงชนิดของมอเตอร์หรือการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ก็สามารถทำให้รอบความเร็วเปลี่ยนไปได้เช่นเดียวกัน

#### ข. ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของใบพัดเปลี่ยนไป

เนื่องจากช่วงการทำงานของปั๊มแบบ Centrifugal นั้นกว้างขวางมาก บริษัทผู้ผลิตไม่สามารถผลิตใบพัดให้พอเหมาะกับความต้องการใช้งานทุกขนาดได้ ดังนั้นสำหรับเรือนปั๊ม (Casing) ขนาดหนึ่ง ผู้ผลิตจะออกแบบให้ใช้ได้กับใบพัดหลาย ๆ ขนาด เช่น ใช้ได้กับใบพัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 8 ถึง 12 นิ้ว เป็นต้น และถ้าการทำงานของใบพัดที่มีไม่เหมาะสมกับความต้องการ เช่น ที่อัตราการสูบขนาดหนึ่ง ใบพัดขนาด 10 นิ้วจะให้เฮดมากเกินไป แต่ถ้าใช้ใบพัดขนาด 9 นิ้ว ก็จะได้เฮดน้อยเกินไป ในกรณีนี้จำเป็นต้องคำนวณหาขนาดที่เหมาะสมแล้วเจียร (Trim) ใบพัดขนาด 10 นิ้วลงมาให้พอดีกับความต้องการ เป็นต้น

#### 5.6.5.1 เมื่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของใบพัดมีค่าคงที่แต่มีการเปลี่ยนแปลงรอบความเร็ว

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad (5-20)$$

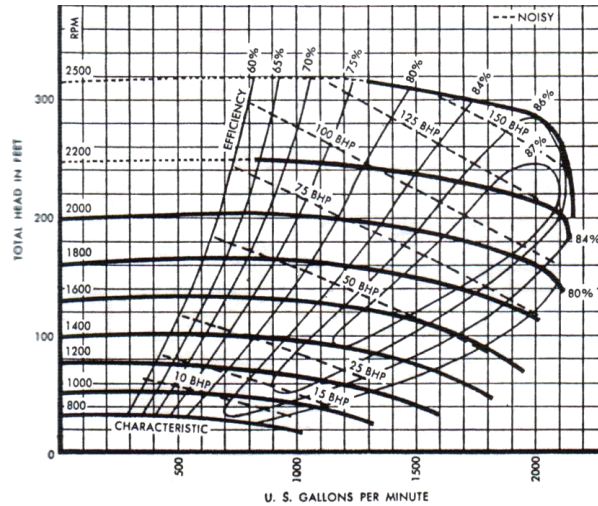
$$\frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 \quad (5-21)$$

$$\frac{Bhp_1}{Bhp_2} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^3 \quad (5-22)$$

เมื่อ  $Q_1$ ,  $H_1$  และ  $Bhp_1$  เป็นอัตราการสูบ เฮด และกำลังขับที่ปั๊มต้องการ (Brake Horsepower) เมื่อใบพัดหมุนด้วยอัตราเร็ว  $N_1$  ตามลำดับ และ  $Q_2$ ,  $H_2$  และ  $Bhp_2$  เป็นอัตราการสูบ เฮด และกำลังขับที่ปั๊มต้องการ เมื่อความเร็วการหมุนของใบพัดเปลี่ยนไปเป็น  $N_2$

ความสัมพันธ์ทั้ง 3 สมการข้างบนนี้ ถือว่าประสิทธิภาพการทำงานของปั๊มจะไม่เปลี่ยนไปตามรอบความเร็วที่เปลี่ยนไป ข้อสมมุติดังกล่าวนี้จะใกล้เคียงกับความเป็นจริงถ้าหากรอบความเร็วเปลี่ยนไม่เกิน 25 เปอร์เซ็นต์ของรอบความเร็วที่ได้ออกแบบไว้ สมการทั้งสามข้างบนนี้ใช้ได้กับปั๊มแบบ Centrifugal ทุกประเภท ไม่ว่าใบพัดจะเป็นแบบ Radial Flow, Mixed Flow, Axial Flow หรือ Regenerative Turbine

เมื่อรอบการหมุนของใบพัดเปลี่ยนแปลง กราฟ  $H-Q$  จะยังคงรักษารูปร่างลักษณะของเส้นคงเดิมแต่เฮดจะเลื่อนสูงขึ้นหรือเลื่อนต่ำลง ดังตัวอย่างที่แสดงดังรูปที่ 5-26 ในกรณีที่มีข้อมูลเช่นรูปนี้อยู่ การหาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงความเร็วของใบพัดจะทำได้ถูกต้องดีกว่าการใช้สมการด้านบน



รูปที่ 5-26 ตัวอย่างสมรรถนะของปั๊มเมื่อความเร็วการหมุนของใบพัดเปลี่ยนไป

5.6.5.2 เมื่อรอบความเร็วมีค่าคงที่ แต่ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของใบพัดเปลี่ยนไป

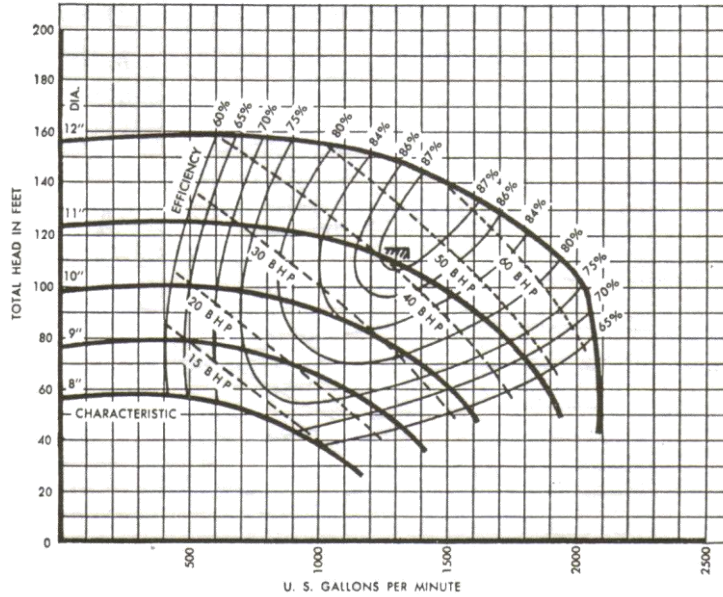
$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{D_1}{D_2} \tag{5-23}$$

$$\frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^2 \tag{5-24}$$

$$\frac{Bhp_1}{Bhp_2} = \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^3 \tag{5-25}$$

เมื่อ  $Q_1$ ,  $H_1$  และ  $Bhp_1$  เป็นอัตราการสูบ เฮด และกำลังขับที่ปั๊มต้องการเมื่อใบพัดมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง  $D_1$  ตามลำดับ และ  $Q_2$ ,  $H_2$  และ  $Bhp_2$  เป็นอัตราการสูบ เฮด และกำลังขับที่ปั๊มต้องการ เมื่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของใบพัดเปลี่ยนไปเป็น  $D_2$  ตามลำดับ สมการทั้ง 3 นี้ใช้ได้กับปั๊ม Centrifugal ประเภท Radial Flow เท่านั้น

ลักษณะการทำงานของปั๊มเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของใบพัดก็เช่นเดียวกันกับเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเร็ว ตัวอย่างกราฟ  $H-Q$  สำหรับปั๊มซึ่งมีใบพัดเหมือนกันแต่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางตั้งแต่ 8 นิ้ว ถึง 12 นิ้ว แสดงดังรูปที่ 5-27



รูปที่ 5-27 ตัวอย่างสมรรถนะของปั๊มซึ่งหมุนด้วยอัตรา 1750 รอบต่อนาที ขนาดของใบพัด 8 - 12 นิ้ว

ตัวอย่างที่ 5-4 ปั๊มสูบน้ำได้ 1,700 แกลลอนต่อนาที ที่เฮด 180 ฟุต และกำลังขับที่ปั๊มต้องการ เท่ากับ 84 แรงม้า เมื่อใบพัดหมุนด้วยความเร็ว 2,000 รอบต่อนาที จงหาอัตราการสูบ เฮด และกำลังขับที่ปั๊มต้องการ เมื่อรอบความเร็วเปลี่ยนไปเป็น 1,600 รอบต่อนาที

|        |          |   |     |
|--------|----------|---|-----|
| วิธีทำ | จากสมการ | $\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{N_1}{N_2}$ $Q_1 = \frac{1,600}{2,000} \times 1,700$ $= 1,360 \text{ แกลลอนต่อนาที}$                        | ตอบ |
|        | จากสมการ | $\frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2$ $H_1 = \left(\frac{1,600}{2,000}\right)^2 \times 180$ $= 115.2 \text{ ฟุต}$      | ตอบ |
|        | จากสมการ | $\frac{Bhp_1}{Bhp_2} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^3$ $Bhp_1 = \left(\frac{1,600}{2,000}\right)^3 \times 84$ $= 43 \text{ แรงม้า}$ | ตอบ |

## 5.7 แนวทางการอนุรักษ์พลังงานในระบบปั๊มน้ำ

### 5.7.1 การปรับความเร็วรอบของปั๊มน้ำ

การเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบของปั๊มน้ำ จะมีผลต่อประสิทธิภาพของปั๊มน้ำซึ่งจะยังคงสูงอยู่เมื่อมีอัตราการไหลระหว่าง 60-100 เปอร์เซ็นต์ของอัตราการไหลที่ออกแบบไว้ และเมื่ออัตราการไหลลดต่ำลงประสิทธิภาพจะลดลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งการลดลงนี้จะขึ้นอยู่กับขนาดของเครื่องสูบน้ำ เมื่อปั๊มน้ำมีขนาดใหญ่ขึ้นอัตราการไหลและประสิทธิภาพก็จะลดลงเช่นกัน

การเปลี่ยนแปลงการทำงานของปั๊มน้ำเนื่องจากการปรับความเร็วรอบจะอธิบายได้โดยกฎของพัดลมและปั๊มน้ำ (Affinity Laws) ซึ่งกล่าวไว้ดังนี้ :

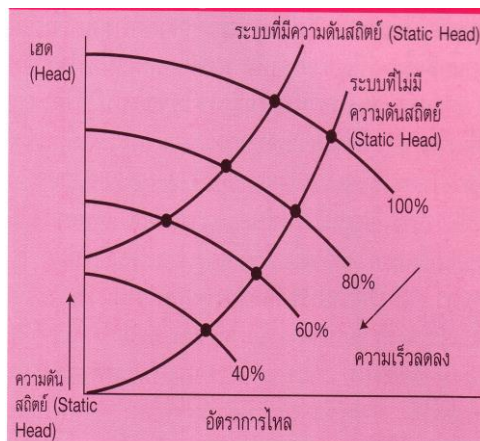
อัตราการไหลจะผันแปรตามความเร็ว (Flow  $\propto$  Speed)

เฮดจะผันแปรตามความเร็วยกกำลังสอง (Head  $\propto$  Speed<sup>2</sup>)

กำลังขับเคลื่อนที่ใช้ผันแปรตามความเร็วยกกำลังสาม (Power Absorbed  $\propto$  Speed<sup>3</sup>)

ดังนั้น ถ้าปั๊มน้ำมีความเร็วรอบ 50 เปอร์เซ็นต์จะทำให้เฮด (Head) เท่ากับ 25% และจะใช้กำลังขับเพียง 12.5% สำหรับระบบที่ไม่มี ความดันสถิต (Static Head) ซึ่งสามารถนำความสัมพันธ์ดังกล่าวมาใช้ประเมินผลประหยัดจากการลดความเร็วรอบได้โดยตรง

อย่างไรก็ตามระบบจริงจะมีความดันสถิตรวมอยู่ด้วยเสมอ จึงต้องมีการปรับปรุงสูตรความสัมพันธ์ให้นำไปใช้คำนวณได้ถูกต้อง จากตัวอย่างที่แสดงไว้ในรูปที่ 5.28 ในระบบที่ไม่มี ความดันสถิต ที่ความเร็วรอบ 40% อัตราการไหลมีค่า 40% แต่เมื่อระบบมีความดันสถิต อยู่ด้วยที่ความเร็วรอบ 40% อัตราการไหลลดลงเป็นศูนย์



รูปที่ 5-28 ผลของความดันสถิต ต่อปั๊มน้ำที่ลดความเร็วลง

ประโยชน์ที่ได้รับจากการควบคุมความเร็วรอบของปั๊มน้ำคือ

- ทำให้การใช้ปั๊มน้ำสอดคล้องกับอัตราการไหลที่ต้องการตลอดเวลา
- สามารถควบคุมอัตราการไหลของปั๊มน้ำอย่างได้ผล
- ลดพลังงานสูญเสียจากการหริวาล์วของปั๊มน้ำ
- เริ่มเดินเครื่อง ได้อย่างนิ่มนวล

อินเวอร์เตอร์แบบ PWM (Pulse Width Modulated) เป็นอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบที่ใช้กับระบบปั๊มน้ำที่พบมากที่สุด แม้จะมีอินเวอร์เตอร์แบบอื่น ๆ ด้วย อินเวอร์เตอร์แบบ PWM มีประสิทธิภาพและกำลังสูญเสียในอุปกรณ์ต่ำ และกรณีที่ปั๊มน้ำขับเคลื่อนด้วยความเร็วคงที่ (กรณีนั้นอาจไม่จำเป็นต้องใช้อินเวอร์เตอร์) ศักยภาพของการประหยัดจากการใช้อินเวอร์เตอร์จะสูงเมื่อการขับเคลื่อนที่มีการเปลี่ยนแปลงไม่มีประสิทธิภาพ

การควบคุม VSD อาจทำได้โดยปรับด้วยคนหรือแบบอัตโนมัติขึ้นอยู่กับสัญญาณควบคุม อุปกรณ์เครื่องวัดในระบบ เช่น อุปกรณ์วัดอัตราการไหล อุปกรณ์วัดความดัน และบางกรณีอาจจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์แปลงสัญญาณ (Interfacing) ถ้าสัญญาณที่ส่งมาไม่ได้มาตรฐาน



ในระบบที่มีปั๊มน้ำหลายเครื่องทำงานขนานกัน เครื่องสูบน้ำมักจะทำงาน ที่ความเร็วรอบ เท่ากันเพื่อให้มีจุดทำงานเดียวกัน ในกรณีนี้สามารถใช้อินเวอร์เตอร์แยกสำหรับปั๊มน้ำแต่ละเครื่องและใช้สัญญาณควบคุมเดียวกันหรือใช้กับปั๊มน้ำบางเครื่อง ในขณะที่เครื่องที่เหลือทำงานที่ความเร็วคงที่ แม้ว่าช่วงของการควบคุมความเร็วจะจำกัดก็ตาม (ขึ้นอยู่กับความต้านทานของระบบ)

VSD จะมีราคาค่อนข้างสูงแต่ก็มีการปรับราคาลดลงมาบ้างแล้ว ยิ่งไปกว่านั้นผลที่ได้จากการประหยัดค่าใช้จ่ายจะให้ผลตอบแทนกลับมาในระยะสั้น

การใช้ปั๊มน้ำที่ปรับความเร็วรอบเพื่อให้เกิดการประหยัดมากที่สุด จะขึ้นอยู่กับเงื่อนไขดังต่อไปนี้

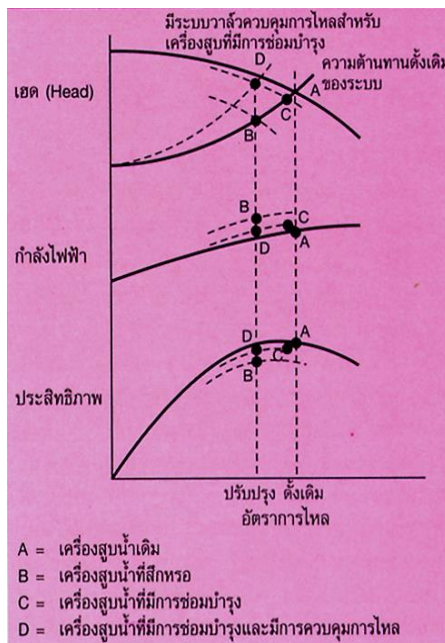
- ความต้องการใช้น้ำมีการเปลี่ยนแปลงและทำงานต่ำกว่าอัตราการไหลสูงสุดเป็นระยะเวลานาน
- กรณีที่ความเสียดทานของระบบส่วนใหญ่เกิดจากความเสียดทานความดันสถิตที่ตามมาจากปั๊มน้ำ

ทำงานที่ระดับความเร็วต่ำลง (ดูรูปที่ 5-28)

เป็นที่น่าสังเกตว่าถ้าปั๊มน้ำเดินเครื่องด้วยอัตราการไหลที่น้อยกว่า 100 เปอร์เซ็นต์อยู่เสมอ แสดงว่าปั๊มน้ำมีขนาดใหญ่เกินไป ดังนั้นการเลือกเครื่องสูบน้ำที่มีขนาดเล็กหรือปรับแต่งใบพัดให้มีขนาดเล็กอาจจะเป็นทางเลือกที่เหมาะสมกว่าการใช้ VSD โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้ามีความต้องการเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก

จากการตรวจสอบระบบสูบน้ำและวิเคราะห์จุดที่มีปัญหาประกอบกับแนวทางการแก้ไขที่เกิดขึ้นสามารถนำมาจัดกลุ่มได้ดังนี้

- การบำรุงรักษา
- การดัดแปลงแก้ไขอุปกรณ์หรือการเดินเครื่อง
- การจัดการตรวจสอบ

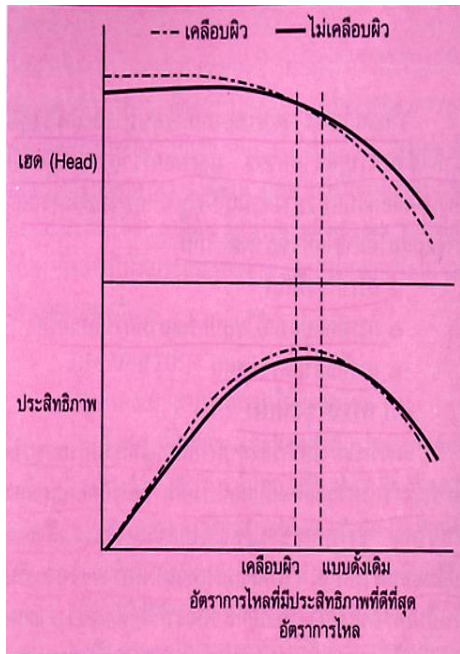


รูปที่ 5-29 การซ่อมบำรุงที่มีผลต่อคุณลักษณะสมบัติ

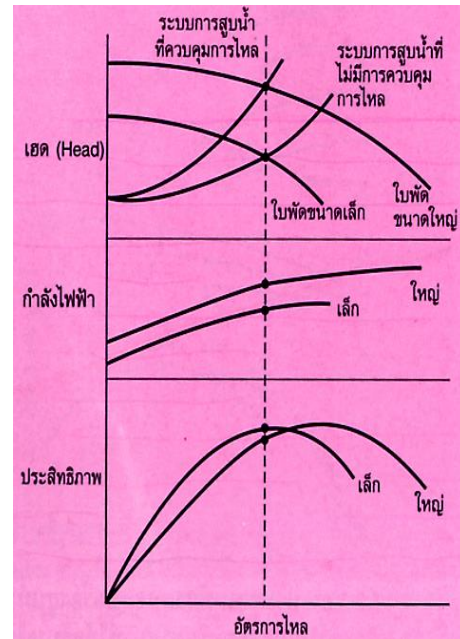
5.7.2 การบำรุงรักษา

การที่จะทำให้ปั๊มที่สึกหรอกลับมาสมบูรณ์และมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับตอนเริ่มต้นอย่างน้อยที่สุดต้องซ่อมใหญ่ อาจรวมถึงการเปลี่ยนชิ้นส่วนหมุน (ใบพัดและแฉวน) แบริ่ง และประเก็น อย่างไรก็ตาม ภายหลังจากการซ่อมใหญ่ระยะช่องว่างต่างๆ ภายในโครงสร้างของปั๊มจะไม่เหมือนช่วงติดตั้งใหม่

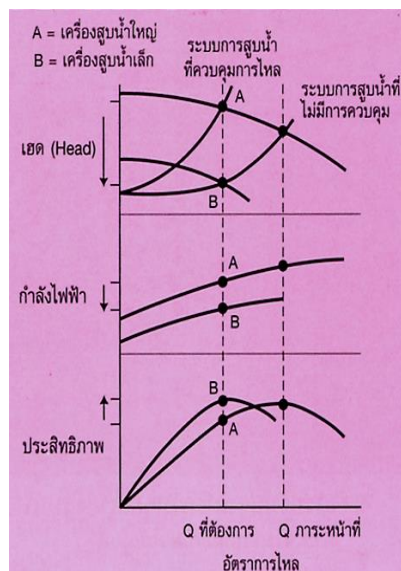
ดังนั้น ประสิทธิภาพปั๊มจะลดลงจากช่วงที่ติดตั้งใหม่ ประโยชน์ที่ได้จากการซ่อมใหญ่ ควรพิจารณาเป็นกรณีๆ ไป ค่าใช้จ่ายของปั๊มน้ำส่วนใหญ่แล้วเป็นค่าใช้จ่ายในการเดินเครื่องโดยรวมตลอดการใช้งาน ดังนั้นการที่ประสิทธิภาพสูงขึ้นเพียงเล็กน้อยก็ถือว่า คุ่มค่าในการปรับปรุง และมีข้อสังเกตว่า ปั๊มน้ำที่สึกหรอ อัตราการไหลจะลดลง ถ้าทำการซ่อมบำรุงใหญ่ควรปรับอัตราการไหลให้ต่ำลงมาจากจุดทำงานเดิม เพื่อให้ได้ผลประหยัดมากที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 5-29



รูปที่ 5-30 การเคลือบผิวที่มีผลต่อคุณลักษณะสมบัติของปั๊มน้ำ



รูปที่ 5-31 ผลจากการใช้ปั๊มน้ำที่มีขนาดเล็กลง



รูปที่ 5-32 ผลการลดขนาดของใบพัดต่อคุณลักษณะสมบัติปั๊มน้ำ

การบำรุงรักษาที่ช่วยส่งเสริมการประหยัด

- การทำความสะอาดตัวกรองที่บริเวณท่อทางเข้าของปั๊มอย่างสม่ำเสมอ
- การตรวจสอบวาล์วกันการไหลย้อนกลับ (Check Valve) อย่างสม่ำเสมอ
- การซ่อมแซมรอยรั่วต่าง ๆ

### 5.7.3 การปรับปรุงอุปกรณ์

#### (1) การเคลือบผิวภายใน

ได้มีการพัฒนาของกลุ่มของวัสดุที่ใช้สำหรับเคลือบผิวเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของพื้นผิวของวัสดุดั้งเดิมเพื่อลดการกัดกร่อน/การกัดเซาะ วัสดุเคลือบผิวประเภทนี้เหมาะสำหรับปั๊มน้ำที่เสียหายรุนแรงอันเนื่องมาจากการใช้งานกับของเหลวที่มีฤทธิ์กัดกร่อน วัสดุเคลือบผิวจะช่วยเคลือบป้องกันไม่ให้พื้นผิวถูกกัดกร่อนและไม่ทำให้ระยะช่องว่างต่าง ๆ ภายในปั๊มน้ำเปลี่ยนแปลง

#### การเคลือบผิวเพื่อลดการเสียดทาน

การเคลือบผิวเพื่อลดการเสียดทานแม้ว่าจะมี ประสิทธิภาพในการลดการกัดกร่อนไม่เท่าสารเคลือบผิวเพื่อลดการกัดกร่อนและการกัดเซาะ แต่ก็ยังเป็นวิธีที่สามารถนำมาใช้เพื่อป้องกันการกัดกร่อนได้ดี จุดประสงค์หลักของวิธีนี้ก็เพื่อปรับพื้นผิวให้มีความเรียบมากที่สุด (เมื่อเปรียบเทียบกับพื้นผิววัสดุเดิม) และเกิดการเสียดทานน้อยที่สุดขณะที่อัตราการความเร็วของน้ำสูง ซึ่งวิธีนี้จะทำให้ปั๊มน้ำมีความดันและอัตราการไหลสูงขึ้น ดังนั้นการเคลือบผิวด้วยวิธีนี้จะทำให้มี ประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น

การเคลือบผิวเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพปั๊มน้ำมักจะเคลือบเฉพาะโครงปั๊มน้ำและด้านนอกของใบพัดเพื่อลดความสูญเสียจากการเสียดทานหลัก ซึ่งก็คือ ความสูญเสียที่ผิวของโครงปั๊มน้ำและความสูญเสียจากการเสียดทานที่ใบหมุน ดังรูปที่ 5-30

สรุปประโยชน์ที่ได้รับเพิ่มอย่างมีประสิทธิภาพจากการเคลือบผิว ได้แก่

- ปรับปรุงประสิทธิภาพของปั๊มน้ำทำให้ต้นทุนของการเดินเครื่องลดลง
- มีความคงทนต่อการกัดกร่อนบนชิ้นส่วนที่ได้เคลือบพื้นผิวไว้
- ยืดอายุการทำงานให้มีประสิทธิภาพสูงและทำให้อายุการใช้งานยาวนานเมื่อเปรียบเทียบกับปั๊มน้ำที่ไม่ได้

เคลือบพื้นผิว

#### (2) การเปลี่ยนขนาดของใบพัด

ปั๊มน้ำที่ใช้กันอยู่ทั่วไปในอุตสาหกรรมใช้กับใบพัดได้หลายขนาด โดยใบพัดที่มีขนาดใหญ่ที่สุดจะทำให้การใช้งานมีประสิทธิภาพสูงสุด ดังแสดงในรูปที่ 5-31

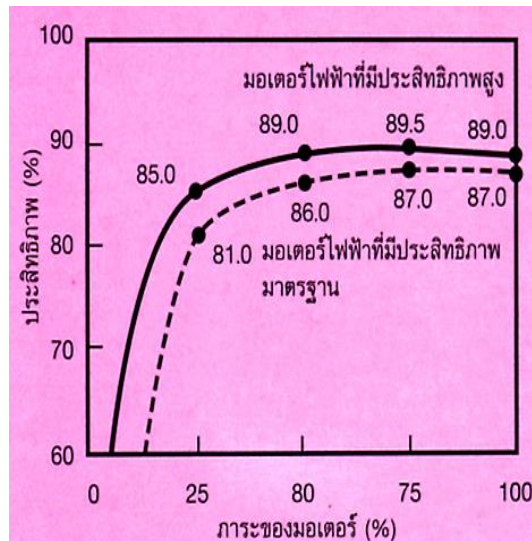
การเปลี่ยนขนาดของใบพัดจะช่วยประหยัดพลังงานจากการสูบน้ำได้ เช่น ถ้าปั๊มน้ำหรือวาล์ว ควบคุมการไหลอยู่เสมอ จะทำให้ไม่สามารถทำงานได้ที่ประสิทธิภาพสูงสุด จึงอาจนำใบพัดขนาดเล็กมาใช้เพื่อทำให้มีอัตราการไหลเท่าเดิมในระดับของความดันต่ำ ทำให้มีการใช้พลังงานลดลง

#### (3) การใช้ปั๊มน้ำที่มีขนาดเล็กลง

การใช้ปั๊มน้ำที่มีขนาดเล็กลงจะคุ้มค่า ถ้า

- ปั๊มมีขนาดใหญ่เกินกว่าภาระสูงสุดของปั๊มน้ำมาก
- ปั๊มน้ำมีประสิทธิภาพน้อยกว่า 80% ณ ระดับของภาระไหลสูงสุด
- มีการใช้พลังงานสูง นั่นคือ เมื่อปั๊มน้ำขนาดใหญ่เดินเครื่องเป็นระยะเวลาานาน เช่น ถ้าปั๊มน้ำที่ติดตั้งวาล์ว

ควบคุมการไหลเพื่อควบคุมอัตราการไหลให้ได้ตามความต้องการ อาจใช้ปั๊มน้ำที่มีขนาดเล็กกว่าที่ออกแบบเพื่อให้ส่งจ่ายน้ำด้วยอัตราการไหลเท่าเดิมแต่ด้วยประสิทธิภาพที่สูงขึ้นดังแสดงในรูปที่ 5-32



รูปที่ 5-33 การเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพของมอเตอร์มาตรฐานและมอเตอร์ประสิทธิภาพสูง ขนาด 7.5 kW

(4) มอเตอร์ไฟฟ้าประสิทธิภาพสูง

ปกติการขับเคลื่อนของมอเตอร์ไฟฟ้าจะมีประสิทธิภาพสูงกว่าปั้มน้ำที่มอเตอร์นั้นขับโดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้มอเตอร์ไฟฟ้าประสิทธิภาพสูง (Higher Efficiency Motor : HEMS) ซึ่ง HEMS จะมีประสิทธิภาพสูงกว่ามอเตอร์ไฟฟ้ามาตรฐานทั่ว ๆ ไปประมาณ 3 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้มอเตอร์ไฟฟ้าประสิทธิภาพสูงยังปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลัง (PF) ให้สูงขึ้น ดังรูปที่ 5-33

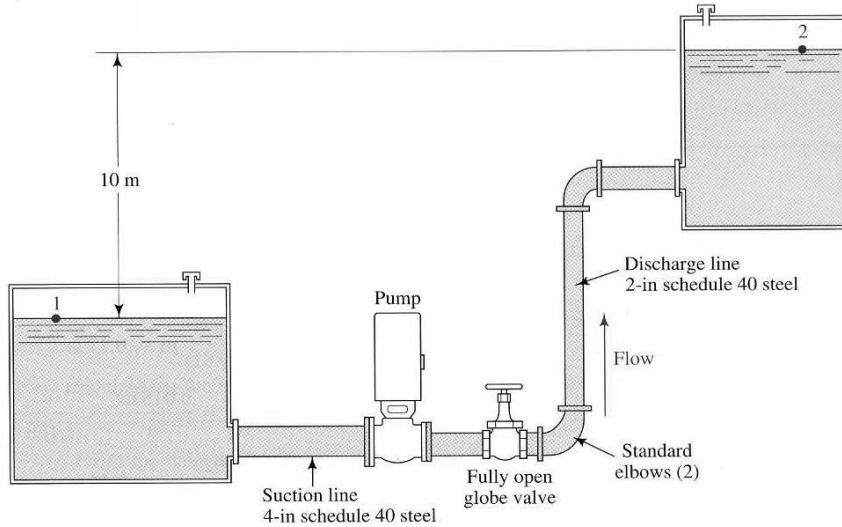
5.7.4 การจัดการตรวจสอบ

- การตรวจวัดประสิทธิภาพของปั้มน้ำเป็นเรื่องที่มีความยุ่งยากและข้อจำกัดมากมาย ทำให้โอกาสในการประเมินประสิทธิภาพของปั้มน้ำมีไม่มากนัก จึงมีการพัฒนาเทคนิคทางเทอร์โมไดนามิกส์มาคำนวณหาค่าประสิทธิภาพได้โดยตรงเพียงวัดอุณหภูมิและความดันตกคร่อมปั้มน้ำ ผลที่ได้สามารถนำไปเปรียบเทียบกับคุณสมบัติปั้มน้ำตามที่ผู้ผลิตให้รายละเอียดไว้
- การติดตามตรวจวัดการทำงานของปั้มน้ำ จะเป็นประโยชน์อย่างมากถ้าติดตั้งมาตรวัด ความดันที่ท่อดูด และท่อส่งของปั้มน้ำทุกเครื่องและติดตั้งแอมป์มิเตอร์สำหรับมอเตอร์ไฟฟ้า เพื่อให้แน่ใจว่าท่อดูดไม่อุดตันความสามารถในการทำงานของปั้มน้ำเมื่อเปรียบเทียบกับคุณลักษณะสมบัติของปั้มน้ำการคำนวณค่าใช้จ่ายในการเดินปั้มน้ำ
- การติดตามตรวจวัดการทำงานของระบบสำหรับปั้มน้ำขนาดใหญ่จะมีความคุ้มค่าที่จะใช้ระบบติดตามบันทึกค่าการใช้งานด้วยคอมพิวเตอร์ ซึ่งมีความสามารถในการควบคุมการเดินปั้มน้ำได้อีกด้วย ทำให้เห็นศักยภาพในการ ปรับการเดินปั้มน้ำให้สอดคล้องกับความต้องการการใช้น้ำการสูบน้ำเกินความต้องการการรั่วของน้ำ

5.8 กรณีศึกษา

5.8.1 กรณีศึกษาตัวอย่างการใช้งานปั้มน้ำอย่างมีประสิทธิภาพ

ระบบท่อส่งของไหลเมทิลแอลกอฮอล์ ออกแบบมาดังรูปที่ 5-34 โดยอัตราการสูบของไหลในระบบมีค่า 54.0 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง (m<sup>3</sup>/hr) จงหากำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการขับเคลื่อนปั้มน้ำหรือกำลังไฟฟ้าที่ต้นกำลังต้องให้กับปั้มน้ำที่มีประสิทธิภาพเท่ากับ 76 เปอร์เซ็นต์



**กำหนดให้** ที่จุดหมายเลข 1 และ 2 ของไหลมีความดันเท่ากับความดันบรรยากาศและความเร็วของของไหล (การลดระดับลงของน้ำที่จุด 1 และการเพิ่มระดับของน้ำที่จุด 2) มีค่าน้อยมากหรือประมาณเท่ากับศูนย์ ความยาวท่อตลอดรวมเท่ากับ 15 เมตร ขนาด 4 นิ้ว Schedule 40 steel pipe ส่วนความยาวท่อส่งรวมเท่ากับ 200 เมตร ขนาด 2 นิ้ว Schedule 40 steel pipe ค่าสัมประสิทธิ์ K ที่ช่องการไหลจากถัง 1 เข้าสู่ท่อคูดมีค่าเท่ากับ 0.5 (เป็นแบบ a squared-edged inlet) และค่าสัมประสิทธิ์ K ที่ช่องการไหลจากท่อส่งเข้าสู่ถัง 2 มีค่าเท่ากับ 1.0 คุณสมบัติของของไหลมีดังนี้

ค่าความหนาแน่นเท่ากับ  $\rho = 789 \text{ kg/m}^3$   
 ความหนืดไดนามิก (Dynamic viscosity)  $\mu = 5.6 \times 10^{-4} \text{ Pa}\cdot\text{s}$   
 ค่าความโน้มถ่วง  $g = 9.81 \text{ m/s}^2$

**วิธีการวิเคราะห์** เขียนสมการพลังงานโดยใช้สมการของเบอร์นูลี จากจุด 1 ไปยังจุด 2 ได้

$$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{V_1^2}{2g} + \text{TDH} - H_L = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{V_2^2}{2g} \quad (1)$$

เมื่อ

TDH = พลังงานต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของของไหลที่ปั๊มต้องให้กับของไหล (หน่วยเป็นเมตร)

$H_L$  = พลังงานสูญเสีย (เฮด) จากความฝืดรวมต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของของไหล (หน่วยเป็นเมตร) โดย

$$H_L = H_1 + H_2 + H_3 + H_4 + H_5 + H_6 \quad (2)$$

$H_1$  = เฮดสูญเสียจากการไหลจากถัง 1 เข้าท่อคูด

$H_2$  = เฮดความฝืดจากการไหลในท่อคูด

$H_3$  = เฮดสูญเสียจากการไหลผ่านโกลบวาล์ว

$H_4$  = เฮดสูญเสียจากการไหลผ่านข้องอ  $90^\circ$  สองตัวในระบบท่อ

$H_5$  = เฮดความฝืดจากการไหลในท่อส่ง

$H_6$  = เฮดสูญเสียจากการไหลจากท่อส่งเข้าสู่ถัง 2

เนื่องจากระดับน้ำลดลงอย่างช้า ๆ ดังนั้น  $V_1 = V_2 \approx 0$

จากอัตราการสูบที่กำหนดให้  $Q = 54.0 \text{ m}^3/\text{hr} = \frac{54.0\text{m}^3}{\text{hr}} \times \frac{1\text{hr}}{3600\text{s}} = 0.015 \text{ m}^3/\text{s}$

$$V_s = \frac{Q}{A_s} = \frac{0.015\text{m}^3/\text{s}}{\pi \times \left(\frac{0.1023}{2}\right)^2 \text{m}^2} = 1.83 \text{ m/s} \text{ (ความเร็วในท่อดูด)}$$

$$\frac{V_s^2}{2g} = \frac{(1.83)^2}{2 \times 9.81} = 0.17 \text{ m}$$

$$V_d = \frac{Q}{A_d} = \frac{0.015\text{m}^3/\text{s}}{\pi \times \left(\frac{0.0525}{2}\right)^2 \text{m}^2} = 6.92 \text{ m/s} \text{ (ความเร็วในท่อส่ง)}$$

$$\frac{V_d^2}{2g} = \frac{(6.92)^2}{2 \times 9.81} = 2.44 \text{ m}$$

จากนั้นคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ความฝืดจาก Moody Diagram

**สำหรับท่อดูด** (ตัวห้อย s หมายถึงท่อดูด)

$$Re_s = \frac{V_s D \rho}{\mu} = \frac{(1.83)(0.1023)(789)}{5.60 \times 10^{-4}} = 2.64 \times 10^5$$

สำหรับท่อเหล็กกล้า (Steel),  $\epsilon = 4.6 \times 10^{-5}$

$$\frac{D}{\epsilon} = \frac{0.1023}{4.6 \times 10^{-5}} = 2224$$

จากค่าทั้งสองข้างบนนำไปใช้หาค่า  $f_s$  จาก Moody Diagram ได้เท่ากับ 0.018

**สำหรับท่อส่ง** (ตัวห้อย d หมายถึงท่อส่ง)

$$Re_d = \frac{V_d D \rho}{\mu} = \frac{(6.92)(0.1023)(789)}{5.60 \times 10^{-4}} = 5.12 \times 10^5$$

สำหรับท่อเหล็กกล้า (Steel),  $\epsilon = 4.6 \times 10^{-5}$

$$\frac{D}{\epsilon} = \frac{0.0525}{4.6 \times 10^{-5}} = 1141$$

จากค่าทั้งสองข้างบนนำไปใช้หาค่า  $f_d$  จาก Moody Diagram ได้เท่ากับ 0.019

ต่อไปเราจะทำการคำนวณเฮดความฝืดในแต่ละค่าในสมการที่ (2)

$$H_1 = K \frac{V_s^2}{2g} = (0.5) (0.17 \text{ m}) = 0.09 \text{ m}$$

$$H_2 = f_s \times \frac{L}{D} \times \frac{V_s^2}{2g} = (0.018) \left( \frac{15}{0.1023} \right) (0.17 \text{ m}) = 0.45 \text{ m}$$

$$H_3 = f_d \times \frac{L_e}{D} \times \frac{V_d^2}{2g} = (0.019) (340) (2.44 \text{ m}) = 15.76 \text{ m}$$

โดยค่า  $\frac{L_e}{D}$  ของโกลบวาล์วที่เปิดเต็มที่ที่มีค่าเท่ากับ 340 ซึ่งค่า  $L_e$  คือค่าความยาวท่อเทียบเท่าของโกลบวาล์ว

$$H_4 = 2 f_d \times \frac{L_e}{D} \times \frac{V_d^2}{2g} = 2 (0.019) (30) (2.44 \text{ m}) = 2.78 \text{ m}$$

โดยค่า  $\frac{L_e}{D}$  ของข้องอ  $90^\circ$  มีค่าเท่ากับ 30

$$H_5 = f_d \times \frac{L}{D} \times \frac{V_d^2}{2g} = (0.019) \left( \frac{200}{0.0525} \right) (2.44 \text{ m}) = 185.9 \text{ m}$$

$$H_6 = K \frac{V_d^2}{2g} = (1) (2.44 \text{ m}) = 2.44 \text{ m}$$

นำค่าเสดความผิดไปแทนในสมการที่ 2 จะได้

$$\begin{aligned} H_L &= H_1 + H_2 + H_3 + H_4 + H_5 + H_6 \\ &= 0.09 + 0.45 + 15.67 + 2.78 + 185.9 + 2.44 \\ &= 207.4 \text{ m} \end{aligned}$$

จากนั้นนำค่า  $H_L$  ไปแทนในสมการที่ 1 และจาก  $P_1 = P_2 = 0$ ,  $V_1 = V_2 = 0$ ,  $Z_1 = 0$  และ  $Z_2 = 10 \text{ m}$  จะได้

$$\text{TDH} = 10 + 207.4 = 217.4 \text{ m}$$

กำลังที่ใช้ในการขับปั้ม,  $P_A$

$$P_A = \frac{\text{TDH} \cdot \gamma Q}{\eta_{\text{pump}} \times 1000} = \frac{(217.4 \text{ m})(7.74 \times 10^3 \text{ N/m}^3)(0.015 \text{ m}^3/\text{s})}{0.76 \times 1000} = 33.2 \text{ kW}$$

### ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงระบบดังนี้

1. ลดความยาวของท่อดูดลงจาก 15 เมตรเป็น 1.5 เมตร โดยให้ถึงหมายเลข 1 อยู่ที่เดิม ดังนั้น ท่อส่งจะยาวขึ้นเท่ากับ 213.5 เมตร
2. เพิ่มเกทวาล์ว(Gate valve)แบบเปิดเต็มที่ ที่ท่อดูด
3. เพิ่มขนาดของท่อส่งจาก 2 นิ้วไปเป็น 3 นิ้ว ดังนั้นจะทำให้เรากำนวณใหม่ได้  $V_d = 3.15 \text{ m/s}$  และเสดความเร็ว  $\frac{V_d^2}{2g} = 0.504 \text{ m}$  (จากค่าเดิม 2.44 m)
4. เปลี่ยนโกลบวาล์วที่ท่อส่งไปเป็นเกทวาล์วแบบเปิดเต็มที่

เมื่อทำการคำนวณใหม่เช่นเดียวกับวิธีข้างบน เราจะได้ค่า TDH = 37.9 เมตรหรือคิดเป็นกำลังที่ใช้ในการขับปั๊มใหม่ เป็น 5.8 kW ซึ่งมีค่าประมาณได้เป็น 1 ใน 6 ของกำลังไฟฟ้าค่าเดิม

### 5.8.2 มาตรการซ่อมแซมการรั่วไหลน้ำหล่อเย็น

มาตรการอนุรักษ์พลังงานปั๊มน้ำที่อยู่ในระบบทำน้ำเย็นของสถานประกอบการแห่งหนึ่ง เป็นมาตรการทางด้านการบำรุงรักษาเพื่อให้เกิดการประหยัดพลังงาน มีรายละเอียดแนวทางการดำเนินการดังนี้

#### ความเป็นมาและลักษณะการใช้งานของปั๊ม

ที่หอระบายความร้อน (Cooling Tower) ของสถานประกอบการ มีปั๊มน้ำระบายความร้อน (Cooling Water Pump) จำนวน 4 ตัว มีขนาด 37 kW/ตัว มีอัตราการไหลของน้ำ 340 m<sup>3</sup>/hr จำนวน 1 เครื่อง และ 420 m<sup>3</sup>/hr จำนวน 3 เครื่อง โดยปั๊มน้ำนี้จะทำงาน 24 ชม./วัน และ 330 วัน/ปี



สภาพปั๊มน้ำหล่อเย็นก่อนปรับปรุง



ก่อนปรับปรุงมีการรั่วไหลของน้ำ

#### ปัญหาของอุปกรณ์ / ระบบก่อนปรับปรุง

เนื่องจากปั๊มน้ำมีอายุการใช้งานเกินกว่าห้าปี มีสภาพค่อนข้างเก่าและซีลปั๊มชำรุดเสื่อมสภาพ ทำให้เกิดการรั่วไหลของน้ำหล่อเย็น ที่ปั๊มน้ำ No.1, 3 และ No.4 ปริมาณ 1.538 m<sup>3</sup>/h หรือ 36.912 m<sup>3</sup>/วัน ซึ่งเป็นการสูญเสียค่าน้ำประปา

| ปั๊มน้ำ | พิกัด kW | พิกัดอัตราการไหล m <sup>3</sup> /hr | กำลังไฟฟ้าวัตต์ได้ kW | อัตราการรั่วไหล m <sup>3</sup> /h | ค่ากำลังไฟฟ้าจำเพาะ kW/m <sup>3</sup> /hr |
|---------|----------|-------------------------------------|-----------------------|-----------------------------------|---|
| No.1    | 37       | 340                                 | 40.8                  | 0.072                             | 0.12                                      |
| No.3    | 37       | 420                                 | 37.8                  | 1.25                              | 0.09                                      |
| No.4    | 37       | 420                                 | 37.8                  | 0.216                             | 0.09                                      |
| รวม     | 111      | 1180                                | 116.4                 | 1.538                             | 0.094                                     |

#### แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินการมาตรการ

1. ตรวจสอบปริมาณน้ำที่รั่วไหลของปั๊มน้ำแต่ละตัว
2. ตรวจสอบกำลังไฟฟ้าของปั๊มน้ำแต่ละตัว
3. ทำการซ่อมปั๊มหอยโข่ง โดยรื้อปั๊มออกและ เปลี่ยนซีล เปลี่ยนลูกปืน และซ่อมสปีใหม่

#### สภาพหลังปรับปรุง

สามารถลดการสูญเสียของน้ำหล่อเย็นและค่าน้ำประปาได้ 244,837 บาท/ปี และอีกทั้งลดการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าได้ 1,112.96 kWh/ปี





หลังการปรับปรุง

|   |         |                          |
|---|---------|--------------------------|
| ระยะเวลาดำเนินการ                       | 1       | เดือน                    |
| เงินลงทุน                               | 23,400  | บาท                      |
| ผลประโยชน์ที่ได้ทั้งค่าน้ำประปาและค่าไฟ | 248,287 | บาท/ปี หรือ 0.095 toe/ปี |
| ระยะเวลาคืนทุน                          | 0.09    | ปี                       |

วิธีการคำนวณผลการอนุรักษ์พลังงาน

ปั๊มตัวที่ 1

|   |   |  |   |                            |
|---|---|--|---|----------------------------|
| - กำลังไฟฟ้า  | = | 40.8   |   | kW.                        |
| - อัตราการไหลของน้ำผ่านปั๊มตัวนี้                     | = | 340  |   | m <sup>3</sup> /hr         |
| - Specific power consumption<br>kW/m <sup>3</sup> /hr | = | (40.8 kW/340 m <sup>3</sup> /hr)                           | = | 0.12                       |
| - อัตราการรั่วของน้ำ (Q <sub>r</sub> )                | = | 60 x 1.2 x 10 <sup>-3</sup> m <sup>3</sup>                 | = | 0.072 m <sup>3</sup> /hr   |
| - กำลังไฟฟ้าที่สูญเสียเนื่องจากการรั่วไหล             | = | 0.072 m <sup>3</sup> /hr x 0.12 kW/m <sup>3</sup> /hr      | = | 8.64 x 10 <sup>-3</sup> kW |
| - พลังงานไฟฟ้าสูญเสียต่อปี                            | = | 8.64 x 10 <sup>-3</sup> x 24 x 330                         | = | 68 kWh/ปี                  |
| - ปริมาณน้ำรั่วตลอดทั้งปี                             | = | 72 x 10 <sup>-3</sup> m <sup>3</sup> /hr x 24 hr x 330 วัน | = | 570.24 m <sup>3</sup> /ปี  |

ปั๊มตัวที่ 3

|   |   |  |   |                            |
|---|---|--|---|----------------------------|
| - กำลังไฟฟ้า                              | = | 37.8   |   | kW.                        |
| - อัตราการไหลของน้ำผ่านปั๊มตัวนี้         | = | 420  |   | m <sup>3</sup> /hr         |
| - Specific power consumption              | = | (37.8 kW/420 m <sup>3</sup> /hr)                     | = | 0.09 kW/m <sup>3</sup> /hr |
| - อัตราการรั่วของน้ำ (Q <sub>r</sub> )    | = | 30 m <sup>3</sup> /24 hr                             | = | 1.25 m <sup>3</sup> /hr    |
| - กำลังไฟฟ้าที่สูญเสียเนื่องจากการรั่วไหล | = | 1.25 m <sup>3</sup> /hr x 0.09 kW/m <sup>3</sup> /hr | = | 0.1125 kW                  |
| - พลังงานไฟฟ้าสูญเสียต่อปี                | = | 0.1125 kW x 24 x 330                                 | = | 891 kWh/ปี                 |
| - ปริมาณน้ำรั่วตลอดทั้งปี                 | = | 1.25 m <sup>3</sup> /hr x 24 hr x 330 วัน            | = | 9,900 m <sup>3</sup> /ปี   |

ปั๊มตัวที่ 4

|   |   |                                  |   |                    |
|---|---|----------------------------------|---|--------------------|
| - กำลังไฟฟ้า  | = | 37.8                             |   | kW.                |
| - อัตราการไหลของน้ำผ่านปั๊มตัวนี้                     | = | 420                              |   | m <sup>3</sup> /hr |
| - Specific power consumption<br>kW/m <sup>3</sup> /hr | = | (37.8 kW/420 m <sup>3</sup> /hr) | = | 0.09               |

|  |   |   |   |                            |
|--|---|---|---|----------------------------|
| - อัตราการรั่วของน้ำ ( $Q_r$ )   | = | $(900/15 \times 60/1000 \times 60)$                                       | = | 0.216 m <sup>3</sup> /hr   |
| - กำลังไฟฟ้าที่สูญเสียเนื่องจากการรั่วไหล  | = | $0.216 \text{ m}^3/\text{hr} \times 0.09 \text{ kW/m}^3/\text{hr}$        | = | 0.01944 kW                 |
| - พลังงานไฟฟ้าสูญเสียต่อปี   | = | $0.01944 \text{ kW} \times 24 \times 330$                                 | = | 153.96 kWh/ปี              |
| - ปริมาณน้ำรั่วตลอดทั้งปี  | = | $0.216 \text{ m}^3/\text{hr} \times 24 \text{ hr} \times 330 \text{ วัน}$ | = | 1710.72 m <sup>3</sup> /ปี |
| ดังนั้นหลังจากทำการซ่อมระบบปั้มน้ำทั้งหมดพร้อมมรยรั่วจะประหยัดได้พลังงานไฟฟ้าได้ |   |   |   |                            |
|  | = | $68 + 891 + 153.96$   | = | 1,112.96 kWh / ปี          |

ค่าไฟฟ้าประหยัดได้ = 1,112.96 kWh/ปี x 3.10 บาท/kWh  
 = 3,450 บาท/ปี

ค่าน้ำประปาที่ประหยัดได้ = 570.24 + 9,900 + 1710.72 m<sup>3</sup>/ปี x 20.10 บาท/m<sup>3</sup>  
 = 244,837 บาท/ปี

ค่าน้ำประปาและค่าไฟฟ้าประหยัดรวม = 3,450 + 244,837 บาท/ปี  
 = 248,287 บาท/ปี

### 5.8.3 มาตรการปรับปรุงระบบปั้มน้ำ

มาตรการอนุรักษ์พลังงานปั้มน้ำที่อยู่ในบ่อของสถานประกอบการแห่งหนึ่ง เป็นมาตรการทางด้านการจัดการการใช้งานอุปกรณ์ เพื่อให้เกิดการประหยัดพลังงาน มีรายละเอียดแนวทางการดำเนินการดังนี้

#### ความเป็นมาและลักษณะการใช้งานของปั้ม

ในส่วนของระบบกรองน้ำเพื่อจ่ายให้กับกระบวนการผลิตมีระบบปั้มน้ำดิบเพื่อสูบน้ำจากแหล่งน้ำเข้าสู่ระบบการกรองน้ำ โดยใช้ปั้มน้ำขนาด 15 kW จำนวน 2 ตัว เพื่อจ่ายน้ำดิบ 130 ลูกบาศก์เมตร/ชม. ทางทีมงานอนุรักษ์พลังงานเห็นควรมีปรับปรุงระบบปั้มน้ำดิบเพื่อลดจำนวนปั้มน้ำจาก 2 ตัวให้เหลือเพียง 1 ตัวแต่ยังสามารถจ่ายน้ำดิบ 130 ลูกบาศก์เมตร/ชม. ได้เหมือนเดิมเพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้า

#### แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินงาน

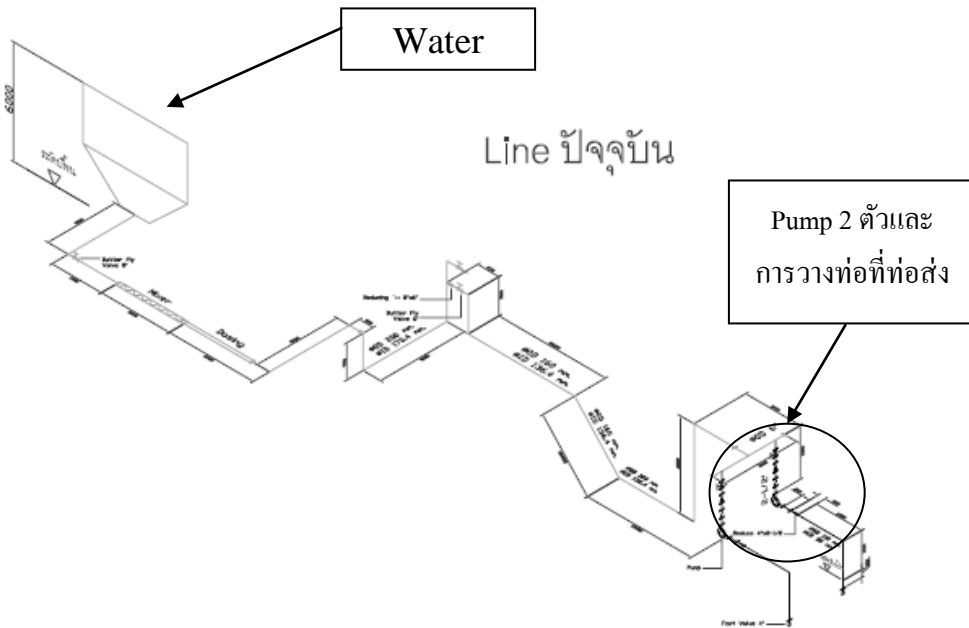
ทำการสำรวจการใช้งานระบบปั้มน้ำเพื่อหาแนวทางลดการใช้พลังงาน จากการตรวจสอบพบว่าที่บ่อ 6 ซึ่งเป็นบ่อจ่ายน้ำดิบให้กับโรงกรองน้ำมีการใช้ปั้มน้ำสองตัวในการสูบน้ำ ทางทีมงานอนุรักษ์เห็นว่าท่อที่ใช้ในทางดูดมีขนาด 4 นิ้ว และจากการใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Piping Fluid Flow System ทางทีมงานได้ทำการออกแบบระบบท่อใหม่ สามารถลดการใช้ปั้มให้เหลือตัวเดียวได้และได้เพิ่มขนาดท่อให้ใหญ่ขึ้นเป็น 8 นิ้วที่ท่อทางดูดเพื่อลดการสูญเสียภายในท่อ โดยค่าที่ใช้ในการตรวจมีดังนี้

- แรงดันไฟฟ้า (Voltage)
- กระแสไฟฟ้า (Current)
- กำลังไฟฟ้า (Power)

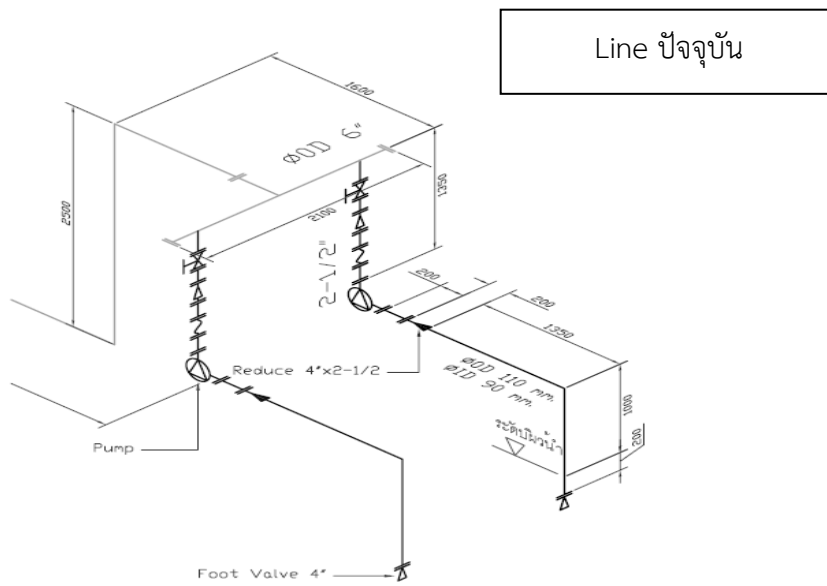
ซึ่งพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการสูบน้ำก่อนและหลังทำการปรับปรุงจะถูกนำมาเทียบกัน

ก่อนทำการปรับปรุง

ภาพแสดง Single line diagram ของระบบท่อที่ใช้ในการคำนวณในโปรแกรม Piping Fluid Flow System

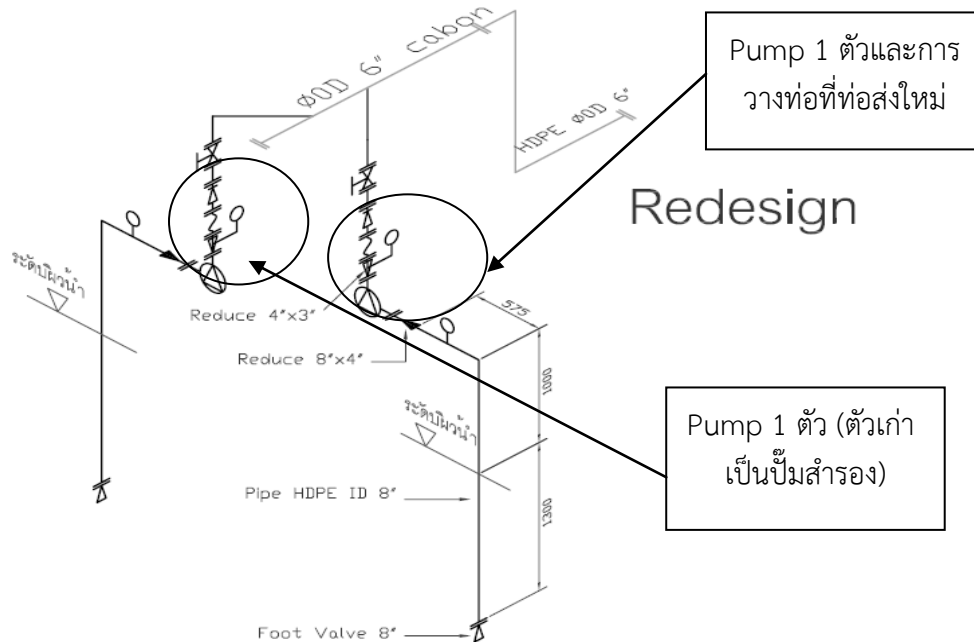


ภาพแสดงรายละเอียดการวางท่อขนาด 4 นิ้วก่อนการปรับปรุง



หลังทำการปรับปรุง

ภาพแสดง Single line diagram ของระบบท่อที่ออกแบบใหม่และใช้ในการคำนวณในโปรแกรม Piping Fluid Flow System



ระยะเวลาดี

|                  |             |        |             |
|------------------|-------------|--------|-------------|
| เงินลงทุน        | 153,000 บาท |        |             |
| ผลประโยชน์ที่ได้ | 48,307      | บาท/ปี | 1.33 toe/ปี |
| ระยะเวลาคืนทุน   | 3.2         | ปี     |             |

วิธีการคำนวณผลการอนุรักษ์พลังงาน

จากการออกแบบด้วยโปรแกรมพบว่าจะสามารถลดกำลังที่ใช้ในการสูบน้ำได้ลดลง 1.93 kW

|                                |   |  |         |
|--------------------------------|---|--|---------|
| ผลประโยชน์ (kWh/ปี)            | = | กำลังไฟของปั๊มลดลง x จำนวนชม.ที่ใช้ต่อวัน x จำนวนวันทำงานใน 1 ปี |         |
|                                | = | 1.93 x 24 x 336  |         |
|                                | = | 15,583   | kWh/ปี  |
| คิดเป็น                        | = | 15,583 x 85.21 x 10 <sup>-6</sup>                                |         |
|                                | = | 1.33   | toe/ปี  |
| หรือคิดเป็น                    | = | 15,583 kWh/ปี x 3.6  | MJ/kWh  |
|                                | = | 56,098.8   | MJ/ปี   |
| ค่าไฟฟ้าเฉลี่ย                 | = | 3.10   | บาท/kWh |
| คิดเป็นค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้ | = | 15,583 kWh/ปี x 3.10   | บาท/kWh |
|                                | = | 48,307   | บาท/ปี  |

การลงทุน

|                                  |   |                      |        |
|----------------------------------|---|----------------------|--------|
| การลงทุนราคาค่าปั๊มและการติดตั้ง | = | 153,000              | บาท    |
| คิดเป็นระยะเวลาในการคืนทุน       | = | เงินลงทุน/ผลประโยชน์ |        |
|                                  | = | 153,000 บาท/48,307   | บาท/ปี |
|                                  | = | 3.2                  | ปี     |

### 5.8.4 มาตรการเปลี่ยนท่อเฟล็กของปั้มน้ำ

มาตรการอนุรักษ์พลังงานปั้มน้ำที่อยู่ในสถานประกอบการแห่งหนึ่งเป็นมาตรการทางด้านการปรับเปลี่ยนอุปกรณ์เพื่อให้เกิดการประหยัดพลังงาน มีรายละเอียดแนวทางการดำเนินการดังนี้

#### ความเป็นมาและลักษณะการใช้งานปั้มน้ำ

เนื่องจากการใช้ปั้มน้ำที่บ่อน้ำดิบ 4 ตัว ขนาดของปั้มน้ำแต่ละตัวละ 30 kW เดินเครื่อง 24 ชั่วโมงต่อวัน, 150 วันต่อปี จากการสำรวจพบว่าท่อเฟล็กมีสภาพชำรุด ซึ่งจากการสอบถามทางโรงงานพบว่ามักมีการชำรุดอยู่เสมอ ทั้งนี้การติดตั้งตำแหน่งของท่อเฟล็กไม่เหมาะสมจึงทำให้ชำรุดเร็วกว่าปกติ เมื่อชำรุดแล้วจะทำให้หน้าที่ท่อทางดูดถูกดูดเข้าได้ไม่เต็มที่ จึงเป็นการสิ้นเปลืองพลังงานโดยใช้เหตุ

#### ปัญหาของอุปกรณ์/ระบบก่อนปรับปรุง

ท่อเฟล็กของปั้มน้ำหนึ่งตัวมีการชำรุด สังเกตได้จากเสียงที่ดังมากและท่อยุบตัวลงไป ดังนั้นต้องมีการแก้ไขโดยด่วน



รูปแสดงปั้มน้ำและท่อเฟล็กที่ชำรุด

#### สภาพหลังการปรับปรุง

ทำการเปลี่ยนท่อเฟล็กใหม่เป็นที่เรียบร้อยแล้ว



#### วิธีการคำนวณผลประหยัด

- ผลประหยัด

จากการตรวจวัดกำลังไฟฟ้า = 26.7 kW (พิกัด 30 kW)

จากการที่ท่อเฟล็กตีบลง น้ำที่สามารถดูดได้ลดลงไป 5 % ดังนั้นเมื่อเปลี่ยนเฟล็กใหม่จะสามารถลดการใช้พลังงานได้อย่างน้อย 5 %

พลังงานไฟฟ้าลดได้ =  $26.7 \text{ kW} \times 0.05 = 1.335 \text{ kW}$

พลังงานไฟฟ้าลดได้ต่อปี =  $1.335 \text{ kW} \times 24 \text{ h/day} \times 150 \text{ day/ปี}$   
= 4,806 kWh/ปี

คิดเป็น toe =  $4,806.8 \text{ kWh/ปี} \times 85.21 \times 10^{-6}$   
= 0.41 toe/ปี

คิดเป็นค่าไฟฟ้า =  $4,806 \text{ kWh/ปี} \times 2.79 \text{ บาท/kWh}$

= 13,408.7 บาท/ปี

การลงทุนและผลตอบแทนการลงทุน

- เงินลงทุน 2,000 บาท
- ระยะเวลาคืนทุน 0.12 ปี

**5.8.5 มาตรการการติดตั้งอินเวอร์เตอร์ควบคุมมอเตอร์ปั๊ม**

มาตรการอนุรักษ์พลังงานปั๊มน้ำโดยการติดตั้งอินเวอร์เตอร์ควบคุมมอเตอร์ปั๊มที่อยู่ในสถานประกอบการแห่งหนึ่ง เป็นมาตรการทางด้านการเพิ่มอุปกรณ์ควบคุมการใช้งาน เพื่อให้เกิดการประหยัดพลังงาน มีรายละเอียดแนวทางการดำเนินการ ดังนี้

หลักการและเหตุผลของมาตรการ

เนื่องจากการใช้ปั๊มน้ำกาก และปั๊มเสี้ยนใช้งานไม่เต็มประสิทธิภาพเป็นการสิ้นเปลืองพลังงานเพราะปัจจุบันใช้รีเลย์เวลา ซึ่งหากใช้ VSD เพื่อลดอัตราการสูบน้ำ จะทำให้ช่วยประหยัดไฟฟ้าได้

การรวบรวมข้อมูลเบื้องต้น

ถังกากมันสำปะหลังมีการใช้ปั๊มเพื่อที่จะปั๊มน้ำกากไปสู่เครื่องสะบัดน้ำแป้งและในส่วนของปั๊มน้ำเสี้ยนก็จะมีปั๊มน้ำเสี้ยนจาก ขบวนการผลิตไปสู่บ่อบำบัดน้ำเสี้ยน

เนื่องจาก ที่ถังกากมันสำปะหลังมีการใช้ปั๊มอยู่ ซึ่งปัจจุบันมีการหิววาล์ว ซึ่งเป็นการสิ้นเปลืองพลังงานเนื่องจากใช้งานไม่เต็มประสิทธิภาพ และในส่วนของปั๊มน้ำเสี้ยนก็มีลักษณะเช่นเดียวกับปั๊มน้ำกาก



ภาพก่อนปรับปรุงของมอเตอร์ปั๊มน้ำกากของเสี้ยน



ภาพหลังปรับปรุงของมอเตอร์ปั๊มน้ำกากของเสี้ยน

การสำรวจตรวจวัด

ในกระบวนการผลิตของโรงงาน มีการใช้ปั๊มน้ำกากขนาด 11 W วัดกำลังไฟฟ้าได้ 7.37 kW อัตราสูบน้ำ 100 % ของอัตราการไหลที่พิกัด ความเร็วรอบเครื่องสูบน้ำ 1,460 รอบต่อนาที จากการศึกษา พบว่าสามารถลดอัตราการสูบลงได้เหลือ 60 % ของอัตราการไหลที่พิกัด ปกติมีการเปิดใช้ปั๊มน้ำวันละ 2 ชั่วโมง ปีละ 300 วัน ค่าไฟฟ้าเฉลี่ย 2.70 บาทต่อหน่วย

|  |       |               |         |            |                         |
|--|-------|---------------|---------|------------|-------------------------|
| มอเตอร์ปั๊มหาก No.1-7 มีขนาดพิกัด      | 11.0  | kW            | มีจำนวน | 7          | ตัว                     |
| มอเตอร์ปั๊มน้ำเสีย มีขนาดพิกัด         | 55.0  | kW            | มีจำนวน | 1          | ตัว                     |
| ชั่วโมงการทำงาน                        | 22    | ชั่วโมงต่อวัน | 300     | วันต่อปี   | หรือ 6,600 ชั่วโมงต่อปี |
| ค่าไฟฟ้าเฉลี่ย                         | 2.70  | บาท/kWh       |         |            |                         |
| ความเร็วรอบเครื่องสูบน้ำก่อนปรับปรุง : | $n_1$ | =             | 1460    | รอบต่อนาที |                         |
| ความเร็วรอบเครื่องสูบน้ำหลังปรับปรุง : | $n_2$ | =             | -       | รอบต่อนาที |                         |

การวิเคราะห์ทางเทคนิค

จากสมการ

$$\left(\frac{Q_2}{Q_1}\right)^3 = \left(\frac{N_2}{N_1}\right)^3 = \left(\frac{kW_2}{kW_1}\right)$$

|        |     |  |
|--------|-----|--|
| $Q_1$  | คือ | อัตราสูบลก่อนปรับปรุง (100%)                           |
| $Q_2$  | คือ | อัตราสูบลหลังปรับปรุง (60%)                            |
| $N_1$  | คือ | ความเร็วรอบเครื่องสูบน้ำก่อนปรับปรุง (1460 รอบต่อนาที) |
| $kW_1$ | คือ | กำลังไฟฟ้าก่อนปรับปรุง (7.37 กิโลวัตต์)                |

**1. สำหรับมอเตอร์ปั๊มหาก No.1-7**

|                                   |   |   |            |
|-----------------------------------|---|---|------------|
| ความเร็วรอบหลังปรับปรุง ( $N_2$ ) | = | $(60 / 100) \times 1460$  | รอบต่อนาที |
|                                   | = | 876   | รอบต่อนาที |
| กำลังไฟฟ้าหลังปรับปรุง ( $kW_2$ ) | = | $7.37 \times (60 / 100)^3$                                      | กิโลวัตต์  |
|                                   | = | 1.59  | กิโลวัตต์  |
| พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้         | = | $(7.37-1.59) \times 22 \text{ ชม./วัน} \times 300\text{วัน/ปี}$ |            |
|                                   | = | 38,148  | kWh/ปี     |

**2. สำหรับมอเตอร์ปั๊มน้ำเสีย**

|                                   |   |  |            |
|-----------------------------------|---|--|------------|
| ความเร็วรอบหลังปรับปรุง ( $N_2$ ) | = | $(60 / 100) \times 1460$   | รอบต่อนาที |
|                                   | = | 876  | รอบต่อนาที |
| กำลังไฟฟ้าหลังปรับปรุง ( $kW_2$ ) | = | $41.86 \times (60 / 100)^3$  | กิโลวัตต์  |
|                                   | = | 9.04   | กิโลวัตต์  |
| พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้         | = | $(41.86 - 9.04) \times 22 \text{ ชม./วัน} \times 300\text{วัน/ปี}$ |            |
|                                   | = | 216,612  | kWh/ปี     |

ตารางผลการปรับปรุงติดตั้งอินเวอร์เตอร์ควบคุมมอเตอร์

| ชื่ออุปกรณ์<br>มอเตอร์ | กำลังไฟฟ้า (kW) |              |              | การใช้งาน(%) |          | การใช้งาน<br>(ชม./ปี) | กำลังไฟฟ้า<br>ลดลง(kW) |
|------------------------|-----------------|--------------|--------------|--------------|----------|-----------------------|------------------------|
|                        | พัก             | หรีวาล์ว     | ใช้ VSD      | เปิดวาล์ว    | หรีวาล์ว |                       |                        |
| 1.ปั๊มภาค No.1         | 11              | 7.37         | 1.59         | 100          | 60       | 6,600                 | 5.78                   |
| 2.ปั๊มภาค No.2         | 11              | 7.37         | 1.59         | 100          | 60       | 6,600                 | 5.78                   |
| 3.ปั๊มภาค No.3         | 11              | 7.37         | 1.59         | 100          | 60       | 6,600                 | 5.78                   |
| 4.ปั๊มภาค No.4         | 11              | 7.37         | 1.59         | 100          | 60       | 6,600                 | 5.78                   |
| 5.ปั๊มภาค No.5         | 11              | 7.37         | 1.59         | 100          | 60       | 6,600                 | 5.78                   |
| 6.ปั๊มภาค No.6         | 11              | 7.37         | 1.59         | 100          | 60       | 6,600                 | 5.78                   |
| 7.ปั๊มภาค No.7         | 11              | 7.37         | 1.59         | 100          | 60       | 6,600                 | 5.78                   |
| 8.ปั๊มน้ำเสีย          | 55              | 41.86        | 9.04         | 100          | 60       | 6,600                 | 32.82                  |
| <b>รวม</b>             | <b>132</b>      | <b>93.46</b> | <b>20.19</b> | <b>-</b>     | <b>-</b> | <b>-</b>              | <b>73.27</b>           |

พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้รวม = (38,148 × 7) + 216,612 kWh/ปี  
 = 483,648 kWh/ปี  
 คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้ = 483,648 × 2.70 บาท/ปี  
 = 1,305,850 บาท/ปี

การวิเคราะห์การลงทุน

- ค่าอินเวอร์เตอร์ ขนาด 11 kW ราคารวมค่าติดตั้ง 63,804 บาท/ชุด  
 รวม 7 ชุด = 446,628 บาท
- ค่าอินเวอร์เตอร์ ขนาด 55 kW ราคารวมค่าติดตั้ง 253,260 บาท/ชุด  
 คิดเป็นเงินลงทุนรวม ค่าติดตั้ง = 699,880 บาท  
 เมื่อเปรียบเทียบกับเงินที่ประหยัดที่ได้ = 1,305,850 บาท/ปี  
 ระยะเวลาคืนทุน = 0.54 ปี

เมื่อพิจารณาเงินลงทุนเปรียบเทียบกับผลที่ประหยัดได้จะทำให้อัตราผลตอบแทนการลงทุนสูงสุด เนื่องจากเงินลงทุนไม่มาก ซึ่งเป็นเหตุจูงใจให้ผู้บริหารง่ายต่อการตัดสินใจในการปรับปรุง

**5.8.6** มาตรการลดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบพัดปั๊มน้ำขนาด 19.8 ซม. เป็น 18.5 ซม.

มาตรการอนุรักษ์พลังงานปั๊มน้ำโดยการลดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบพัดปั๊มน้ำ ที่อยู่ในสถานประกอบการแห่งหนึ่ง เป็นมาตรการทางด้านปรับปรุงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้งาน เพื่อให้เกิดการประหยัดพลังงาน มีรายละเอียดแนวทางการดำเนินการดังนี้

หลักการและเหตุผลของมาตรการ

เนื่องจากการใช้น้ำระบายความร้อนอุปกรณ์การกลั่นสุรา จึงใช้ปั๊มน้ำจากหอผึ่งน้ำขึ้นระบบหอ กลั่น และไหลวนกลับสู่หอผึ่งน้ำเพื่อลดความร้อนของน้ำที่กลับมา โดยการแลกเปลี่ยนความร้อนกับลมซึ่งถูกดูดด้วยปั๊มน้ำเข้าทางด้านข้างหอผึ่งน้ำ ผ่านน้ำ แล้วออกทางด้านบนหอผึ่งน้ำ และน้ำถูกดูดด้วยปั๊มน้ำขึ้นหอกลั่นต่อไป

การรวบรวมข้อมูลเบื้องต้น

ปั๊มน้ำยี่ห้อ KSB รุ่น ETA NORM G 100 – 200 G 1 Q 300 m<sup>3</sup>/hr H 40 m 2900 RPM มอเตอร์ยี่ห้อ ABB 55 kW ปั๊มน้ำที่ใช้สูบน้ำขึ้นหอกลั่น มีขนาดโตเกินไป และปริมาณน้ำที่สูบน้ำได้มีจำนวนมากเกินความต้องการ จึงต้องปรับวาล์วทางส่งเพื่อลดปริมาณอัตราการไหลของน้ำลง





รูปแสดงมอเตอร์ปั้มน้ำขนาด 55 kW

การสำรวจตรวจวัด

ชั่วโมงการทำงาน 24 ชั่วโมงต่อวัน 365 วันต่อปี หรือ 8,760 ชั่วโมงต่อปี  
 ค่าไฟฟ้าเฉลี่ย 2.77 บาท/kWh  
 มอเตอร์ปั้มน้ำ ขนาด 55 kW ปั้มน้ำยี่ห้อ KSB รุ่น ETA NORM G 100 – 200 G 1  
 อัตราการไหล : Q 300 m<sup>3</sup>/hr , ความสูงน้ำ : H 40 m., ความเร็วรอบ 2900 rpm.

ในการใช้งานของปั้มน้ำภายในประกอบด้วยใบพัดสูบน้ำ ก่อนปรับปรุงมี ขนาด  $\phi$  19.8 ซม. และหลังปรับปรุงเป็น  $\phi$  18.5 ซม .

**ก่อนปรับปรุง** มีค่าทางไฟฟ้า

ตรวจวัด มอเตอร์ปั้มน้ำ กระแส 80A, แรงดัน 380V, PF 0.85 = 44.8 kW

**หลังปรับปรุง** มีค่าทางไฟฟ้า

ตรวจวัด มอเตอร์ปั้มน้ำ กระแส 66A, แรงดัน 380V, PF 0.85 = 36.9 kW

การวิเคราะห์ทางเทคนิค

- $I_{p1}$  คือ กระแสไฟฟ้ามอเตอร์ปั้มน้ำเทอร์โบ ก่อนปรับปรุง = 80.0 (A)
- $I_{p2}$  คือ กระแสไฟฟ้ามอเตอร์ปั้มน้ำเทอร์โบ หลังปรับปรุง = 66.0 (A)
- V คือ แรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ปั้มน้ำเทอร์โบ ที่ใช้งาน = 380 (V)
- PF คือ เพาเวอร์แฟคเตอร์ของมอเตอร์ปั้มน้ำเทอร์โบ ที่ใช้งาน = 0.85
- h คือ จำนวนชั่วโมงทำงาน = 24 (ชั่วโมงต่อวัน)
- d คือ จำนวนวันทำงานต่อปี = 365 (วันต่อปี)

พลังงานไฟฟ้าที่ลดลง = (กำลังไฟฟ้าก่อนปรับปรุง – กำลังไฟฟ้าหลังปรับปรุง) x h x d      kWh/ปี

$$\begin{aligned} \text{กำลังไฟฟ้าก่อนปรับปรุง} &= \frac{\sqrt{3} \times V \times I_{p1} \times PF}{1000} && \text{kW} \\ &= \frac{\sqrt{3} \times 380 \times 80 \times 0.85}{1000} && \text{kW} \end{aligned}$$

|                          |   |  |        |
|--------------------------|---|--|--------|
|                          | = | 44.8   | kW     |
| กำลังไฟฟ้าหลังปรับปรุง   | = | $\frac{\sqrt{3} \times V \times I_{P2} \times PF}{1000}$ | kW     |
|                          | = | $\frac{\sqrt{3} \times 380 \times 60 \times 0.85}{1000}$ | kW     |
|                          | = | 36.9   | kW     |
| พลังงานไฟฟ้าที่ลดลง      | = | (44.8 – 36.9) × 24 × 365                                 | kWh/ปี |
|                          | = | 49,204   | kWh/ปี |
| คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้ | = | 49,204 × 2.77  | บาท/ปี |
|                          | = | 191,695  | บาท/ปี |

การวิเคราะห์การลงทุน

เป็นการปรับลดขนาดใบพัดปั๊มน้ำที่เดิมมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 19.8 ซม. เป็น 18.5 ซม. โดยใช้มอเตอร์ปั๊มเดิมขนาด 55 kW ที่ดำเนินปรับปรุงได้เอง ทำให้ไม่มีค่าใช้จ่าย

|   |   |         |        |
|---|---|---------|--------|
| คิดเป็นเงินลงทุนรวม                     | = | -       | บาท    |
| เมื่อเปรียบเทียบกับเงินที่ประหยัดที่ได้ | = | 191,695 | บาท/ปี |
| ระยะเวลาคืนทุน                          | = | -       | ปี     |

เมื่อพิจารณาเงินลงทุนเปรียบเทียบกับผลที่ประหยัดที่ได้ เนื่องจากไม่มีค่าใช้จ่าย ซึ่งเป็นเหตุจูงใจให้ผู้บริหารง่ายต่อการตัดสินใจในการปรับปรุง

การดำเนินการปรับปรุง

1. เก็บข้อมูลการใช้งานก่อนและหลังปรับ
2. วิเคราะห์และประเมินผลประหยัด และการลงทุน
3. จัดวางการปรับปรุงความแตกต่างของมอเตอร์ชุดใหม่และเก่า
4. วิเคราะห์ผลประหยัดพลังงานที่ได้

จากการตรวจสอบ พบว่า มอเตอร์ปั๊มน้ำเดิมที่มีขนาด 55 kW ปรับลดขนาดของใบพัดปั๊มน้ำแล้วทำให้ปั๊มน้ำปั๊มน้ำในอัตราการไหลลดลง และมีการใช้ไฟฟ้าลดลง



รูปแสดงปั๊มน้ำหลังการปรับปรุง

### 5.8.7 มาตรการติดตั้งระบบ VSD ให้ปั๊มจ่ายน้ำอ่อนและปั๊มจ่ายน้ำ RO

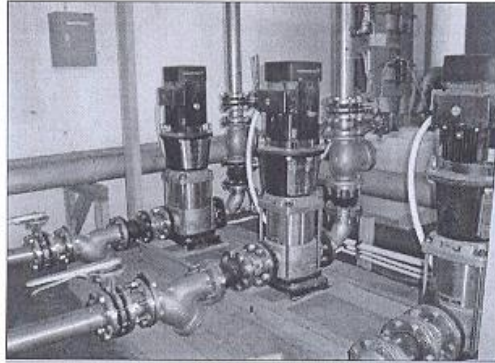
#### สภาพก่อนการปรับปรุง

##### ระบบปั๊มจ่ายน้ำอ่อน

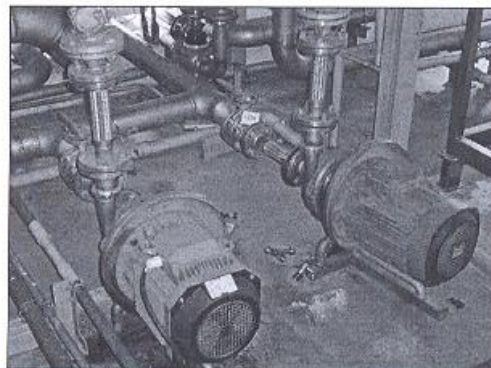
ประกอบด้วยปั๊มน้ำ ขนาด 7.5 kW จำนวน 3 ตัว โดยจะเปิดใช้งานพร้อมกันทั้ง 3 ตัว ทำงาน 24 ชม./วัน 300 วัน/ปี น้ำอ่อนจะนำไปผสมกับน้ำนม และใช้ในกระบวนการล้างทำความสะอาดเครื่องผสม ซึ่งความต้องการในการใช้น้ำอ่อนจะไม่คงที่

##### ระบบปั๊มจ่ายน้ำ RO

ประกอบด้วยปั๊ม ขนาด 5.5 kW จำนวน 2 ตัว โดยเปิดใช้งานพร้อมกันทั้ง 2 ตัว จำนวน 24 ชม./วัน 300 วัน/ปี น้ำ RO จะนำไปผสมกับน้ำนม ซึ่งความต้องการในการใช้น้ำ RO จะไม่คงที่



รูปแสดงปั๊มน้ำที่ใช้ในการส่งจ่ายระบบน้ำอ่อนให้กับเครื่องจักรในกระบวนการผลิต



รูปแสดงปั๊มน้ำที่ใช้ในการส่งจ่ายระบบน้ำ RO ให้กับเครื่องจักรในกระบวนการผลิต

#### แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินงาน

หลักการตรวจวัด สำหรับมาตรการติดตั้งระบบ VSD ให้ปั๊มจ่ายน้ำอ่อนและปั๊มจ่ายน้ำ RO จะทำการตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าของปั๊มจ่ายน้ำอ่อนและปั๊มจ่ายน้ำ RO ที่ทำการปรับปรุงรวมทั้งปริมาณน้ำ เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับระหว่างก่อน และหลังปรับปรุงตามสภาพการใช้งานจริง

ในการดำเนินการตรวจวัดปั๊มจ่ายน้ำอ่อนและปั๊มจ่ายน้ำ RO การตรวจวัดจะดำเนินการจดบันทึกโดยดูจากมิเตอร์ไฟฟ้าของปั๊มจ่ายน้ำอ่อนและปั๊มจ่ายน้ำ RO พร้อมกับจดบันทึกมิเตอร์น้ำ ซึ่งทางโรงงานได้มีการจดบันทึกข้อมูลไว้บ้างแล้ว ทางที่ปรึกษาจึงเลือกข้อมูลมาทำการวิเคราะห์ กรณีละ 7 วัน ได้แก่ ระบบน้ำอ่อนก่อนปรับปรุง 7 วัน หลังปรับปรุง 7 วัน และระบบน้ำ RO ก่อนปรับปรุง 7 วัน หลังปรับปรุง 7 วัน

#### สภาพหลังการปรับปรุง

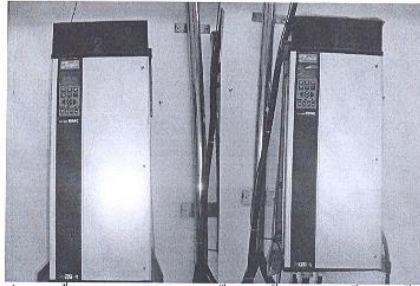
ผู้ประกอบการต้องการปรับปรุงระบบปั๊มจ่ายน้ำอ่อน และน้ำ RO ให้ที่ความเหมาะสมกับสภาพการใช้งานจริง โดยการปรับความเร็วของมอเตอร์ ด้วยการใส่ระบบ VSD เพื่อลดการใช้พลังงาน ซึ่งจะควบคุมการทำงานของ VSD ด้วย Pressure Sensor การปรับปรุงมีรายละเอียดเป็นดังนี้

**ระบบปั๊มจ่ายน้ำอ่อน**

ปรับปรุงโดยติดตั้ง VSD 1 ตัว ควบคุมการทำงานของปั๊ม 2 ตัว โดยมี Pressure Transmitter ตรวจจับแรงดันน้ำและส่งสัญญาณ 4-20 mA มาที่ VSD เพื่อให้มีการควบคุมปั๊มน้ำได้ตามความต้องการของโหลด ส่วนปั๊มน้ำอีกตัวจะเปิดใช้งานเต็มพิกัดของปั๊มน้ำ

**ระบบปั๊มจ่ายน้ำ RO**

ปรับปรุงโดยติดตั้ง VSD 1 ตัว ควบคุมการทำงานของปั๊มน้ำ 2 ตัว โดยมี Pressure Transmitter ตรวจจับแรงดันน้ำและส่งสัญญาณ 4-20 mA มาที่ VSD เพื่อให้มีการควบคุมปั๊มน้ำให้จ่ายน้ำได้ตามความต้องการของโหลด



รูปแสดงการติดตั้ง VSD ควบคุมระบบปั๊มจ่ายน้ำอ่อนและปั๊มจ่ายน้ำ RO

**มาตรการติดตั้งระบบ VSD ให้ปั๊มจ่ายน้ำอ่อน**

|                 |            |        |            |        |
|-----------------|------------|--------|------------|--------|
| เงินลงทุน       | 69,015     | บาท    |            |        |
| ผลประหยัดที่ได้ | 129,684.34 | kWh/ปี | 355,335.10 | บาท/ปี |
| ระยะเวลาคืนทุน  | 0.19       | ปี     |            |        |

**มาตรการติดตั้ง VSD ให้ปั๊มจ่ายน้ำ RO**

|                 |           |        |           |        |
|-----------------|-----------|--------|-----------|--------|
| เงินลงทุน       | 62,595    | บาท    |           |        |
| ผลประหยัดที่ได้ | 16,240.98 | kWh/ปี | 62,559.00 | บาท/ปี |
| ระยะเวลาคืนทุน  | 1.41      | ปี     |           |        |

**วิธีการคำนวณผลการอนุรักษ์พลังงาน**

**ก่อนการปรับปรุง**

การตรวจวัดการใช้พลังงานก่อนการปรับปรุง มาตรการติดตั้งระบบ VSD ให้ปั๊มจ่ายน้ำอ่อนและปั๊มจ่ายน้ำ RO มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

**ตาราง** รายละเอียดผลการบันทึกการใช้พลังงานจากมิเตอร์ไฟฟ้าและมิเตอร์ปั๊มน้ำอ่อน

| Date             | ไฟฟ้าที่ใช้<br>kWh/day | ปริมาณน้ำอ่อน<br>M <sup>3</sup> /day | kWh/m <sup>3</sup> |
|------------------|------------------------|--------------------------------------|--------------------|
| 24/4/2006        | 650                    | 2,177                                | 0.299              |
| 25/4/2006        | 668                    | 2,261                                | 0.295              |
| 26/4/2006        | 717                    | 2,416                                | 0.297              |
| 27/4/2006        | 714                    | 2,135                                | 0.334              |
| 28/4/2006        | 774                    | 2,219                                | 0.349              |
| 29/4/2006        | 553                    | 2,151                                | 0.257              |
| 30/4/2006        | 685                    | 1,802                                | 0.380              |
| <b>ค่าเฉลี่ย</b> | <b>680.14</b>          | <b>2,165.86</b>                      | <b>0.314</b>       |

ตาราง แสดงรายละเอียดผลการบันทึกการใช้พลังงานจากมิเตอร์ไฟฟ้าและมิเตอร์ป้อนน้ำ RO

| Date             | ไฟฟ้าที่ใช้<br>kWh/day | ปริมาณน้ำอ่อน<br>M <sup>3</sup> /day | kWh/m <sup>3</sup> |
|------------------|------------------------|--------------------------------------|--------------------|
| 24/4/2006        | 82                     | 169                                  | 0.485              |
| 25/4/2006        | 83                     | 164                                  | 0.508              |
| 26/4/2006        | 90                     | 199                                  | 0.452              |
| 27/4/2006        | 78                     | 151                                  | 0.516              |
| 28/4/2006        | 81                     | 205                                  | 0.395              |
| 29/4/2006        | 79                     | 102                                  | 0.775              |
| 30/4/2006        | 81                     | 136                                  | 0.696              |
| <b>ค่าเฉลี่ย</b> | <b>82.00</b>           | <b>160.78</b>                        | <b>0.510</b>       |

หลังการปรับปรุง

การตรวจวัดการใช้พลังงานหลังการปรับปรุง มาตรการติดตั้งระบบ VSD ป้อนจ่ายน้ำอ่อนและป้อนจ่ายน้ำ RO มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ตาราง แสดงรายละเอียดผลการบันทึกการใช้พลังงานจากมิเตอร์ไฟฟ้าและมิเตอร์ป้อนน้ำอ่อน

| Date             | ไฟฟ้าที่ใช้<br>kWh/day | ปริมาณน้ำอ่อน<br>M <sup>3</sup> /day | kWh/m <sup>3</sup> |
|------------------|------------------------|--------------------------------------|--------------------|
| 28/8/2006        | 152                    | 2,110                                | 0.072              |
| 29/8/2006        | 192                    | 2,251                                | 0.085              |
| 30/8/2006        | 271                    | 2,277                                | 0.119              |
| 31/8/2006        | 150                    | 2,163                                | 0.069              |
| 1/8/2006         | 210                    | 2,292                                | 0.092              |
| 2/8/2006         | 181                    | 2,109                                | 0.086              |
| 3/8/2006         | 162                    | 984                                  | 0.165              |
| <b>ค่าเฉลี่ย</b> | <b>188.29</b>          | <b>2,026.46</b>                      | <b>0.093</b>       |

ตาราง แสดงรายละเอียดผลการบันทึกการใช้พลังงานจากมิเตอร์ไฟฟ้าและมิเตอร์ป้อนน้ำ RO

| Date             | ไฟฟ้าที่ใช้<br>kWh/day | ปริมาณน้ำอ่อน<br>M <sup>3</sup> /day | kWh/m <sup>3</sup> |
|------------------|------------------------|--------------------------------------|--------------------|
| 14/8/2006        | 30                     | 116                                  | 0.259              |
| 15/8/2006        | 31                     | 160                                  | 0.194              |
| 16/8/2006        | 31                     | 234                                  | 0.132              |
| 17/8/2006        | 30                     | 203                                  | 0.148              |
| 18/8/2006        | 33                     | 226                                  | 0.146              |
| 19/8/2006        | 28                     | 192                                  | 0.146              |
| 20/8/2006        | 29                     | 138                                  | 0.210              |
| <b>ค่าเฉลี่ย</b> | <b>30.28</b>           | <b>181.26</b>                        | <b>0.167</b>       |

การวิเคราะห์ผลประหยัด

มาตรการติดตั้งระบบ VSD ให้ปั๊มจ่ายน้ำอ่อน

ปริมาณน้ำที่ใช้เฉลี่ยก่อนการปรับปรุงในเดือน พ.ศ. 2006 เท่ากับ 1,955 m<sup>3</sup>/วัน

ระบบทำงาน 300 วันต่อปี

ผลประหยัดพลังงานไฟฟ้าต่อปี ; kWh<sub>save</sub>

$$\begin{aligned} \text{kWh}_{\text{save}} &= (\text{kWh}/\text{m}^3_{\text{PRE}} - \text{kWh}/\text{m}^3_{\text{POST}}) \times \text{ปริมาณน้ำเฉลี่ยต่อวัน} \times \text{วันทำงานทั้งปี} \\ &= (0.314 - 0.093) \times 1,955 \times 300 \\ &= 129,684.34 \quad \text{kWh/ปี} \end{aligned}$$

ผลประหยัดทางการเงินที่เกิดขึ้น

$$\begin{aligned} \text{เงินที่ประหยัดได้ (บาท/ปี)} &= \text{ผลประหยัดพลังงานไฟฟ้า} \times \text{ค่าไฟฟ้าเฉลี่ย (บาท/kWh)} \\ &= 129,684.34 \times 2.74 \\ &= 355,335.10 \quad \text{บาท/ปี} \\ &= 69,051 \quad \text{บาท} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ระยะเวลาคืนทุน} &= 69,051/355,335.10 \\ &= 0.19 \quad \text{ปี} \end{aligned}$$

มาตรการติดตั้งระบบ VSD ให้ปั๊มจ่ายน้ำ RO

ปริมาณน้ำที่ใช้เฉลี่ยก่อนการปรับปรุงในเดือน พ.ศ. 2006 เท่ากับ 158 m<sup>3</sup>/วัน

ระบบทำงาน 300 วันต่อปี

ผลประหยัดพลังงานไฟฟ้าต่อปี ; kWh<sub>save</sub>

$$\begin{aligned} \text{kWh}_{\text{save}} &= (\text{kWh}/\text{m}^3_{\text{PRE}} - \text{kWh}/\text{m}^3_{\text{POST}}) \times \text{ปริมาณน้ำเฉลี่ยต่อวัน} \times \text{วันทำงานทั้งปี} \\ &= (0.510 - 0.167) \times 158 \times 300 \\ &= 16,240.98 \quad \text{kWh/ปี} \end{aligned}$$

ผลประหยัดทางการเงินที่เกิดขึ้น

$$\begin{aligned} \text{เงินที่ประหยัดได้ (บาท/ปี)} &= \text{ผลประหยัดพลังงานไฟฟ้า} \times \text{ค่าไฟฟ้าเฉลี่ย (บาท/kWh)} \\ &= 16,240.98 \times 2.74 \\ &= 44,500.30 \quad \text{บาท/ปี} \\ &= 62,559 \quad \text{บาท} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ระยะเวลาคืนทุน} &= 62,559/44,500.30 \\ &= 1.41 \quad \text{ปี} \end{aligned}$$

**5.8.8 มาตรการติดตั้งระบบ Step Control ให้ปั๊มจ่ายน้ำให้กับเครื่องจักรในกระบวนการผลิต**

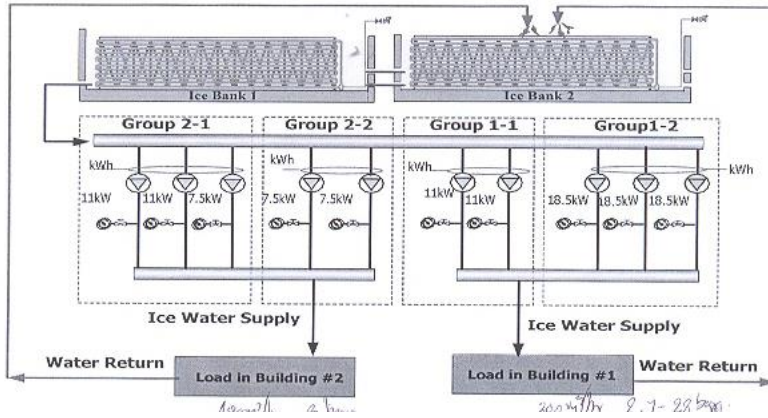
สภาพก่อนการปรับปรุง

สถานประกอบการมีระบบจ่ายน้ำเย็นของโรงงานมีปั๊มจ่ายน้ำเย็นให้เครื่องจักรในกระบวนการผลิต จำนวน 10 ตัว มีการแบ่งจ่ายน้ำเป็น 2 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 มีปั๊มน้ำทั้งหมด 5 ตัว ขนาด ขนาด 11 kW จำนวน 2 ตัวและขนาด 7.5 kW จำนวน 3 ตัว จ่ายน้ำให้เครื่องจักรที่อยู่ภายในอาคารที่ 1

ส่วนที่ 2 มีปั๊มน้ำทั้งหมด 5 ตัว ขนาด 11 kW จำนวน 2 ตัวและขนาด 18.5 kW จำนวน 3 ตัว จ่ายน้ำให้เครื่องจักรที่อยู่ภายในอาคารที่ 2 โหลดของน้ำเย็น แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ ระบบปรับอากาศแบบ AHU โดยการนำน้ำเย็นไปผ่านคอยล์เย็นเพื่อปรับอากาศให้แผนกต่าง ๆ ในอาคาร อีกส่วนคือ กระบวนการผลิต มี Plate Cooling water ใช้น้ำเย็นแลกเปลี่ยนกับนม เพื่อรักษาสภาพของนมไม่ให้เสีย ซึ่งลักษณะของโหลดในระบบจะมีการเปลี่ยนแปลงตลอดในการควบคุมจะใช้คนในการเปิด ปิด ปั๊มให้

เหมาะสมกับความต้องการใช้น้ำ ซึ่งบางครั้งจำเป็นต้องมีการเดินปั๊มทั้งหมดรองรับโหลดไว้ตลอดเวลาทำให้ต้องสูญเสียพลังงานไฟฟ้า



รูปแสดงการตรวจวัดก่อนการปรับปรุงปั๊มจ่ายน้ำให้กับเครื่องจักรในกระบวนการผลิต

แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินงาน

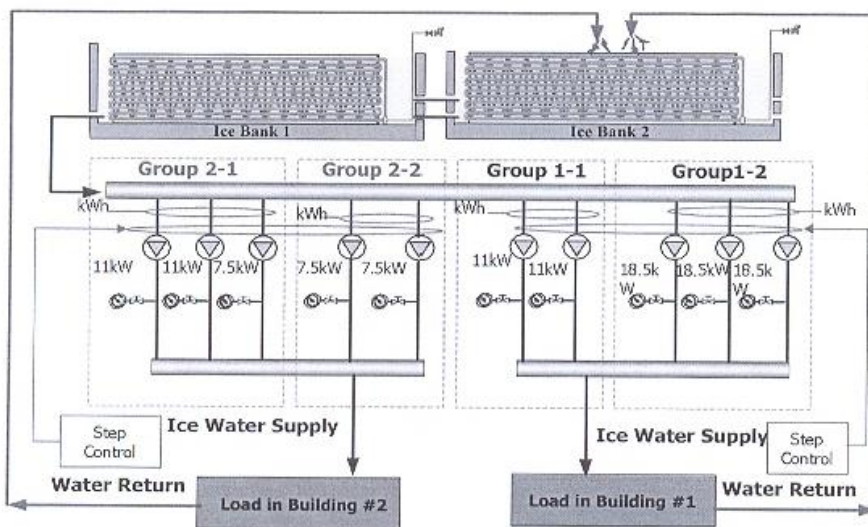
หลักการตรวจวัด สำหรับมาตรการติดตั้งระบบ Step Control ให้ปั๊มจ่ายน้ำให้กับเครื่องจักรในกระบวนการผลิตจะทำการตรวจวัดพลังงานไฟฟ้า ระบบปั๊มจ่ายน้ำให้กับเครื่องจักรในกระบวนการผลิตที่ทำการปรับปรุงเปรียบเทียบกับระหว่างก่อนและหลังการปรับปรุงตามสภาพการใช้งานจริง

ในการดำเนินการตรวจวัดระบบปั๊มจ่ายน้ำให้กับเครื่องจักรในกระบวนการผลิต จะทำการติดตั้งเครื่องบันทึกค่าทางไฟฟ้าติดตั้งที่ตำแหน่ง Main Circuit Breaker ที่ควบคุมปั๊มทั้ง 5 ตัว ของส่วนที่ 1 และที่ Main Circuit Breaker ที่ควบคุมปั๊มทั้ง 5 ตัว ของส่วนที่ 2 ค่าที่ทำการตรวจวัด มีดังนี้

- แรงดันไฟฟ้า (Voltage)
- กระแสไฟฟ้า (Current)
- กำลังไฟฟ้า (kW)
- ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (Power Factor)

สภาพหลังการปรับปรุง

ผู้ประกอบการต้องการเปลี่ยนมาติดตั้งระบบควบคุมการเปิด-ปิด ปั๊มแทนการใช้คนในการเปิด-ปิด



|                 |           |                         |
|-----------------|-----------|-------------------------|
| เงินลงทุน       | 40,000    | บาท                     |
| ผลประหยัดที่ได้ | 25,184.39 | kWh/ปี 68,501.55 บาท/ปี |
| ระยะเวลาคืนทุน  | 5.84      | ปี                      |

วิธีการคำนวณผลการอนุรักษ์พลังงาน

ก่อนการปรับปรุง

ทำการวัดการใช้พลังงานของ บั้มจ่ายน้ำให้กับเครื่องจักรในกระบวนการผลิตได้ดังนี้

ตารางสรุปข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยก่อนการปรับปรุง

| วัน/เดือน/ปี  | พลังงานไฟฟ้า (kWh) | กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย (kW) |
|---------------|--------------------|-----------------------|
| 10/2/2006     | 1,613.57           | 67.23                 |
| 11/2/2006     | 1,022.68           | 42.61                 |
| <b>เฉลี่ย</b> | <b>1,318.13</b>    | <b>54.92</b>          |

หลังการปรับปรุง

ทำการวัดการใช้พลังงานของ บั้มจ่ายน้ำให้กับเครื่องจักรในกระบวนการผลิตได้ดังนี้

ตารางสรุปข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยหลังการปรับปรุง

| วัน/เดือน/ปี  | พลังงานไฟฟ้า (kWh) | กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย (kW) |
|---------------|--------------------|-----------------------|
| 4/3/2006      | 1,456.51           | 60.69                 |
| 5/3/2006      | 1,011.85           | 42.16                 |
| <b>เฉลี่ย</b> | <b>1,234.18</b>    | <b>51.42</b>          |

การวิเคราะห์ผลประหยัด

ระบบทำงาน 300 วันต่อปี

ผลประหยัดพลังงานไฟฟ้าต่อปี ; kWh<sub>save</sub>

$$\begin{aligned}
 \text{kWh}_{\text{save}} &= (\text{kWh}/\text{day}_{\text{PRE}} - \text{kWh}/\text{day}_{\text{POST}}) \times \text{วันทำงานทั้งปี} \\
 &= (1,318.13 - 1,234.18) \times 300 \\
 &= 25,184.39 \quad \text{kWh/ปี}
 \end{aligned}$$

ผลประหยัดทางการเงินที่เกิดขึ้น

$$\begin{aligned}
 \text{เงินที่ประหยัดได้ (บาท/ปี)} &= \text{ผลประหยัดพลังงานไฟฟ้า} \times \text{ค่าไฟฟ้าเฉลี่ย (บาท/kWh)} \\
 &= 25,184.39 \times 2.74 \\
 &= 69,005.24 \quad \text{บาท/ปี} \\
 \text{เงินลงทุน} &= 400,000 \quad \text{บาท} \\
 \text{ระยะเวลาคืนทุน} &= 400,000/69,005.24 \\
 &= 5.80 \quad \text{ปี}
 \end{aligned}$$



## เอกสารอ้างอิง

1. Michael Volk, P.E., "Pump Characteristics and Applications", Taylor & Francis Group, 2<sup>nd</sup> edition, New York, 2005.
2. Paul N. Garay, "Pump Application Desk Book", Fairmont Press, 3<sup>rd</sup> edition, 1996.
3. Frank P. Bleier, "Fan handbook : selection, application, and design",
4. Hydraulic Institute, [www.pumps.org](http://www.pumps.org)
5. Food and Agriculture Organization of the United Nations, [www.fao.org](http://www.fao.org)
6. Lifewater Canada, [www.lifewater.ca](http://www.lifewater.ca)
7. Metzger & Willard, Inc., [www.metzgerwillard.com](http://www.metzgerwillard.com)
8. เอกสารเผยแพร่ชุด ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน เรื่อง เครื่องปั๊มน้ำ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี เผยแพร่โดย สำนักกำกับและอนุรักษ์พลังงาน, กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน
9. คู่มือการเดินเครื่องจักร การตรวจวัด และการบำรุงรักษาระบบอากาศอัด, กองฝีกอบรม กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, กระทรวงพลังงาน
10. ตำราฝีกอบรมผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน (ผชพ) เล่ม 2, PREs อ่าวุโส ด้านไฟฟ้า, กองฝีกอบรม กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, กระทรวงพลังงาน
11. อ.มโน สุวรรณคำ, วิศวกรรมการแปรรูปผลิตผลเกษตร, คณะวิศวกรรมเทคโนโลยีการเกษตร, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
12. พงศ์ศักดิ์ ชลธนะสวัสดิ์, "อุปกรณ์การให้น้ำพืชสมัยใหม่" ภาควิชาเกษตรกลวิธาน, คณะเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน
13. โคคิจ โอนิชิ, "คู่มือการใช้งานปั๊มชนิดทนทานต่อการกัดกร่อน", สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2542.
14. รศ.ดร.วิบูลย์ บุญยธโรกุล, "ปั๊มและระบบสูบน้ำ"
15. คู่มือฝีกอบรมการอนุรักษ์พลังงานภาคปฏิบัติด้านไฟฟ้า (Mini Plant), โครงการทดลองจัดระบบการสอบและการพัฒนาหลักสูตรฝีกอบรม PRE, กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน
16. คู่มือการตรวจสอบและวิเคราะห์การใช้พลังงาน, กองฝีกอบรม กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, กระทรวงพลังงาน
17. รศ.เกียรติ ลีวัจนกุล, วิศวกรรมชลศาสตร์, สำนักพิมพ์ SPEC, กรุงเทพฯ, 2537
18. ผศ.ดร.สุธรรม นิยมवास และบัญญัติ นิยมवास, เครื่องจักรกลของไหล, สำนักพิมพ์ วิทย์พัฒน์ จำกัด, กรุงเทพฯ, 2549
19. ดร.เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, การออกแบบระบบท่ออาคารและสิ่งแวดล้อมอาคาร, มิตรนราการพิมพ์, กรุงเทพฯ, 2537



## บทที่ 6

### การอนุรักษ์พลังงานสำหรับพัดลม (Energy conservation for fan)

#### ความสำคัญ

พัดลมเป็นอุปกรณ์ที่ช่วยให้เกิดการไหลของอากาศ ปัจจุบันพัดลมเป็นอุปกรณ์ที่มีใช้โดยทั่วไปในโรงงานและอาคาร อาทิ พัดลมในระบบระบายอากาศ พัดลมในระบบจ่ายลมเย็นภายในอาคาร พัดทำงานโดยใช้พลังงานไฟฟ้า ความรู้และความเข้าใจเกี่ยวกับปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพพลังงานของพัดลม จะช่วยให้ทราบถึงแนวทางในการใช้งานและบำรุงรักษาพัดลมอย่างถูกวิธี จะทำให้ประหยัดน้ำและไฟฟ้า

#### วัตถุประสงค์

1. ทราบชนิดและหลักการทำงานของพัดลม
2. ทราบปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพพลังงานของพัดลม
3. ทราบวิธีการสำรวจและประเมินประสิทธิภาพพลังงานของพัดลม
4. สามารถประเมินประสิทธิภาพพลังงานของพัดลมจากตัวอย่างข้อมูลการสำรวจ
5. ทราบแนวทางการอนุรักษ์พลังงานของพัดลม

#### 6.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับพัดลม

พัดลม เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการบังคับอากาศให้เคลื่อนที่ด้วยความกดดันต่างๆ พัดลมที่ใช้ในงาน วิศวกรรมส่วนใหญ่จะใช้งานในขอบข่ายอุตสาหกรรม การระบายอากาศ การทำความเย็น การลำเลียง การให้ความร้อน เป็นต้น

การกำหนดความหมายของคำว่า Fan และ Blower บางครั้งมักจะใช้สับสนกันอยู่เสมอๆ ดังนั้น สมาคมวิศวกรเครื่องกลแห่งประเทศไทยญี่ปุ่น Japan Society of Mechanical Engineers (JSME) จึงได้กำหนดความแตกต่างของอุปกรณ์ทั้งสอง ดังนี้

- **แฟน (Fan)** ใช้เรียกอุปกรณ์ที่ทำงาน ณ ความดันที่น้อยกว่า 1 เมตรน้ำ หรือ 1 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ( $\text{lb/in}^2$ ) หรือ 27.7 นิ้วของน้ำ หรือ 1,000 มิลลิเมตรน้ำ อุปกรณ์ในประเภทนี้ส่วนใหญ่จะมีชื่อเรียกว่า Centrifugal Fans, Fan และ Exhausters
- **โบลเวอร์ (Blower)** ใช้เรียกอุปกรณ์ที่ทำงาน ณ ความดันที่มากกว่า 1 เมตรน้ำ จนถึง 10 เมตรน้ำ

ในกรณีที่ต้องการสร้างอัตราการไหลของลมที่ความดันสูงกว่า 1 บาร์ หรือ 10 เมตรน้ำ จะต้องใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า เครื่องอัดอากาศ (Air Compressor)

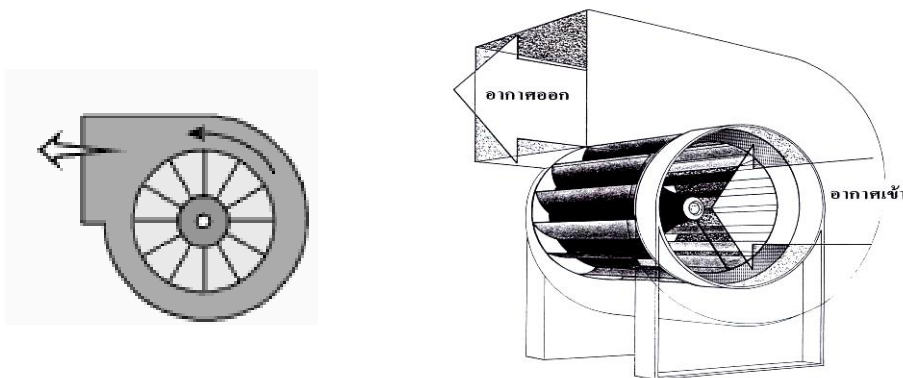
#### 6.2 ประเภทของพัดลม

พัดลมมีหลายชนิด ปัจจุบันได้มีการจัดแบ่งประเภทของพัดลมหลายรูปแบบ และมีการเรียกชื่อแตกต่างกันออกไปมากมาย การจัดประเภทของพัดลมสามารถแบ่งตามลักษณะการเคลื่อนที่ของอากาศ จะแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ พัดลมแบบหมุนเหวี่ยง (Centrifugal Flow Fan) และแบบพัดลมอากาศไหลตามแนวแกน (Axial Flow Fan) ซึ่งพัดลมแต่ละประเภทสามารถแบ่งออกเป็นชนิดย่อย ๆ ได้ดังนี้

### 6.2.1 พัดลมแบบหมุนเหวี่ยง (Centrifugal Flow Fan)

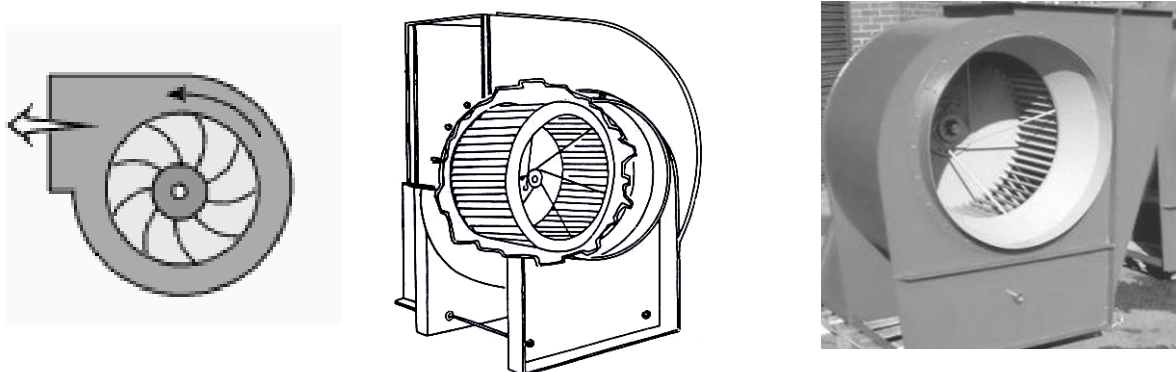
พัดลมแบบหมุนเหวี่ยงนี้ใช้ได้กับงานที่มีความต้านทานลมสูง หรือ “เฮดลมสูง” โดยการทำงานของพัดลม จะมีการไหลเข้าของอากาศขนานกับแกนของใบพัด และจะไหลออกในแนวตั้งฉากกับแกนของใบพัดหรือในแนวรัศมี โครงสร้างของพัดลมประเภทนี้จะประกอบด้วยใบพัดซึ่งหมุนอยู่ในตัวเรือนของพัดลม (Fan House) โดยชุดใบพัดจะประกอบด้วยแผ่นใบเล็ก ๆ ประกอบเข้าด้วยกันเป็นลักษณะงอ ความดันของอากาศจะถูกทำให้มีค่าสูงขึ้นภายในตัวเรือนของพัดลม ซึ่งสามารถเพิ่มค่าให้สูงขึ้นได้ด้วยการเพิ่มขนาดความยาวของใบพัด ซึ่งจะทำให้แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางภายในระบบมากยิ่งขึ้นนั่นเอง พัดลมประเภทนี้จำแนกตามลักษณะรูปร่างของใบพัดเป็น 3 แบบ คือ แบบใบพัดรัศมีตรง แบบใบพัดโค้งไปข้างหน้า และแบบใบพัดโค้งไปข้างหลัง

พัดลมแบบใบพัดรัศมีตรง (Straight Blade หรือ Radial Fans) จะมีเพลลาขนาดโต มีจำนวนซี่ใบพัด 5 – 20 ซี่ ลักษณะการสร้างเป็นใบล้อม้วนด้วยความเร็วรอบต่ำ และใบพัดจะอยู่ในแนวตั้งฉากกับเพลลา ใบพัดหมุนด้วยความเร็วรอบอย่างต่ำประมาณ 500 – 3,000 รอบ/นาที จึงเหมาะกับงานที่ต้องการปริมาตรของอากาศที่ถูกขับเคลื่อนจำนวนน้อย ๆ ที่มีค่าความกดดันของอากาศสูง ๆ เช่น ใช้เป็นพัดลมระบายอากาศเสียออกสู่ภายนอก เหมาะกับอาคารสภกรก หรืองานที่ใช้ในการขนถ่ายวัสดุซึ่งไหลผ่านตัวพัดลม ดังรูปที่ 6-1



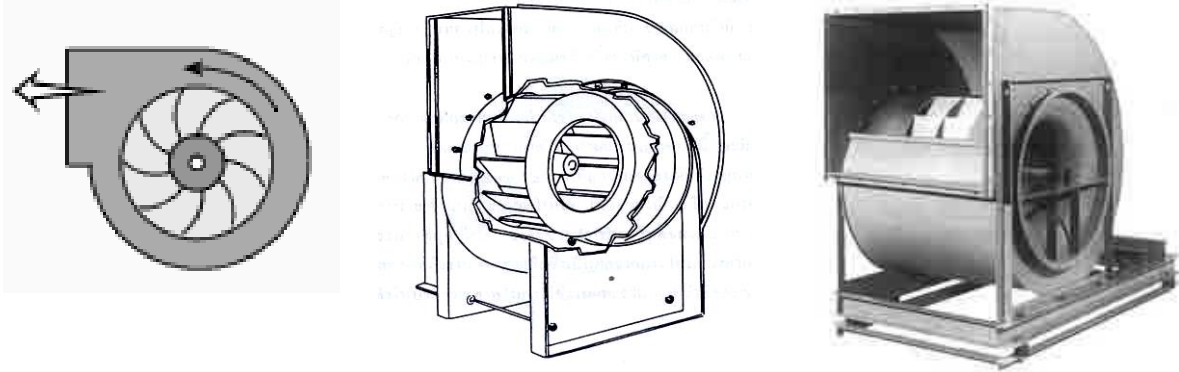
รูปที่ 6-1 พัดลมแบบใบพัดรัศมีตรง

พัดลมแบบใบพัดโค้งไปข้างหน้า (Forward Curved Blade Fans) จะมีใบพัดโค้งไปข้างหน้า ในทิศทางเดียวกับการหมุนของชุดใบพัด จะมีจำนวนแผ่นใบพัดประมาณ 20 – 64 ใบ ชุดใบพัดจะมีลักษณะคล้ายกับกรงกระรอก (Squirrel Cage) เพลลาใบพัดจะมีขนาดเล็กหมุนด้วยความเร็วรอบที่สูงกว่าพัดลมชนิดใบพัดตรง ส่วนความเร็วลมที่เคลื่อนที่ จะเร็วกว่าพัดลมใบพัดโค้งไปข้างหลัง การทำงานของพัดลมชนิดนี้มีเสียงเบาที่สุด มีข้อเสียคือจะมีลักษณะที่มอเตอร์จะทำงานเกินกำลัง และมีช่วงการทำงานของพัดลมที่ไม่เสถียร ดังนั้นจึงไม่ควรใช้กับงานหรือระบบที่มีอัตราการไหลของอากาศเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา พัดลมชนิดนี้จะให้ค่าความดันลมและอัตราการไหลของอากาศสูงที่สุด ดังรูปที่ 6-2



รูปที่ 6-2 พัดลมแบบใบพัดโค้งไปข้างหน้า

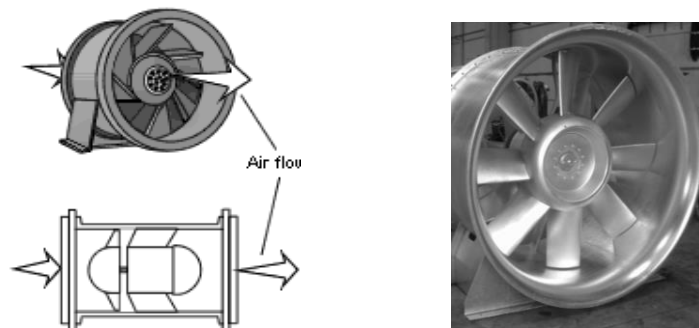
พัดลมแบบใบพัดโค้งไปข้างหลัง (Backward Curved Blade Fans) จะมีใบพัดเอียงไปข้างหลัง ในทิศทางตรงกันข้ามกับทิศทางการหมุนของใบพัด จะมีจำนวนใบพัดประมาณ 10 - 50 ใบ ซึ่งใบพัดจะไม่ถี่ละเอียดเท่ากับพัดลมใบพัดโค้งไปข้างหน้า และเป็นพัดลมที่มีความเร็วรอบสูง ไม่ก่อให้เกิดเสียงดังเกินควร ไม่มีลักษณะที่มอเตอร์จะทำงานเกินกำลัง และไม่มีช่วงการทำงานที่ไม่มีเสถียร จึงเหมาะที่จะใช้งานระบายอากาศและอากาศที่ใช้ต้องสะอาดด้วย เนื่องจากสามารถที่จะควบคุมความกดดันและปริมาณลมได้ง่าย พัดลมชนิดนี้จะมีราคาสูงกว่าชนิดอื่น ๆ เมื่อเทียบกับขนาดที่เท่ากัน ดังรูปที่ 6-3



รูปที่ 6-3 พัดลมแบบใบพัดโค้งไปข้างหลัง

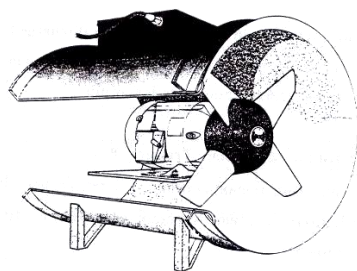
### 6.2.2 พัดลมแบบอากาศไหลตามแนวแกน (Axial Flow Fan)

พัดลมแบบนี้จะไหลขนานกับแกนของใบพัดและตั้งฉากกับระนาบการหมุนของใบพัด ชุดใบพัดจะถูกติดตั้งบนแกนเพลลาซ์ของมอเตอร์ต้นกำลัง ซึ่งอยู่ในตัวพัดลม ทำให้มอเตอร์สามารถระบายความร้อนออกไปกับอากาศที่ถูกขับเคลื่อน พัดลมชนิดนี้มีราคาถูก การทำงานของพัดลมมีเสียงดังเมื่อเปรียบเทียบกับพัดลมแบบหมุนเหวี่ยง และมีช่วงการทำงานของพัดลมที่ไม่มีเสถียร จึงเหมาะกับงานระบายอากาศ และงานที่มีความดันทานลมต่ำ พัดลมแบบนี้ส่วนมากมีขนาดเล็ก เคลื่อนย้ายง่าย สามารถแบ่งได้ 2 ชนิด คือ ลักษณะที่พัดลมเป็นเกลียว (Tube Axial Fans) และลักษณะที่พัดลมเป็นเส้นตรง (Vane Axial Fans) ดังรูปที่ 6-4

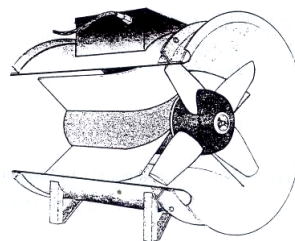


รูปที่ 6-4 พัดลมแบบอากาศไหลตามแนวแกน

พัดลมลักษณะที่พัดลมเป็นเกลียว (Tube Axial Fans) จะมีโครงสร้างประกอบด้วยชุดใบพัดซึ่งหมุนอยู่ในท่อรูปทรงกระบอกกลมที่ถูกขับเคลื่อนให้ผ่านชุดใบพัดจะหมุนเป็นเกลียว มีลักษณะการไหลแบบปั่นป่วนพัดลมชนิดนี้ให้ค่าความกดดันของลมปานกลาง ดังรูปที่ 6-5 และ 6-6



รูปที่ 6-5 ลักษณะที่พัดลมเป็นเกลียว



รูปที่ 6-6 ลักษณะที่พัดลมเป็นเส้นตรง

พัดลมลักษณะที่พัดลมเป็นเส้นตรง (Vane Axial Fans) จะมีแผ่นครีบบเพื่อใช้ในการบังคับการไหลของอากาศ ที่ถูกขับเคลื่อน ติดตั้งอยู่ภายในตัวเรือนของพัดลมบริเวณท่อทางออกบริเวณด้านหลังชุดใบพัด เพื่อช่วยในการไหลของอากาศที่ถูกขับเคลื่อนให้มีการไหลเป็นเส้นตรงมากที่สุด ซึ่งจะช่วยลดลักษณะการไหลของอากาศปั่นป่วนให้ลดลง และลดพลังงานสูญเสียเนื่องจากการไหลของอากาศปั่นป่วนภายในระบบให้น้อยลงด้วย ทำให้ประสิทธิภาพการใช้งานและราคาสูงกว่าพัดลมชนิด Tube Axial Fans

### 6.3 การสูญเสียพลังงานการไหลในท่อลม

การสูญเสียพลังงานการไหลในท่อลมเป็นส่วนสำคัญหนึ่งของการวิเคราะห์พลังงานในระบบพัดลม เสดการสูญเสียรวมในท่อลมจะประกอบด้วยเสดสูญเสียเนื่องจากความฝืดในท่อลม  $H_{Lf}$  และเสดสูญเสียเนื่องจากการไหลผ่านอุปกรณ์  $H_{Le}$

#### 6.3.1 เสดความฝืดในท่อลม

การสูญเสียพลังงานเนื่องจากความเสียดทานหรือเสดความฝืดในท่อลมสามารถประมาณค่าได้ด้วยวิธีเดียวกันกับการสูญเสียเนื่องจากเสดความฝืดของเหลว โดยใช้สมการของ Darcy-Weisbach ควบ คู่กับการใช้ Moody's Diagram (ดูหัวข้อ 5.3 เสดในบทที่ 5)

$$H_{Lf} = f \times \frac{L}{D} \times H_V \tag{6-1}$$

|       |       |   |                            |                                 |
|-------|-------|---|----------------------------|---------------------------------|
| เมื่อ | $f$   | = | สัมประสิทธิ์ของความฝืด     | ประมาณค่าได้จาก Moody's Diagram |
|       | $L$   | = | ความยาวของท่อ              |                                 |
|       | $D$   | = | ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ |                                 |
|       | $H_V$ | = | เสดความเร็ว                |                                 |

ในหน่วยเมตริก เสดความเร็วอาจแสดงในหน่วยของ Pa เมื่อคิดที่สภาวะมาตรฐานที่ความดัน 1 บรรยากาศ อุณหภูมิ 15 °C และความเร็ว  $V$  ในหน่วย m/s ค่า  $H_V$  จะคำนวณได้ดังสมการ

$$H_V = \frac{\gamma_a V^2}{2g} \tag{Pa}$$

$$H_V = \left( \frac{V}{1.289} \right)^2 \tag{Pa} \tag{6-2}$$

โดยที่  $\gamma_o$  คือค่าน้ำหนักจำเพาะของอากาศ นอกจากนั้นการใช้งานในหน่วยเมตริกในทางปฏิบัติ เสดความเร็วอาจแสดงในหน่วย เมตรน้ำ หรือมิลลิเมตรน้ำ ดังสมการข้างล่าง โดยที่ความเร็ว  $V$  มีหน่วยเป็น m/s

$$H_V = \frac{V^2}{2g} \cdot \frac{\gamma_a}{\gamma_w}$$

$$H_V = \left( \frac{V}{128} \right)^2 \tag{เมตรน้ำ} \tag{6-3}$$

$$H_V = \left( \frac{V}{4.04} \right)^2 \tag{มิลลิเมตรน้ำ} \tag{6-4}$$

เสดความฝืดในท่อลม  $H_{Lf}$  ที่คำนวณได้จากสมการ (6-1) จะมีหน่วยเดียวกันกับหน่วยของเสดความเร็ว  $H_V$  ที่เลือกใช้

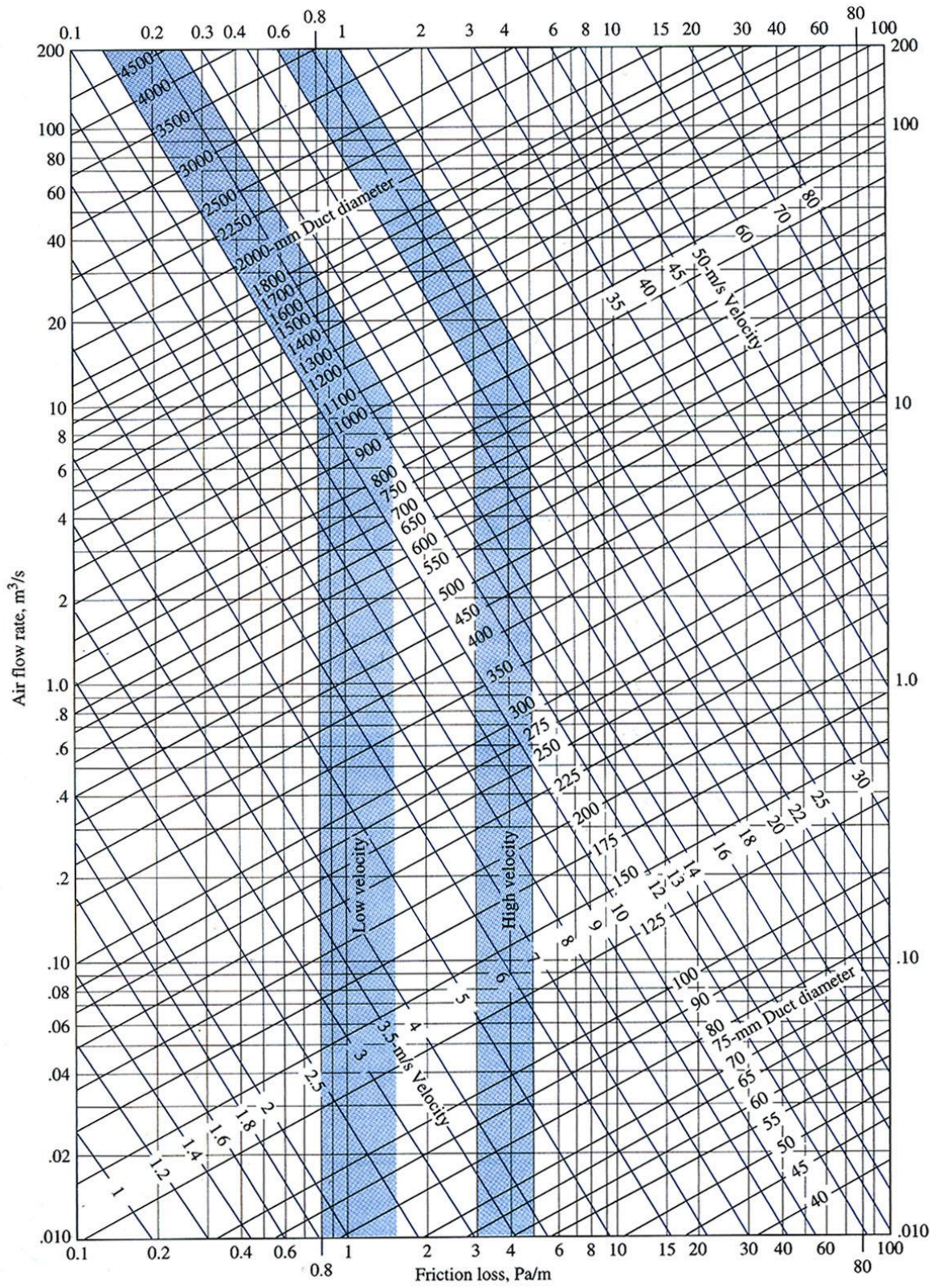
สำหรับในหน่วยอังกฤษนั้น เหน็ดความเร็วมักจะคำนวณให้มีหน่วยเป็นนิ้วน้ำในกรณีที่ความเร็ว  $V$  มีหน่วยเป็นฟุตต่ออนาที และค่าน้ำหนักจำเพาะของอากาศและน้ำ ( $\gamma_o$  และ  $\gamma_w$ ) คิดที่สภาวะมาตรฐานที่ความดัน 1 บรรยากาศ อุณหภูมิ 15 °C เหน็ดความเร็วคำนวณได้จาก

$$H_v = \left( \frac{V}{4005} \right)^2 \quad (\text{นิ้วน้ำ}) \quad (6-5)$$

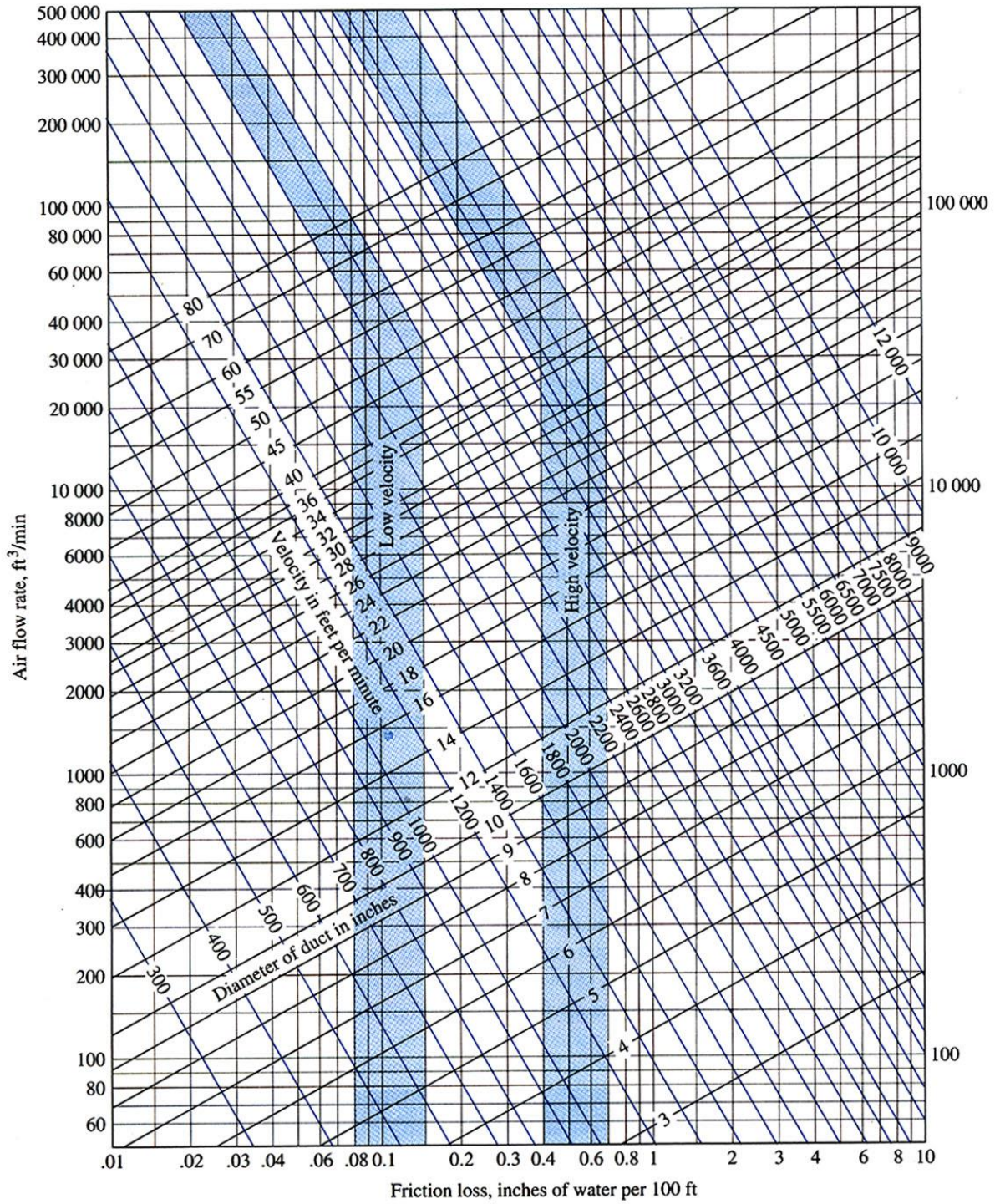
นอกจากการใช้สมการ Darcy-Weisbach ควบคู่กับการใช้ Moody's Diagram การประมาณค่าการสูญเสียเหน็ดเนื่องจากความเสียดทานในท่อลมยังสามารถประมาณได้จากการใช้กราฟ (รูปที่ 6-7 และ 6-8) ซึ่งเป็นไปตามข้อแนะนำของสมาคมวิศวกรการทำความร้อน ทำความเย็น และการปรับอากาศแห่งประเทศสหรัฐอเมริกา American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers (ASHRAE) โดยค่าการสูญเสียเหน็ดที่ได้จากกราฟ จะมีค่าเป็นหน่วย Pa/m ในหน่วยเมตริก และมีค่าเป็นหน่วยนิ้วน้ำต่อความยาวท่อ 100 ฟุต ในหน่วยอังกฤษ การประมาณการสูญเสียเหน็ดเนื่องจากความเสียดทานในท่อจากกราฟในรูปที่ 6-7 และ 6-8 จะมีค่าขึ้นอยู่กับอัตราการไหลและขนาดของท่อ ภายใต้งี๋งอิงตาราง

ตารางที่ 6-1 ตารางเงื่อนไขการประมาณเหน็ดความผิดด้วยกราฟในรูปที่ 6-7 และ 6-8

|                               | หน่วยอังกฤษ              | หน่วย SI                     |
|-------------------------------|--------------------------|------------------------------|
| อัตราการไหล                   | m <sup>3</sup> / s       | ft <sup>3</sup> / min (cfm)  |
| เหน็ดความผิด, H <sub>Lf</sub> | Pa / m                   | in H <sub>2</sub> O / 100 ft |
| ความเร็วลม                    | m / s                    | ft / min                     |
| เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ          | mm                       | in                           |
| น้ำหนักจำเพาะของลม            | 11.81 N / m <sup>3</sup> | 0.075 lb / ft <sup>3</sup>   |
| ความขรุขระของผนังท่อ          | 1.5 × 10 <sup>-4</sup> m | 5 × 10 <sup>-4</sup> ft      |
| ความดันและอุณหภูมิของลม       | 101.3 kPa ; 20 °C        | 14.7 psia ; 68 °F            |



รูปที่ 6-7 การสูญเสียในท่อลมเนื่องจากความเสียดทาน (หน่วยเมตริก)



รูปที่ 6-8 การสูญเสียในท่อลมเนื่องจากความเสียดทาน (หน่วยอังกฤษ)



ในกรณีที่ท่อลมมีลักษณะหน้าตัดเป็นทอสี่เหลี่ยม สามารถใช้เส้นผ่าศูนย์กลางเสมือนของท่อ (Equivalent Diameter,  $D_e$ ) ก็รูปที่ 6-7 และ 6-8 ในการประมาณค่าการสูญเสียเฮดความฝืด โดยประมาณค่าจากขนาดความกว้าง ( $a$ ) และยาว ( $b$ ) ของพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมของท่อ

$$D_e = \frac{1.3(ab)^{5/8}}{(a+b)^{1/4}} \tag{6-6}$$

ตารางที่ 6-2 แสดงเส้นผ่านศูนย์กลางเสมือน  $D_e$  ของท่อเหลี่ยมขนาดต่าง ๆ ที่คำนวณจากสมการข้างต้น

ตารางที่ 6-2 เส้นผ่านศูนย์กลางเสมือน  $D_e$  ของท่อเหลี่ยมขนาดต่าง ๆ

| Side $a$<br>(in) | Side $b$ (in) |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |
|------------------|---------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--|
|                  | 6             | 8    | 10   | 12   | 14   | 16   | 18   | 20   | 22   | 24   | 26   | 28   | 30   |  |
| 6                | 6.6           |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |
| 8                | 7.6           | 8.7  |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |
| 10               | 8.4           | 9.8  | 10.9 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |
| 12               | 9.1           | 10.7 | 12.0 | 13.1 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |
| 14               | 9.8           | 11.5 | 12.9 | 14.2 | 15.3 |      |      |      |      |      |      |      |      |  |
| 16               | 10.4          | 12.2 | 13.7 | 15.1 | 16.4 | 17.5 |      |      |      |      |      |      |      |  |
| 18               | 11.0          | 12.9 | 14.5 | 16.0 | 17.3 | 18.5 | 19.7 |      |      |      |      |      |      |  |
| 20               | 11.5          | 13.5 | 15.2 | 16.8 | 18.2 | 19.5 | 20.7 | 21.9 |      |      |      |      |      |  |
| 22               | 12.0          | 14.1 | 15.9 | 17.6 | 19.1 | 20.4 | 21.7 | 22.9 | 24.0 |      |      |      |      |  |
| 24               | 12.4          | 14.6 | 16.5 | 18.3 | 19.9 | 21.3 | 22.7 | 23.9 | 25.1 | 26.2 |      |      |      |  |
| 26               | 12.8          | 15.1 | 17.1 | 19.0 | 20.6 | 22.1 | 23.5 | 24.9 | 26.1 | 27.3 | 28.4 |      |      |  |
| 28               | 13.2          | 15.6 | 17.7 | 19.6 | 21.3 | 22.9 | 24.4 | 25.8 | 27.1 | 28.3 | 29.5 | 30.6 |      |  |
| 30               | 13.6          | 16.1 | 18.3 | 20.7 | 22.0 | 23.7 | 25.2 | 26.6 | 28.0 | 29.3 | 30.5 | 31.7 | 32.8 |  |

### 6.3.2 การสูญเสียเฮดเนื่องจากการไหลผ่านอุปกรณ์

ขณะลมไหลผ่านท่อตรง จะเกิดความฝืดระหว่างลมกับผิวท่อด้านใน การสูญเสียเฮดเนื่องจากความฝืดในท่อตรงได้กล่าวแล้วข้างต้น สำหรับการไหลผ่านข้อเสี้ยว ข้อต่อ (Fittings) ท่อสาขา (Branches) แคมเปอร์ เป็นต้น ลมจะมีการสูญเสียเฮดเช่นกัน การคำนวณเฮดสูญเสียเนื่องจากการไหลผ่านอุปกรณ์ จะพิจารณาจากเฮดความเร็วดังนี้

$$H_{Le} = K \times H_v \tag{6-7}$$

โดยที่  $K$  คือสัมประสิทธิ์ความต้านทานการไหลซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดและขนาดของอุปกรณ์ ซึ่งจะพิจารณาเหมือนกับกรณีการไหลของของเหลวในบทที่ 5 หรือดูจากตารางที่ 6-3 และ  $H_v$  คือค่าเฮดความเร็ว มีค่าในหน่วย Pa หรือเมตรน้ำ หรือมิลลิเมตรน้ำ ในระบบหน่วยเมตริก ดังสมการ (6-2) (6-3) และ (6-4) และมีค่าในหน่วยนิ้วน้ำสำหรับระบบหน่วยอังกฤษ ดังสมการ (6-5)

ตารางที่ 6-3 สัมประสิทธิ์ความต้านทานการไหล (K)

| ชนิดของอุปกรณ์                        | ค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานการไหล (K)    |
|---------------------------------------|---|
| ข้องอ 90°                             |   |
| ข้องอกลม ผิวเรียบ                     | 0.22                                    |
| ข้องอกลม งอ 5 ชั้น                    | 0.33                                    |
| ข้องอกลม งอ 4 ชั้น                    | 0.37                                    |
| ข้องอกลม งอ 3 ชั้น                    | 0.42                                    |
| ข้องอกลม ต่อฉาก                       | 1.20                                    |
| ข้องอสี่เหลี่ยม ผิวเรียบ              | 0.18                                    |
| ข้อต่อ T                              |   |
| ไหลผ่านท่อหลัก                        | 0.10                                    |
| ไหลแยกออกจากท่อหลัก (ไหลแยกไปท่อสาขา) | 1.00                                    |
| ข้อต่อ Y                              | 0.30                                    |
| แฉกเปอร์                              |   |
| เปิดเต็มที่                           | 0.20                                    |
| หรี 10°                               | 0.52                                    |
| หรี 20°                               | 1.50                                    |
| หรี 30°                               | 4.50                                    |
| หรี 40°                               | 11.00                                   |
| หรี 50°                               | 29.00                                   |
| บานเกร็ดทางด้านดูด (Intake Louvers)   | สมมติการสูญเสีย 0.07 นิ้วน้ำ หรือ 17 Pa |
| ตะแกรงลมออก (Outlet Grille)           | สมมติการสูญเสีย 0.06 นิ้วน้ำ หรือ 15 Pa |

#### 6.4 ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพพลังงานของพัดลม

ด้วยพัดลมเป็นอุปกรณ์ที่ขับเคลื่อนการไหลของลมในท่อ อากาศซึ่งถูกขับจากใบพัดของพัดลมจะทำให้อากาศมีค่าความกดดันสูงขึ้น เมื่อถูกส่งเข้าสู่ระบบท่อจะพบกับความต้านทานต่อการไหลของอากาศ ซึ่งเรียกว่า การลดลงของความดัน (Pressure Drop) ซึ่งเป็นผลจากการสูญเสียพลังงานอันเนื่องมาจากความเสียดทานภายในของระบบท่อและอื่น ๆ ดังนั้นพัดลมจึงต้องสร้างความแตกต่างของความดันรวม ทั้งทางด้านดูดและด้านจ่ายของระบบท่อ เพื่อให้อากาศไหลเข้าสู่ระบบท่อได้ตามปริมาณที่ต้องการและมีอัตราการไหลอย่างต่อเนื่อง ดังนั้นประสิทธิภาพพลังงานของพัดลมจึงขึ้นอยู่กับ การสูญเสียพลังงานซึ่งจะประกอบด้วย การสูญเสียเนื่องจากความฝืดในท่อลมและเฮดสูญเสียเนื่องจากการไหลผ่านอุปกรณ์

## 6.5 การตรวจสอบการทำงานและประสิทธิภาพพลังงานของพัดลม

การใช้พัดลมภายหลังการออกแบบและติดตั้ง จำเป็นต้องมีการตรวจสอบและบำรุงรักษาอย่างต่อเนื่องเป็นประจำ เพื่อให้พัดลมทำงานอย่างปกติและมีประสิทธิภาพ

### 6.5.1 ข้อมูลที่สำคัญที่ควรตรวจวัด

สำหรับข้อมูลในระบบพัดลมที่ต้องตรวจวัดจะประกอบด้วยข้อมูลเบื้องต้น และข้อมูลการใช้งานจริงโดยข้อมูลที่สำคัญมีดังนี้

1. สํารวจข้อมูลเบื้องต้นของพัดลม
2. สํารวจระบบและการเปิดใช้งานจริง
3. ตรวจวัดค่ากำลังไฟฟ้า
4. ตรวจวัดค่าความดันของอากาศ
5. ตรวจวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ

#### 6.5.1.1 การสำรวจข้อมูลเบื้องต้นของพัดลม

ขั้นตอนแรกในการรวบรวมข้อมูล คือการสำรวจข้อมูลเบื้องต้นของพัดลม เพื่อให้ทราบถึง Spec ของเครื่องที่มีการใช้งาน และข้อมูลประสิทธิภาพจากผู้ผลิต ซึ่งควรมีรายละเอียดในเรื่องของ

- ชนิดของพัดลมที่ใช้งาน ว่าเป็นแบบ Centrifugal หรือ Axial Flow เป็นต้น พร้อมทั้งควรระบุลักษณะของใบพัดด้วย
- ขนาดของพัดลม เช่น พิกัดกำลังไฟฟ้าของมอเตอร์พัดลม พิกัดอัตราการไหลของอากาศที่พิกัดความดันที่ผลิตได้ พิกัดแรงดันของพัดลม ความเร็วรอบของพัดลม
- ลักษณะของตัวพัดลม ชนิดของวัสดุที่ใช้ทำใบพัด อุปกรณ์หรือส่วนประกอบต่างๆ รวมถึงสภาพการบำรุงรักษา

- จำนวน และยี่ห้อของพัดลมที่ใช้งาน

#### 6.5.1.2 การสำรวจระบบและการเปิดใช้งานจริง

เพื่อให้ทราบสภาพและลักษณะการใช้งาน และการเดินเครื่องพัดลม ควรมีรายละเอียดในเรื่องของ

- แผนผังการจัดวางพัดลม และระยะเวลาการใช้งานแต่ละเครื่อง
- เวลาการเปิด - ปิด พัดลม (ชั่วโมงการทำงาน/วัน)

#### 6.5.1.3 การตรวจวัดค่ากำลังไฟฟ้า

เพื่อให้ทราบค่ากำลังไฟฟ้าที่พัดลมใช้งาน ซึ่งควรมีรายละเอียดในเรื่องของ

- แรงดันไฟฟ้า (Volt)
- กระแสไฟฟ้า (Amps)
- Power Factor
- กำลังไฟฟ้า (kW)

#### 6.5.1.4 การตรวจวัดค่าความดันของอากาศ

เพื่อให้ทราบค่าอัตราการไหลและความดันตกคร่อมของพัดลม ควรมีรายละเอียดในเรื่องของ

- อัตราการไหล (m<sup>3</sup>/hr)
- Total Pressure (mm H<sub>2</sub>O)

#### 6.5.1.5 การตรวจวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ

เพื่อหาพื้นที่สำหรับคำนวณค่าอัตราการไหลของอากาศ ควรมีรายละเอียดในเรื่องของ

- ความยาวท่อ (เมตร)

### 6.5.2 อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการตรวจวัด

#### 6.5.2.1 ประเภทและชนิดเครื่องมือวัดที่ใช้

ประเภทและชนิดของเครื่องมือวัดที่อาจใช้ในระบบพัดลมเป็นประจำ สรุปได้ดังนี้

### 6.5.2.1.1 ประเภทเครื่องมือวัดด้านไฟฟ้าทั่วไป ได้แก่

- ก) เครื่องวัดแรงดันไฟฟ้าหรือโวลต์มิเตอร์
- ข) เครื่องวัดกระแสไฟฟ้าหรือแอมป์มิเตอร์
- ค) เครื่องวัดกำลังไฟฟ้าหรือวัตต์มิเตอร์
- ง) เครื่องมือตรวจวัดและบันทึกพลังงานไฟฟ้าแบบต่อเนื่อง
- จ) เครื่องวัดตัวประกอบกำลังไฟฟ้าหรือเพาเวอร์แฟกเตอร์มิเตอร์ (P.F. meter) สำหรับทั้งระบบกระแสตรง (DC) และกระแสสลับ (AC)

เครื่องมือวัดเหล่านี้ ควรเป็นแบบพกพาได้ (Portable) และใช้งานง่าย เช่น เป็นประเภทหนีบ หรือคล้องกับสายไฟ ซึ่งในปัจจุบันเครื่องมือวัดไฟฟ้าแบบพกพาจะสามารถวัดได้ทั้งแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า และตัวประกอบกำลังไฟฟ้าในเครื่องเดียวกัน

โดยสามารถดูภาพตัวอย่างของเครื่องมือวัดด้านไฟฟ้าเหล่านี้ได้ในตอนที่ 2 บทที่ 1

### 6.5.2.1.2 ประเภทเครื่องมือวัดด้านความร้อน ได้แก่

- ก) เทอร์โมมิเตอร์ที่ใช้วัดอุณหภูมิบรรยากาศ อุณหภูมิผิวแบบสัมผัส
- ข) เครื่องวัดความชื้นบรรยากาศ
- ค) เครื่องวัดความเร็วและอัตราการไหลของก๊าซและของเหลว
- ง) เครื่องมือวัดความดัน

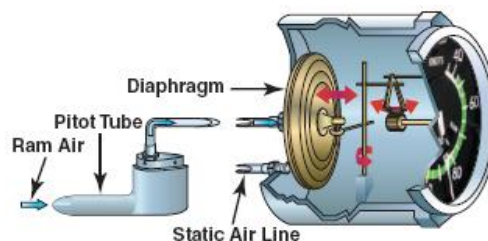
โดยสามารถดูภาพตัวอย่างของเครื่องมือวัดด้านไฟฟ้าเหล่านี้ได้ในตอนที่ 3 บทที่ 1

### 6.5.2.1.3 ประเภทเครื่องมือวัดด้านอื่นๆ ได้แก่

อุปกรณ์วัดอัตราการไหลของของไหลอย่างง่ายและเป็นที่ยอมรับกันทั่วไป ได้แก่ พิโตน์ทิวบ์ (Pitot Tube) มาตรวัดการไหลแบบเวนจูรี (Venturi Meter) มาตรวัดการไหลแบบออริฟิซ (Orifice Meter) และมาตรวัดการไหลในท่อเปิด (Open Channel Weirs) เช่น มาตรวัดการไหลแบบลูกกลิ้ง (Rotameter) โดยทั่วไปหลักการการทำงานของอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดอัตราการไหลข้างต้น จะอยู่บนพื้นฐานของสมการเบอร์นูลิแบบไม่มีความเสียดทาน ในบางกรณี ความเสียดทานการไหลของของไหลจะมีผลต่อการทำงานของเครื่องมือเหล่านี้ การแก้ปัญหาสามารถทำได้โดยการเพิ่มค่าคงที่หรือสัมประสิทธิ์บางตัวเข้าไปเพื่อชดเชยความเสียดทานที่มีในระบบ

#### ก. พิโตน์ทิวบ์ (Pitot Tube)

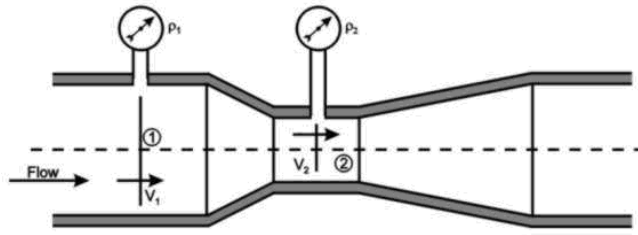
Pitot Tube เป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดค่าความดัน ณ จุดหนึ่งของของไหลในท่อ เพื่อให้ทราบถึงอัตราการไหล ซึ่งอธิบายได้จากความแตกต่างของความดันสถิตและความดันไดนามิกส์ ดังรูปที่ 6-9



รูปที่ 6-9 ตัวอย่างของ Pitot Tube

#### ข. มาตรวัดการไหลแบบเวนจูรี (Venturi Meter)

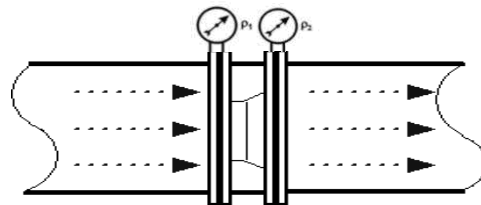
มาตรวัดแบบเวนจูรี (Venturi Meter) คือ อุปกรณ์ที่ใช้วัดอัตราการไหลในท่อ ประกอบด้วย Venturi Tube ซึ่งมีลักษณะเป็นคอคอด โดยความแตกต่างระหว่าง Velocity Head ของน้ำก่อนเข้าคอคอดกับภายในคอคอด จะเป็นตัวแสดงอัตราการไหลของน้ำ ดังรูปที่ 6-10



รูปที่ 6-10 ตัวอย่างของมาตรวัดแบบเวนจูรี (Venturi Meter)

**ค. มาตรวัดการไหลแบบออริฟิส (Orifice Meter)**

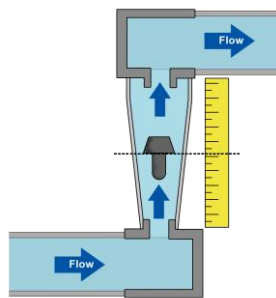
มาตรวัดแบบออริฟิส (Orifice meter) คือ อุปกรณ์ที่ใช้วัดอัตราการไหลซึ่งมีแผ่นโลหะที่มีรูขอบคมตรงกลางแผ่นขวางทิศทางของไหลของของไหลในท่อ เพื่อทำการวัดค่าความแตกต่างของความดันของของไหลที่บริเวณทางเข้าและทางออกของบริเวณที่ติดตั้งแผ่น Orifice ดังรูปที่ 6-11



รูปที่ 6-11 ตัวอย่างของมาตรวัดแบบออริฟิส (Orifice meter)

**ง. มาตรวัดการไหลแบบลูกลอย (Rotameter)**

เป็นมาตรวัดที่อาศัยการลอยตัวของลูกลอย ประกอบด้วยหลอดแก้วที่อยู่ในบรรจุลูกลอย เมื่ออากาศไหลเข้าจะทำให้ลูกลอยเคลื่อนที่ขึ้น ระดับความสูงที่ลูกลอยลอยได้จะบอกถึงอัตราการไหล ดังรูปที่ 6-12



รูปที่ 6-12 ตัวอย่างของมาตรวัดแบบลูกลอย (Rotameter)

รายละเอียดการดำเนินการสำรวจตรวจวัดค่าต่าง ๆ สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 6-4 สำหรับตารางที่ 6-5 เป็นตัวอย่างแสดงการบันทึกข้อมูลจากการตรวจวัดพัลลม

ตารางที่ 6-4 สรุปข้อมูลที่ควรดำเนินการสำรวจ

| ลำดับ | การตรวจวัด/<br>วิธีการตรวจวัด | จุดประสงค์การ<br>ตรวจวัด                    | ค่าที่บันทึก                         | จุดตรวจวัด        | เครื่องมือที่ใช้ | ระยะเวลา<br>การบันทึก |
|-------|-------------------------------|---|--------------------------------------|-------------------|------------------|-----------------------|
| 1     | สำรวจ ชนิด<br>ขนาด จำนวน      | เพื่อทราบ Spec ของ<br>เครื่องที่มีการใช้งาน | - พิกัดกำลังไฟฟ้าของ<br>มอเตอร์พัลลม | - Name Plate<br>- | -<br>-           | -<br>-                |

| ลำดับ | การตรวจวัด/<br>วิธีการตรวจวัด          | จุดประสงค์การ<br>ตรวจวัด  | ค่าที่บันทึก   | จุดตรวจวัด   | เครื่องมือที่ใช้ | ระยะเวลา<br>การบันทึก |
|-------|--|---|--|--|------------------|-----------------------|
|       | ยี่ห้อและรุ่น                          | และข้อมูล<br>ประสิทธิภาพจาก<br>ผู้ผลิต                              | - พิกัดอัตราการไหลของ<br>อากาศที่พิกัดความ<br>ดันที่ผลิตได้<br>- พิกัดแรงดันของพัดลม<br>- ความเร็วรอบของพัดลม<br>- สภาพการบำรุงรักษา | Performance<br>Curve ของพัด<br>ลม                      |                  |                       |
| 2     | สำรวจระบบและ<br>การเปิดใช้งาน<br>จริง  | เพื่อทราบสภาพและ<br>ลักษณะการใช้งาน<br>และการเดินในแต่ละ<br>เครื่อง | - จัดทำแผนผังการจัด<br>วางเครื่องและ<br>ระยะเวลาการใช้งาน<br>แต่ละเครื่อง<br>- เวลาการเปิด ปิด<br>เครื่อง(ชั่วโมงการ<br>ทำงาน/วัน)   | บริเวณที่ติดตั้ง<br>เครื่องและ<br>ระบบท่อส่งจ่าย<br>ลม | -                | -                     |
| 3     | ตรวจวัดค่า<br>กำลังไฟฟ้า               | หาค่ากำลังไฟฟ้า   | - แรงดันไฟฟ้า (Volt)<br>- กระแสไฟฟ้า (Amps)<br>- Power Factor<br>- กำลังไฟฟ้า (kW)   | ตู้ควบคุม  | - Power<br>Meter | บันทึก<br>ชั่วขณะ     |
| 4     | ตรวจวัดค่าความ<br>ดันของอากาศ          | เพื่อคำนวณค่าอัตรา<br>การไหลและความดัน<br>ตกคร่อมของพัดลม           | - อัตราการไหล<br>(m <sup>3</sup> /hr)<br>- Total Pressure (mm<br>H <sub>2</sub> O)   | - ตำแหน่งท่อ<br>ทางดูดและท่อ<br>ทางส่ง                 | - Pitot tube     | -                     |
| 5     | ตรวจวัดขนาด<br>เส้นผ่าศูนย์กลาง<br>ท่อ | เพื่อหาพื้นที่สำหรับ<br>คำนวณค่าอัตราการ<br>ไหลของอากาศ             | - ความยาวท่อ (เมตร)  | - ตำแหน่งท่อ<br>ทางดูดและท่อ<br>ทางส่ง                 | - ตลับเมตร       | บันทึก<br>ชั่วขณะ     |

ตารางที่ 6-5 ตัวอย่างแสดงการบันทึกข้อมูลจากการตรวจวัดพัดลม

| รายการตรวจสอบ                 | การตรวจวัดครั้งที่       |   |   |
|-------------------------------|--------------------------|---|---|
|                               | 1                        | 2 | 3 |
| ข้อมูลสำรวจเบื้องต้น          | พัดลม เครื่องที่ 1       |   |   |
| ยี่ห้อ                        |                          |   |   |
| ปี พ.ศ.                       | 2540                     |   |   |
| รุ่น                          | Centrifugal TYPE 125-400 |   |   |
| หมายเลขเครื่อง                | Blower 001               |   |   |
| อัตราการไหล (cfm)             | 900                      |   |   |
| ความดัน (mm.H <sub>2</sub> O) | 40 - 60                  |   |   |
| ความเร็วรอบ (rpm)             | 1450                     |   |   |
| พิกัดมอเตอร์                  |                          |   |   |
| ค่ากำลังไฟฟ้า (kW)            | 25.0                     |   |   |
| แรงดันไฟฟ้า (Volt)            | 380 - 416                |   |   |
| กระแสไฟฟ้า (Amps)             | -                        |   |   |
| Power Factor                  | 0.9                      |   |   |

| รายการตรวจสอบ                              | การตรวจวัดครั้งที่                                |       |       |
|--|---|-------|-------|
|  | 1   | 2     | 3     |
| <b>ข้อมูลตรวจวัด</b>                       |   |       |       |
| ค่ากำลังไฟฟ้า (kW)                         | 22  | 23    | 22.5  |
| แรงดันไฟฟ้า (Volt)                         | 380   | 380   | 380   |
| กระแสไฟฟ้า (Amps)                          | 41.8  | 42.6  | 42.2  |
| Power Factor                               | 0.84  | 0.86  | 0.85  |
| <b>ความดัน</b>                             |   |       |       |
| Suction Pressure (mmH <sub>2</sub> O)      | 116.8   | 116.8 | 116.8 |
| Outlet Pressure (mmH <sub>2</sub> O)       | -   | -     | -     |
| Velocity Pressure (ΔP, mmH <sub>2</sub> O) | 16.5  | 16.4  | 16.6  |
| เส้นผ่านศูนย์กลางท่อลม (cm)                | 70  |       |       |
| หมายเหตุ                                   | 1. มีการปรับแอมเปอร์เหลือ 80 % เพื่อลดอัตราการไหล |       |       |

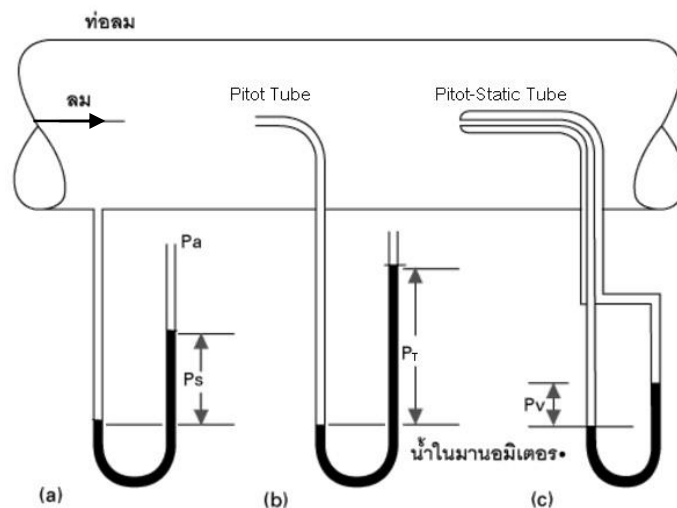
### 6.6 การวิเคราะห์การใช้พลังงานของพัดลม

การวิเคราะห์การใช้พลังงานในระบบพัดลมนั้น เป็นขั้นตอนสำคัญในการหาประสิทธิภาพของพัดลมเพื่อประเมินแนวทางการเดินเครื่องจักรอุปกรณ์ รวมถึงการอนุรักษ์พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพได้

#### 6.6.1 กำลังลม

กำลังลม (Air Power,  $P_A$ ) หมายถึงกำลังที่พัดลมจ่ายให้ลมโดยผ่านใบพัดที่หมุน มีหน่วยเป็น kW ในหน่วยเมตริก สามารถคำนวณได้จากสมการข้างล่างตามลำดับ

**ความดันของอากาศ** ความดันของลมที่ตำแหน่งต่างๆ ในท่อลม ประกอบด้วยความดันสถิตย์ (Static Pressure  $P_S$ ) ความดันจลน์ (Velocity Pressure  $P_V$ ) และความดันรวม (Total Pressure  $P_T$ ) ซึ่งเป็นผลรวมของความดันสองค่าแรก **รูปที่ 6-13** แสดงการวัดค่าความดันทั้งสาม ค่าความดันสถิตย์สามารถวัดได้ด้วยமானอมิเตอร์ (**รูปที่ 6-13a**) ความดันรวมสามารถวัดได้ด้วยท่อพิทอต์แบบธรรมดา (**รูปที่ 6-13b**) และค่าความดันจลน์วัดได้ด้วย Pitot-Static Tube ซึ่งต้องใช้ร่วมกับமானอมิเตอร์ (**รูปที่ 6-13c**)



รูปที่ 6-13 แสดงวิธีการวัดค่าความดันสถิตย์ (a) ความดันรวม (b) และความดันจลน์ (c)

$$P_T = P_S + P_V \tag{6-8}$$

สำหรับค่าความดันจลน์ ( $P_V$ ) นั้นจะมีค่าเป็นบวกเสมอ ทั้งนี้เนื่องจากความดันทั้งหมด ( $P_T$ ) มีค่ามากกว่าความดันสถิตย์ ( $P_S$ ) เสมอ ส่วนความดันทั้งหมดอาจมีค่าเป็นบวกหรือลบก็ได้

**อัตราการไหลของลม** สามารถคำนวณหาได้จากสมการ

$$Q = A \times V \tag{6-9}$$

|       |     |   |                                   |
|-------|-----|---|-----------------------------------|
| เมื่อ | $Q$ | = | อัตราการไหลของลมในท่อ ( $m^3/s$ ) |
|       | $A$ | = | พื้นที่หน้าตัดของท่อลม ( $m^2$ )  |
|       | $V$ | = | ความเร็วลม ( $m/s$ )              |

ในการวัดหาค่าความเร็วของลม สามารถใช้เครื่องมือวัดค่าอัตราการไหลได้โดยตรงเช่น Vane Anemometer แต่มีข้อจำกัดในกรณีเป็นการวัดสำหรับท่อปิด จะเป็นการเหมาะสมกว่าในการวัดค่าความเร็วของอากาศในท่อปิดด้วย Pitot Tube การคำนวณค่าความเร็วลมโดยใช้ Pitot Tube สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$V = \frac{C_P \times \sqrt{2 \times 9.81 \times P_V \times \gamma}}{\gamma} \tag{6-10}$$

ดังนั้น อัตราการไหลของอากาศภายในท่อสามารถหาได้จากสมการ

$$Q = \frac{A \times C_P \times \sqrt{2 \times 9.81 \times P_V \times \gamma}}{\gamma} \tag{6-11}$$

|       |          |   |                                   |
|-------|----------|---|-----------------------------------|
| เมื่อ | $V$      | = | ความเร็วลมในท่อ ( $m/s$ )         |
|       | $Q$      | = | อัตราการไหลของลมในท่อ ( $m^3/s$ ) |
|       | $A$      | = | พื้นที่หน้าตัดของท่อลม ( $m^2$ )  |
|       | $C_P$    | = | สัมประสิทธิ์ของ Pitot Tube        |
|       | $\gamma$ | = | ความหนาแน่นของอากาศ ( $kg/m^3$ )  |
|       | $P_V$    | = | ความดันจลน์ ( $mmH_2O$ )          |

**กำลังลม (Air Power)** ค่ากำลังลม ( $P_A$ ) คำนวณในระบบ SI มีเป็นหน่วย kW สามารถคำนวณหาได้จากสมการ

$$P_A = \frac{Q \times P_T}{102} \tag{6-12}$$

|       |       |   |                                   |
|-------|-------|---|-----------------------------------|
| เมื่อ | $Q$   | = | อัตราการไหลของลมในท่อ ( $m^3/s$ ) |
|       | $P_T$ | = | ความดันรวม ( $mmH_2O$ )           |

เนื่องจากกำลังขนาด 1 แรงม้า มีค่าเทียบเท่ากับ 0.746 kW กำลังม้าลมหรือ Air Horsepower (AHP) ในหน่วยแรงม้า จึงสามารถคำนวณได้จาก

$$AHP = \frac{P_A}{0.746}$$

$$AHP = \frac{Q \times P_T}{76} \tag{6-13}$$

ในหน่วยอังกฤษ กำลังม้าลมหรือ Air Horsepower (AHP) ในหน่วยแรงม้า สามารถคำนวณได้จาก

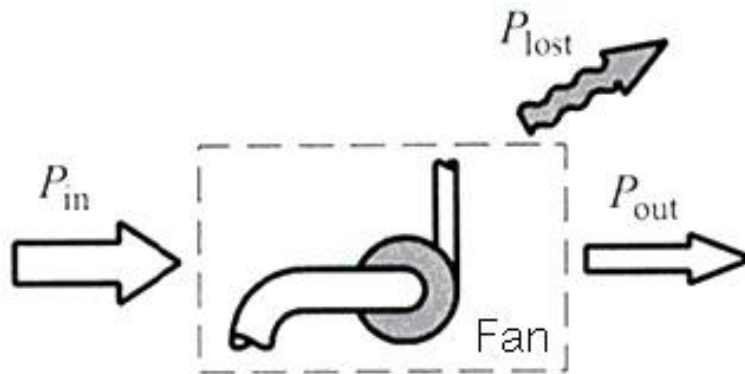
$$AHP = \frac{Q \times P_T}{6536} \tag{6.14}$$

|       |       |   |                             |
|-------|-------|---|-----------------------------|
| เมื่อ | $Q$   | = | อัตราการไหลของลมในท่อ (cfm) |
|       | $P_T$ | = | ความดันรวม ( $inH_2O$ )     |



6.6.2 ประสิทธิภาพของพัดลม

ประสิทธิภาพของพัดลมหมายถึง ร้อยละของกำลังที่ปั๊มผลิตได้ ซึ่งหมายถึงกำลังลม เทียบกับกำลังขับพัดลม ซึ่งเป็นกำลังที่พัดลมรับมาจากต้นกำลังผ่านเพลาชับ



รูปที่ 6-14 การคำนวณหาค่า ประสิทธิภาพของพัดลม

$$\eta_F = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \tag{6-15}$$

เมื่อ  $P_{out}$  = กำลังที่พัดลมผลิตได้ซึ่งหมายถึงกำลังลม (kW หรือแรงม้า)  
 $P_{in}$  = กำลังขับที่เพลาชับของพัดลม (kW หรือแรงม้า)

6.6.3 การคำนวณขนาดต้นกำลังขับพัดลม

ในกรณีที่ต้นกำลังขับปั๊มเป็นมอเตอร์ไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าที่ต้นกำลังรับเข้ามาจะถูกเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานกลเพื่อไปขับปั๊ม และปั๊มจะเปลี่ยนพลังงานทางกลที่รับเข้ามาให้เป็นกำลังไฮดรอลิก ในการคำนวณขนาดของต้นกำลังขับปั๊มนั้น จำเป็นต้องคำนึงถึงประสิทธิภาพของต้นกำลังด้วย



รูปที่ 6-15 การเปลี่ยนรูปของพลังงานของระบบพัดลม

ประสิทธิภาพของพัดลมคำนวณได้จาก

$$\eta_F = \frac{\text{กำลังลม}}{\text{กำลังทางกลเข้าพัดลม}} \tag{6-16}$$

ประสิทธิภาพของระบบทศรอบและส่งกำลังคำนวณได้จาก

$$\eta_T = \frac{\text{กำลังทางกลเข้าพัดลม}}{\text{กำลังทางกลจากต้นกำลัง}} \tag{6-17}$$

ประสิทธิภาพของระบบทศรอบและส่งกำลังมีค่าประมาณดังนี้

1. ส่งกำลังโดยตรง (ขับตรง) มีค่า 100 %
2. ระบบส่งกำลังแบบเฟืองทดมีค่าประมาณ 98 % สำหรับการทศรอบแต่ละครั้ง
3. ระบบส่งกำลังด้วยสายพานแบนมีค่าประมาณ 97 %
4. ระบบส่งกำลังด้วยสายพานรูปตัว V มีค่าประมาณ 95 %

ประสิทธิภาพของต้นกำลังขับพัดลมคำนวณได้จาก

$$\eta_{\text{ต้นกำลัง}} = \frac{\text{กำลังทางกลจากต้นกำลัง}}{\text{กำลังที่ต้องให้กับต้นกำลัง}} \quad (6-18)$$

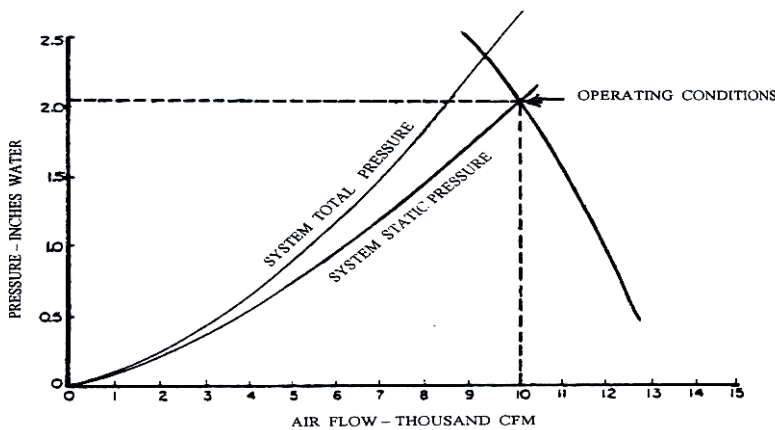
นำสมการ (7-16) คูณกับสมการ (7-17) และ (7-18) เพื่อคำนวณหา กำลังที่ต้องให้กับต้นกำลังขับพัดลม

$$\eta_{\phi} \times \eta_T \times \eta_{\text{ต้นกำลัง}} = \frac{\text{กำลังลม}}{\text{กำลังที่ต้องให้กับต้นกำลัง}}$$

$$\text{กำลังที่ต้องให้กับต้นกำลัง} = \frac{\text{กำลังลม}}{\eta_F \times \eta_T \times \eta_{\text{ต้นกำลัง}}} \quad (6-19)$$

#### 6.6.4 คุณลักษณะและสมรรถนะการทำงานของพัดลม

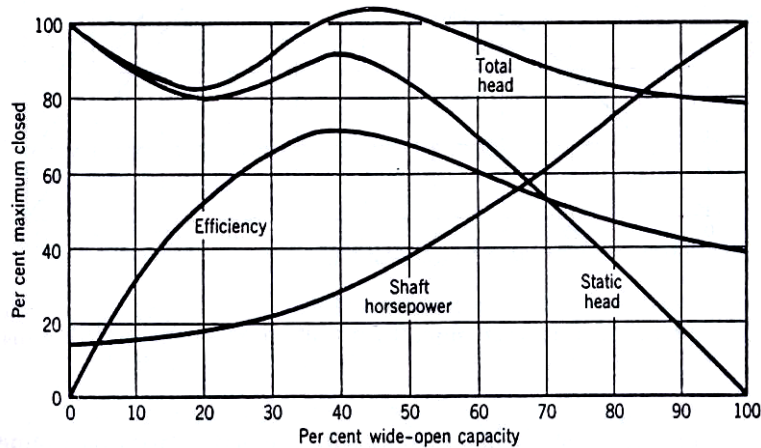
ขณะที่พัดลมทำงาน จะทำให้อากาศเกิดการเคลื่อนที่ได้ด้วยค่าความกดดันที่เกิดขึ้น เมื่ออากาศเคลื่อนที่ออกไปได้ด้วยระยะทางที่เพิ่มมากขึ้น จะทำให้ความกดดันลดลง ถ้านำค่าความกดดันในช่วงต่าง ๆ มาเขียนกราฟเทียบกับอัตราการไหลของอากาศที่ได้ในช่วงความกดดันนั้นๆ ถ้าวัดค่าความกดดันดังกล่าวเป็นค่าความกดดันรวมของระบบเมื่อนำค่าความกดดันรวมที่ลดลงของระบบมาหักออกจากค่าความกดดันความเร็ว จะได้กราฟอีกเส้นซึ่งแสดงถึงความดันสถิตของระบบ เราสามารถนำกราฟดังกล่าวไปใช้ในการเลือกจุดทำงานที่เหมาะสมที่ของพัดลมชนิดนั้นได้ ดังรูปที่ 6-16



รูปที่ 6-16 การหาจุดทำงานของพัดลมที่เหมาะสมจากกราฟคุณลักษณะของระบบพัดลมแบบหมุนเหวี่ยง ชนิดใบพัดโค้งไปข้างหลัง ขนาด 27 นิ้ว ที่ 1,080 รอบต่อนาที

เนื่องจากปริมาณอากาศที่ได้จากพัดลมตามที่กำหนดจากผู้ผลิต ปกติแล้วจะทำการทดสอบ ณ สภาวะแวดล้อมมาตรฐาน เช่น ที่อุณหภูมิ 15 °C มีความกดดันบรรยากาศแวดล้อมเท่ากับ 1 บาร์ และความสูงเทียบเท่ากับระดับน้ำทะเลปานกลาง เป็นต้น ซึ่งสภาวะดังกล่าวอาจแตกต่างจากสภาวะจริงที่ติดตั้งใช้งานจึงทำให้สภาวะการใช้งานไม่เป็นไปตามข้อกำหนด ดังนั้นสมรรถนะของพัดลมจะแปรผันตามการเปลี่ยนแปลงของสภาวะแวดล้อมต่าง ๆ อาทิ อุณหภูมิ ความเร็วรอบ และความหนาแน่นของอากาศ

6.6.4.1 กราฟสมรรถนะของพัดลมแบบหมุนเหวี่ยงชนิดใบพัดโค้งไปข้างหน้า

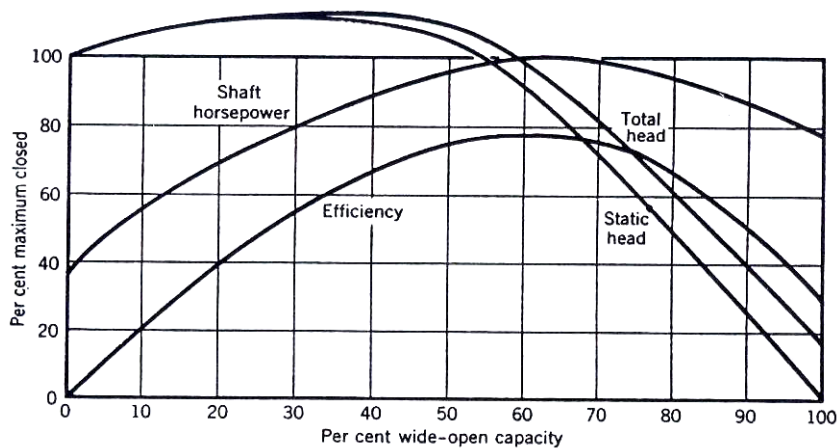


รูปที่ 6-17 กราฟแสดงสมรรถนะของพัดลมแบบหมุนเหวี่ยงชนิดใบพัดโค้งไปข้างหน้า

จากรูปที่ 6-17 แสดงให้เห็นว่า เมื่อเปอร์เซ็นต์ของปริมาตรที่เปิดกว้างมีค่าสูงขึ้นจะทำให้ค่ากำลังงานที่ป้อนให้เพลลาของพัดลมมีค่าสูงขึ้นตามไปด้วย ซึ่งมีผลทำให้มอเตอร์ของพัดลมทำงานเกินกำลังในขณะที่ความต้านทานของระบบมีค่าลดลง ดังนั้น จึงไม่ควรใช้พัดลมชนิดนี้กับระบบที่มีอัตราการไหลของอากาศเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ช่วงที่เหมาะสมสำหรับการทำงานของพัดลมชนิดนี้ คือ ช่วงเปอร์เซ็นต์ของปริมาตรที่เปิดกว้างประมาณ 30 – 50% ซึ่งจะทำให้การทำงานของพัดลมมีค่าประสิทธิภาพสูงสุด เส้นกราฟค่าความดันสถิต จะมีช่วงการทำงานของพัดลมที่ไม่มีความเสถียรภาพคือช่วงเปอร์เซ็นต์ของปริมาตรที่เปิดกว้างในช่วงไม่เกิน 40% ดังนั้นจึงไม่ควรใช้ปริมาตรที่เปิดกว้างให้อากาศเข้าสู่ตัวเรือนของพัดลมในช่วงนี้

6.6.4.2 กราฟสมรรถนะของพัดลมแบบหมุนเหวี่ยงชนิดใบพัดโค้งไปข้างหลัง

จากรูปที่ 6-18 จะเห็นได้ว่าช่วงที่เหมาะสมสำหรับการทำงานของพัดลมชนิดนี้คือช่วงเปอร์เซ็นต์ของปริมาตรที่เปิดกว้างให้อากาศเข้าสู่ตัวเรือนของพัดลม มีค่าประมาณ 50 – 65 % ซึ่งจะทำให้การทำงานของพัดลมชนิดนี้มีประสิทธิภาพสูงสุด ค่าประสิทธิภาพของพัดลมจะมีค่าสูงสุดเมื่อใช้กำลังงานในการขับเพลลาของพัดลมสูงด้วยเช่นกัน พัดลมชนิดนี้จะไม่มีความเสถียรภาพที่มอเตอร์จะทำงานเกินกำลังและไม่มีช่วงการทำงานของพัดลมที่ไม่เสถียรภาพ

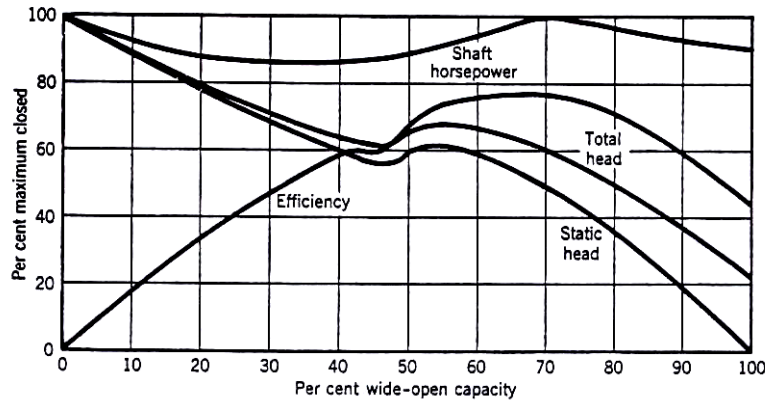


รูปที่ 6-18 กราฟแสดงสมรรถนะของพัดลมแบบหมุนเหวี่ยงชนิดใบพัดโค้งไปข้างหลัง

### 6.6.4.3 กราฟสมรรถนะของพัดลมแบบหมุนเหวี่ยงชนิดใบพัดตรง

กราฟสมรรถนะของพัดลมชนิดนี้ จะเหมือนกับกราฟสมรรถนะของพัดลมชนิดใบพัดโค้งไปข้างหน้า กล่าวคือเส้นกราฟกำลังงานของพัดลมจะมีค่าสูงขึ้นเรื่อย ๆ แม้ว่าค่าความกดดันของระบบจะลดลงก็ตามแต่ความเร็วของอากาศที่ไหลผ่านตัวเรือนพัดลมชนิดนี้จะมีค่าต่ำกว่าพัดลมชนิดใบพัดโค้งไปข้างหน้า

### 6.6.4.4 กราฟสมรรถนะของพัดลมแบบอากาศไหลตามแนวแกน (Axial Flow Fans)



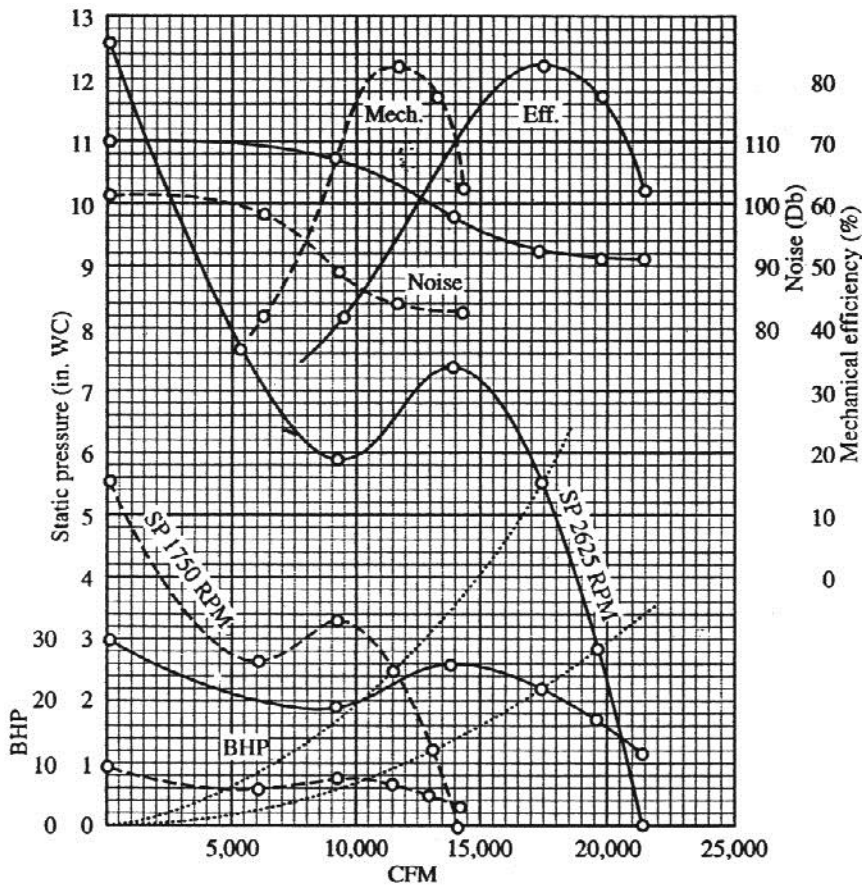
รูปที่ 6-19 กราฟแสดงสมรรถนะของพัดลมแบบอากาศไหลตามแนวแกน

ในรูปที่ 6-19 จะเห็นว่าเส้นกราฟของเฮดสถิตและเฮดรวมของระบบจะลดลงและเพิ่มขึ้น ในช่วงเปอร์เซ็นต์ของปริมาตรเปิดให้อากาศเข้าสู่ตัวเรือนพัดลมมีค่าอยู่ประมาณ 30 - 50% ถ้าพัดลมชนิดนี้ทำงานอยู่ในช่วงดังกล่าวจะก่อให้เกิดความไม่เสถียรภาพขึ้นภายในระบบ และช่วงที่เหมาะสมสำหรับการทำงานของพัดลมก็คือช่วงเปอร์เซ็นต์ของปริมาตรที่เปิดกว้างประมาณ 55 - 75% ซึ่งจะทำให้การทำงานของพัดลมมีประสิทธิภาพสูงสุด สามารถขับเคลื่อนอากาศได้ปริมาณที่มาก และใช้กำลังงานในการขับเคลื่อนไม่มากนักเกินไป เส้นกราฟการทำงานของพัดลมจะค่อนข้างแบนราบโดยเฉพาะอย่างยิ่งภายในช่วงการทำงานที่มีค่าเปอร์เซ็นต์ของปริมาตรเปิดกว้างประมาณ 40% นั่นคือกำลังงานที่ใช้ในการขับเคลื่อนพัดลมภายในช่วงดังกล่าวจะมีค่าค่อนข้างคงที่

## 6.7 กฎความคล้ายของพัดลม

เช่นเดียวกันกับการทำงานของปั๊ม สมรรถนะของพัดลมที่นำมาใช้งานกับระบบระบายอากาศ ถูกกำหนดด้วยกฎของพัดลม (Fan Laws) โดยอยู่ภายใต้ความหนาแน่นของอากาศคงที่ เนื่องจากพัดลมทุกชนิดทำงานตามหลักการของปั๊มชนิดโคเนติกส์ กฎของพัดลมจึงสามารถใช้ได้กับพัดลมทุกชนิด

6.7.1 เมื่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของใบพัดมีค่าคงที่แต่มีการเปลี่ยนแปลงรอบความเร็ว



รูปที่ 6-20 ตัวอย่างสมรรถนะของพัดลมแบบไหลตามแนวแกน เมื่อความเร็วการหมุนของใบพัดเปลี่ยนไป

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{N_1}{N_2} \tag{6-20}$$

$$\frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 \tag{6-21}$$

$$\frac{Bhp_1}{Bhp_2} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^3 \tag{6-22}$$

$$SPL_1 - SPL_2 = 50 \log_{10} \left(\frac{N_1}{N_2}\right) \tag{6-23}$$

เมื่อ  $Q_1$ ,  $H_1$ ,  $Bhp_1$  และ  $SPL_1$  เป็นอัตราการสูบลม กำลังขับที่พัดลมต้องการ (Brake Horsepower) และระดับความดังของเสียง (Sound Pressure Level) ในหน่วย dB เมื่อใบพัดหมุนด้วยอัตราเร็ว  $N_1$  ตามลำดับ และ  $Q_2$ ,  $H_2$ ,  $Bhp_2$  และ  $SPL_2$  เป็นอัตราการสูบลม กำลังขับที่พัดลมต้องการ และระดับความดังของเสียง เมื่อความเร็วการหมุนของใบพัดเปลี่ยนไปเป็น  $N_2$

รูปที่ 6-20 แสดงตัวอย่างการเปรียบเทียบ อัตราการสูบลม กำลังขับที่พัดลมต้องการ ระดับความดังของเสียง และประสิทธิภาพ ของพัดลมแบบไหลตามแนวแกน เมื่อทำงานที่รอบความเร็ว 1,750 รอบต่อนาที และเมื่อทำงานที่รอบความเร็ว 2,625 รอบต่อนาที จากรูปจะเห็นว่า อัตราการสูบลม กำลังขับที่พัดลมต้องการ และระดับความดังของเสียง มีค่ามากขึ้นเมื่อพัดลมทำงานที่รอบความเร็วที่สูงขึ้น แต่ประสิทธิภาพของพัดลมมีค่าคงเดิม

6.7.2 เมื่อรอบความเร็วมีค่าคงที่ แต่ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของใบพัดเปลี่ยนไป

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{D_1}{D_2} \tag{6-24}$$

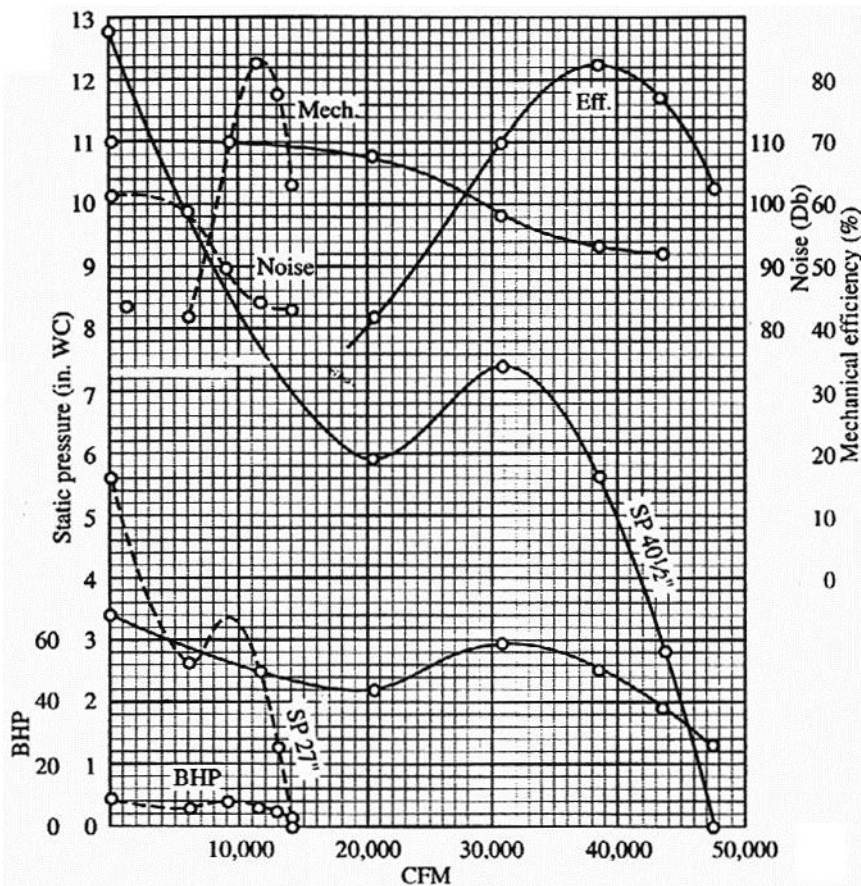
$$\frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^2 \tag{6-25}$$

$$\frac{Bhp_1}{Bhp_2} = \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^3 \tag{6-26}$$

$$SPL_1 - SPL_2 = 50 \log_{10} \left(\frac{D_1}{D_2}\right) \tag{6-27}$$

เมื่อ  $Q_1, H_1, Bhp_1$  และ  $SPL_1$  เป็นอัตราการสูบลม เฮด กำลังขับที่พัดลมต้องการ (Brake Horsepower) และระดับความดังของเสียง (Sound Pressure Level) ในหน่วย dB เมื่อใบพัดมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง  $D_1$  ตามลำดับ และ  $Q_2, H_2, Bhp_2$  และ  $SPL_2$  เป็นอัตราการสูบลม เฮด กำลังขับที่พัดลมต้องการ และระดับความดังของเสียง เมื่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของใบพัดเปลี่ยนไปเป็น  $D_2$  ตามลำดับ

**รูปที่ 6-21** แสดงตัวอย่างการเปรียบเทียบ อัตราการสูบลม เฮด กำลังขับที่พัดลมต้องการ ระดับความดังของเสียง และประสิทธิภาพ ของพัดลมแบบไหลตามแนวแกนที่มีขนาดใบพัด 27 นิ้ว และพัดลมขนาดใบพัด 40.5 นิ้ว จากรูปจะเห็นว่า อัตราการสูบลม เฮด กำลังขับที่พัดลมต้องการ และระดับความดังของเสียง มีค่ามากขึ้นเมื่อพัดลมมีขนาดใบพัดที่ใหญ่ขึ้น แต่ประสิทธิภาพของพัดลมมีค่าคงเดิม



รูปที่ 6-21 ตัวอย่างสมรรถนะของพัดลมแบบไหลตามแนวแกน ที่มีขนาดของใบพัด 27 และ 40.5 นิ้ว

**ตัวอย่างที่ 6-1** พัดลมแบบไหลตามแนวแกนขนาดใบพัด 27 นิ้ว จ่ายลมได้ 14,200 cfm กำลังขับที่พัดลมต้องการเท่ากับ 3.45 แรงม้า และมีระดับความดังของเสียงขณะทำงานเท่ากับ 83.2 dB เมื่อใบพัดหมุนด้วยความเร็ว 1,750 รอบต่อนาที จงประมาณค่า อัตราการจ่ายลม กำลังขับที่พัดลมต้องการ และระดับความดังของเสียงขณะทำงาน เมื่อรอบความเร็วเปลี่ยนไปเป็น 2,625 รอบต่อนาที

|        |          |  |     |
|--------|----------|--|-----|
| วิธีทำ | จากสมการ | $\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{N_1}{N_2}$ $Q_1 = \frac{2,625}{1,750} \times 14,200$ $= 21,300 \text{ cfm}$   | ตอบ |
|        | จากสมการ | $\frac{Bhp_1}{Bhp_2} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^3$ $Bhp_1 = \left(\frac{2,625}{1,750}\right)^3 \times 3.45$ $= 11.64 \text{ แรงม้า}$       | ตอบ |
|        | จากสมการ | $SPL_1 - SPL_2 = 50 \log_{10} \left(\frac{N_1}{N_2}\right)$ $SPL_1 = 83.2 + 50 \log_{10} \left(\frac{2,625}{1,750}\right)$ $= 92.0 \text{ dB}$ | ตอบ |

## 6.8 แนวทางการอนุรักษ์พลังงานในพัดลม

ตัวอย่างแนวทางการใช้งานอย่างมีประสิทธิภาพเพื่อให้เกิดการอนุรักษ์พลังงานในพัดลมนั้น มีดังนี้

### 6.8.1 การควบคุมการเปิด-ปิดพัดลม

หากสามารถระบุช่วงระยะเวลาที่ไม่ต้องการใช้พัดลมได้ ก็อาจดำเนินการหยุดพัดลมไว้จนกว่าถึงเวลาที่ต้องการใช้ ซึ่งสามารถควบคุมโดยใช้เจ้าหน้าที่เปิด-ปิด หรืออาจใช้วิธีควบคุมโดยการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมที่เหมาะสม เช่น เครื่องควบคุมแบบตั้งเวลา (Timer)

อย่างไรก็ตาม การเปิด-ปิดเครื่องบ่อย ๆ จะทำให้เกิดสภาวะการรับภาระโหลดแบบทันที (Shock Loads) และทำให้มอเตอร์เกิดความร้อนเพิ่มขึ้นสูง เนื่องจากกระแสไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นขณะเริ่มเดินเครื่อง ดังนั้น การควบคุมแบบเปิด-ปิด จึงใช้ได้เฉพาะกับพัดลมที่มีช่วงพักนานพอ (ถ้าประเมินได้) ช่วงพักกะและช่วงวันหยุด

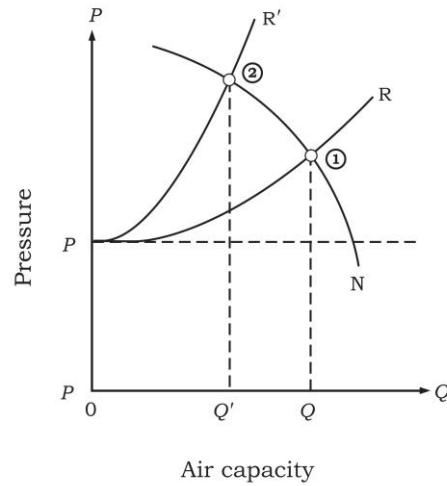
### 6.8.2 การลดปริมาณลม – ความดัน ให้เหมาะสมกับที่ภาระต้องการ

- เมื่อปริมาณลมที่ต้องการลดลงและมีการเปลี่ยนแปลงน้อย

หากวางแผนเพื่อไว้มากไปและต้องการลดปริมาณลมเนื่องจากการลดกำลังการผลิต หากใช้วิธีปรับด้วยแฉกเพอร์ซออกจะทำให้การเดินเครื่องมีกำลังขับสูญเสียสูง วิธีการแก้ไขในกรณีนี้ คือ ลดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของใบพัดเปลี่ยนไปใช้ใบพัดที่มีคาปาซิตีต่ำลง ลดจำนวนชั้นของโบลเวอร์หลายชั้นปรับมุมใบพัดของพัดลมแบบ Axial flow

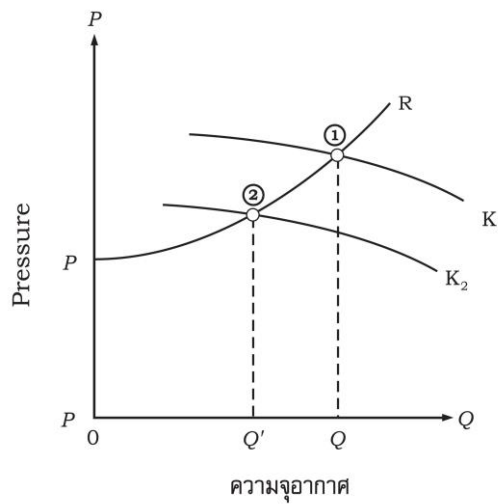
- เมื่อปริมาณลมที่ต้องการมีการเปลี่ยนแปลง

- หรีแฉกเพอร์ซออก วิธีนี้ก่อให้เกิดการลดการใช้พลังงานได้น้อยที่สุดในจำนวนทุกวิธี เนื่องจากความต้านทานของระบบจะมีค่ามากขึ้น ดังรูปที่ 6-22 เมื่อจุดทำงานเปลี่ยนจาก (1) ไป (2)



รูปที่ 6-22 การลดปริมาณลมด้วยวิธีหรีดแอมเปอร์ขาออก

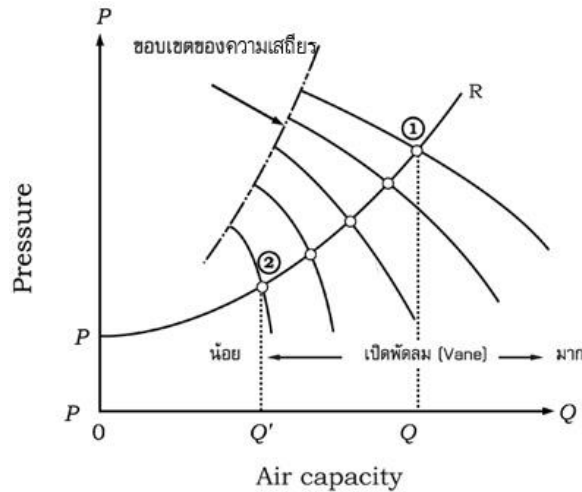
- หรีดแอมเปอร์ด้านเข้า ด้วยวิธีนี้ความดันที่ด้านจ่ายจะถูกลดเนื่องจากความที่ดันด้านเข้าเป็นลบเป็นสัดส่วนกับความต้านทานของไดอะแฟรมของแอมเปอร์จาก  $K_1$  ไป  $K_2$  และจุดทำงานเปลี่ยนจาก (1) ไป (2) ในรูป 6-23



รูปที่ 6-23 การลดปริมาณลมด้วยวิธีหรีดแอมเปอร์ด้านเข้า

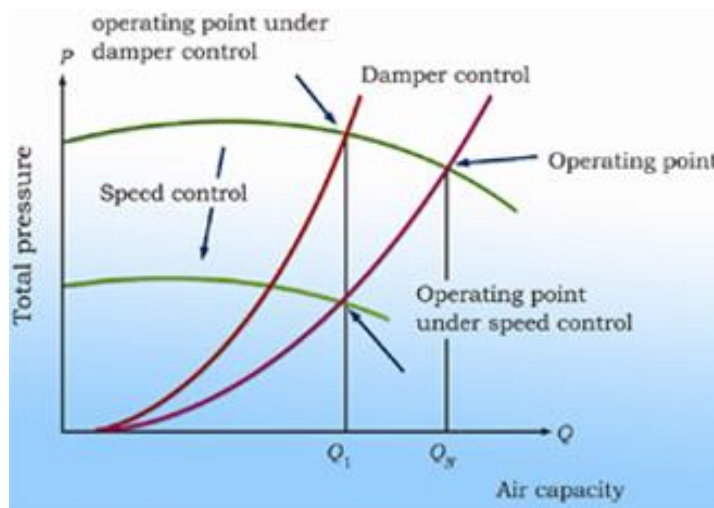
- การควบคุมใบนำทางลม (Vane) ด้านเข้าการปรับใบนำทางลมด้านเข้าจะส่งผลให้เส้นโค้งการทำงานจะเคลื่อนไปทางด้านความจุอากาศต่ำ การลดปริมาณลมด้วยวิธีนี้จะลดการใช้พลังงานได้ดีกว่าการควบคุมแอมเปอร์





รูปที่ 6-24 การลดปริมาณลมด้วยการควบคุมใบนำทางลมด้านเข้า

- ควบคุมจำนวนเครื่อง (กรณีที่ดินเครื่องพัดลมขนานกันหลายตัว สามารถลดจำนวนเครื่องที่เดินให้สอดคล้องกับปริมาณลม)
- ควบคุม Variable pitch ของ Moving blade ของพัดลม Axial flow (สามารถควบคุมได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงในการช่วงปริมาณลมกว้าง)
- ควบคุมความเร็วรอบ การลดปริมาณลมด้วยวิธีนี้จะลดการใช้พลังงานได้มากกว่าการควบคุมแอมเพอร์ เนื่องจากเส้นกราฟสมรรถนะของพัดลมจะลดระดับลงตามความเร็วรอบที่ลดลง ทำให้สามารถลดได้ทั้งระดับความดันและปริมาณลม ดังแสดงในรูปที่ 7-25



รูปที่ 6-25 การเปรียบเทียบการลดปริมาณลมด้วยการควบคุมแอมเพอร์ และด้วยการลดความเร็วรอบ

### 6.8.3 การตรวจสอบและบำรุงรักษาพัดลม

เพื่อให้พัดลมทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ มีอายุการใช้งานยาวนาน และไม่ต้องหยุดทำงานเพื่อซ่อมแซมบ่อยครั้ง พัดลมขนาดใหญ่ทุกเครื่องควรมีสมาคมประวัติการใช้งานและบำรุงรักษา ตลอดจนมีตารางเวลาสำหรับตรวจสอบและบำรุงรักษาที่แน่นอน การตรวจสอบและบำรุงรักษาอาจแบ่งออกเป็น การตรวจสอบประจำวัน การตรวจสอบทุก 6 เดือน และการตรวจสอบประจำปี รายการตรวจสอบดังกล่าวนี้ควรจะขอจากบริษัทผู้ผลิตพัดลม เพราะว่ามีวิธีการอาจจะแตกต่างกันไปบ้างสำหรับพัดลมแต่ละระบบ ดังตารางที่ 6-6

ตารางที่ 6-6 ตัวอย่างการตรวจสอบและบำรุงรักษาประจำวัน

| รายการ                       | สถานะ |         | หมายเหตุ |
|------------------------------|-------|---------|----------|
|                              | ปกติ  | ผิดปกติ |          |
| ระดับน้ำมันหล่อลื่น/ความหนืด |       |         |          |
| ตรวจสอบสายพานความตึง/สึกหรอ  |       |         |          |
| สภาพवालั่วดูด/จ่ายอากาศ      |       |         |          |
| ความดันและอุณหภูมิ           |       |         |          |
| เสียง/แรงสั่นสะเทือนผิดปกติ  |       |         |          |
| คุณภาพอากาศ                  |       |         |          |

เนื่องจากรายละเอียดของวิธีการตรวจสอบและการซ่อมบำรุงจะแตกต่างกันไปตามชนิดของพัดลม และบริษัทผู้ผลิต ดังนั้นขอให้ศึกษาจากคู่มือผู้ใช้สำหรับพัดลมนั้น ๆ โดยเฉพาะ

6.9 กรณีศึกษา

6.9.1 มาตรการลดความเร็วรอบพัดลมโดยเปลี่ยนขนาด Pulley

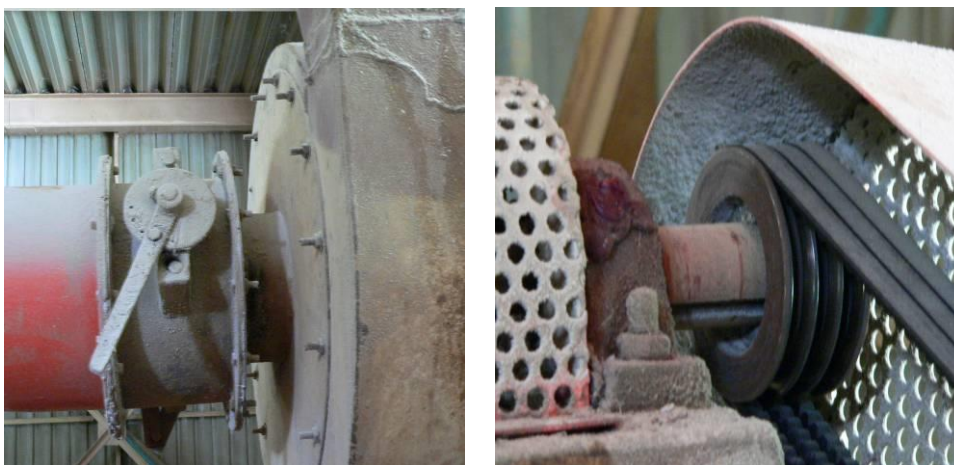
มาตรการอนุรักษ์พลังงานพัดลมของสถานประกอบการแห่งหนึ่ง เป็นมาตรการทางด้านการปรับเปลี่ยนอุปกรณ์เพื่อให้เกิดการประหยัดพลังงาน มีรายละเอียดแนวทางการดำเนินการดังนี้

หลักการและเหตุผลของมาตรการ

ในกระบวนการผลิตของโรงงาน AA ใช้พัดลมเครื่องบด Jacobson จำนวน 15 ชุด ในการลำเลียงอาหารสัตว์บดไปตามท่อลมความเร็วสูง เพื่อที่จะสามารถพาอาหารสัตว์ส่งต่อไปยังขั้นตอนต่อไปของกระบวนการผลิต ด้วยเหตุนี้พัดลมเครื่องบด Jacobson ทั้ง 15 ชุด จะต้องใช้ขนาดกำลังไฟฟ้าที่สูงพอที่สามารถพาอาหารสัตว์ไปตามท่อลมความเร็วสูงได้ พิจารณาขนาดมอเตอร์พัดลมเครื่องบด Jacobson No.10 ที่ออกแบบติดตั้งใช้งานอยู่ มีขนาดสูงเท่ากับ 45 kW และเปิดใช้งานตลอดเวลา 24 ชั่วโมง/วัน 300 วัน/ปี

การรวบรวมข้อมูลเบื้องต้น

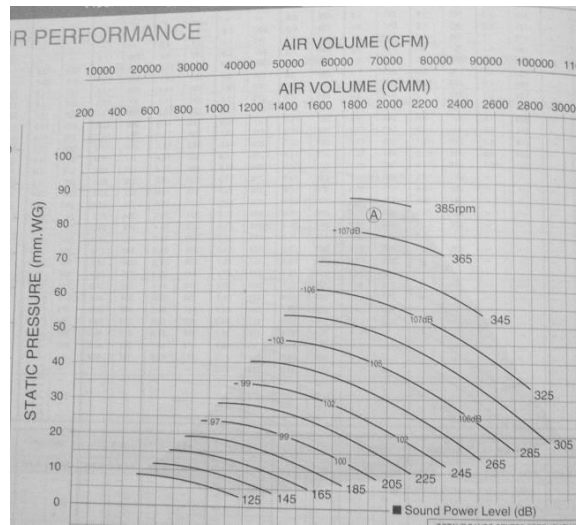
เพื่อให้การลำเลียงอาหารสัตว์บดได้ปริมาณที่เหมาะสมและตรงกับที่ต้องการในกระบวนการผลิตที่กำหนดไว้ ณ ั้ระบบท่อลมจึงจำเป็นต้องมี Damper ทำหน้าที่เป็นตัวปรับปริมาณลมส่งอาหารสัตว์บดให้ตามปริมาณที่ต้องการ แต่การห้ Damper นั้น เป็นการเพิ่มแรงเสียดทานในระบบท่อลม มีจุดประสงค์เพื่อที่จะปรับปริมาณลมให้ได้ตามที่ต้องการเท่านั้น การห้ Damper ไม่ได้ช่วยให้กำลังไฟฟ้าของพัดลมลดลงอย่างที่ควรจะเป็น ซึ่งเมื่อพิจารณาพัดลมเครื่องบด Jacobson No.10 พบว่ามีการห้ Damper ไว้ที่ 60% ใช้กำลังไฟฟ้าเท่ากับ 36.3 kW



รูป 6-26 แสดงการห้ Damper และ Pulley เดิมของพัดลมเครื่องบด Jacobson

เนื่องจากการห้ Damper ไม่ได้ช่วยให้กำลังไฟฟ้าของพัดลมลดลงอย่างที่ควรจะเป็น แต่มีแนวทางอื่นที่จะลดกำลังไฟฟ้าของพัดลมเครื่องบดนี้ได้ คือ ให้พัดลมเครื่องบดเปลี่ยนจุดทำงานใหม่ที่สามารถลดการใช้กำลังไฟฟ้าน้อยลงได้ โดยจุดทำงานใหม่เป็น

จุดทำงานที่แรงเสียดทานของระบบท่อลมของพัดลมลดลงจากเดิมและความเร็วรอบของพัดลมก็ลดลง ในขณะที่ปริมาณลมที่ใช้ถ้าเสียงอาหารสัตว์ยังคงเดิม แนวความคิดดังกล่าวนี้พิจารณาได้จากคุณลักษณะการทำงานของพัดลม (Performance Fan Curve) ดังรูป 6-27



รูป 6-27 แสดงคุณลักษณะการทำงานของพัดลม (Performance Fan Curve)

| รายละเอียด                      | จุดทำงานเดิม | จุดทำงานใหม่ |
|---------------------------------|--------------|--------------|
| อัตราการไหล(m <sup>3</sup> /hr) | 5,755        | 5,755        |
| แรงเสียดทานสถิต(in.WG.)         | 24.0         | 14.0         |
| รอบมอเตอร์พัดลม(RPM)            | 3,140        | 2,500        |
| ขนาดPulley ขับ/ตาม(mm.)         | 475/224      | 475/280      |
| กำลังไฟฟ้า(kW)                  | 36.3         | 19.0         |

เมื่อพิจารณาแนวความคิดการเปลี่ยนจุดทำงานของพัดลมร่วมกับ Performance Fan Curve ของพัดลม ตามรูปแล้วพบว่า แนวคิดดังกล่าวนี้มีความเป็นไปได้เป็นอย่างดีที่จะลดการใช้กำลังไฟฟ้าของมอเตอร์พัดลมดังรูปที่ 6-27

ดังนั้นในแนวคิดลดรอบการทำงานของพัดลมเพื่อเปลี่ยนจุดทำงานใหม่นั้นมีขั้นตอนในการดำเนินงาน คือ

- 1) ตรวจสอบปริมาณลมที่พัดลมต้องการใช้จริง ๆ จากจุดทำงานเดิมของพัดลม
- 2) ตรวจสอบกำลังไฟฟ้า ขนาด Pulley และรอบการทำงานของพัดลมที่จุดทำงานเดิม
- 3) ปรับ Damper ให้อยู่ที่ตำแหน่งเปิดสุด (100%)

ซึ่งทันทีที่ Damper เปิดสุดจะทำให้อัตราการไหลของลมเพิ่มขึ้น แต่ปริมาณลมที่เพิ่มขึ้นนั้นเป็นปริมาณที่ไม่ต้องการทำการลดปริมาณลมให้เหลือเท่าที่ต้องการตามที่ตรวจสอบไว้ ณ จุดทำงานเดิม โดยใช้อุปกรณ์ VSD ทดลองลดความเร็วรอบมอเตอร์พัดลมไปจนกว่าจะได้จุดทำงานใหม่ที่ได้อัตราการไหลของลมเท่าเดิม แต่กำลังไฟฟ้าที่ใช้ลดลง หลังจากนั้นนำอุปกรณ์ VSD ออกจากการทดสอบ แล้วทำการปรับปรุงจุดทำงานของพัดลมโดยการเปลี่ยน Pulley พัดลมใหม่ให้ใหญ่ขึ้นเพื่อให้พัดลมทำงานตามรอบที่ลดลงที่ทำการทดสอบไว้กับ VSD

**การสำรวจตรวจวัด**

|                      |       |               |     |          |
|----------------------|-------|---------------|-----|----------|
| เวลาการทำงานปกติ     | 24    | ชั่วโมงต่อวัน | 300 | วันต่อปี |
| ชั่วโมงทำงานที่ต่อปี | 7,200 | ชั่วโมงต่อปี  |     |          |
| ค่าไฟฟ้าเฉลี่ย       | 2.60  | บาท/kWh       |     |          |

ข้อมูลผลการตรวจสอบการทำงานของมอเตอร์พัดลมเครื่องบด Jacobson No.10 และจุดทำงานใหม่ มีการใช้กำลังไฟฟ้า ดังนี้

|                  |                           |      |    |
|------------------|---------------------------|------|----|
| มอเตอร์พัดลมเดิม | กำลังไฟฟ้าที่ใช้ (วัดได้) | 36.3 | kW |
| มอเตอร์พัดลมใหม่ | กำลังไฟฟ้าที่ใช้ (วัดได้) | 19.0 | kW |

การวิเคราะห์ทางเทคนิค

|                          |   |  |        |
|--------------------------|---|--|--------|
| พลังงานไฟฟ้าที่ลดลง      | = | (กำลังไฟฟ้าเดิม - กำลังไฟฟ้าใหม่) x ชั่วโมงทำงาน x วันทำงานต่อปี | kWh/ปี |
|                          | = | ( 36.3 - 19.0 ) x 24 x 300                                       | kWh/ปี |
|                          | = | 124,560  | kWh/ปี |
| คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้ | = | 124,560 x 2.60   | บาท/ปี |
|                          | = | 323,856  | บาท/ปี |

การวิเคราะห์การลงทุน

ค่าชุด พู่เล่ (Pulley) ตัวใหม่ ขนาด 280 mm. จำนวน 1 ชุด ราคา 2,000 บาท และดำเนินการติดตั้ง โดยพนักงานของทางบริษัทเอง

|   |   |         |        |
|---|---|---------|--------|
| คิดเป็นเงินลงทุนรวม                     | = | 2,000   | บาท    |
| เมื่อเปรียบเทียบกับเงินที่ประหยัดที่ได้ | = | 323,856 | บาท/ปี |
| ระยะเวลาคืนทุน                          | = | 0.01    | ปี     |

เมื่อพิจารณาเงินลงทุนเปรียบเทียบกับผลที่ประหยัดที่ได้ จะทำให้อัตราผลตอบแทนการลงทุนสูง เนื่องจากมีเงินทุนไม่มากนัก เป็นเหตุจูงใจให้ผู้บริหารตัดสินใจได้ง่าย

**6.9.2 มาตรการลดขนาดใบพัดของพัดลม**

มาตรการอนุรักษ์พลังงานพัดลมของสถานประกอบการแห่งหนึ่ง เป็นมาตรการทางด้านการปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ เพื่อให้เกิดการประหยัดพลังงาน มีรายละเอียดแนวทางการดำเนินการดังนี้

หลักการและเหตุผลของมาตรการ

เดิมโรงงานมีการใช้ใบพัดลมขนาดใหญ่เกินไป ดังนั้นหากมีการลดขนาดใบพัด และปรับแอมเปอร์พัดลมให้ใช้ปริมาณอากาศแต่เดิม จะทำให้ลดค่าพลังงานลงได้

การรวบรวมข้อมูลเบื้องต้น

โรงงาน AT มีการใช้พลังงานความร้อนคิดเป็นร้อยละ 88 ของการใช้พลังงานทั้งหมด โดยใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงหลักในการผลิตไอน้ำเพื่อนำไปใช้ในกระบวนการต่าง ๆ โดยใช้ระบบการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็งแบบฟลูอิดไดซ์เบด (Fluidized bed) ซึ่งจำเป็นจะต้องมีพัดลมเป่าทรายที่ใช้เป็นวัสดุเบด (Bed materials) ด้วยความดันที่เหมาะสมเพื่อการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ที่สุด

การเลือกขนาดพัดลมส่วนมากจะมีการเผื่อไว้ ให้สามารถดูดอากาศได้ในปริมาณที่สูงกว่าค่าที่คำนวณได้ และใช้แอมเปอร์ (Damper) ปรับหรือปริมาณให้ได้ตามความต้องการหรือตามสภาพการใช้งานที่แปรเปลี่ยนไป ซึ่งการควบคุมปริมาณอากาศโดยวิธีนี้จะเกิดการสูญเสียพลังงานจากการปรับที่แอมเปอร์ โดยจากการสำรวจพบว่าพัดลมที่ใช้เป่าทรายในระบบการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็งแบบฟลูอิดไดซ์เบด (Fluidized bed) ของหม้อไอน้ำมีการปรับหรือแอมเปอร์เพื่อลดปริมาณการดูดอากาศ ทำให้สูญเสียพลังงานไปกับการปรับหรือนั้น ดังรูปที่ 6-28



รูปที่ 6-28 พัดลมเป่าทรายและการปรับหรีดแอมเปอร์

หลังจากทดลองเปลี่ยนใบพัดอันใหม่ ซึ่งสามารถลดขนาดของใบพัดจากเดิมเส้นผ่าศูนย์กลาง 708 มิลลิเมตร เหลือ 670 มิลลิเมตร โดยปรับแอมเปอร์พัดลมใหม่ (หรีดให้น้อยลง) ให้ได้ปริมาณอากาศเท่าเดิมแล้ว ผลปรากฏว่าสามารถลดค่าพลังไฟฟ้าน้อยกว่าเดิม ดังรูปที่ 6-29



รูปที่ 6-29 ใบพัดของพัดลมเป่าทรายอันใหม่และการปรับแอมเปอร์พัดลมใหม่ (หรีดให้น้อยลง)

การสำรวจตรวจวัด

มอเตอร์พัดลมเป่าทราย ขนาดพิกัด 37 kW มีจำนวน 1 ตัว  
 ค่ากำลังไฟฟ้า ก่อนปรับปรุง 24.67 kW  
 ค่ากำลังไฟฟ้า หลังปรับปรุง เมื่อลดขนาดใบพัด 18.90 kW  
 เปอร์เซนต์การทำงานของมอเตอร์ 90% หรือ 0.90  
 ชั่วโมงการทำงาน 24 ชั่วโมงต่อวัน 300 วันต่อปี หรือ 7,200 ชั่วโมงต่อ  
 ค่าไฟฟ้าเฉลี่ย 2.63 บาท/kWh

การวิเคราะห์ทางเทคนิค

พลังงานไฟฟ้าที่ลดลง =  $N \times (P_1 - P_2) \times h \times d \times O_p$  (kWh/ปี)  
 $P_1$  คือ กำลังไฟฟ้าที่ใช้ ก่อนปรับปรุง = 24.67 (kW)  
 $P_2$  คือ กำลังไฟฟ้าที่ใช้ หลังปรับปรุง เมื่อขนาดใบพัด = 18.90 (kW)  
 $N$  คือ จำนวนมอเตอร์ ที่ปรับปรุง = 1 (ตัว)  
 $h$  คือ จำนวนชั่วโมงทำงาน = 24 (ชั่วโมงต่อวัน)  
 $d$  คือ จำนวนวันทำงานต่อปี = 300 (วันต่อปี)  
 $O_p$  คือ เปอร์เซนต์การทำงานของมอเตอร์ = 0.90

พลังงานไฟฟ้าที่ลดลง =  $1 \times (24.67 - 18.90) \times 24 \times 300 \times 0.90$  kWh/ปี  
 คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้ =  $37,390 \times 2.63$  บาท/ปี  
 = 98,336 บาท/ปี

การวิเคราะห์การลงทุน

ค่าแรงปรับปรุงลดใบพัดเป่าทราย

|   |   |        |        |
|---|---|--------|--------|
| คิดเป็นเงินลงทุนรวม                     | = | 20,000 | บาท    |
| เมื่อเปรียบเทียบกับเงินที่ประหยัดที่ได้ | = | 98,336 | บาท/ปี |
| ระยะเวลาคืนทุน                          | = | 0.20   | ปี     |

เมื่อพิจารณาเงินลงทุนเปรียบเทียบกับผลที่ประหยัดได้ จะทำให้อัตราผลตอบแทนการลงทุนมีระยะเวลาสั้นมากเพียง 0.2 ปี ซึ่งเป็นเหตุจูงใจให้ผู้บริหารง่ายต่อการตัดสินใจในการปรับปรุง

**6.9.3 มาตรการติดตั้ง Timer ลดเวลาการใช้พัดลมเป่ายางระบายความร้อน**

มาตรการอนุรักษ์พลังงานพัดลมของสถานประกอบการแห่งหนึ่ง เป็นมาตรการทางด้านการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมการทำงานเพื่อให้เกิดการประหยัดพลังงาน มีรายละเอียดแนวทางการดำเนินการดังนี้

ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน

ในกระบวนการผลิตมีการใช้พัดลมระบายร้อนจากยางที่ออกจากเครื่องผสม ซึ่งใช้พัดลมจำนวนมากและทำงานตลอด 24 ชั่วโมง

ปัญหาของอุปกรณ์/ระบบก่อนปรับปรุง

การควบคุมเวลาปิดและเปิดพัดลมระบบความร้อนยาง Mix ชั้นที่ 2 ที่ชั้นตากยาง 3 ชั้นเครื่อง Two - Roll - Mill 22 นิ้ว จะทำหน้าที่ลดอุณหภูมิยางจากประมาณ 78 องศา C ลงเหลืออุณหภูมิแวดล้อม (Ambient Temperature) การควบคุมเวลาปิดเปิดพัดลมระบายความร้อนจะใช้แรงงานคนบ่อยครั้งที่พนักงานลืมปิด ทำให้สูญเสียพลังงานโดยเปล่าประโยชน์ (ไม่มีชิ้นงานภายในชั้นตากยาง)

แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินงาน

ทีมงานอนุรักษ์พลังงานมีความเห็นร่วมกันว่าควรติดตั้งระบบตรวจจับชิ้นงานที่ป้อนเข้าเครื่อง ถ้ามีชิ้นงานพัดลมจะทำงาน และทำงานเพียง 10 นาที ก็จะดับ ซึ่งเป็นเวลาเพียงพอที่จะลดอุณหภูมิสภาวะแวดล้อมได้ ดังนั้นการติดตั้งระบบดังกล่าว จะทำให้เกิดการประหยัดพลังงานไฟฟ้าสูญเสียจากการลืมปิดไฟฟ้าที่จ่ายให้แก่พัดลม

สภาพหลังปรับปรุง

การปรับปรุง สามารถลดเวลาทำงานของพัดลมลงได้ ประหยัดพลังงานได้มาก ทำให้เสียงดังจากพัดลมลดลง

วิธีการคำนวณผลการอนุรักษ์พลังงาน

|                                |      |         |
|--------------------------------|------|---------|
| กำลังมอเตอร์ 1 ตัว วัดกำลังได้ | 0.32 | KW      |
| จำนวนพัดลมเป่ายาง              | 10   | ตัว     |
| เวลาที่ประหยัดได้ต่อวัน        | 6    | ชั่วโมง |
| 1 ปี ทำงาน 298 วัน คิดเป็น     | 1788 | ชั่วโมง |

ค่าไฟฟ้า คิดที่ หน่วยละ 3 บาท

|  |   |          |      |
|--|---|----------|------|
| รวมพลังงานที่ประหยัดได้ต่อปี = $0.32 \times 10 \times 745$ | = | 5,721.60 | kWh  |
| รวมพลังงานที่ประหยัดได้ต่อปี (ktoe)                        |   | 0.0005   | ktoe |

อัตราค่ากระแสไฟฟ้าคิดที่ 3.00 บาท/หน่วย

|             |   |                       |          |
|-------------|---|-----------------------|----------|
| คิดเป็นเงิน | = | $5,721.6 \times 3.00$ |          |
|             | = | 17,164.80             | บาทต่อปี |

การลงทุน

|           |        |     |
|-----------|--------|-----|
| เงินลงทุน | 25,000 | บาท |
| คืนทุน    | 1.46   | ปี  |

### เอกสารอ้างอิง

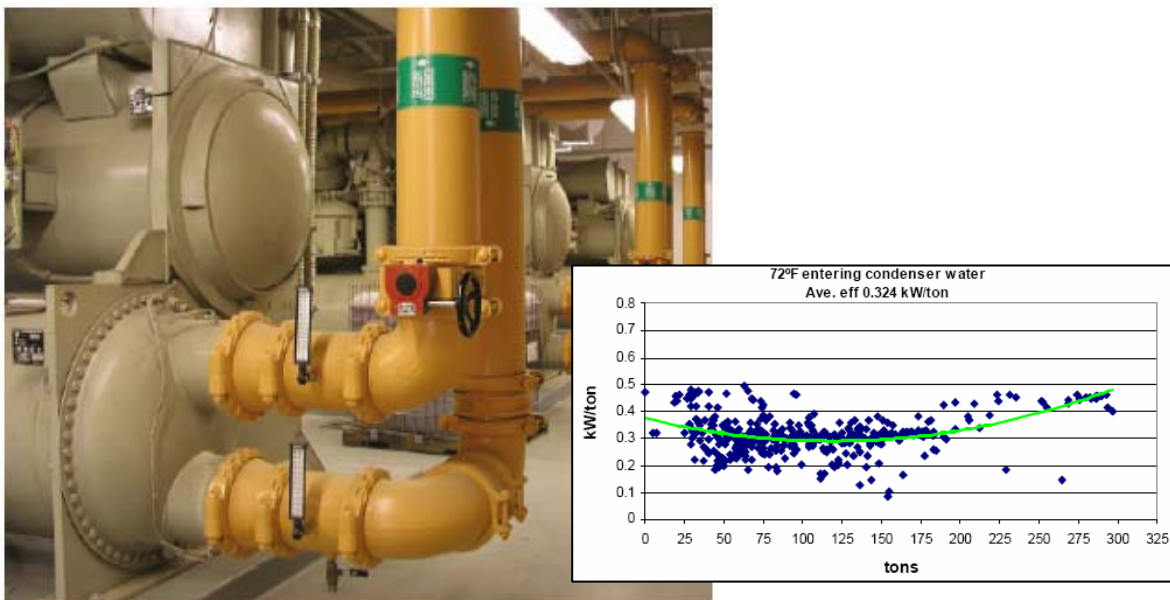
1. Frank P. Bleier, “Fan handbook : selection, application, and design”,
2. Food and Agriculture Organization of the United Nations, [www.fao.org](http://www.fao.org)
3. คู่มือการเดินเครื่องจักร การตรวจวัด และการบำรุงรักษาระบบอากาศอัด, กองฝึกอบรม กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, กระทรวงพลังงาน
4. ตำราฝึกอบรมผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน (ผชพ) เล่ม 2, PREs อ่าวโซ่ ด้านไฟฟ้า, กองฝึกอบรม กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, กระทรวงพลังงาน
5. คู่มือฝึกอบรมการอนุรักษ์พลังงานภาคปฏิบัติด้านไฟฟ้า (Mini Plant), โครงการทดลองจัดระบบการสอบและการพัฒนาหลักสูตรฝึกอบรม PRE, กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน
6. คู่มือการตรวจสอบและวิเคราะห์การใช้พลังงาน, กองฝึกอบรม กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, กระทรวงพลังงาน
7. ผศ.ดร.สุธรรม นียมवास และบัญญัติ นียมवास, เครื่องจักรกลของไหล, สำนักพิมพ์ วิทยพัฒน์ จำกัด, กรุงเทพฯ, 2549
8. ดร.เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, การออกแบบระบบท่ออาคารและสิ่งแวดล้อมอาคาร, มิตรนราการพิมพ์, กรุงเทพฯ, 2537

## ข้อมูลเทคโนโลยีเชิงลึก เครื่องทำน้ำเย็นชนิดปรับความเร็วรอบของคอมเพรสเซอร์ (VSD Chiller)

### 1. หลักการทำงานของเทคโนโลยี

การใช้พลังงานของระบบปรับอากาศขนาดใหญ่ โดยปกติจะมีสัดส่วนในปริมาณมากที่เครื่องทำน้ำเย็น (Chiller) เป็นหลัก ซึ่งคอมเพรสเซอร์ของเครื่องทำน้ำเย็นถือเป็นอุปกรณ์หลักที่ใช้ในการอัดน้ำยาสารทำความเย็นให้ไหลผ่านอุปกรณ์ต่างๆ ในระบบทำความเย็นวัฏจักรแบบอัดไอ (Vapour Compression Cycle)

เครื่องทำน้ำเย็นชนิดปรับความเร็วรอบของคอมเพรสเซอร์ (VSD Chiller) เป็นอุปกรณ์อีกประเภทหนึ่งที่อาศัยหลักการทำงานของ VFD (Variable Frequency Drive) ในการปรับความเร็วรอบของคอมเพรสเซอร์มอเตอร์ในการดูดอัดสารทำความเย็นตามภาระโหลดที่ต้องการ ซึ่งจะทำการปรับความเร็วรอบของคอมเพรสเซอร์โดยการปรับความถี่ของกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์ตามภาระโหลดที่เกิดขึ้นจริง ครอบคลุมลักษณะการใช้งานของเครื่องทำน้ำเย็นที่ภาระการทำความเย็นเต็มตามพิกัดที่ออกแบบไว้หรือเรียกว่า “Full Load” และการใช้งานที่ภาระการทำความเย็นไม่เต็มพิกัดหรือน้อยกว่าตามที่การออกแบบไว้ หรือเรียกว่า “Part Load” โดยเครื่องทำน้ำเย็นชนิดปรับความเร็วรอบคอมเพรสเซอร์ (VSD Chiller) นี้จะมีสมรรถนะที่ Part Load ดีกว่า เครื่องทำน้ำเย็นแบบเดิม (Centrifugal , Screw Chiller) โดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้งานเครื่องทำน้ำเย็นหลายชุดพร้อมกัน อาจส่งผลให้ภาระของเครื่องทำน้ำเย็นที่ใช้งานแต่ละตัวอยู่ที่ 30-50% เป็นต้น ซึ่งเป็นการสูญเสียการใช้พลังงานในระบบทำน้ำเย็นของระบบปรับอากาศ (Chilled water system) เป็นอย่างมาก



รูปที่ 1 VSD Chiller



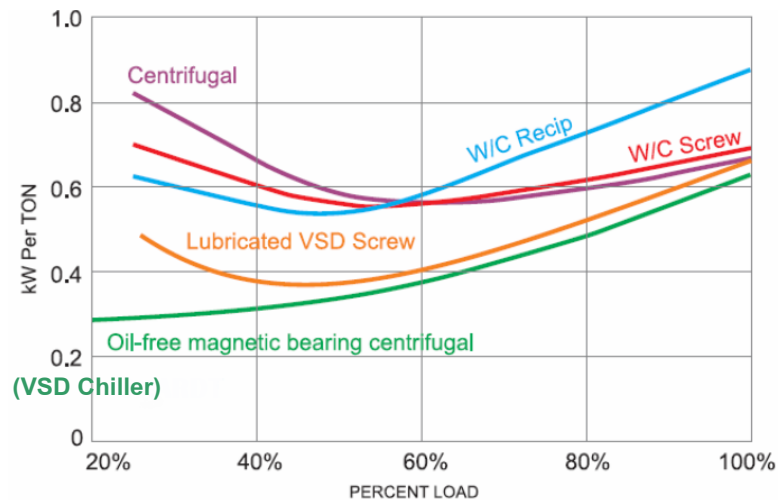
## 2. การใช้ทดแทนเทคโนโลยีเดิม

เทคโนโลยีเครื่องทำน้ำเย็นชนิดปรับความเร็วรอบของคอมเพรสเซอร์ สามารถใช้ได้กับระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์เดิมที่ใช้เครื่องทำน้ำเย็นแบบลูกสูบ สกรู และ หอยโข่ง สำหรับโรงงานอุตสาหกรรมและอาคารธุรกิจขนาดใหญ่ทั่วไปโดยมีรายละเอียดเปรียบเทียบกับเทคโนโลยีเดิม ดังนี้

- ใช้ Motor ที่มีประสิทธิภาพสูง (กรณีรุ่นที่ใช้ DC Motor ประสิทธิภาพมอเตอร์ประมาณ 98% เมื่อเทียบกับเทคโนโลยีคอมเพรสเซอร์แบบเดิมที่ใช้ AC Induction Motor ที่มีประสิทธิภาพประมาณ 96%)
- ประหยัดพลังงานสูง – เมื่อเปรียบเทียบกับเทคโนโลยีเก่าอย่างเช่นเทคโนโลยีแบบลูกสูบ, สกรูเทคโนโลยีเก่า และหอยโข่ง สามารถประหยัดพลังงานได้ถึง 20-40% ตามประสิทธิภาพ IPLV ตามมาตรฐาน ARI (Air-Conditioning and Refrigeration Institute) ทั้งนี้เนื่องจากเทคโนโลยีอินเวอร์เตอร์ (VFD) ซึ่งประกอบอยู่ในชุดคอมเพรสเซอร์ที่ช่วยลดการทำงานในช่วงโหลดการทำงานต่ำๆ

## 3. ศักยภาพการประหยัดพลังงาน

ศักยภาพในการประหยัดพลังงานขั้นต้นอยู่ที่ประมาณ **20-40%** โดยพลังงานไฟฟ้าที่ลดลงขึ้นอยู่กับภาระการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นเป็นหลัก



ที่มา : Danfoss Turbocor Compressor Inc.

## 4. สภาพที่เหมาะสมกับการใช้เทคโนโลยี

เทคโนโลยีนี้เหมาะสำหรับการใช้งานเครื่องทำน้ำเย็นสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมและอาคารประเภทต่างๆ ที่มีการใช้งานที่ภาระการทำความเย็นต่ำกว่าพิกัด (Part load) โดยส่วนใหญ่ ที่การใช้งาน 24 ชั่วโมงต่อวัน และมากกว่า 300 วันต่อปี

## 5. กลุ่มเป้าหมายการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี

กลุ่มของโรงงานอุตสาหกรรมและอาคารที่สามารถประยุกต์ใช้เทคโนโลยีนี้ได้แก่

- โรงงานผลิตอาหารและเครื่องดื่ม
- โรงงานผลิตชิ้นส่วนโลหะ
- โรงงานผลิตยาและชีวเคมี
- โรงงานสิ่งทอ
- โรงแรม
- โรงพยาบาล
- ฯลฯ

## 6. ราคาของเทคโนโลยี

ราคาของเครื่องทำน้ำเย็นชนิดปรับความเร็วรอบของคอมเพรสเซอร์ จะขึ้นอยู่กับขนาดการทำคามเย็น โดยราคาเฉลี่ยของระบบจะอยู่ที่ประมาณ 23,000 บาทต่อตันความเย็น

## 7. ระยะเวลาคืนทุนของเทคโนโลยี

ระยะเวลาในการคืนทุนประมาณ 4 – 5 ปี

## 8. ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

ไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเนื่องจากการใช้พลังงานลดลง และใช้สารทำความเย็น (R134a) ที่ลดผลกระทบต่อการทำลายชั้นบรรยากาศ

## 9. ความแพร่หลายและศักยภาพการขยายผลในประเทศไทย

จากการตรวจสอบกับผู้จำหน่ายและฐานข้อมูลโรงงานอาคารควบคุมของ พพ. พบว่ามีการนำเทคโนโลยีนี้ไปประยุกต์ใช้แล้วประมาณไม่เกิน 1% ของจำนวนสถานประกอบการที่สามารถประยุกต์ใช้เทคโนโลยีนี้ได้ (ประมาณ 30 แห่งจาก 5,537 แห่ง)

อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณากลุ่มเป้าหมายการใช้เทคโนโลยีนี้ ในกลุ่มอุตสาหกรรมและอาคารที่มีศักยภาพแล้วพบว่าเทคโนโลยีนี้สามารถขยายผลในสถานประกอบการที่มีการใช้พลังงานรวมกันประมาณ 2,532 ktoe ตามข้อมูลการใช้พลังงานของประเทศในปี 2553 <sup>(5)</sup> และจากการประมาณการในกรณีที่ 20% ของสถานประกอบการที่มีศักยภาพเหล่านี้ นำเทคโนโลยีไปประยุกต์ใช้จะทำให้เกิดผลประหยัดพลังงานให้กับประเทศได้ปีละประมาณ 313 ล้านบาท

## 10. ตัวอย่างกรณีศึกษา <sup>(4)</sup>

จากตารางผลการประหยัดพลังงานด้านล่างแสดงถึงการใช้เทคโนโลยี VSD Chiller ณ.ประเทศสหรัฐอเมริกา ในอาคารประเภทต่างๆ

| Location                   | Phoenix               | Tampa                 | Chicago                     | New York City               |
|----------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Chiller Type               | Screw vs Frictionless | Screw vs Frictionless | Centrifugal vs Frictionless | Centrifugal vs Frictionless |
| Building Type              | School                | Hospital              | 3-Story Office              | Hotel                       |
| Square Footage             | 108,500               | 37,000                | 56,400                      | 158,000                     |
| Design Cooling Load (Tons) | 300                   | 150                   | 150                         | 300                         |
| Annual Cooling (Ton-Hr)    | 482,172               | 561,524               | 102,870                     | 454,232                     |
| On - Peak Charge (\$/kWh)  | \$0.06                | \$.05                 | \$.064                      | \$.109                      |
| Off - Peak Charge (\$/kWh) | \$0.06                | \$.021                | \$.044                      | \$.109                      |
| Annual Energy Savings      | \$6,257               | \$6,008               | \$2,252                     | \$4,428                     |
| Simple Payback (years)     | 3.73                  | 1.89                  | 2.54                        | 2.36                        |

## 11. แหล่งข้อมูลอ้างอิง

[1] [www.turbocor.com](http://www.turbocor.com)

[2] [www.energyinnovation.net](http://www.energyinnovation.net)

[3] [www.energyideas.org](http://www.energyideas.org)

[4] Siam Daikin Sales Co.,Ltd

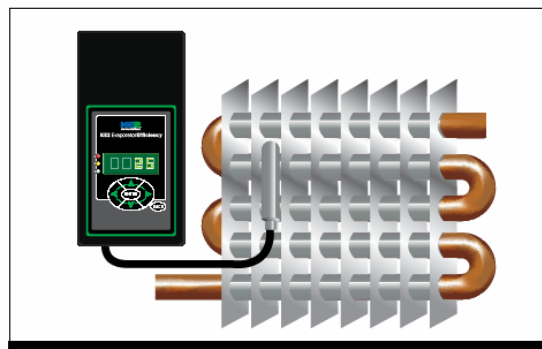
[5] รายงานพลังงานของประเทศไทย ปี 2553

## ข้อมูลเทคโนโลยีเชิงลึก ชุดควบคุมการละลายน้ำแข็งตามภาระการทำงาน (Smart Defrost Control)

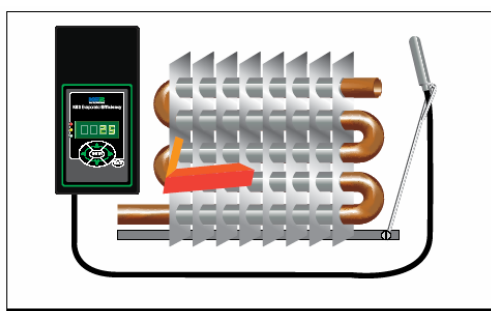
### 1. หลักการทำงานของเทคโนโลยี

ชุดควบคุมการละลายน้ำแข็งตามภาระการทำงาน (Smart Defrost Control) คืออะไร

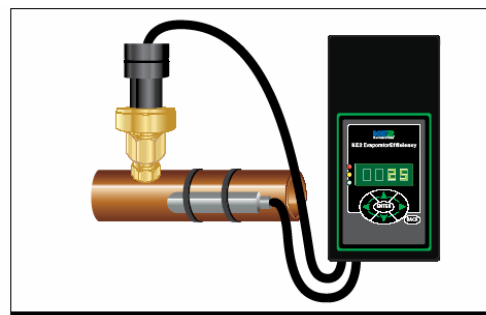
เป็นชุดควบคุมการละลายน้ำแข็งที่คอยล์เย็นแบบอัตโนมัติ ที่มีการติดตั้งตัวเซ็นเซอร์ตรวจจับอุณหภูมิที่ผิวคอยล์ (Coil temperature sensor) และเซ็นเซอร์ตรวจจับอุณหภูมิภายในห้อง (Space temperature sensor) และชุด Electronic Expansion Valve (EEV) เพื่อส่งสัญญาณไปยังชุดประมวลผลควบคุมการละลายน้ำแข็งและควบคุมให้ระบบมีการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ



Coil temperature sensor



Space temperature sensor

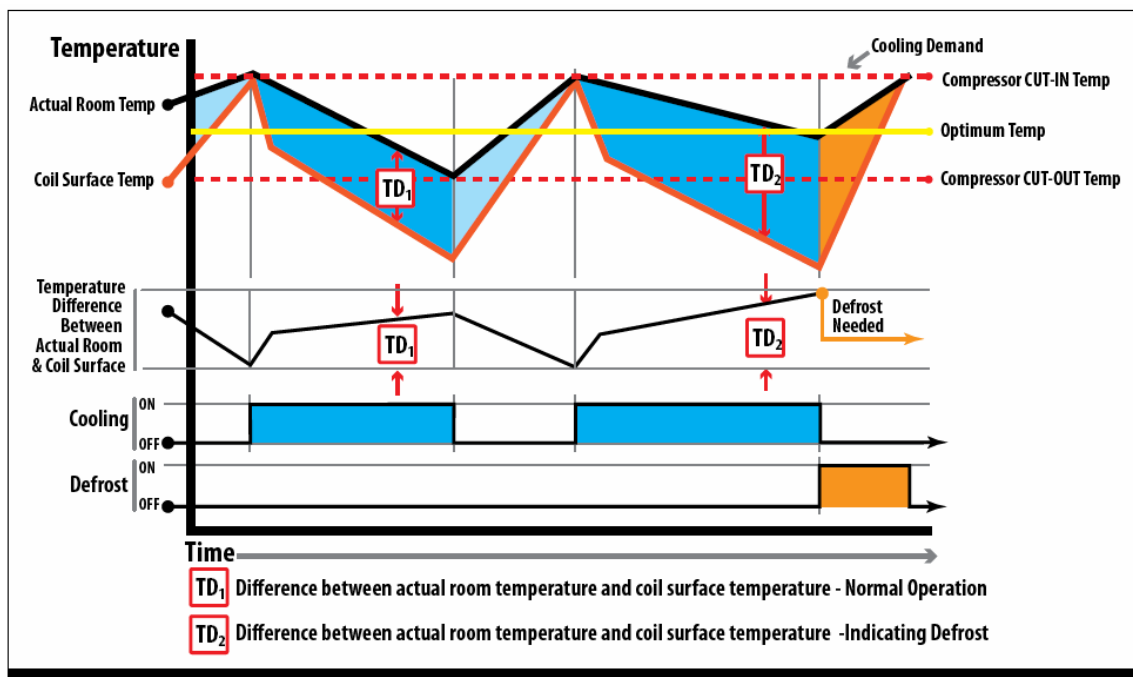


Suction temperature/Pressure transducer

โดยทั่วไปการละลายน้ำแข็งที่คอยล์เย็นแบบเดิมสามารถทำได้หลายรูปแบบดังนี้

1. Off-time Defrost : เป็นการหยุดคอมเพรสเซอร์ในการทำความเย็น แต่ยังคงเดินพัดลมที่มีอุณหภูมิสูงขึ้นเพื่อละลายน้ำแข็ง
2. Electric Defrost : เป็นวิธีที่ง่ายและนิยมใช้มากที่สุดคือใช้ Heater ไฟฟ้าในการละลายน้ำแข็งตามระยะเวลาที่กำหนด เช่น 3 ครั้งต่อวัน และครั้งละประมาณ 45-60 นาที
3. Hot Gas Defrost : เป็นวิธีที่ค่อนข้างซับซ้อนยิ่งขึ้น โดยใช้ Hot Gas ของสารทำความเย็นในสถานะ Superheat ที่คอมเพรสเซอร์วิ่งผ่านคอยล์เย็นไปยังคอนเดนเซอร์เพื่อละลายน้ำแข็งที่เกาะอยู่รอบ Tube ในลักษณะสวนทางกับสภาวะ Cooling Mode ของสารทำความเย็น

สำหรับหลักการการทำงานของชุดควบคุมการละลายน้ำแข็งตามภาระการทำงานนี้ สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 1 ต่อไปนี้



รูปที่ 1 แสดงหลักการการทำงานของชุดละลายน้ำแข็งประสิทธิภาพสูง

จากรูปที่ 1 ชุดละลายน้ำแข็งตามภาระการทำงานมีหลักการงานโดยจะพิจารณาประสิทธิภาพของคอยล์เย็นจากผลต่างของ Coil temperature และ Ambient air temperature ( $TD_1$ ) เพื่อเป็นค่าโปรไฟล์อ้างอิง จากนั้นหากอุณหภูมิ Coil temperature ตกลงเร็วกว่าที่ควรจะเป็นก็จะแสดงถึงผลต่างของอุณหภูมิที่มีค่ามากขึ้น ( $TD_2$ ) เนื่องจากประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนความร้อนลดลง ซึ่งหมายถึงเป็นระยะเวลาที่เหมาะสมที่ควรจะเริ่มการละลายน้ำแข็ง (Defrost Needed)

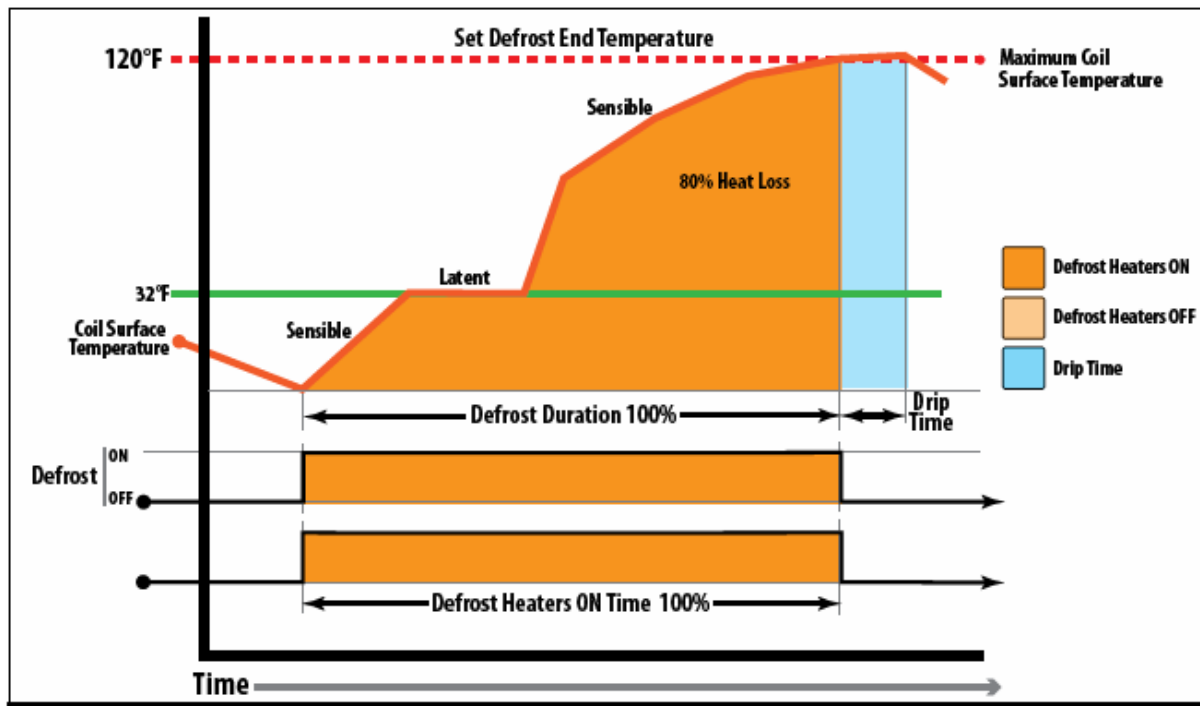
นอกจากนั้น ชุดละลายน้ำแข็งประสิทธิภาพสูงยังสามารถประหยัดพลังงานเพิ่มเติมจากอุปกรณ์ในส่วนประกอบต่างๆ ของระบบ อาทิ

- Precise superheat control
- Reduced compressor runtime
- Fan cycling

## 2. การใช้ทดแทนเทคโนโลยีเดิม

ชุดควบคุมการละลายน้ำแข็งตามภาระการทำงาน สามารถเข้ามาใช้แทนระบบละลายน้ำแข็งของเดิมได้โดยที่ไม่มีผลกระทบต่อการทำงานของเครื่องอีกทั้งยังช่วยลดการใช้พลังงาน เนื่องจากมีระบบควบคุมการทำงานที่ดีกว่าระบบเดิม โดยลดการละลายในเชิงในช่วงที่ไม่จำเป็นลง ดังแสดงการเปรียบเทียบการทำงานของระบบเดิมและระบบใหม่ได้ดังรูปที่ 2 และ 3 ต่อไปนี้

การทำงานของระบบเดิม



รูปที่ 2 การทำงานของชุดละลายน้ำแข็งแบบเดิม

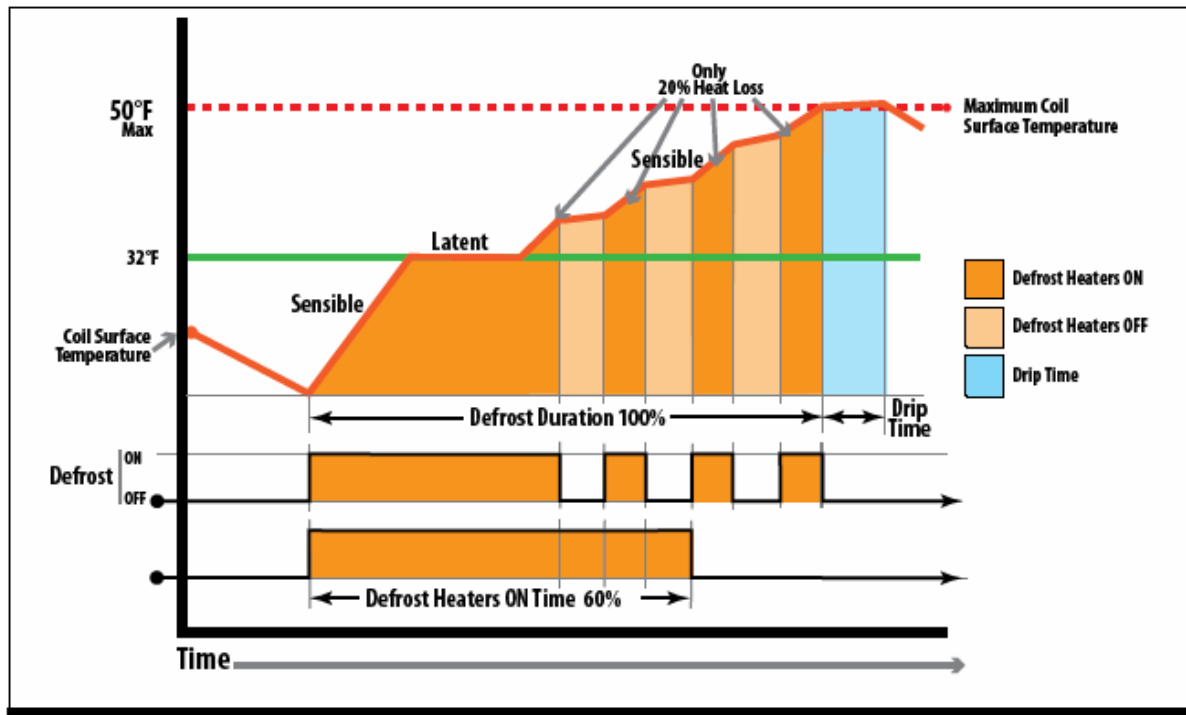
การทำงานของระบบละลายน้ำแข็งโดยทั่วไป จะใช้การตั้งเวลาในการละลายน้ำแข็งเมื่อถึงเวลาที่กำหนด ระบบละลายน้ำแข็งจะทำงานโดยอัตโนมัติโดยวิธีการละลายน้ำแข็งที่คอยล์อาจจะใช้ Heater ไฟฟ้า หรือ Hot Gas ส่วนระยะเวลาในการละลายน้ำแข็งขึ้นอยู่กับความหนาของน้ำแข็งที่เกาะอยู่รอบ ๆ คอยล์เย็น

จากรูปที่ 2 แสดงวัฏจักรในการละลายน้ำแข็งของชุดละลายน้ำแข็งแบบเดิม โดยจะมีการตั้งเวลาหรือตั้งอุณหภูมิที่ผิวคอยล์ซึ่งระยะเวลาการ Defrost ที่ไม่เหมาะสมอาจทำให้อุณหภูมิ Coil สูงถึงประมาณ 120 °F (50 °C) ซึ่งมากเกินไปจนเป็นอันตราย และเมื่ออุณหภูมิของผิวคอยล์ต่ำกว่า 32 °F (0 °C) ชุดควบคุมการละลายน้ำแข็งก็จะสั่งให้มีการละลายน้ำแข็งโดยที่ชุด Heater จะทำงานตลอดระยะเวลาในการ Defrost (Heater On time = 100% of Defrost Duration) เมื่ออุณหภูมิที่ผิวคอยล์เพิ่มขึ้นถึงค่าที่กำหนดไว้ชุดละลายน้ำแข็งก็จะหยุดการทำงาน (กรณีนี้ อุณหภูมิ Heater อาจสูงถึง

300 °F ดังนั้นเมื่อมีหยดน้ำที่เกิดขึ้นจากการละลายน้ำแข็ง หยดตามสัมผัสก็จะทำให้เกิดหมอกภายในห้องเย็น และเกิดการเกาะตัวของน้ำแข็งภายในบริเวณที่ไม่มีระบบการละลายน้ำแข็งได้)

### การทำงานของชุดควบคุมการละลายน้ำแข็งตามภาระการทำงาน

การทำงานของระบบละลายน้ำแข็งประสิทธิภาพสูงจะมีการติดตั้งชุดตรวจวัดอุณหภูมิที่คอยล์เย็น (Coil temperature) และอุณหภูมิห้อง (Ambient/Space temperature) เพื่อควบคุมการละลายน้ำแข็งให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุดและลดการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง (โดยพิจารณาจากผลต่างอุณหภูมิที่ไม่เกิน 7 องศาเซลเซียส) การทำงานของระบบจะสามารถลดระยะเวลาในการละลายน้ำแข็งที่คอยล์ลงประมาณ 40% จากของเดิม (Heater On time = 60% of Defrost Duration) ตามรูปที่ 3 โดยอุณหภูมิของคอยล์จะมีค่าอยู่ประมาณไม่เกิน 50 °F (10°C) จากเดิมที่มีอุณหภูมิประมาณ 120 °F (50°C) โดยระยะเวลาในการละลายน้ำแข็งจะทำงานเป็นช่วง ๆ เท่าที่จำเป็น คิดเป็นระยะเวลาการทำงานประมาณ 60% จากระบบเดิม วิธีการนี้จะทำให้สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าลงได้ประมาณ 40% และยังสามารถลดภาวะความร้อนภายในห้องที่เกิดขึ้นจากการทำงานของฮีตเตอร์ไฟฟ้าที่เกินความจำเป็น ดังนั้น จึงเหมาะสำหรับระบบห้องเย็น และตู้แช่สินค้าต่าง ๆ เป็นต้น



รูปที่ 3 การทำงานของชุดควบคุมการละลายน้ำแข็งตามภาระการทำงาน

### 3. ศักยภาพการประหยัดพลังงาน

จากผลการวิเคราะห์การใช้พลังงานของชุดควบคุมการละลายน้ำแข็งตามภาระการทำงานเปรียบเทียบกับระบบควบคุมของเดิมพบว่า มีศักยภาพในการประหยัดพลังงานได้มากกว่า 25-30% โดยสามารถประเมินจากพลังงานไฟฟ้าที่ลดลงจากระยะเวลาในการละลายน้ำแข็ง (จากรายละเอียดกรณีศึกษาในหัวข้อ 10 : ข้อมูลจากผู้ผลิต KE2 Therm Solutions ปี 2011) นอกจากนี้ การลดภาระการทำงานของฮีตเตอร์ไฟฟ้าจะช่วยลดค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดลงได้อีกด้วย

#### 4. สภาพที่เหมาะสมกับการใช้เทคโนโลยี

สำหรับชุดควบคุมการละลายน้ำแข็งตามภาระการทำงานสามารถที่จะติดตั้งแทนชุดควบคุมของเดิมได้ทันที (สามารถใช้กับ ระบบการ Defrost แบบ Electric Defrost หรือ Hot Gas Defrost และ Thermal Expansion Valve : TEV) โดยที่ไม่ได้มีผลกระทบต่อการใช้งาน ดังนั้นการใช้งานจึงเหมาะสมกับห้องเย็น ตู้แช่สินค้า แทนระบบเดิมจะสามารถช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในภาพรวมได้

#### 5. กลุ่มเป้าหมายการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี

กลุ่มของโรงงานอุตสาหกรรมที่สามารถประยุกต์ใช้เทคโนโลยีนี้ ได้แก่

- โรงงานอาหารแปรรูป
- โรงงานผลิตเวชภัณฑ์

#### 6. ราคาของเทคโนโลยี

ราคาของชุดควบคุมการละลายน้ำแข็งตามภาระการทำงานขึ้นอยู่กับจำนวนชุดควบคุมและตัว Sensor โดยเฉลี่ยราคาจะอยู่ที่ประมาณ 30,000 ถึง 40,000 บาทต่อชุด

#### 7. ระยะเวลาคืนทุนของเทคโนโลยี

จากข้อมูลกรณีศึกษาของ ชุดควบคุมการละลายน้ำแข็งตามภาระการทำงาน สามารถให้ผลประหยัดซึ่งมีระยะเวลาคืนทุนประมาณ 1 – 2 ปี ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดพิกัดของเครื่องที่ได้ทำการติดตั้ง ซึ่งเครื่องที่มีขนาดกำลังการผลิตมาก ผลประหยัดพลังงานสูงก็จะคืนทุนได้เร็ว

#### 8. ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

ชุดควบคุมการละลายน้ำแข็งตามภาระการทำงาน มีการใช้พลังงานไฟฟ้าที่น้อยกว่าระบบเดิมและไม่ได้มีการสูญเสียความร้อนในส่วนอื่น ๆ ดังนั้นผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจึงไม่มี

#### 9. ความแพร่หลายและศักยภาพการขยายผลในประเทศไทย

จากการตรวจสอบกับผู้จำหน่ายและฐานข้อมูลโรงงานอาคารควบคุมของ พพ. พบว่ามีการนำเทคโนโลยีนี้ไปประยุกต์ใช้แล้วประมาณไม่เกิน 5% ของจำนวนสถานประกอบการที่สามารถประยุกต์ใช้เทคโนโลยีนี้ได้ (ประมาณ 20 แห่งจาก 413 แห่ง)

โดยเมื่อพิจารณาจากกลุ่มเป้าหมายการใช้เทคโนโลยีนี้ ในกลุ่มอุตสาหกรรมที่มีศักยภาพแล้วพบว่า เทคโนโลยีนี้สามารถขยายผลในสถานประกอบการที่มีการใช้พลังงานรวมกันประมาณ 1,694 ktoe ตามข้อมูลการใช้พลังงานของประเทศ

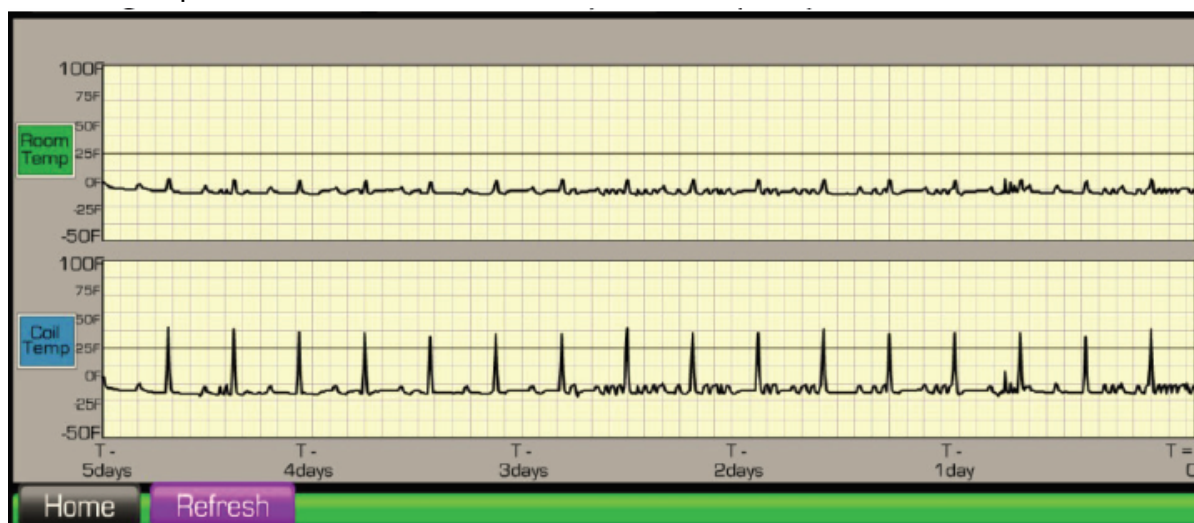


ไทยในปี 2553 และจากการประมาณการในกรณีที่ 20% ของสถานประกอบการที่มีศักยภาพเหล่านี้นำเทคโนโลยีไปประยุกต์ใช้จะทำให้เกิดผลประหยัดพลังงานให้กับประเทศได้ปีละประมาณ 18 ล้านบาท

## 10. ตัวอย่างกรณีศึกษา

### 1. Central Warehouse Freezer/High School Freezer (School District of Washington, Missouri) ประเทศสหรัฐอเมริกา

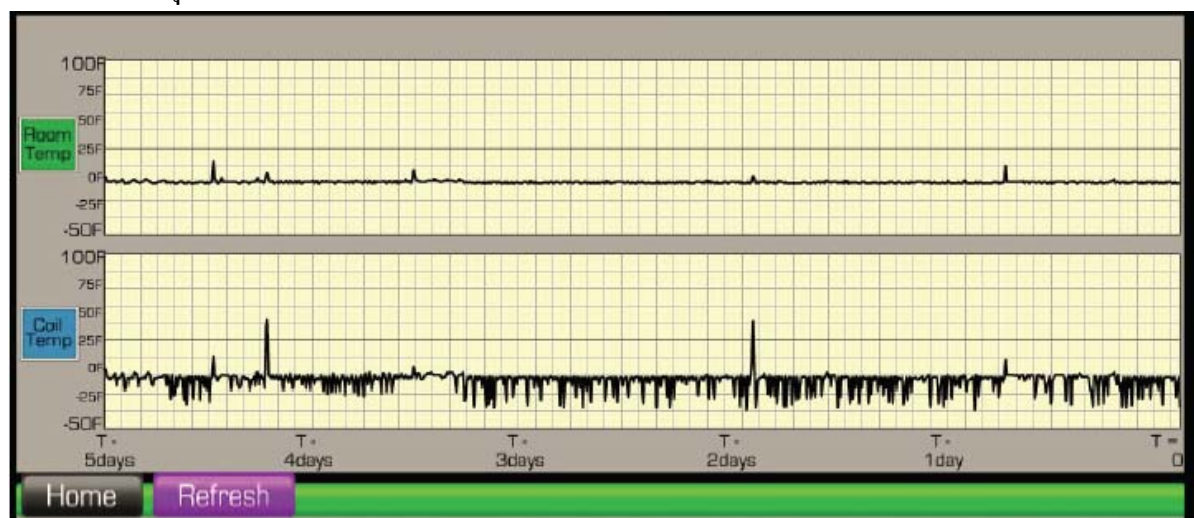
#### ก่อนการปรับปรุง



รูปที่ 4 ผลการบันทึกการละลายน้ำแข็งของระบบเดิม (ก่อนปรับปรุง)

จากรูปที่ 4 แสดงการละลายน้ำแข็งของระบบเดิมโดยการใช้ชุดควบคุมเวลาในการละลายน้ำแข็ง โดยในระยะเวลา 5 วันจะมีการละลายน้ำแข็ง 15 ครั้ง เฉลี่ยระบบละลายน้ำแข็งทำงานวันละ 3 ครั้ง

#### หลังการปรับปรุง



รูปที่ 5 ผลการบันทึกการละลายน้ำแข็งของชุดควบคุมการละลายน้ำแข็งประสิทธิภาพสูง (หลังปรับปรุง)

(ที่มา Therm Solutions, Inc., Washington, Missouri 63090)

จากรูปที่ 5 แสดงการละลายน้ำแข็งของชุดควบคุมการละลายน้ำแข็งประสิทธิภาพสูง โดยในระยะเวลา 5 วัน ระบบละลายน้ำแข็งจะทำงานเพียง 2 ครั้ง คิดเป็นระยะเวลาที่ใช้ในการละลายน้ำแข็งลดลง 87% จากระบบเดิมที่ใช้ชุดควบคุมเวลาในการละลายน้ำแข็ง สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ประมาณ 30% โดยมีระยะเวลาคืนทุนประมาณ 1.5 ปี (กรณี High School Freezer ลดระยะเวลาลง 79% และลดการใช้พลังงานลงได้ 50%)

รายละเอียดของอุปกรณ์ที่ทำการติดตั้ง

1. ชุด KE2 Evaporator Efficiency Controller
2. KE2 Pressure Transducer
3. KE2 Temperature Sensors
4. Remote monitoring & control (In Future)



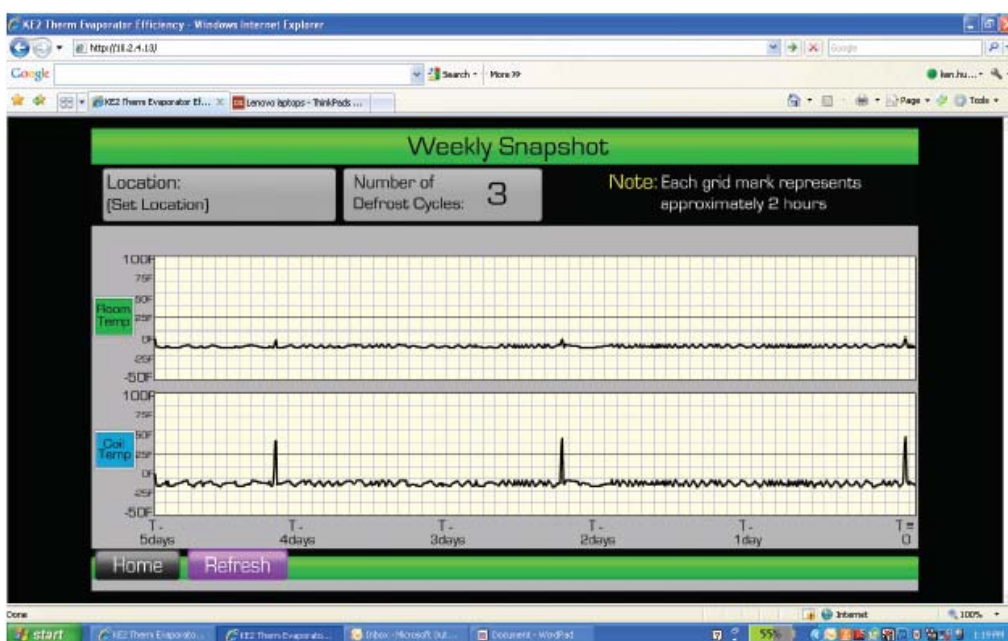
## 2. St.Louis Zoo , Missouri ประเทศสหรัฐอเมริกา

### ก่อนการปรับปรุง

ใช้การตั้งเวลา defrost 15 ครั้ง ใน 5 วัน (เฉลี่ย 3 ครั้งต่อวัน)

### หลังการปรับปรุง

เหลือระยะเวลาในการ defrost 2 ครั้งใน 5 วัน



รูปที่ 5 ผลการบันทึกการละลายน้ำแข็งของชุดควบคุมการละลายน้ำแข็งประสิทธิภาพสูง (หลังปรับปรุง)

(ที่มา Therm Solutions, Inc., Washington, Missouri 63090)

จากรูปที่ 5 แสดงการละลายน้ำแข็งของชุดควบคุมการละลายน้ำแข็งประสิทธิภาพสูง โดยในระยะเวลา 5 วัน ระบบละลายน้ำแข็งจะทำงาน 2 ครั้ง คิดเป็นระยะเวลาที่ใช้ในการละลายน้ำแข็งลดลง 80% จากระบบเดิมที่ใช้ชุดควบคุมเวลาในการละลายน้ำแข็ง สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ประมาณ 30%

## 11. แหล่งข้อมูลอ้างอิง

- (1) KE2 Therm Solutions Inc., Washington, Missouri 63090
- (2) [www.ke2therm.com](http://www.ke2therm.com)

## ข้อมูลเทคโนโลยีเชิงลึก ปั๊มไดอะแฟรมประสิทธิภาพสูง (High Efficiency Double Diaphragm Pump)

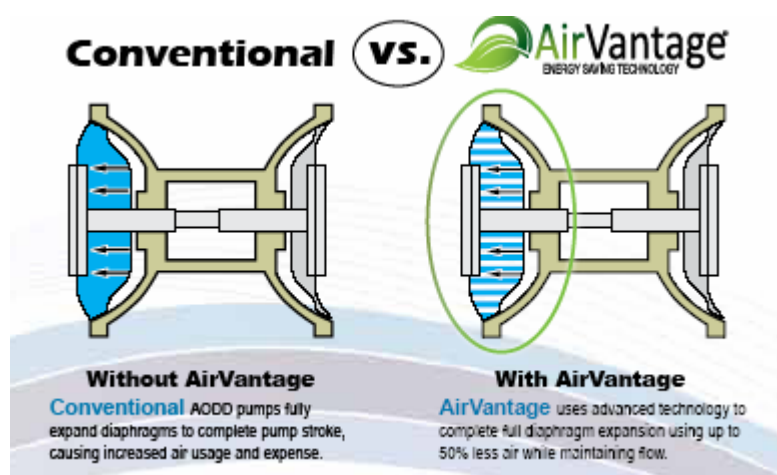
### 1. หลักการทำงานของเทคโนโลยี

#### High Efficiency Double Diaphragm Pump คืออะไร

High Efficiency Double Diaphragm Pump คือ ปั๊มของเหลวที่ใช้อากาศอัดเป็นต้นกำลังหรือใช้มอเตอร์เป็นต้นกำลังในการขับไดอะแฟรมเพื่อขับดันของเหลวที่มีความหนืดในกระบวนการต่างๆ เช่น สี น้ำมัน น้ำเสีย ซีเมนต์ ฯลฯ (กรณีรุ่นที่ใช้อากาศอัดจะใช้ปริมาณอากาศอัดน้อยกว่าแบบเดิม : Conventional Air Operated Double Diaphragm Pump – AODD ประมาณ 50% และไม่ได้มีการใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มเนื่องจากในชุดควบคุมการทำงานสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าที่แรงดัน 12 V จากอากาศอัดที่เข้า โดยกระแสไฟฟ้าที่ได้จะใช้ในชุดควบคุมทำให้ไม่ต้องใช้แหล่งจ่ายไฟภายนอก โดยลักษณะการออกแบบจะทำให้สามารถเพิ่มอัตราส่วนของปริมาตรของเหลวที่จะขับต่อปริมาณอากาศอัดที่ใช้ในขณะที่อัตราการไหลเท่าเดิมทำให้ประสิทธิภาพของปั๊มดีขึ้นและลดการใช้พลังงาน ในส่วนของชุดควบคุมก็เป็นอีกส่วนที่ทำให้การทำงานของปั๊มมีการใช้ปริมาณอากาศอัดที่เหมาะสมและลดปริมาณการใช้อากาศอัดลง)

กรณี รุ่นที่ใช้อากาศอัด จะมีชุดควบคุมซึ่งประกอบด้วย

1. Microprocessor Air
2. Air Regulator Valve Control
3. Sensor monitors pump velocity



รูปที่ 1 เปรียบเทียบชุด Diaphragm ของเทคโนโลยีเดิม (AODD) และใหม่

จากรูปที่ 1 เป็นการเปรียบเทียบปริมาณของชุด Diaphragm ของเดิมกับของใหม่ซึ่งจะเห็นได้ว่า พื้นที่ของ Diaphragm ของใหม่จะสามารถลดปริมาณการใช้อากาศอัดลงได้ประมาณ 50% ซึ่งเป็นผลมาจากการออกแบบให้มีการใช้อากาศอัดให้มีประสิทธิภาพสูงสุดและประหยัดพลังงาน



รูปที่ 2 แสดงส่วนประกอบภายในของ High Eff. Double Diaphragm Pump (รุ่นที่ใช้อากาศอัด)

#### การทำงานของชุดควบคุม

1. ในส่วนที่ 1 อากาศอัดเข้าสู่ทางเข้าโดยที่อากาศอัดส่วนหนึ่งจะใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าที่แรงดัน 12 V เพื่อใช้ในชุดควบคุม
2. ในส่วนที่ 2 จะเป็นชุดวาล์วควบคุมอัตราการไหลของอากาศอัดให้เหมาะสมกับการใช้งาน
3. ในส่วนที่ 3 จะเป็นชุดควบคุมการทำงานของระบบ โดยจะมีชุดเซ็นเซอร์ความเร็วของลมเพื่อส่งข้อมูลไปประมวลผลที่ Microprocessor และส่งสัญญาณไปยังชุดวาล์วควบคุมอัตราการไหลของอากาศอัดเพื่อกำหนดปริมาณอัตราการไหลของอากาศอัดให้เหมาะสมกับการทำงาน

วิธีการนี้จะทำให้สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าลงได้ประมาณ 20 - 50% จึงเหมาะสำหรับชุดปั๊มของเหลวต่าง ๆ เป็นต้น



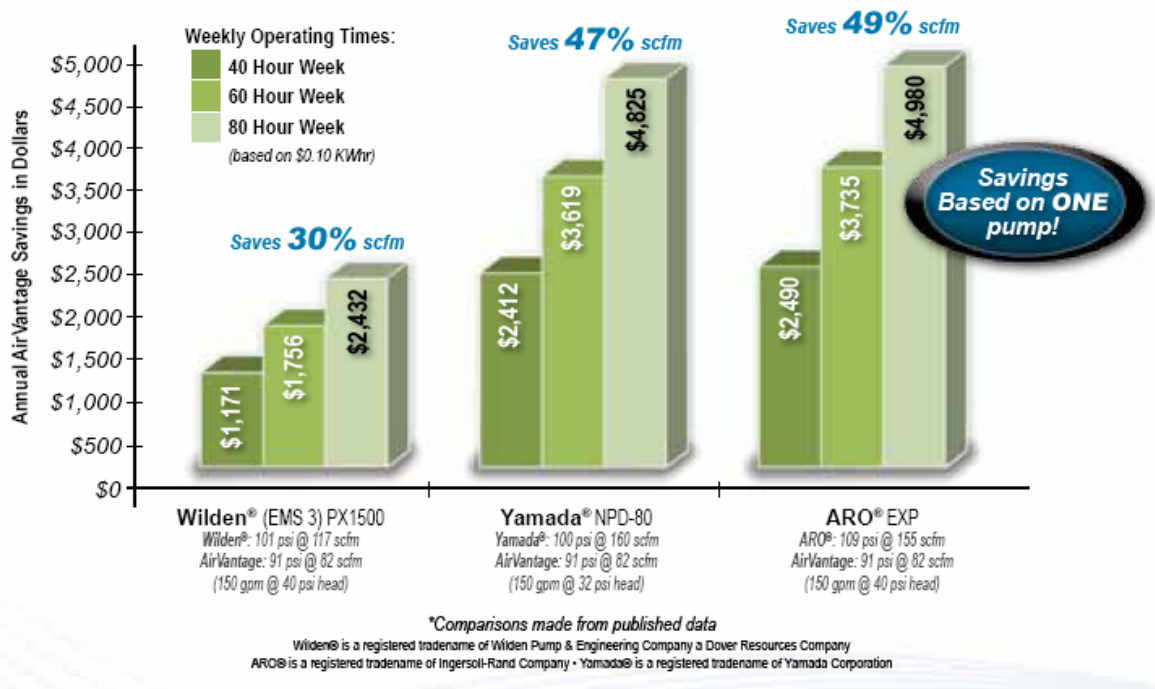
## 2. การใช้ทดแทนเทคโนโลยีเดิม

ชุด High Eff. Double Diaphragm Pump สามารถเข้ามาใช้แทนระบบของเดิมได้โดยที่ไม่มีผลกระทบต่อการทำงาน อีกทั้งยังช่วยลดการใช้พลังงาน เนื่องจากมีระบบควบคุมการทำงานที่ดีกว่าระบบเดิม

## 3. ศักยภาพการประหยัดพลังงาน

จากผลการวิเคราะห์การใช้พลังงานของ High Eff. Double Diaphragm Pump เปรียบเทียบกับระบบของเดิมพบว่า มีศักยภาพในการประหยัดพลังงานได้มากกว่า 20% โดยสามารถประเมินจากกำลังไฟฟ้าที่ลดลงจากปริมาณอากาศอัดที่ใช้ (ข้อมูลจากผู้ผลิต Air Vantage ปี 2010)

การเปรียบเทียบผลการประหยัดพลังงานของ High Eff. Double Diaphragm Pump (รุ่นที่ใช้อากาศอัด) กับระบบเดิม (Conventional Air Operated Double Diaphragm Pump : AODD)



จากรูปเป็นการเปรียบเทียบผลการประหยัดพลังงานและปริมาณอากาศอัดที่ใช้ของชุด **High Eff. Double Diaphragm Pump** กับเทคโนโลยีเดิม (AODD) โดยผลประหยัดพลังงานจะอยู่ในช่วง **20 – 50%** และสามารถลดปริมาณอากาศอัดที่ใช้จากเดิมได้สูงสุดประมาณ 50%

หมายเหตุ : Conventional AODD = 0.7-1.0 scfm/GPM , High Eff. Double Diaphragm (Compressed air type) = 0.5 scfm/GPM = 0.2 kW/GPM , High Eff. Double Diaphragm (Motor Driven type) = 0.02kW/GPM

| Ways You Save with AirVantage   | 50% Energy Savings | 25% Energy Savings |
|---|--------------------|--------------------|
| 1. Energy Savings (20-50%)  | \$3,000            | \$1,500            |
| 2. Less Energy Draw From Compressor Systems<br>• Avoid buying additional air compressor | \$25,000           | \$25,000           |
| 3. Reduced Air Compressor Maintenance Expense<br>• 50% annually, including spare parts  | \$2,500            | \$1,250            |
| 4. Reduced Pump Maintenance & Operating Costs   | \$1,750            | \$1,750            |
| 5. Reduced Decibel Levels 8-10%<br>• Based on single OSHA violation expense             | \$1,500            | \$1,500            |
| <b>Total Value Calculated</b>   | <b>\$33,750</b>    | <b>\$31,000</b>    |
| <b>Total Value minus Air Compressor</b>   | <b>\$8,750</b>     | <b>\$6,000</b>     |

Results may vary: • Estimates shown are based on a 3" size pump, operating at 40 hours per week using \$0.10/KWhr  
 • Average factory air compressor maintenance costs estimated to be \$5,000 on repair parts and labor.

ที่มา [www.airventagepump.com](http://www.airventagepump.com)

#### 4. สภาพที่เหมาะสมกับการใช้เทคโนโลยี

สำหรับชุด High Eff. Double Diaphragm Pump สามารถที่จะติดตั้งแทนของเดิมได้ทันทีโดยที่ไม่ได้มีผลกระทบต่อการใช้งาน ดังนั้นการใช้งานจึงเหมาะสมกับอุตสาหกรรมการผลิตสี เคมี กระดาษ น้ำมันพืช แทนระบบเดิมจะสามารถช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในภาพรวมได้

**Typical Applications & Usage:**

| Industries:   | Characteristics:              | Application Type:  | Description:  |
|---|-------------------------------|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Chemical / Petrochemical Processing</li> <li>• Ceramic Glaze / Slip Processing</li> <li>• Paints, Inks and Coatings</li> <li>• Pulp and Paper Converters</li> <li>• Adhesives Processing</li> <li>• Industrial / Municipal Wastewater</li> <li>• Construction / Utilities</li> </ul> | Long Hours of Operation       | Recirculation, Mixing, Batching  | Long hours of continuous operation consume the most energy. Small improvements in air consumption make huge impact on bottom line   |
|   | High SCFM Consumption         | Transfer, Loading, Offloading  | Opportunities to reduce highest percentage of SCFM consumption  |
|   | High Air Compressor Costs     | Facility air capacity is at a premium  | Reducing between 3-7 HP per pump can make a significant difference to compressor operation. (ex: 40 pumps x 5HP = 200 HP reduction) |
|   | Hazardous Duty ATEX Certified | Recirculation, Mixing, Batching, Transfer, Loading, Offloading, and Processing | Paints, Solvents, Fuels, Acids, and Hazardous Chemicals   |

#### 5. กลุ่มเป้าหมายการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี

กลุ่มของโรงงานอุตสาหกรรมที่สามารถประยุกต์ใช้เทคโนโลยีนี้ได้แก่

- โรงงานอาหารแปรรูปอาหาร
- อุตสาหกรรมเคมี
- อุตสาหกรรมกระดาษ
- อุตสาหกรรมเซรามิค

#### 6. ราคาของเทคโนโลยี

ราคาของ High Eff. Double Diaphragm Pump ขึ้นอยู่กับขนาดของเครื่องและรุ่นที่ใช้ โดยเฉลี่ยราคาจะอยู่ที่ประมาณ 60,000 บาท ขึ้นไป (สำหรับปั๊มขนาด 2")



## 7. ระยะเวลาคืนทุนของเทคโนโลยี

จากข้อมูลกรณีศึกษาของ High Eff. Double Diaphragm Pump สามารถให้ผลประหยัดซึ่งมีระยะเวลาคืนทุนประมาณ 3 - 4 ปี ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดของเครื่องที่ได้ทำการติดตั้ง ถ้าเครื่องมีขนาดกำลังการผลิตมากก็จะคืนทุนได้เร็ว

## 8. ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

High Eff. Double Diaphragm Pump มีการใช้พลังงานไฟฟ้าที่น้อยกว่าระบบเดิมและไม่ได้มีการสูญเสียความร้อนในส่วนอื่น ๆ ดังนั้นผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจึงไม่มี

## 9. ความแพร่หลายและศักยภาพการขยายผลในประเทศไทย

จากการตรวจสอบกับผู้จำหน่ายและฐานข้อมูลโรงงานอาคารควบคุมของ พพ. ยังไม่พบว่ามีผู้นำเทคโนโลยีการใช้ชุด **High Eff. Double Diaphragm Pump** ไปประยุกต์ใช้แล้วกับสถานประกอบการใดๆ ของจำนวนสถานประกอบการที่สามารถประยุกต์ใช้เทคโนโลยีนี้ได้

โดยเมื่อพิจารณากลุ่มเป้าหมายการใช้เทคโนโลยีนี้ ในกลุ่มอุตสาหกรรมที่มีศักยภาพแล้วพบว่า เทคโนโลยีนี้สามารถขยายผลในสถานประกอบการที่มีการใช้พลังงานรวมกันประมาณ 7,237 ktoe ตามข้อมูลการใช้พลังงานของประเทศไทยในปี 2553 และจากการประมาณการในกรณีที่ 20% ของสถานประกอบการที่มีศักยภาพเหล่านี้นำเทคโนโลยีไปประยุกต์ใช้จะทำให้เกิดผลประหยัดพลังงานให้กับประเทศได้ปีละประมาณ 801 ล้านบาท

## 10. ตัวอย่างกรณีศึกษา

ผลการประหยัดพลังงานหลังจากที่มีการใช้งาน High Eff. Double Diaphragm Pump (AODD)  
สถานที่ติดตั้ง Saint Gobain, Niagara Falls, NY

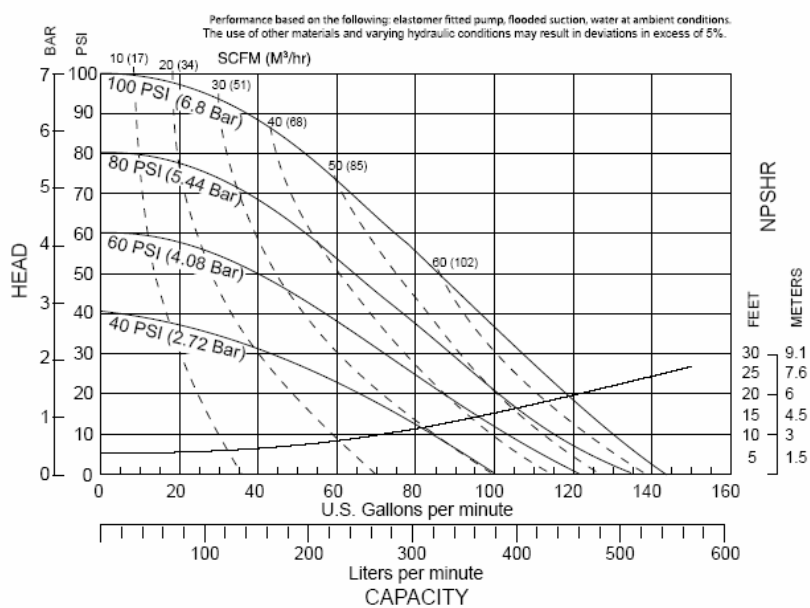


Grains and Powders Manufacturing Facility  
Saint Gobain • Niagara Falls, NY

### อุปกรณ์ที่ติดตั้ง

1. ชุด High Eff. Double Diaphragm Pump รุ่น RS20 with standard Muffler จำนวน 1 ชุด

### Performance Curve, Hazardous Duty RS20 Metallic Design Level 1



จากผลการทดลองติดตั้งใช้งานแทนชุดเดิมในระยะเวลา 30 วัน โดยให้ทำงานตลอด 24 ชั่วโมง พบว่า ชุด High Eff. Double Diaphragm Pump สามารถลดการใช้พลังงานลงได้ประมาณ 23% คิดเป็นค่าไฟฟ้าที่ลดลง ได้ประมาณปีละ \$1,200

สถานที่ติดตั้ง Iowa Manufacturer, Sioux City

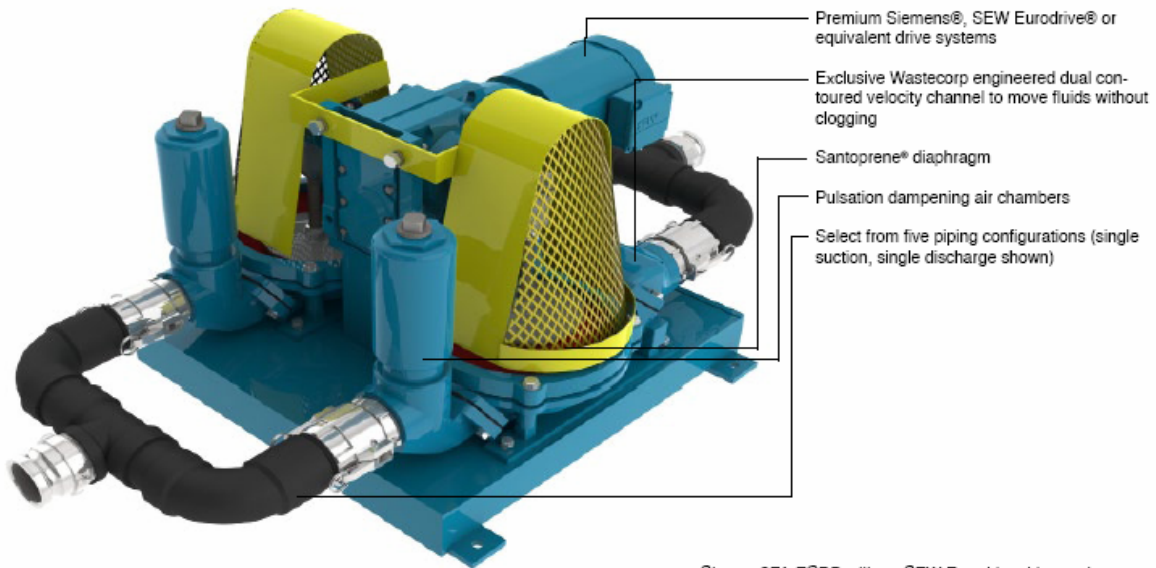


#### อุปกรณ์ที่ติดตั้ง

1. ชุด High Eff. Double Diaphragm Pump จำนวน 10 ชุด

จากผลการทดลองติดตั้งใช้งานแทนชุดเดิมในระยะเวลา 90 วัน โดยให้ทำงานตลอด 24 ชั่วโมง พบว่า ชุด High Eff. Double Diaphragm Pump สามารถลดการใช้พลังงานลงได้ประมาณ 50% คิดเป็นค่าไฟฟ้าที่ลดลง ได้ประมาณปีละ \$12,000

### ตัวอย่าง High Eff. Double Diaphragm Pump ที่ใช้ไฟฟ้า (Motor Driven)



### Double Diaphragm Pumps Designed for The Long Haul



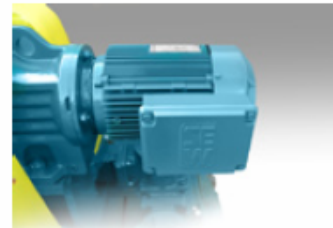
#### SMARTER PUMP DESIGN

Like all FA Series pumps the industry exclusive contoured velocity channel makes pumping easier, more efficient and consistent



#### PIPING DESIGNED FOR YOUR PUMP SPACE

Don't settle for someone else's piping design. Get the piping configuration that help you pump more volume, more efficiently.



#### TOP RATED PUMP DRIVE SYSTEMS

Top rated drive systems available in single phase, three phase and air operated models

ที่มา [www.wastecorp.com](http://www.wastecorp.com)

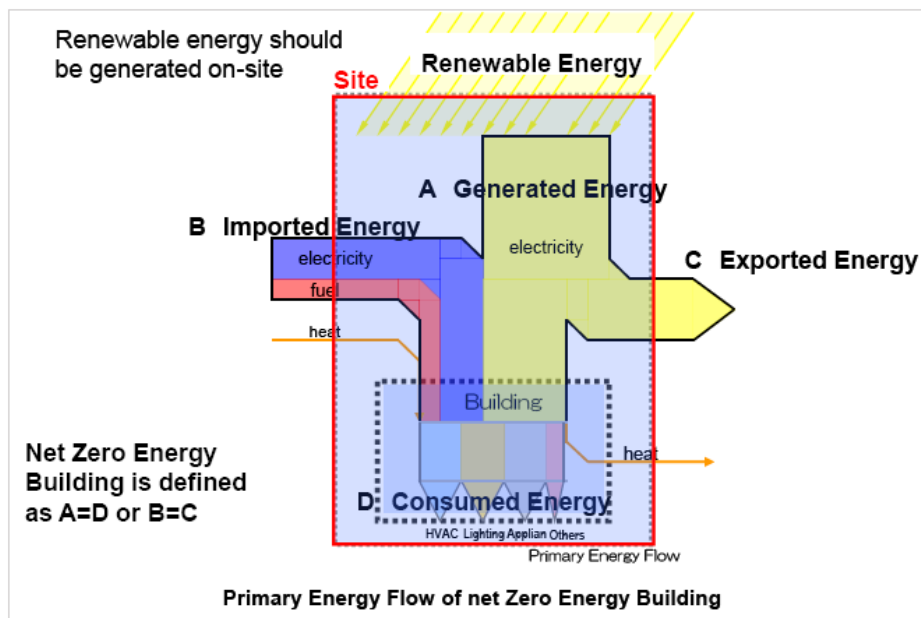
### 11. แหล่งข้อมูลอ้างอิง

- (1) [www.pump-zone.com](http://www.pump-zone.com) (Feb 2011 page 53)
- (2) [www.airvantagepump.com](http://www.airvantagepump.com)
- (3) [www.wastecorp.com](http://www.wastecorp.com)

## ภาคผนวก ข. เทคโนโลยี Smart Building

### แนวคิดของ Smart Building

อาคารธุรกิจในปัจจุบัน มีความจำเป็นที่จะต้องปรับตัวเพื่อให้สามารถแข่งขันในเชิงธุรกิจที่หลากหลายมากยิ่งขึ้น ตัวอย่างเช่น อาคารที่มีการพัฒนาภาพลักษณ์และการบริหารจัดการ โดยนำเอาเทคโนโลยีอาคารสมัยใหม่มาประยุกต์ใช้ เพื่อให้สามารถใช้พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ พร้อมๆกับการผลิตพลังงานจากพลังงานทดแทน เพื่อให้อาคารมีการใช้พลังงานในระดับต่ำ หรือ สุทธิเป็นศูนย์ (Net Zero Energy Building) นั้น กำลังเป็นกระแสที่ทั่วโลกพยายามที่จะมุ่งไปสู่การเป็น Smart Building แทบทั้งสิ้น (รูปที่ 1)



Copyright © 2014 Nikken Sekkei Research Institute.

รูปที่ 1 : Zero Energy Building

ดังนั้น Smart Building จึงเป็นคำตอบให้กับเจ้าของอาคาร และผู้ปฏิบัติงานในอาคารในการนำไปสู่การลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน การใช้งานและบำรุงรักษาอาคาร ตลอดจนการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ตลอดจนอายุของอาคารเนื่องจาก Smart Building ใช้แนวทางในการพิจารณาในทุกขั้นตอนของการก่อสร้างและใช้งานอาคาร ดังต่อไปนี้ (รูปที่ 2)

1. Passive Design
2. Active Design
3. Energy Management

**Passive Design :**

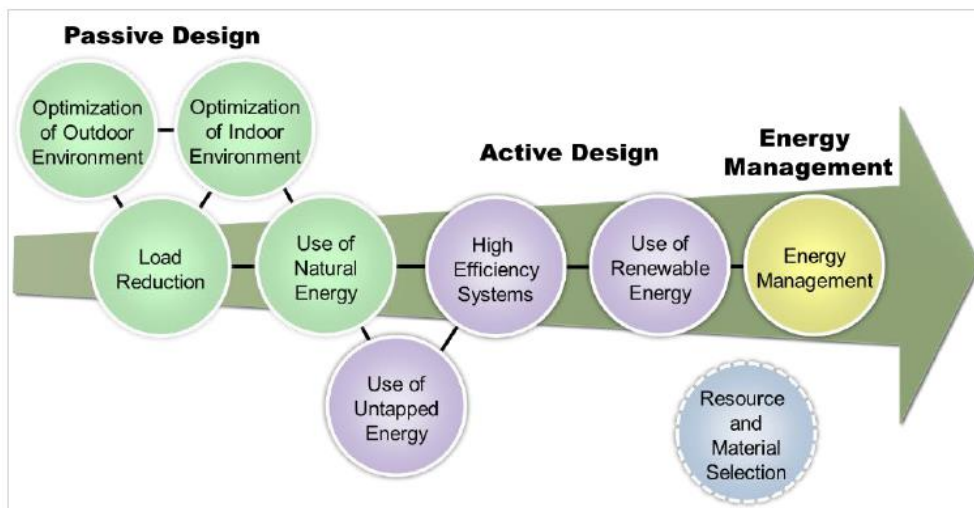
เป็นการนำเอาหลักการออกแบบโดยใช้ปัจจัยธรรมชาติ เช่น การใช้สภาพแวดล้อมเพื่อลดภาระทำความเย็นภายนอกและภายในอาคาร การใช้แสงธรรมชาติ (daylight) เป็นต้น

**Active Design :**

เป็นการนำเอาหลักการออกแบบและติดตั้งอุปกรณ์ประสิทธิภาพสูง และระบบผลิตพลังงานมาใช้ภายในอาคาร

**Energy Management :**

การบริหารจัดการพลังงานตลอดวัฏจักรของอาคารในด้านอุปสงค์และอุปทาน (Supply & Demand)



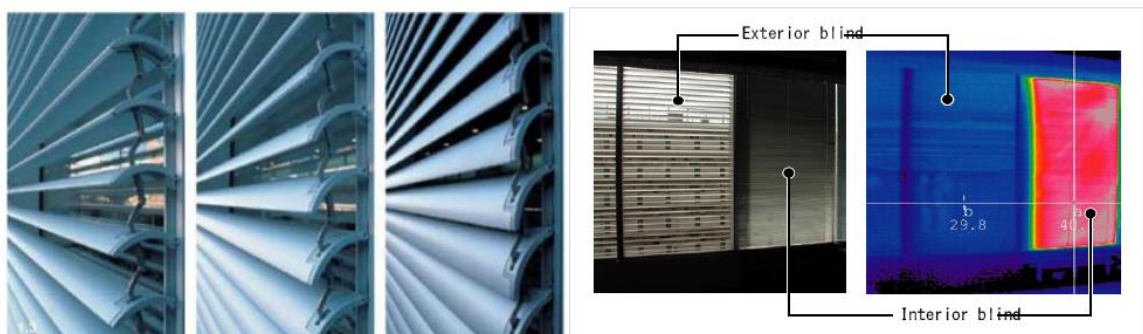
Copyright © 2014 Nikken Sekkei Research Institute.

รูปที่ 2 : แนวคิดของการพัฒนาอาคาร Smart Building

ดังนั้น จากแนวคิดข้างต้น สามารถแสดงเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับ Smart Building ได้ดังต่อไปนี้

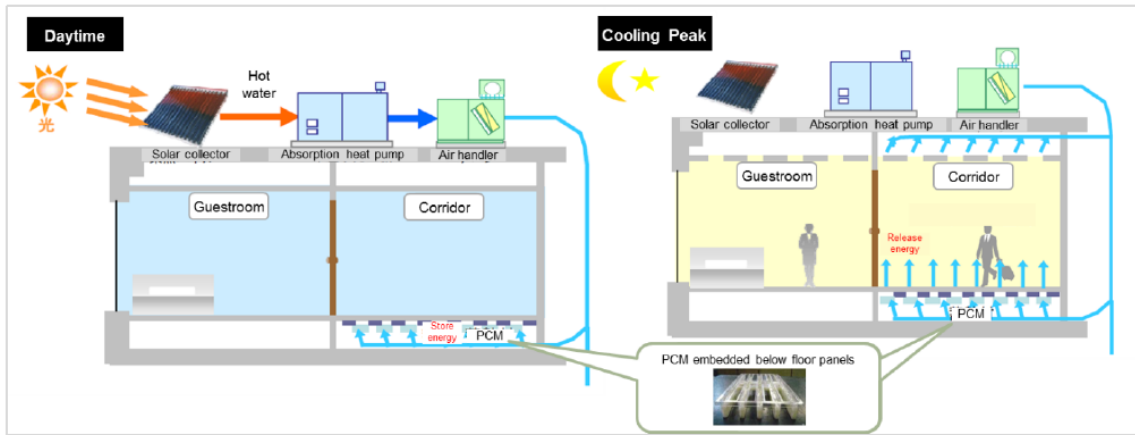
**Exterior Blind :**

การใช้ม่านบังแสงอัตโนมัติภายนอกตัวอาคารเพื่อลดการนำความร้อนและแผ่รังสีความร้อนผ่านกรอบอาคาร



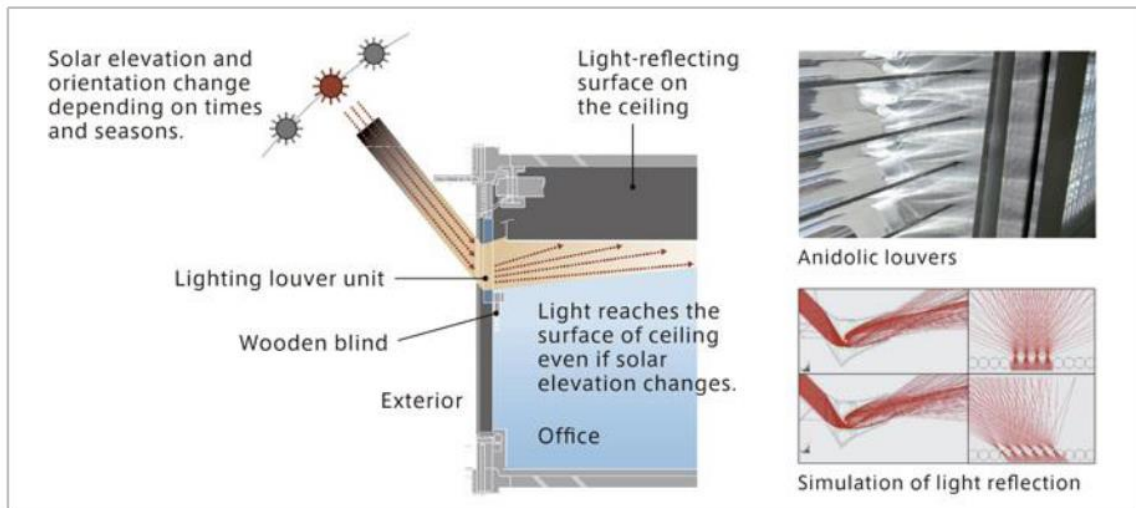
**Latent Heat Storage :**

การใช้วัสดุฉนวนที่เปลี่ยนสถานะได้ : PCM (Phase Change Material) เพื่อกักเก็บและถ่ายเทความร้อนให้กับพื้นที่ในบริเวณปรับอากาศระหว่างช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน



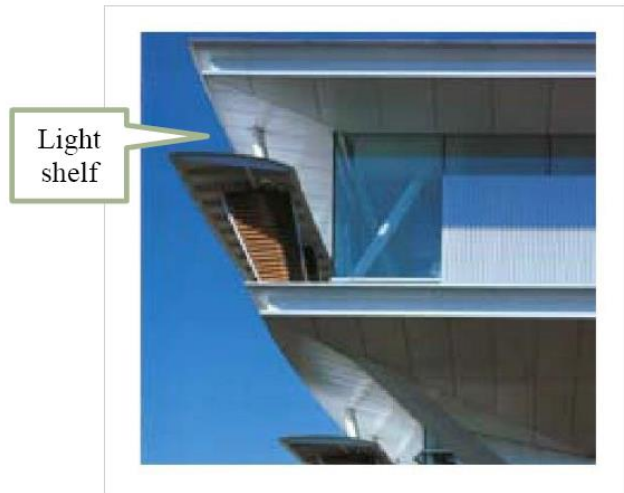
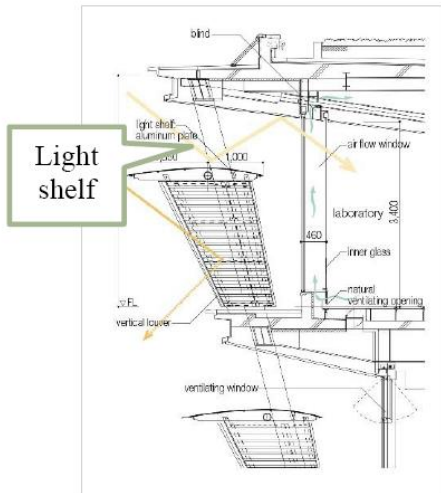
**Passive Daylighting :**

การใช้วัสดุสะท้อนแสงบริเวณหน้าต่างและบริเวณฝ้าเพดานเพื่อเพิ่มผลการสะท้อนแสงธรรมชาติเข้าสู่อาคารได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น



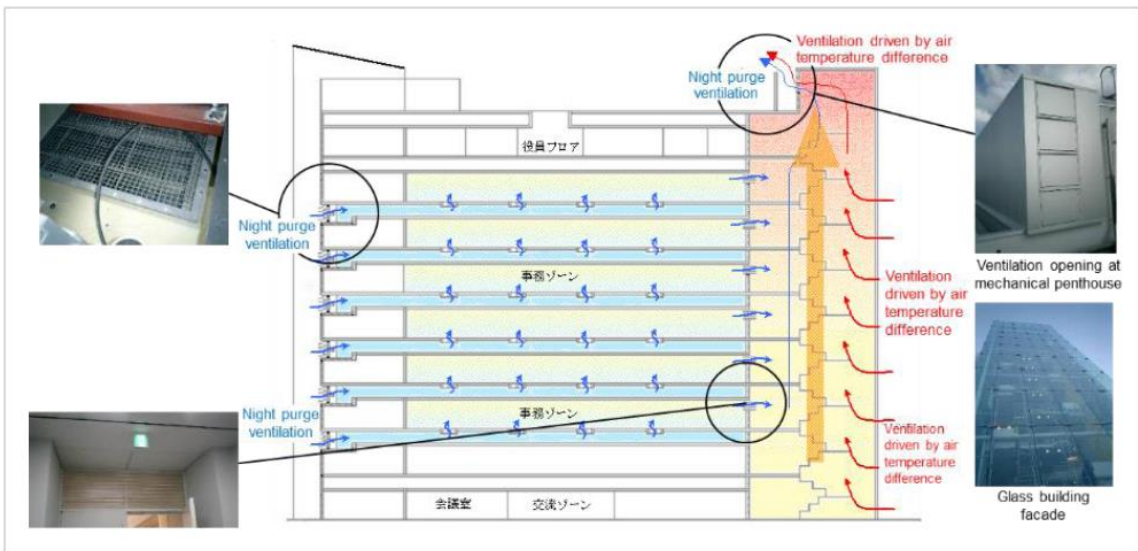
**Light Shelf :**

การใช้หิ้งสะท้อนแสงธรรมชาติเข้าสู่ภายในบริเวณอาคาร



**Stack Effect Ventilation :**

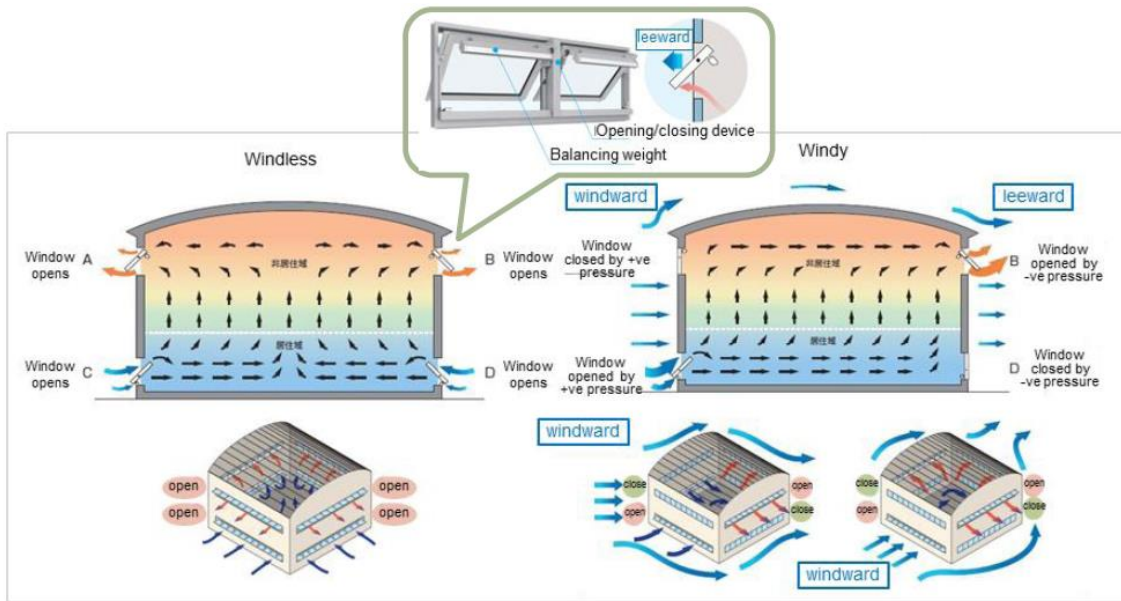
การใช้ปรากฏการณ์ระบายอากาศทางธรรมชาติของท่อความร้อนอันเนื่องมาจากความแตกต่างของอุณหภูมิด้านล่างและด้านบนของท่อ





Swindow :

การใช้ปรากฏการณ์อันเนื่องมาจากแรงลมที่มีผลต่อการทำงานของหน้าต่างระบายอากาศ



Building Integrated Panel :

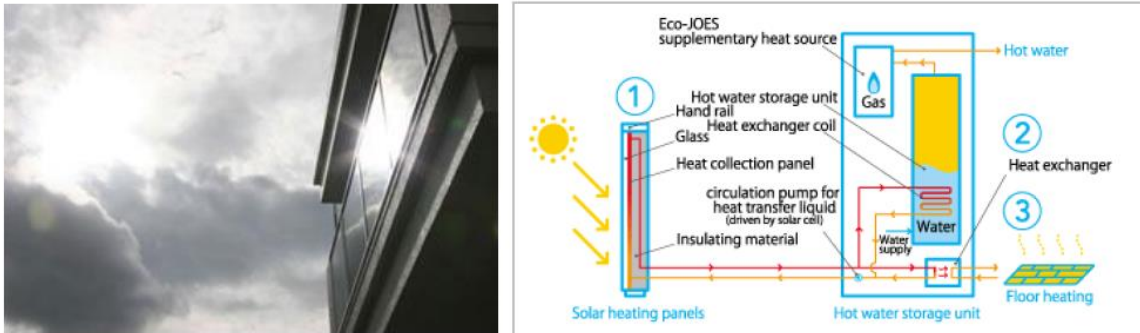
การผลิตไฟฟ้าจากส่วนประกอบอาคารที่ใช้ผนังแบบ Solar PV



PV panels acting as solar shades

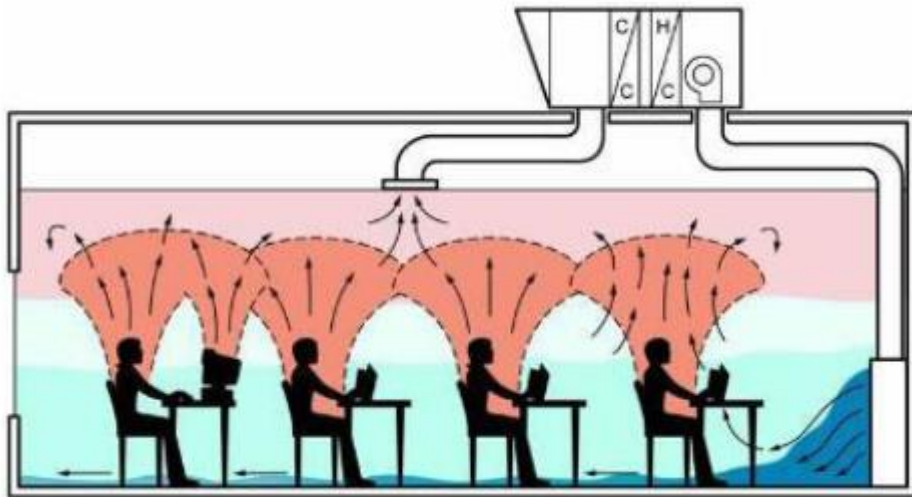
**Solar Water Heating :**

การผลิตน้ำร้อนจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสะสมความร้อน (Solar Collector) บริเวณระเบียงนอกห้อง



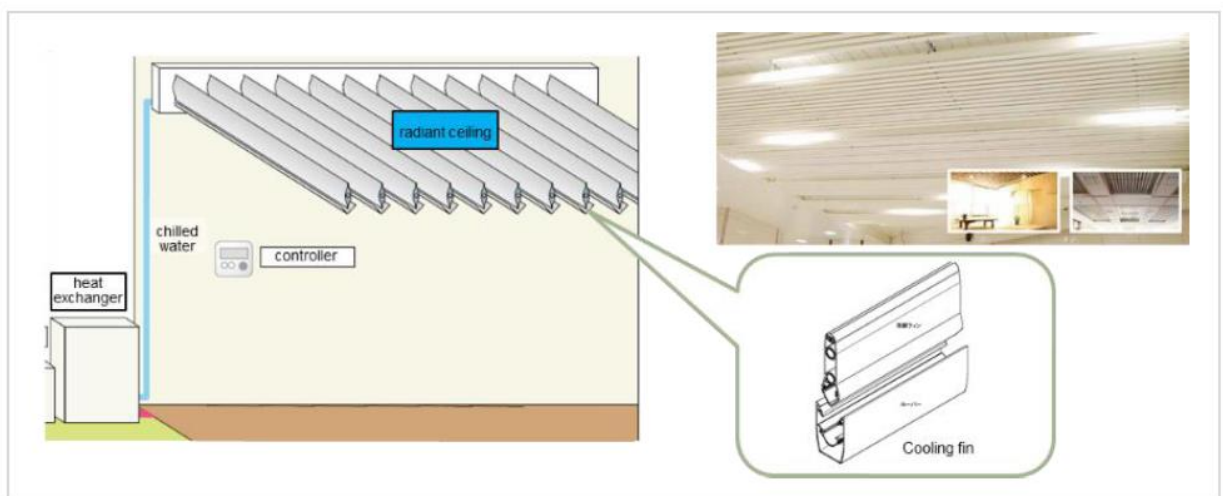
**Displacement Cooling :**

การทำความเย็นเฉพาะจุด (Spot Cooling) เพื่อลดภาระการทำความเย็นแบบเดิม

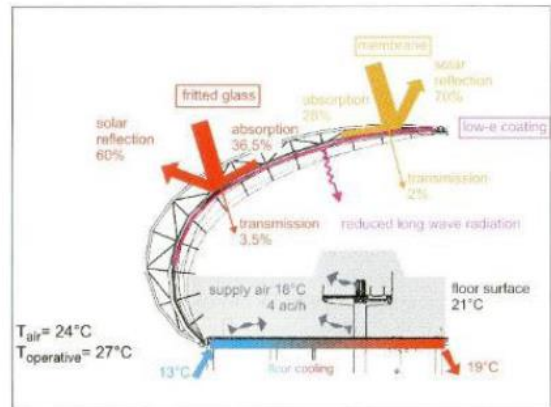


**Radiant Cooling :**

การทำความเย็นโดยอาศัยปรากฏการณ์แผ่รังสีความร้อน

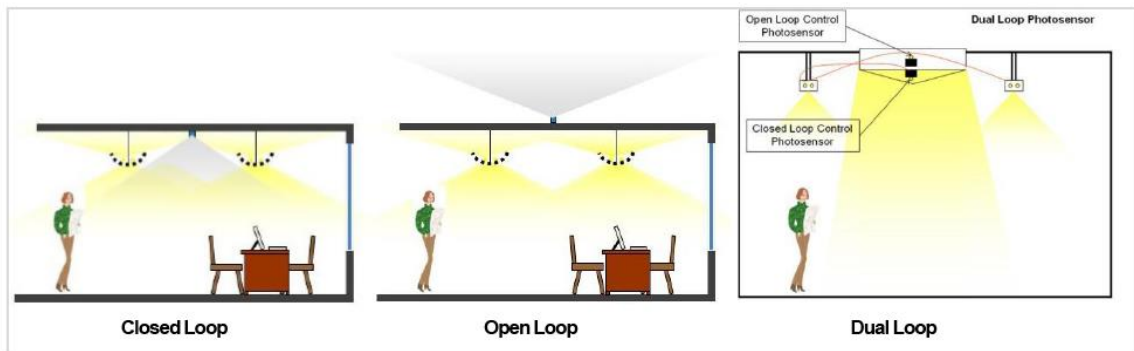


ตัวอย่างการใช้ Floor Radiant Cooling และ Displacement Ventilation ที่อาคารผู้โดยสารสนามบินสุวรรณภูมิในประเทศไทย ดังแสดงในรูปต่อไปนี้



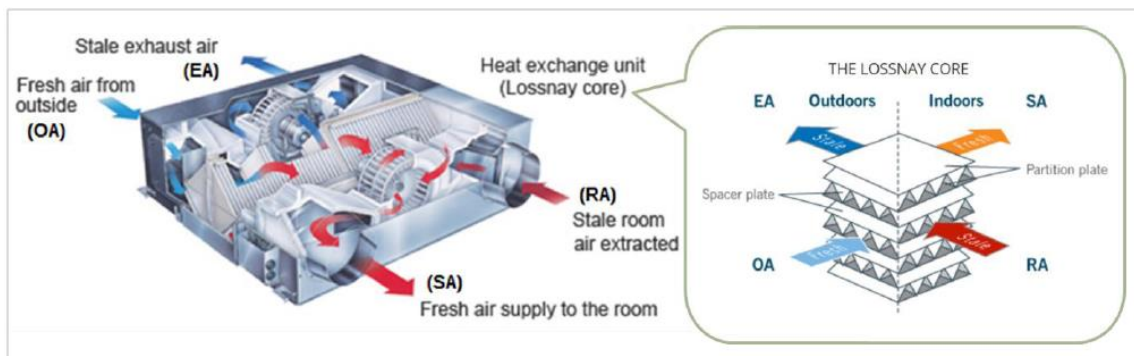
**Daylighting with Dual-loop Controlled :**

การควบคุมแสงธรรมชาติโดยใช้ระบบควบคุมแบบ Dual-looped เพื่อพิจารณาเงื่อนไขการควบคุมที่มีประสิทธิภาพโดยทำการพิจารณาความสว่างภายในและภายนอกของบริเวณที่ควบคุม



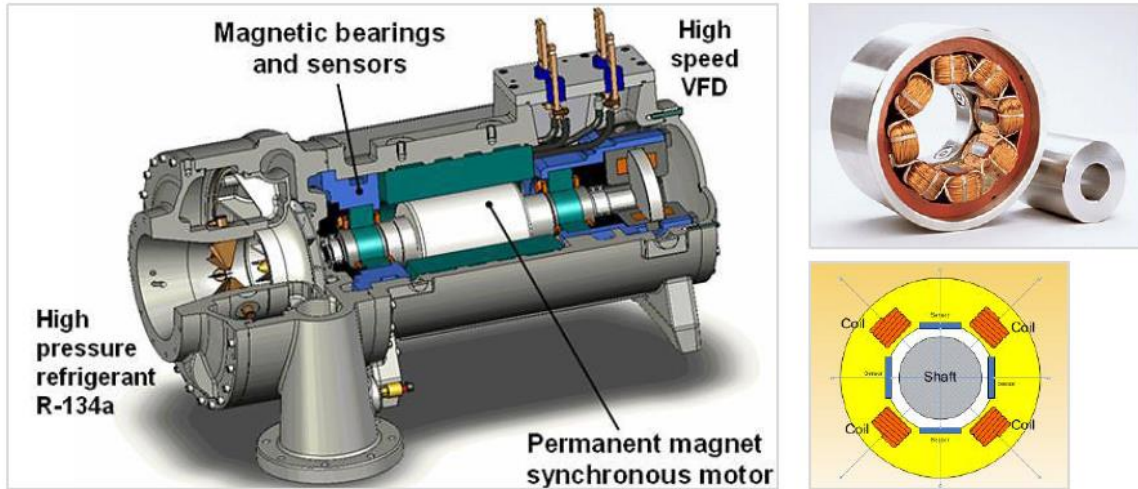
**Energy Recovery Unit (ERV) :**

การควบคุมอากาศภายนอกด้านอุณหภูมิและความชื้น โดยทำการลดผลกระทบจากภาระการทำความเย็นจากการแลกเปลี่ยนความร้อนและความชื้นระหว่างลมเย็นระบายทิ้งกับลมร้อนที่นำเข้าสู่อาคาร



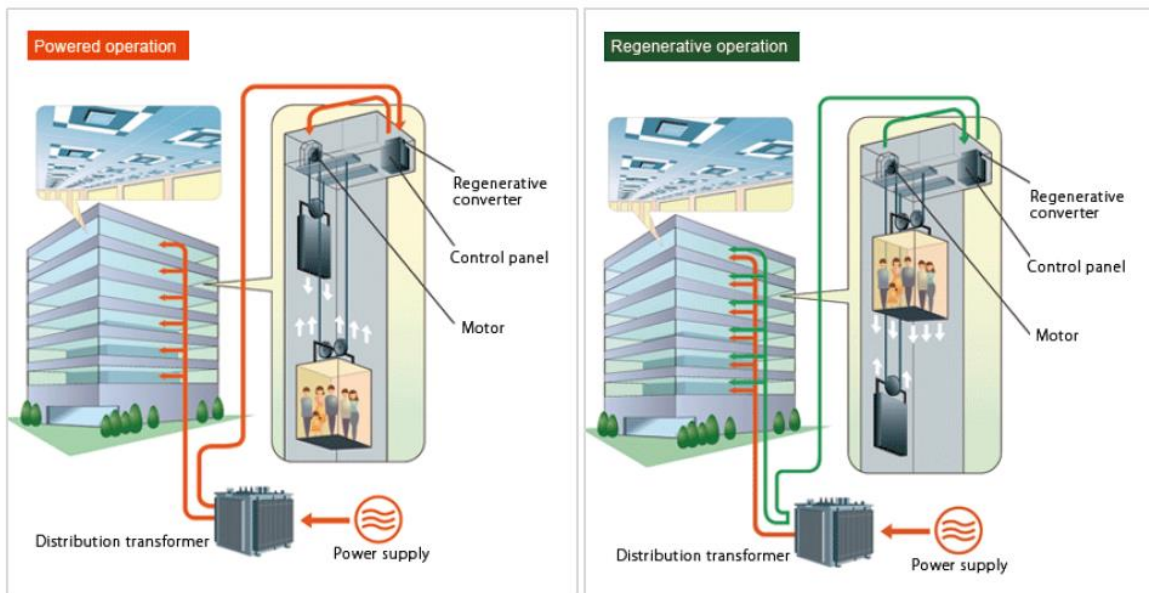
VSD Chiller :

การใช้เครื่องทำน้ำเย็นชนิดปรับความเร็วรอบได้ เพื่อลดการใช้พลังงานในช่วงการทำความเย็นที่ภาระต่ำๆ (Part Load)



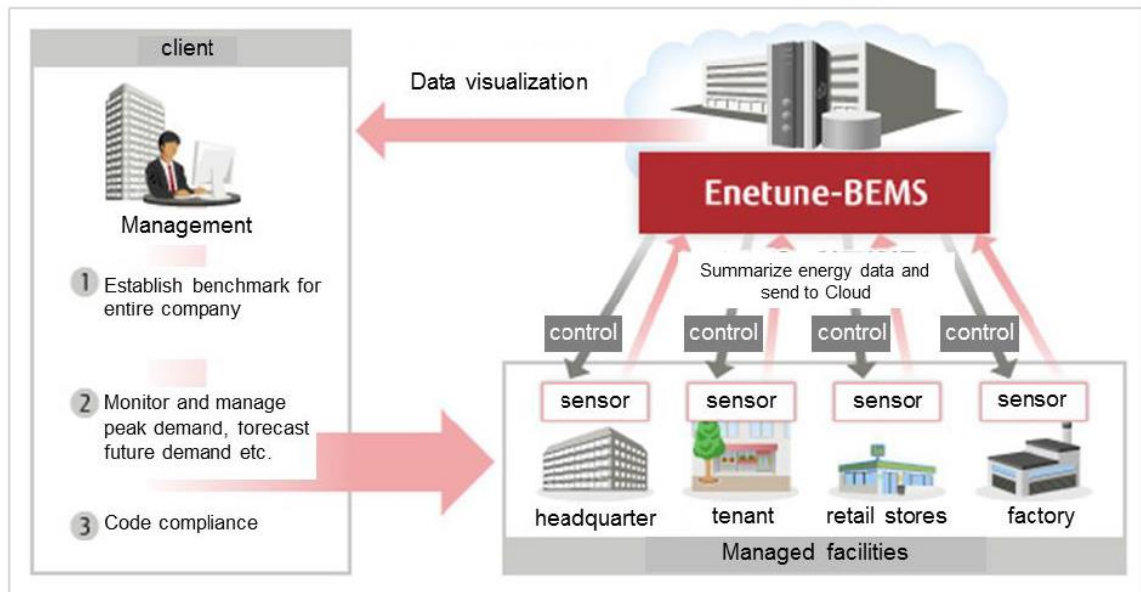
Regenerative Drive Lift :

การใช้ลิฟต์ชนิดผลิตพลังงานในบางช่วงเวลา

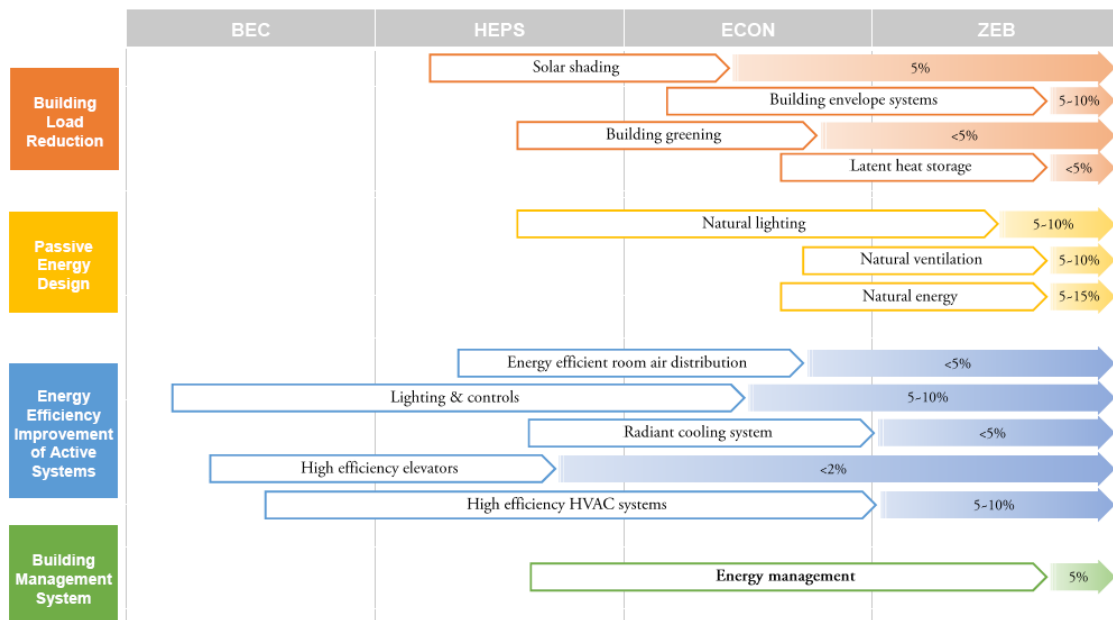


Cloud Based – Building Energy Management System :

การใช้ระบบบริหารจัดการพลังงานที่มีการแลกเปลี่ยน/ควบคุมและสำรองข้อมูลที่เป็นแบบอัตโนมัติระหว่างอาคารในเครือข่ายหลายอาคารเข้าด้วยกัน โดยเหมาะสำหรับอาคารที่มีการบริหารงานและตัดสินใจโดยที่ผู้บริหารระดับสูงสุดเดียวกัน



โดยสรุปแล้ว เทคโนโลยี Smart Building สามารถช่วยให้อาคารมีการใช้พลังงานเพื่อเข้าสู่อาคารที่เป็น ZEB ได้เป็นอย่างดี ภายใต้โปรแกรมแสดงศักยภาพในการอนุรักษ์พลังงานในแนวคิดต่างๆต่อไปนี้



ที่มาอ้างอิง : Nikken Sekkei Research Institute, Japan

## ภาคผนวก ค. กรณีศึกษาการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัดพลังงาน มาตรการทางด้านไฟฟ้า

### มาตรการเปลี่ยนชนิดของหลอดไฟแสงสว่าง (ใช้หลอด LED)

สถานประกอบการ A เป็นอาคารประเภทธุรกิจโรงแรม ระบบไฟฟ้าแสงสว่างส่วนใหญ่ยังเป็นระบบดั้งเดิมตั้งแต่สร้างโรงแรม ส่งผลให้ผู้ประกอบการรับภาระค่าใช้จ่ายด้านพลังงานค่อนข้างสูง ดังนั้น ผู้บริหารจึงมีแนวคิดในการเปลี่ยนชนิดของหลอดไฟแสงสว่างมาใช้หลอดแอลอีดีเพื่อให้เกิดการอนุรักษ์พลังงาน

ระบบไฟฟ้าแสงสว่างที่โรงแรมใช้อยู่ สามารถแบ่งกลุ่มตามชั่วโมงการใช้งาน ได้ 3 กลุ่ม ได้แก่

1. หลอดที่มีจำนวนใช้งาน 7 ชั่วโมงต่อวัน ประกอบด้วย
  - หลอดฮาโลเจน ขนาด 35 วัตต์ จำนวน 759 ชุด
  - หลอดฮาโลเจนขนาด 50 วัตต์ จำนวน 759 ชุด
  - หลอดเออาร์ 111 จำนวน 20 ชุด
  - หลอดเออาร์ 70 จำนวน 20 ชุด
  - หลอด พาร์ 38 จำนวน 25 ชุด
  - หลอด พาร์ 20 จำนวน 32 ชุด
  - หลอดคอมแพค 2 พิน ขนาด 18 วัตต์ จำนวน 21 ชุด
  - หลอดฟลูออเรสเซนต์ ขนาด 36 วัตต์ จำนวน 36 ชุด
  - หลอดอินแคนเดสเซนต์ อี 27 จำนวน 20 ชุด
  - หลอดคอมแพค อี 27 จำนวน 12 ชุด
  - รวมทั้งสิ้น 1,704 ชุด
2. หลอดที่มีจำนวนใช้งาน 9 ชั่วโมงต่อวัน ประกอบด้วย
  - หลอดฮาโลเจนขนาด 50 วัตต์ จำนวน 210 ชุด
  - หลอดคอมแพค อี 27 จำนวน 300 ชุด
  - รวมทั้งสิ้น 510 ชุด
3. หลอดที่มีจำนวนใช้งาน 20 ชั่วโมงต่อวัน ประกอบด้วย
  - หลอดฟลูออเรสเซนต์ขนาด 36 วัตต์ จำนวน 70 ชุด
  - หลอดฟลูออเรสเซนต์ขนาด 18 วัตต์ จำนวน 10 ชุด
  - รวมทั้งสิ้น 80 ชุด

รวมเป็นจำนวนหลอดไฟฟ้าแสงสว่างที่โรงแรมประสงค์จะเปลี่ยนทั้งสิ้น 2,294 ชุด การปรับปรุงเป็นการนำมาตรการเปลี่ยนหลอดไฟฟ้าแสงสว่างมาใช้ โดยชนิดของหลอดไฟฟ้าที่เลือกคือ หลอดแอลอีดี ชนิด/ประเภทและขนาดจะพิจารณาจากหลอดเดิมที่ใช้งานอยู่ ซึ่งจะทำให้สามารถลดการใช้พลังงานลงได้และจากข้อมูลผู้ผลิต ความสว่างที่ได้จากหลอดประหยัดพลังงานยังคงเดิมหรือไม่น้อยกว่าเดิม

### แนวทางการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน

จากมาตรฐานการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัดพลังงาน (Measurement and Verification ; M&V) อ้างอิงจากแนวทางของ IPMVP (International Performance Measurement and Verification Protocol) โดยแบ่งวิธีการวิเคราะห์ออกเป็น 4 รูปแบบ ตามความเหมาะสมและข้อจำกัดของการดำเนินการในแต่ละมาตรการ ดังนี้

รูปแบบ A (Option A)

การตรวจวัดเพียงบางส่วนแยกตามมาตรการที่ปรับปรุง (Partially Measured Retrofit Isolation)

รูปแบบ B (Option B)

การตรวจวัดตามมาตรการที่ปรับปรุง (Retrofit Isolation)

รูปแบบ C (Option C)

พิจารณาการใช้พลังงานโดยรวมของสถานประกอบการ (Whole Facility)

รูปแบบ D (Option D)

การจำลองผลโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ (Calibrated Simulation)

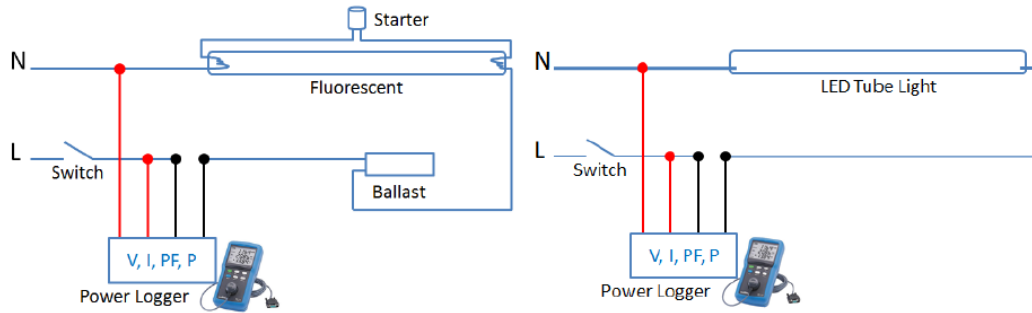
โดยในที่นี้ เลือกใช้ รูปแบบ A (Option A) เป็นแนวทางการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัด

แนวทางการวิเคราะห์ผลประหยัดจะพิจารณาจากการสุ่มตรวจวัดค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ย (kW) ก่อนและหลังการปรับปรุงของหลอดไฟฟ้าแต่ละหลอดและชนิด โดยมีตัวแปรควบคุมคือ ค่าแรงดันไฟฟ้า (Volt) และค่าความสว่างของหลอดไฟฟ้าเดิมและหลอดแอลอีดีที่นำมาใช้แทน โดยมีเกณฑ์การพิจารณาคือค่าความสว่างต้องใกล้เคียงกัน แตกต่างไม่เกิน 10% (พิจารณาในส่วนของค่าความสว่างในพื้นที่ปฏิบัติงานเป็นสำคัญ ในส่วนของการประดับตกแต่งเพื่อความสวยงามจะไม่ถูกนำค่าความสว่างมาพิจารณาประกอบ เนื่องจากความสว่างไม่ใช่ปัจจัยหลักในการใช้งานพื้นที่ดังกล่าว สำหรับสถานประกอบการนี้)

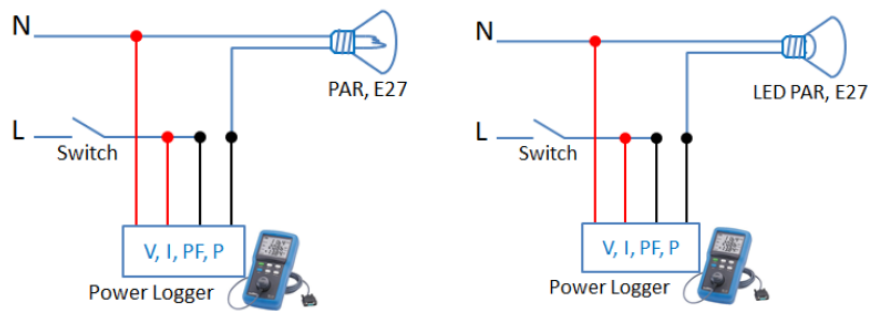
ทั้งนี้ ในการคำนวณ M&V unit จะนำค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยก่อนและหลังการปรับปรุงมาเปรียบเทียบกับ โดยพลังงานไฟฟ้าปีฐานจะคำนวณจากหลอดไฟฟ้า จำนวน และชั่วโมงการทำงานต่อปีเท่ากันทั้งก่อนและหลังการปรับปรุง

### วิธีการตรวจวัด

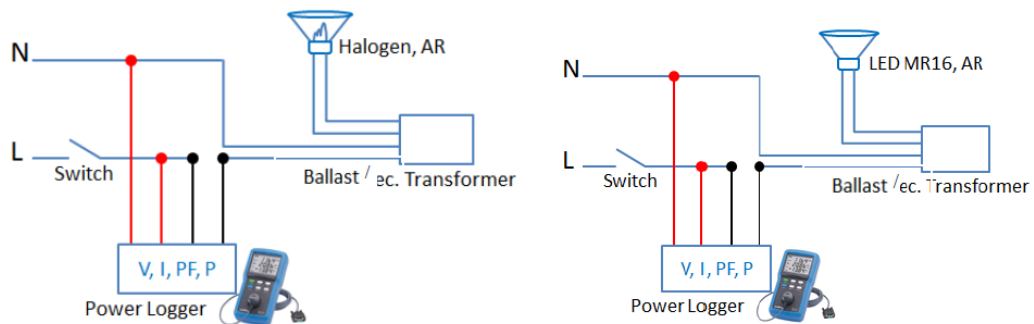
- 1) สำหรับค่าความส่องสว่าง M&V unit จะสุ่มตรวจความส่องสว่างแบบชั่วขณะในแต่ละพื้นที่ตามวิธีการตรวจวัดที่ได้มาตรฐาน ตำแหน่งการตรวจวัดจะทำการวัดในพื้นที่ตัวอย่างที่ทำกรเปลี่ยนหลอดไว้ โดยก่อนและหลังปรับปรุงถูกตรวจวัดในตำแหน่งเดียวกัน เนื่องจากสถานประกอบการเป็นสถานที่พักตากอากาศ จึงต้องคำนึงถึงความสะดวก และความเป็นส่วนตัวของผู้ใช้บริการเป็นสำคัญ
- 2) ตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าแบบชั่วขณะเป็นรายหลอด (Individual) ไม่น้อยกว่า 10% ของจำนวนหลอดแต่ละชนิด/ประเภทที่เปลี่ยนไม่น้อยกว่า 10 ชุด ในกรณีที่มีจำนวนน้อยกว่า 10 ชุด ให้ทำการตรวจวัด 100% เฉพาะประเภทหลอดที่มีจำนวนน้อยกว่า 10 ชุดนั้นๆ ส่วนแผนภาพแสดงตำแหน่งการตรวจวัดหลอดไฟฟ้าประเภทต่างๆ แสดงดังรูปที่ 1 ถึงรูปที่ 4 และแสดงตำแหน่งการตรวจวัดค่าความส่องสว่างไว้ในรูปที่ 5



รูปที่ 1 แสดงตำแหน่งการตรวจวัดหลอดฟลูออเรสเซนต์ ขนาด 18W และ36W ก่อนการปรับปรุง (ซ้าย) และหลอดแอลอีดี ขนาด 18W และ36Wหลังการปรับปรุง (ขวา)

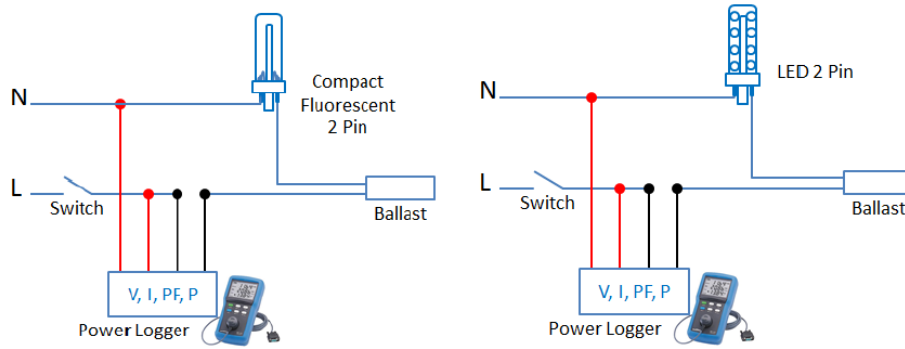


รูปที่ 2 แสดงตำแหน่งการตรวจวัดหลอดพาร์20,พาร์38, คอมแพค ฟลูออเรสเซนต์ อี27, อินแคนเดสเซนต์ อี27 ก่อนการปรับปรุง (ซ้าย) และหลอดแอลอีดี พาร์20 ขนาด 4W,พาร์38 15W, บัลบ อี27 ขนาด 5W, 7W, 9W หลังการปรับปรุง (ขวา)

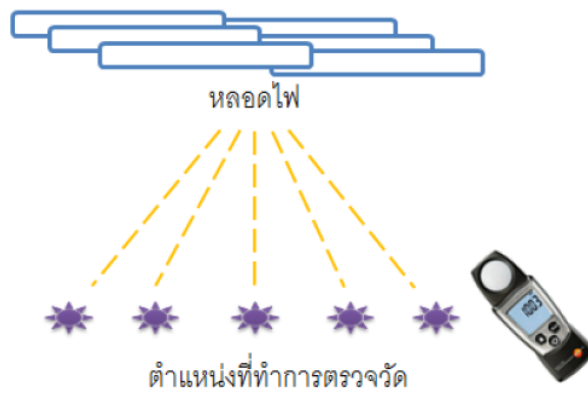


รูปที่ 3 แสดงตำแหน่งการตรวจวัดหลอดฮาโลเจน ขนาด 35W, 50W, เออาร์70, เออาร์111 ก่อนการปรับปรุง (ซ้าย) และหลอดแอลอีดี เอ็มอาร์16 ขนาด 3W, 4W, เออาร์70ขนาด 5W, เออาร์111 ขนาด 7Wหลังการปรับปรุง (ขวา)





รูปที่ 4 แสดงตำแหน่งการตรวจวัดหลอดคอมแพค ฟลูออเรสเซนต์ 2 พินก่อนการปรับปรุง (ซ้าย) และหลอดแอลอีดี 2 พินหลังการปรับปรุง (ขวา)



รูปที่ 5 แสดงตำแหน่งการตรวจวัดความสว่างของหลอดไฟ ณ บริเวณ จุดตรวจวัดเดิม ทั้งก่อนและหลัง

เครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัด :

| ลำดับ | ชื่อเครื่องมือ   | ลักษณะที่ต้องมี   |
|-------|--|---|
| 1     | เครื่องวิเคราะห์ค่ากำลังไฟฟ้า (Power Quality Analyzer) | สามารถตรวจวัดค่าความถี่(Hz), แรงดันไฟฟ้า (V), กระแสไฟฟ้า (A), ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (PF), กำลังไฟฟ้า( kW) แบบต่อเนื่องได้ |
| 2     | เครื่องวัดค่าความสว่างของหลอดไฟฟ้า (Lux Meter)         | สามารถวัดค่าความสว่าง(Lux) ได้  |

ตัวแปรหลัก :

ตัวแปรหลัก คือ ข้อมูลการตรวจวัดหรือค่าพารามิเตอร์หลักต่างๆ ที่นำไปใช้ในการคำนวณผลประหยัด มีดังต่อไปนี้

| ลำดับที่ | รายละเอียด  | ระยะเวลาการบันทึกข้อมูล  | Assigned Variable             |
|----------|---|--|-------------------------------|
| 1        | แรงดันไฟฟ้า (V), กระแสไฟฟ้า (A), ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (PF), กำลังไฟฟ้า (kW) โดยติดตั้งเครื่องวิเคราะห์ค่ากำลังไฟฟ้าแบบต่อเนื่อง(Power Quality Analyzer) ที่ชุดตรวจวัดหลอดฟลูออเรสเซนต์ | ตรวจวัดแบบชั่วขณะไม่น้อยกว่า 10ตัวอย่าง ต่อหนึ่งชนิดหลอด หรือ 100% | V (Volt), I (Amp), PF, P (kW) |
| 2        | ค่าความสว่าง (L) ตามจุดที่มีการปรับปรุงตามมาตรการ โดยใช้เครื่องมือวัดค่าความสว่างของหลอดไฟฟ้า(Lux Meter) ตรวจวัดตามพื้นที่ตัวอย่าง แต่ละพื้นที่ที่ตรวจวัดไม่น้อยกว่า 5 จุดตรวจวัด     | ระยะห่างจากผนัง 1.5 เมตร และตรวจวัดทุกๆ 3 เมตร                     | L (Lux)                       |

ตัวแปรควบคุมหรือสภาวะที่ต้องควบคุม

| ลำดับ | รายละเอียด                    | ค่าที่ควบคุม  |
|-------|-------------------------------|---|
| 1     | แรงดันไฟฟ้าจากแหล่งจ่าย(Volt) | ค่าที่นำมาเปรียบเทียบกันได้ คือค่าจากการตรวจวัด Baseline และการตรวจวัด Final ค่าแรงดันไฟฟ้าที่จุดตรวจวัดเดียวกันต้องต่างกันไม่เกิน 5 %<br>*** ระบบการปรับแรงดันไฟฟ้าให้คงที่ (Voltage Stabilization System) มีค่าที่ยอมรับได้ที่ 5% |
| 2     | ค่าความสว่างของหลอดไฟฟ้า(Lux) | ค่าที่นำมาเปรียบเทียบกันได้ คือค่าจากการตรวจวัด Baseline และการตรวจวัด Final ค่าความสว่างที่จุดตรวจวัดเดียวกันต้องใกล้เคียงกันต่างกันไม่เกิน 10%  |

**หมายเหตุ:** ถ้าค่าความสว่างในช่วงระหว่างการตรวจวัด Baseline และ Final ต่างกันเกิน 10 % แล้วสถานประกอบการยอมรับในค่าความสว่างที่เกิดขึ้นการคำนวณผลประหยัดจะยึดผลต่างค่ากำลังไฟฟ้าที่น้อยกว่าเป็นหลัก

ข้อมูลจากสถานประกอบการที่ใช้ในการคำนวณ

| ลำดับ | ตัวแปร                                       | ค่าที่สมมติ                |
|-------|--|----------------------------|
| 1     | จำนวนชั่วโมงการทำงานของหลอดไฟฟ้ากลุ่ม A      | $h_A/d = 7\text{ชม./วัน}$  |
| 2     | จำนวนชั่วโมงการทำงานของหลอดไฟฟ้ากลุ่ม Aปีฐาน | $H_A = 2,555\text{ชม./ปี}$ |
| 3     | จำนวนชั่วโมงการทำงานของหลอดไฟฟ้ากลุ่ม B      | $h_B/d = 9\text{ชม./วัน}$  |
| 4     | จำนวนชั่วโมงการทำงานของหลอดไฟฟ้ากลุ่ม Bปีฐาน | $H_B = 3,285\text{ชม./ปี}$ |
| 5     | จำนวนชั่วโมงการทำงานของหลอดไฟฟ้ากลุ่ม C      | $h_C/d = 20\text{ชม./วัน}$ |
| 6     | จำนวนชั่วโมงการทำงานของหลอดไฟฟ้ากลุ่ม Cปีฐาน | $H_C = 7,300\text{ชม./ปี}$ |

**หมายเหตุ:** ข้อมูลในตารางนำมาจากชั่วโมงการทำงานของหลอดไฟฟ้าตามมาตรฐานชั่วโมงการใช้งานของสถานประกอบการ

**ผลการตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานก่อนและหลังการปรับปรุง**

## 1) ผลการตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานก่อนการปรับปรุง

## 1.1) ตัวแปรหลัก

จากการตรวจวัดกำลังไฟฟ้าแบบชั่วขณะเป็นรายหลอด ไม่น้อยกว่า 10%ของจำนวนหลอดทั้งหมดที่เปลี่ยน และไม่น้อยกว่า 10 ตัวอย่าง ในกรณีหลอดบางประเภทมีจำนวนน้อยกว่า 10 ชุด ให้ทำการตรวจวัด 100% ได้ผลการตรวจวัดดังนี้

| ลำดับ | ตัวแปร  | สัญลักษณ์/สูตร | หน่วย | ตรวจวัดที่ละหลอดเฉลี่ย |
|-------|---|----------------|-------|------------------------|
| 1.    | กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของหลอดฮาโลเจน ขนาด 35 Wรวมวงจร         | $P_{H35}$      | $kW$  | 0.0448                 |
| 2.    | กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของหลอดฮาโลเจน ขนาด 50 W รวมวงจร        | $P_{H50}$      | $kW$  | 0.0584                 |
| 3.    | กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของหลอดเออาร์70รวมวงจร                  | $P_{AR70}$     | $kW$  | 0.0321                 |
| 4.    | กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของหลอดเออาร์111 รวมวงจร                | $P_{AR111}$    | $kW$  | 0.0511                 |
| 5.    | กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของหลอดพาร์20                           | $P_{Par20}$    | $kW$  | 0.0638                 |
| 6.    | กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของหลอดพาร์38                           | $P_{Par38}$    | $kW$  | 0.0234                 |
| 7.    | กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของหลอดคอมแพค 2 พินรวมวงจร              | $P_{C2Pin}$    | $kW$  | 0.0235                 |
| 8.    | กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของหลอดอินแคนเดสเซนต์ อี27              | $P_{IE27}$     | $kW$  | 0.0497                 |
| 9.    | กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของหลอดคอมแพค ฟลูออเรสเซนต์ อี27        | $P_{CE27}$     | $kW$  | 0.0133                 |
| 10.   | กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของหลอดคอมแพค ฟลูออเรสเซนต์ อี27ขนาด 5W | $P_{CE5}$      | $kW$  | 0.0073                 |
| 11.   | กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของหลอดฟลูออเรสเซนต์ ขนาด 18 W รวมวงจร  | $P_{FL18}$     | $kW$  | 0.0307                 |
| 12.   | กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของหลอดฟลูออเรสเซนต์ ขนาด 36 Wรวมวงจร   | $P_{FL36}$     | $kW$  | 0.0529                 |
| 13.   | จำนวนหลอดฮาโลเจน ขนาด 35 Wกลุ่ม A (7 ชม./วัน)           | $N_{H35-A}$    | หลอด  | 759                    |
| 14.   | จำนวนหลอดฮาโลเจน ขนาด 50 W กลุ่ม A (7 ชม./วัน)          | $N_{H50-A}$    | หลอด  | 759                    |

| ลำดับ | ตัวแปร  | สัญลักษณ์/สูตร   | หน่วย           | ตรวจวัดที่ละ<br>หลอดเฉลี่ย |
|-------|---|--|-----------------|----------------------------|
| 15.   | จำนวนหลอดเออาร์70กลุ่ม A (7 ชม./วัน)                          | $N_{AR70-A}$   | หลอด            | 20                         |
| 16.   | จำนวนหลอดเออาร์111 กลุ่ม A (7 ชม./วัน)                        | $N_{AR111-A}$  | หลอด            | 20                         |
| 17.   | จำนวนหลอดพาร์20 กลุ่ม A (7 ชม./วัน)                           | $N_{Par20-A}$  | หลอด            | 32                         |
| 18.   | จำนวนหลอดพาร์38 กลุ่ม A (7 ชม./วัน)                           | $N_{Par38-A}$  | หลอด            | 25                         |
| 19.   | จำนวนหลอดคอมแพค ฟลูออเรสเซนต์ 2<br>พิน กลุ่ม A (7 ชม./วัน)    | $N_{C2Pin-A}$  | หลอด            | 21                         |
| 20.   | จำนวนหลอดอินแคนเดสเซนต์ อี27 กลุ่ม A<br>(7 ชม./วัน)           | $N_{IE27-A}$   | หลอด            | 20                         |
| 21.   | จำนวนหลอดอินคอมแพค ฟลูออเรสเซนต์ อี<br>27 กลุ่ม A (7 ชม./วัน) | $N_{CE27-A}$   | หลอด            | 12                         |
| 22.   | จำนวนหลอดฟลูออเรสเซนต์ขนาด 36 W<br>กลุ่ม A (7 ชม./วัน)        | $N_{FL36-A}$   | หลอด            | 36                         |
| 23.   | จำนวนหลอดฮาโลเจน ขนาด 50 W กลุ่ม B<br>(9 ชม./วัน)             | $N_{H50-B}$  | หลอด            | 210                        |
| 24.   | จำนวนหลอดคอมแพค ฟลูออเรสเซนต์ กลุ่ม<br>B (9 ชม./วัน)          | $N_{CE27-B}$   | หลอด            | 300                        |
| 25.   | จำนวนหลอดฟลูออเรสเซนต์ขนาด 18 W<br>กลุ่ม C (20 ชม./วัน)       | $N_{FL18-C}$   | หลอด            | 10                         |
| 26.   | จำนวนหลอดฟลูออเรสเซนต์ขนาด 36 W<br>กลุ่ม C (20 ชม./วัน)       | $N_{FL36-C}$   | หลอด            | 70                         |
| 27.   | จำนวนชั่วโมงการทำงานของหลอดไฟฟ้า<br>กลุ่มA(7 ชม./วัน)ปีฐาน    | $H_A$  | $h/y$           | 2,555                      |
| 28.   | จำนวนชั่วโมงการทำงานของหลอดไฟฟ้า<br>กลุ่มB (9 ชม./วัน)ปีฐาน   | $H_B$  | $h/y$           | 3,285                      |
| 29.   | จำนวนชั่วโมงการทำงานของหลอดไฟฟ้า<br>กลุ่มC (20 ชม./วัน)ปีฐาน  | $H_C$  | $h/y$           | 7,300                      |
| 30.   | ระดับการใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับแสงสว่าง<br>ก่อนการปรับปรุง      | $E_{PRE} = [(P_{H35} \times N_{H35-A} \times H_A)$ $+ (P_{H50} \times N_{H50-A} \times H_A)$ $+ (P_{AR70} \times N_{AR70-A} \times H_A)$ $+ (P_{AR111} \times N_{AR111-A} \times H_A)$ $+ (P_{Par20} \times N_{Par20-A} \times H_A)$ | $\frac{kWh}{y}$ | 296,921.0395               |

| ลำดับ                               | ตัวแปร | สัญลักษณ์/สูตร   | หน่วย           | ตรวจวัดที่และ<br>หลอดเฉลี่ย |
|-------------------------------------|--------|--|-----------------|-----------------------------|
|                                     |        | $+(P_{Par38} \times N_{Par38-A} \times H_A)$ $+(P_{C2Pin} \times N_{C2Pin-A} \times H_A)$ $+(P_{IE27} \times N_{IE27-A} \times H_A)$ $+(P_{CE27} \times N_{CE27-A} \times H_A)$ $+(P_{FL36} \times N_{FL36-A} \times H_A)]$ $+[(P_{H50} \times N_{H50-B} \times H_B)$ $+(P_{CE5} \times N_{CE27-B} \times H_B)]$ $+[(P_{FL18} \times N_{FL18-C} \times H_C)$ $+(P_{FL36} \times N_{FL36-C} \times H_C)]$ |                 |                             |
| รวมระดับการใช้พลังงานก่อนปรับปรุง** |        |  | $\frac{kWh}{y}$ | 296,921.0395                |

หมายเหตุ \*\* ข้อมูลพลังงานไฟฟ้าต่อปี (296,921.0395kWh/y)นี้เป็นข้อมูลจากการตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าที่หลอดตัวอย่าง แล้วนำมาคำนวณเพื่อหาระดับการใช้พลังงานก่อนการปรับปรุง

### 1.2) ตัวแปรควบคุม

ผลการตรวจวัดค่าความส่องสว่างแบบชั่วขณะในแต่ละพื้นที่ตามวิธีการตรวจวัดที่ได้มาตรฐาน โดยตรวจวัดทุกพื้นที่ตัวอย่างที่ทำการเปลี่ยนหลอดไฟฟ้า ผลการตรวจวัดค่าความส่องสว่างหลอดไฟฟ้าก่อนปรับปรุงมีดังนี้

| ลำดับ | สถานที่         |                  | จำนวน<br>หลอด | หน่วย | ค่าของข้อมูล |        |        |
|-------|-----------------|------------------|---------------|-------|--------------|--------|--------|
|       |                 |                  |               |       | ต่ำสุด       | สูงสุด | เฉลี่ย |
| 1.    | บ้านพัก         | Halogen 35W      | 50            | LUX   | 45           | 47     | 45.8   |
|       |                 | Halogen 50W      | 50            | LUX   | 59           | 63     | 60.8   |
| 2.    | ห้องครัว        | Fluorescent 36W  | 70            | LUX   | 653          | 669    | 661.2  |
|       |                 | Fluorescent 18W  | 10            | LUX   | 86           | 95     | 89.8   |
| 3.    | ห้องออกกำลังกาย | Fluorescent 36W  | 36            | LUX   | 577          | 592    | 582.0  |
| 4.    | ร้านอาหาร       | Par38            | 25            | LUX   | 55           | 77     | 65.8   |
|       |                 | Par20            | 30            | LUX   | 153          | 167    | 158.6  |
|       |                 | Incandescent 50W | 20            | LUX   | 73           | 88     | 80.2   |

\*\*\* อ้างอิงตำแหน่งตามผังการตรวจวัดความส่องสว่าง ข้อจำกัดตามระบุตามวิธีการตรวจวัด

## 2) ผลการตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานก่อนการปรับปรุง

## 2.1) ตัวแปรหลัก

ใช้หลักการเดียวกันกับการตรวจวัดก่อนปรับปรุง ได้ข้อมูลดังต่อไปนี้

| ลำดับ | ตัวแปร   | สัญลักษณ์/สูตร | หน่วย | ตรวจวัดที่ละหลอดเฉลี่ย |
|-------|--|----------------|-------|------------------------|
| 1.    | กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของหลอดแอลอีดี เอ็มอาร์ 16 ขนาด 3 Wรวมวงจร | $P_{LMR3}$     | $kW$  | 0.0112                 |
| 2.    | กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของหลอดแอลอีดี เอ็มอาร์ 16 ขนาด 4 Wรวมวงจร | $P_{LMR4}$     | $kW$  | 0.0131                 |
| 3.    | กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของหลอดแอลอีดี เออาร์70 ขนาด 5 W รวมวงจร   | $P_{LAR70}$    | $kW$  | 0.0133                 |
| 4.    | กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของหลอดแอลอีดี เออาร์ 111 ขนาด 7 W รวมวงจร | $P_{LAR111}$   | $kW$  | 0.0156                 |
| 5.    | กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของหลอดแอลอีดี พาร์20 ขนาด 4 W             | $P_{LPAr20}$   | $kW$  | 0.0052                 |
| 6.    | กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของหลอดแอลอีดี พาร์38 ขนาด 15 W            | $P_{LPAr38}$   | $kW$  | 0.0150                 |
| 7.    | กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของหลอดแอลอีดี คอมแพค 2 พิน รวมวงจร        | $P_{L2Pin}$    | $kW$  | 0.0079                 |
| 8.    | กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของหลอดแอลอีดี บัลบ อี 27 ขนาด 5 W         | $P_{LB5}$      | $kW$  | 0.0057                 |
| 9.    | กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของหลอดแอลอีดี บัลบ อี 27 ขนาด 7 W         | $P_{LB7}$      | $kW$  | 0.0073                 |
| 10.   | กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของหลอดแอลอีดี บัลบ อี 27 ขนาด 9 W         | $P_{LB9}$      | $kW$  | 0.0090                 |
| 11.   | กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของหลอดแอลอีดี ขนาด 9 W รวมวงจร            | $P_{L9}$       | $kW$  | 0.0095                 |
| 12.   | กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของหลอดแอลอีดี ขนาด 18 Wรวมวงจร            | $P_{L18}$      | $kW$  | 0.0189                 |
| 13.   | จำนวนหลอดแอลอีดี เอ็มอาร์16 ขนาด 3 W กลุ่ม A (7 ชม./วัน)   | $N_{LMR3-A}$   | หลอด  | 759                    |

| ลำดับ | ตัวแปร   | สัญลักษณ์/สูตร   | หน่วย           | ตรวจวัดที่ละ<br>หลอดเฉลี่ย |
|-------|--|--|-----------------|----------------------------|
| 14.   | จำนวนหลอดแอลอีดี เอ็มอาร์16 ขนาด 4 W<br>กลุ่ม A (7 ชม./วัน)  | $N_{LMR4-A}$   | หลอด            | 759                        |
| 15.   | จำนวนหลอดแอลอีดี เออาร์70ขนาด 5 W<br>กลุ่ม A (7 ชม./วัน)     | $N_{LAR70-A}$  | หลอด            | 20                         |
| 16.   | จำนวนหลอดแอลอีดี เออาร์111 ขนาด 7 W<br>กลุ่ม A (7 ชม./วัน)   | $N_{LAR111-A}$   | หลอด            | 20                         |
| 17.   | จำนวนหลอดแอลอีดี พาร์20ขนาด 4 W<br>กลุ่ม A (7 ชม./วัน)       | $N_{LPar20-A}$   | หลอด            | 32                         |
| 18.   | จำนวนหลอดแอลอีดี พาร์38ขนาด 15 W<br>กลุ่ม A (7 ชม./วัน)      | $N_{LPar38-A}$   | หลอด            | 25                         |
| 19.   | จำนวนหลอดแอลอีดี คอมแพค 2 พิน กลุ่ม<br>A (7 ชม./วัน)         | $N_{L2Pin-A}$  | หลอด            | 21                         |
| 20.   | จำนวนหลอดแอลอีดี บัลบ ขนาด 7 W กลุ่ม<br>A (7 ชม./วัน)        | $N_{LB7-A}$  | หลอด            | 20                         |
| 21.   | จำนวนหลอดแอลอีดี บัลบ ขนาด 9 W กลุ่ม<br>A (7 ชม./วัน)        | $N_{LB9-A}$  | หลอด            | 12                         |
| 22.   | จำนวนหลอดแอลอีดีขนาด 18 Wกลุ่ม A (7<br>ชม./วัน)              | $N_{L18-A}$  | หลอด            | 36                         |
| 23.   | จำนวนหลอดแอลอีดี เอ็มอาร์16 ขนาด 4 W<br>กลุ่ม B (9 ชม./วัน)  | $N_{LMR4-B}$   | หลอด            | 210                        |
| 24.   | จำนวนหลอดแอลอีดี บัลบ ขนาด 5 W กลุ่ม<br>B (9 ชม./วัน)        | $N_{LB5-B}$  | หลอด            | 300                        |
| 25.   | จำนวนหลอดแอลอีดีขนาด 9 W กลุ่ม C (20<br>ชม./วัน)             | $N_{L9-C}$   | หลอด            | 10                         |
| 26.   | จำนวนหลอดแอลอีดีขนาด 18 Wกลุ่ม C<br>(20 ชม./วัน)             | $N_{L18-C}$  | หลอด            | 70                         |
| 27.   | จำนวนชั่วโมงการทำงานของหลอดไฟฟ้า<br>กลุ่มA(7 ชม./วัน)ปีฐาน   | $H_A$  | $h/y$           | 2,555                      |
| 28.   | จำนวนชั่วโมงการทำงานของหลอดไฟฟ้า<br>กลุ่มB (9 ชม./วัน)ปีฐาน  | $H_B$  | $h/y$           | 3,285                      |
| 29.   | จำนวนชั่วโมงการทำงานของหลอดไฟฟ้า<br>กลุ่มC (20 ชม./วัน)ปีฐาน | $H_C$  | $h/y$           | 7,300                      |
| 30.   | ระดับการใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับแสงสว่าง<br>หลังการปรับปรุง     | $E_{POST} =$<br>$[(P_{LMR3} \times N_{LMR3-A} \times H_A)$ | $\frac{kWh}{y}$ | 77,800.7720                |

| ลำดับ                                      | ตัวแปร | สัญลักษณ์/สูตร  | หน่วย           | ตรวจวัดที่ละเอียด |
|--|--------|---|-----------------|-------------------|
|  |        | $+(P_{LMR4} \times N_{LMR4-A} \times H_A)$ $+(P_{LAR70} \times N_{LAR70-A} \times H_A)$ $+(P_{LAR111} \times N_{LAR111-A} \times H_A)$ $+(P_{LPar20} \times N_{LPar20-A} \times H_A)$ $+(P_{LPar38} \times N_{LPar38-A} \times H_A)$ $+(P_{L2Pin} \times N_{L2Pin-A} \times H_A)$ $+(P_{LB7} \times N_{LB7-A} \times H_A)$ $+(P_{LB9} \times N_{LB9-A} \times H_A)$ $+(P_{L18} \times N_{L18-A} \times H_A)]$ $+[(P_{LMR4} \times N_{LMR4-B} \times H_B)$ $+(P_{LB5} \times N_{LB5-B} \times H_B)]$ $+[(P_{L9} \times N_{L9-C} \times H_C)$ $+(P_{L18} \times N_{L18-C} \times H_C)]$ |                 |                   |
| <b>รวมระดับการใช้พลังงานหลังปรับปรุง**</b> |        |   | $\frac{kWh}{y}$ | 77,800.7720       |

หมายเหตุ \*\* ข้อมูลพลังงานไฟฟ้าต่อปี (77,800.7720kWh/y) นี้เป็นข้อมูลจากการตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าจากหลอดตัวอย่าง แล้วนำมาคำนวณเพื่อหาระดับการใช้พลังงานหลังการปรับปรุง

2.2) ตัวแปรควบคุม

| ลำดับ | สถานที่         |              | จำนวน<br>หลอด | หน่วย | ค่าของข้อมูล |        |        |
|-------|-----------------|--------------|---------------|-------|--------------|--------|--------|
|       |                 |              |               |       | ต่ำสุด       | สูงสุด | เฉลี่ย |
| 1.    | บ้านพัก         | LED MR16 3W  | 50            | LUX   | 44           | 68     | 55.6   |
|       |                 | LED MR16 4W  | 50            | LUX   | 56           | 68     | 61.0   |
| 2.    | ห้องครัว        | LED Tube 18W | 70            | LUX   | 681          | 693    | 687.0  |
|       |                 | LED Tube 9W  | 10            | LUX   | 101          | 112    | 106.8  |
| 3.    | ห้องออกกำลังกาย | LED Tube 18W | 36            | LUX   | 615          | 630    | 620.2  |
| 4.    | ร้านอาหาร       | LED Par38    | 25            | LUX   | 65           | 76     | 70.4   |
|       |                 | LED Par20    | 30            | LUX   | 153          | 166    | 160.4  |
|       |                 | LED Bulb 7W  | 20            | LUX   | 77           | 89     | 81.8   |

\*\*\* อ้างอิงตำแหน่งตามผังการตรวจวัดความส่องสว่าง ข้อจำกัดตามระบุตามวิธีการตรวจวัด



## การวิเคราะห์ผลการประหยัดพลังงาน

| ลำดับ | ตัวแปร  | หน่วย            | ผลจากการตรวจวัดและคำนวณผลลัพธ์ทางพลังงาน         |
|-------|---|------------------|--|
| 1.    | ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้<br>“ก่อน” ปรับปรุง $E_{PRE}$    | $\frac{kWh}{y}$  | $E_{PRE} = 296,921.0395$                         |
| 2.    | ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้<br>“หลัง” ปรับปรุง $E_{POST}$   | $\frac{kWh}{y}$  | $E_{POST} = 77,800.7720$                         |
| 3     | พลังงานที่ประหยัด<br>ได้ $E_{saving}$                 | $\frac{kWh}{y}$  | $E_{saving} = E_{PRE} - E_{POST} = 219,120.2675$ |
| 4     | ค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน<br>ประหยัดได้<br>$E_{SaveCost}$ | $\frac{Bath}{y}$ | $E_{SaveCost} = E_{saving} \times C_E = 832,657$ |

หมายเหตุ อัตราค่าไฟฟ้า ณ.วันเซ็นสัญญา 3.8 บาทต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง(ตาม EPC)

## สรุป

จากผลการตรวจวัดและคำนวณผลการประหยัดพลังงานของมาตรการเปลี่ยนหลอดแอลอีดี แทนหลอดเดิม ซึ่งได้แก่ หลอดฮาโลเจน 35W หลอดฮาโลเจน 50W หลอดเออาร์ 70 หลอดเออาร์ 111 หลอดพาร์ 20 หลอดพาร์ 38 หลอดคอมแพค 2 พิน หลอดอินแคนเดสเซนต์อี 27 หลอดคอมแพค อี 27 หลอดฟลูออเรสเซนต์ 18 และ 36 วัตต์ รวมทั้งสิ้น 2,294 ชุด พบว่า ผลรวมระดับการใช้พลังงานก่อนการปรับปรุงเท่ากับ 296,921.03 kWhต่อปี และผลรวมระดับการใช้พลังงานหลังการปรับปรุงเท่ากับ 77,800.77 kWhต่อปี สามารถประหยัดพลังงานได้ 219,120.26 kWhต่อปี คิดเป็นผลประหยัดพลังงาน 73.80% โดยมีค่าความส่องสว่างเฉลี่ยใกล้เคียงและดีกว่าก่อนปรับปรุง

## แหล่งข้อมูลอ้างอิง

- (1) กรณีศึกษามาตรการปรับปรุงโดยการเปลี่ยนชนิดของหลอดไฟฟ้าแสงสว่าง โดยสมาคมบริษัทจัดการพลังงานไทย ([www.thaiesco.org](http://www.thaiesco.org))