Part 4 :เทคนิคการตรวจวัด

และวิเคราะห์

ไฟฟ้ากำลัง

ENERGY AUDIT

การตรวจวัดระบบไฟฟ้า และอุปกรณ์ไฟฟ้า (Measuring power system and equipment)

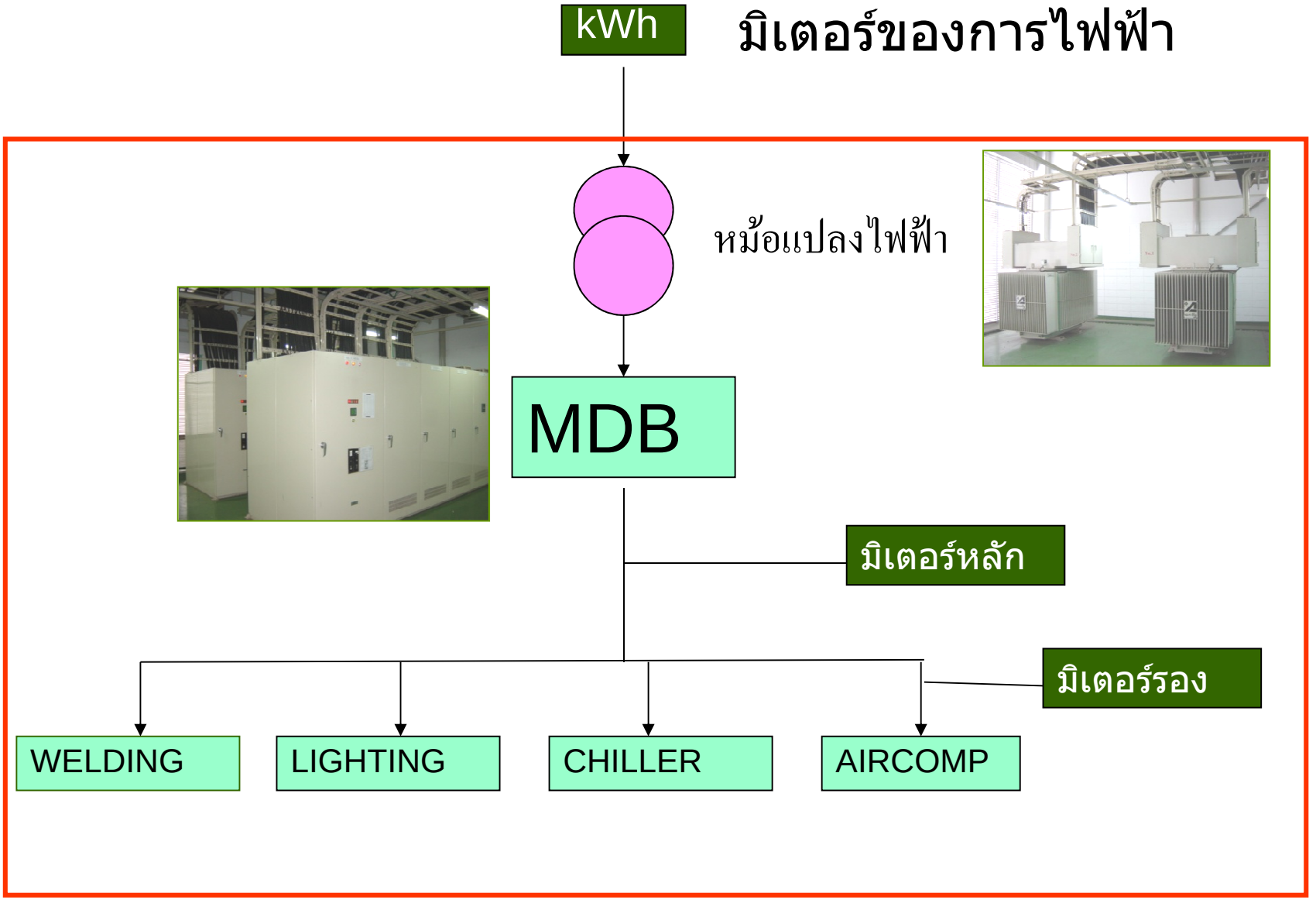
ในการตรวจสอบและตรวจวัดควรเก็บข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้า สำหรับเครื่องจักรและอุปกรณ์ควรจัดเตรียมดังนี้

1.) แผนผังการใช้ไฟฟ้าของโรงงาน

2.) Single Line Diagram

3.) แบบแสดงตำแหน่งหม้อแปลงไฟฟ้าและเครื่องจักร

มิเตอร์ของการไฟฟ้า



ระบบส่งจ่ายไฟฟ้า

ระบบ	ค่าที่ตรวจวัด	เครื่องมือ
ระบบส่งจ่ายไฟฟ้า	• แรงดันไฟฟ้า • กระแสไฟฟ้า • กำลังไฟฟ้า • ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า	• เพาเวอร์มิเตอร์แบบคล้องวัด • เครื่องมือวัดและบันทึกค่าทางไฟฟ้าแบบต่อเนื่อง

เครื่องมือที่ใช้วัดระบบส่งจ่ายไฟฟ้า

เพาเวอร์มิเตอร์แบบคล้องวัด

เครื่องวัดและบันทึกค่าทางไฟฟ้าแบบต่อเนื่อง

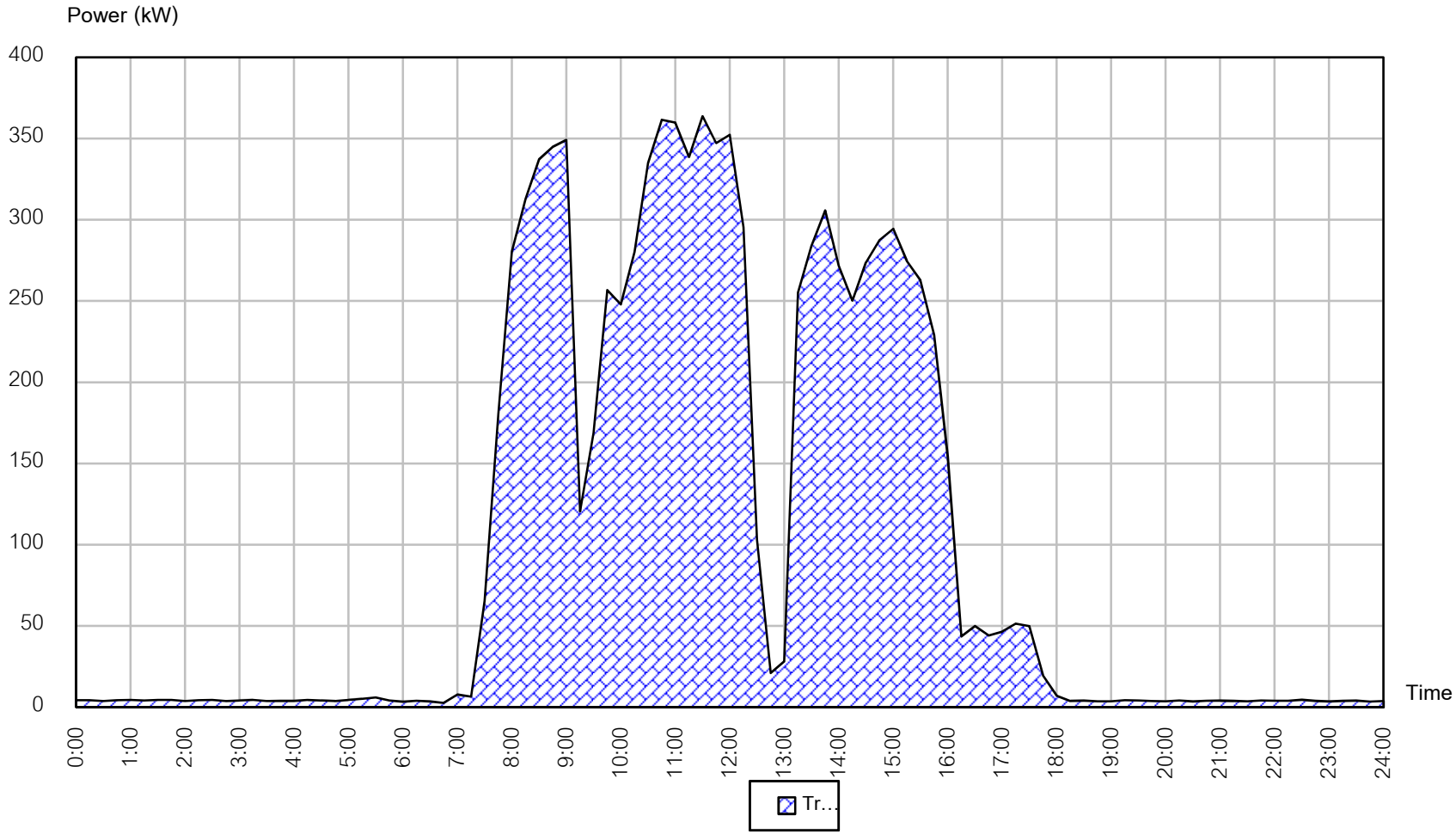
การตรวจวัดหม้อแปลงไฟฟ้า และระบบจำหน่าย

ตารางบันทึกการตรวจวัดหม้อแปลงไฟฟ้า

หม้อแปลงไฟฟ้า		ผลการตรวจวัด						
ชุดที่	ขนาด (kVA)	Power (kW)	Voltage (V)	Electric Current (A)			Power Factor	Load Factor (%)
				I_R	I_S	I_T		

หมายเหตุ : 1. ข้อมูลที่แสดงในตารางเป็นค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ได้จากการตรวจวัด

กราฟแสดงค่าการตรวจวัดหม้อแปลงไฟฟ้าแบบต่อเนื่อง



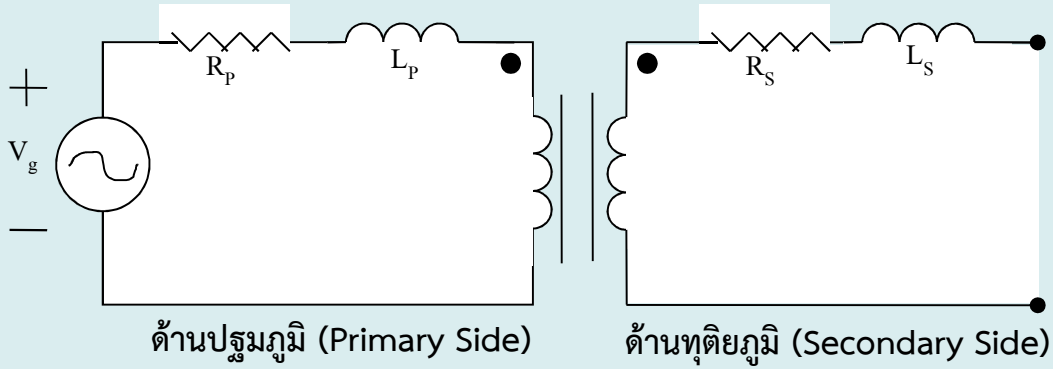
การวิเคราะห์ด้านระบบจำหน่ายไฟฟ้า

ครอบคลุมการประเมินในเรื่องดังต่อไปนี้

- ✓ ภาระของหม้อแปลงไฟฟ้า
- ✓ ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า
- ✓ ความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุด
- ✓ การปรับระดับแรงดันของหม้อแปลงไฟฟ้าที่เหมาะสม

หม้อแปลงไฟฟ้า

- การทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้า



ความต้านทานที่เกิดขึ้นในหม้อแปลงนี้ทำให้เกิดการสูญเสียกำลังไฟฟ้าขึ้นในหม้อแปลง ซึ่งแบ่งได้เป็น 2 อย่างคือ

1. Iron loss / Core loss (Wi) คือ กำลังไฟฟ้าสูญเสียในแกนเหล็ก
2. Copper loss (Wc) คือ กำลังไฟฟ้าสูญเสียเนื่องจากขดลวดทองแดง

$$\eta = \frac{n\ P \cos \phi}{n\ P \cos \phi + Wi + n^2 Wc}.$$

n (โหลดแฟกเตอร์ของหม้อแปลง) = $\frac{\text{กำลังไฟฟ้าที่หม้อแปลงจ่าย (kVA)}}{\text{กำลังพิกัดของหม้อแปลง (kVA)}}$

P = กำลังพิกัดของหม้อแปลง (kVA)

$\cos \phi$ (เพาเวอร์แฟกเตอร์) = กำลังไฟฟ้าจริง / กำลังไฟฟ้าปรากฏ

W_i = กำลังสูญเสียในแกนเหล็ก

Wc = กำลังสูญเสียในตัวนำ เมื่อจ่ายโหลดเต็มพิกัด

หากเราลองพิจารณาค่าจริงของหม้อแปลงแบบจุ่มน้ำมันของผู้ผลิตรายหนึ่ง จะเป็นดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างค่าสูญเสียของหม้อแปลงแบบจุ่มน้ำมัน

พิกัดหม้อแปลง (kVA)	กำลังสูญเสียในแกนเหล็ก (W_I)	กำลังสูญเสียในตัวนำสูงสุด (W_C)	อัตราส่วน α (Wc / Wi)	โหลดแฟกเตอร์ที่ทำให้หม้อแปลง เกิดประสิทธิภาพ สูงสุด
315	700	3,900	5.57	0.42
400	850	4,600	5.41	0.43
500	1,000	5,500	5.50	0.43
800	1,300	11,000	8.46	0.34
1,000	1,600	13,500	8.43	0.34
1,500	2,000	19,800	9.90	0.31
2,000	2,700	24,000	8.88	0.33

ตัวอย่างที่ 1 หม้อแปลงจุ่มน้ำมันขนาด 500 kVA จ่ายโหลด 400 kVA จงหากำลังสูญเสียรวม

วิธีทำ กำลังสูญเสียรวม = $WI + n^2WC$

จากตารางที่ 2.1 = $1,000 + (400/500)^2 \times 5,500$

ดังนั้นพลังงานไฟฟ้าสูญเสียรวม = 4,520 W

ถ้าเปลี่ยนไปใช้หม้อแปลงขนาด 800 kVA จ่ายโหลด 400 kVA จะพบว่า

พลังงานไฟฟ้าสูญเสียรวมมีค่า = $1,300 + (400/800)^2 \times 11,000$

= 4,050 W

จากตัวอย่างข้างต้นก็จะพบว่า *ความเชื่อที่ว่าหม้อแปลงใหญ่จะทำให้เกิดกำลังไฟฟ้าสูญเสียมากไม่จริงเสมอไป และหม้อแปลงจะมีประสิทธิภาพสูงสุดที่ 80%ของพิกัด แต่หากเลือกหม้อแปลงใหญ่มาก ราคาหม้อแปลง บัสบาร์ เซอร์กิต-เบรกเกอร์ ที่ต้องทนต่อกระแสลัดวงจรสูงขึ้น ก็สูงขึ้นตามตัว*

มาตรการประหยัดพลังงานหม้อแปลงไฟฟ้า

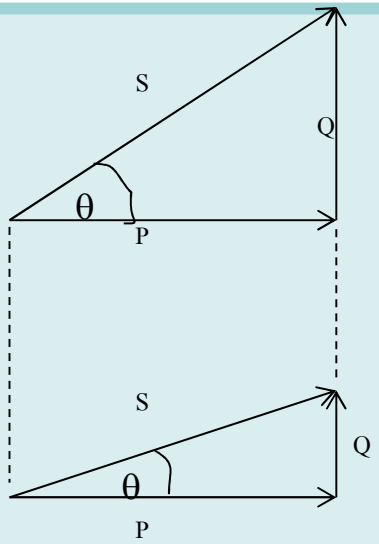
- การปรับปรุงเพาเวอร์แฟกเตอร์

กำลังไฟฟ้าประกอบไปด้วย กำลังไฟฟ้า 3 แบบคือ

1. กำลังไฟฟ้าจริง (kW) คือแปลงพลังงานไฟฟ้าที่ได้รับออกมาเป็น แรงบิด หรือ ความร้อน

2. กำลังไฟฟ้าเสมือน (kVAR) คือกำลังไฟฟ้าที่เครื่องจักรสะสมไว้ในตัวเอง เพื่อสร้างสนามแม่เหล็กไฟฟ้า และคืนกลับไปที่สายส่ง โดยไม่ได้นำมาใช้ทำงานเลย แต่กำลังไฟฟ้าส่วนนี้ก็ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลในวงจรเช่นกัน ดังนั้นจะพบว่ายิ่งกำลังไฟฟ้าเสมือนมีค่ามาก ก็จะทำให้วงจรไฟฟ้ามีกระแสไหลเข้ามามาก โดยที่ไม่ได้งานเพิ่มขึ้น

3. กำลังไฟฟ้าปรากฏเป็นผลรวมทางเวคเตอร์ของกำลังไฟฟ้าจริง และกำลังไฟฟ้าเสมือน



แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์กับกำลังไฟฟ้าจริงกำลังไฟฟ้าเสมือนและกำลังไฟฟ้าปรากฏ

S แทนค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏ

P แทนกำลังไฟฟ้าจริง

Q แทนกำลังไฟฟ้าเสมือน

กำลังปรากฏ^2 = กำลังไฟฟ้าจริง^2 + กำลังไฟฟ้าเสมือน^2

$kVA^2 = kW^2 + kVAR^2$

$KW = KVA * \cos\theta$

$KVAR = KVA * \sin\theta$

******แก้ไขค่า P.F.ให้ดีขึ้นได้โดยการใช้ Capacitor ชดเชย

ตัวอย่างที่ 2 จงหาพลังงานที่ประหยัดได้ ในการปรับปรุงค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ของหม้อแปลงขนาด 500 kVA จ่าย โหลด 400 kVA เพาเวอร์แฟกเตอร์ 0.7

วิธีทำ จากโจทย์ กำลังจริง = 280 kW และ กำลังไฟฟ้าเสมือน = 285 kVAR

เมื่อติดตั้งคาปาซิเตอร์ขนาด 5 kVAR จำนวน 5 ชุด สามารถชดเชย 25 kVAR

ดังนั้น kVAใหม่ = $\sqrt{280^2+260^2}$ = 382.1 kVA

ดังนั้นกำลังสูญเสียเดิม = $1000 + (400/500)^2 \times 5{,}500$

= 4,520 W

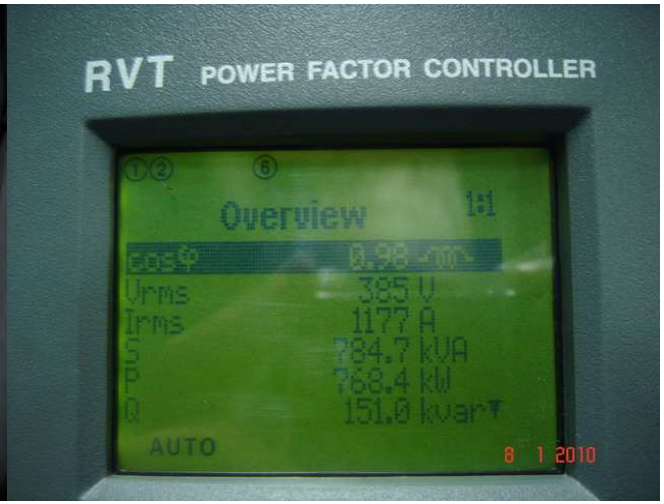
กำลังไฟฟ้าสูญเสียหลังจากปรับปรุงค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ = $1000 + (382.1/500)^2 \times 5{,}500$

= 4,212 W

สรุป เมื่อปรับปรุงค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์แล้ว

สามารถประหยัดได้ = 4,520 – 4,212 = 308 W

มาตรการประหยัดพลังงานหม้อแปลง



ประโยชน์ที่ได้รับจากการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

1. ประหยัดค่าไฟฟ้า
2. ลดค่ากำลังสูญเสียในสาย
3. ระบบไฟฟ้าสามารถจ่ายโหลดเพิ่มมากขึ้น
4. ลดค่ากำลังสูญเสียในหม้อแปลง
5. ระดับแรงดันไฟฟ้าดีขึ้น

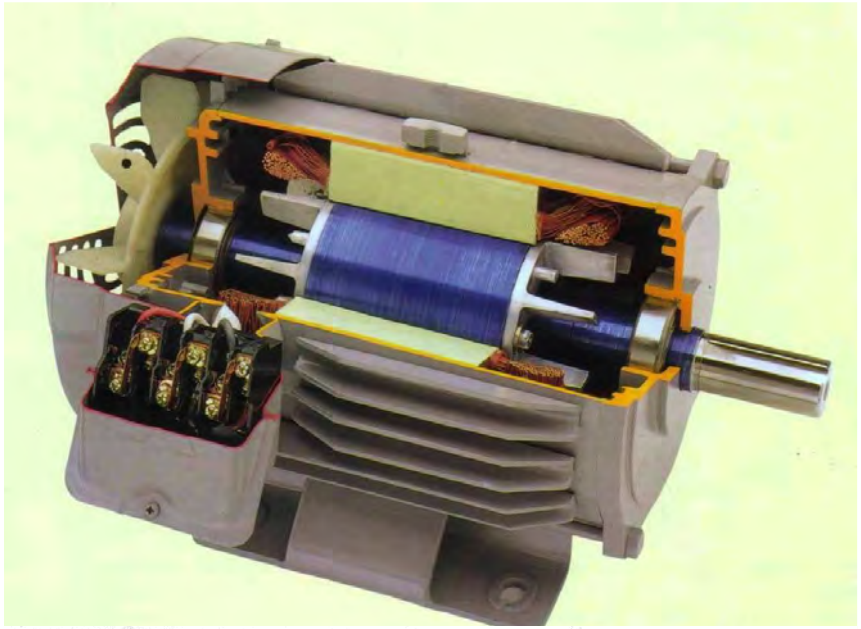
มาตรการประหยัดพลังงานหม้อแปลง

- ทำการเลือกเดินหม้อแปลงให้สูญเสียน้อยที่สุด ในกรณีที่มีหม้อแปลงหลายลูก
  - ในระบบจ่ายไฟฟ้าที่มีหม้อแปลงหลายลูกช่วยในการจ่ายโหลดทดแทนกัน กรณีหม้อแปลงตัวใดตัวหนึ่งหยุดการทำงาน วิธีการคือจัดให้บัสบาร์ด้านแรงดันต่ำเชื่อมต่อกันได้ด้วย tie circuit breaker
  - ถ้าพบว่าหม้อแปลงทั้งสองจ่ายโหลดน้อยมาก ๆ การเดินหม้อแปลงเพียงลูกเดียวจ่ายโหลดทั้งหมดอาจมีกำลังสูญเสียต่ำลง แต่อย่างไรก็ดีไม่เป็นจริงเมื่อโหลดสูงขึ้น จำเป็นต้องคำนวณเพื่อตรวจสอบก่อนดำเนินการเสมอ
  - สิ่งหนึ่งที่ไม่สมควรกระทำอย่างยิ่งในการอนุรักษ์พลังงานก็คือ การขนานหม้อแปลง เนื่องจากทำให้การสูญเสียมากขึ้น และขนาดกระแสลัดวงจรมีค่าสูงมากขึ้นด้วย ถ้าขนานหม้อแปลงต้องเปลี่ยนเบรกเกอร์ใหม่ด้วย

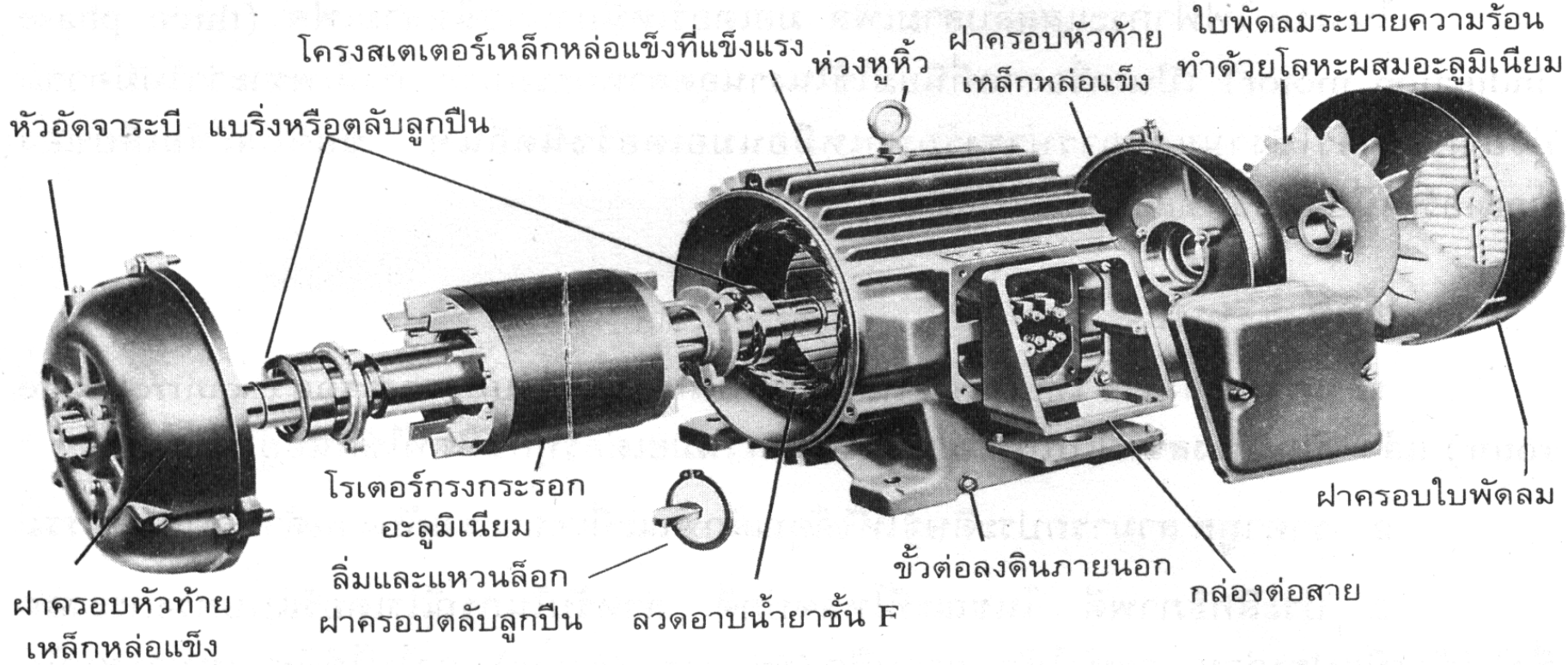
มาตรการประหยัดพลังงานหม้อแปลง

- ทำการปรับลดแรงดันไฟฟ้าด้านทุติยภูมิให้เหมาะสมกับโหลด(Tap setting)
  - สำรวจว่าโหลดมอเตอร์มีมากน้อยเท่าใดในโรงงาน เทียบกับโหลดทั้งหมด และถ้ามอเตอร์ส่วนใหญ่จ่ายโหลดเกือบเต็มพิกัด การลดแรงดันจะไม่เป็นประโยชน์และได้ผลตรงข้าม
  - โหลดบางอย่างไม่เหมาะสมที่จะใช้แรงดันต่ำ เช่น หลอดฟลูออเรสเซนต์ เครื่องทำความร้อนที่ไวต่อแรงดัน อุปกรณ์เหล่านี้ควรแยกออกจากหม้อแปลงที่จะลดแรงดัน
  - วัดกำลังไฟฟ้ารวมก่อนปรับลดแทปของหม้อแปลงและหลังปรับแล้ว ทั้งนี้อุปกรณ์ต่างๆ ต้องทำงานในภาวะเดียวกัน ดูผลของกำลังไฟฟ้าที่ลดลง ขณะเดียวกันต้องวัดกระแสมอเตอร์แต่ละตัวใหม่ว่าเกินกระแสพิกัดหรือไม่ ถ้าเกินอาจทำให้มอเตอร์ไหม้ได้

มอเตอร์ไฟฟ้า

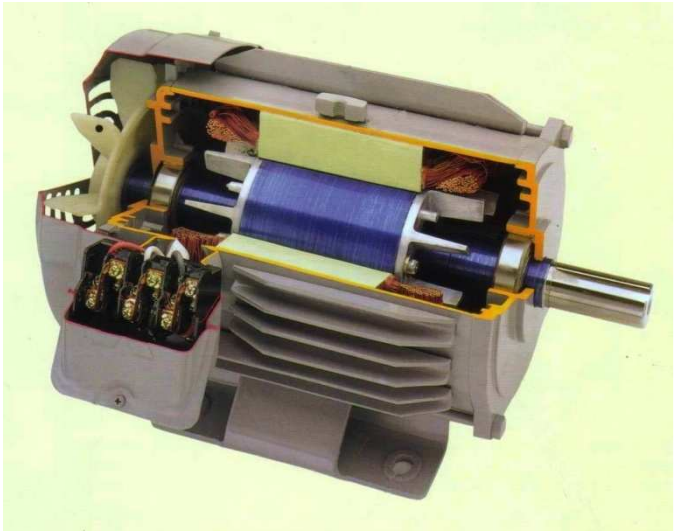


ส่วนประกอบของมอเตอร์

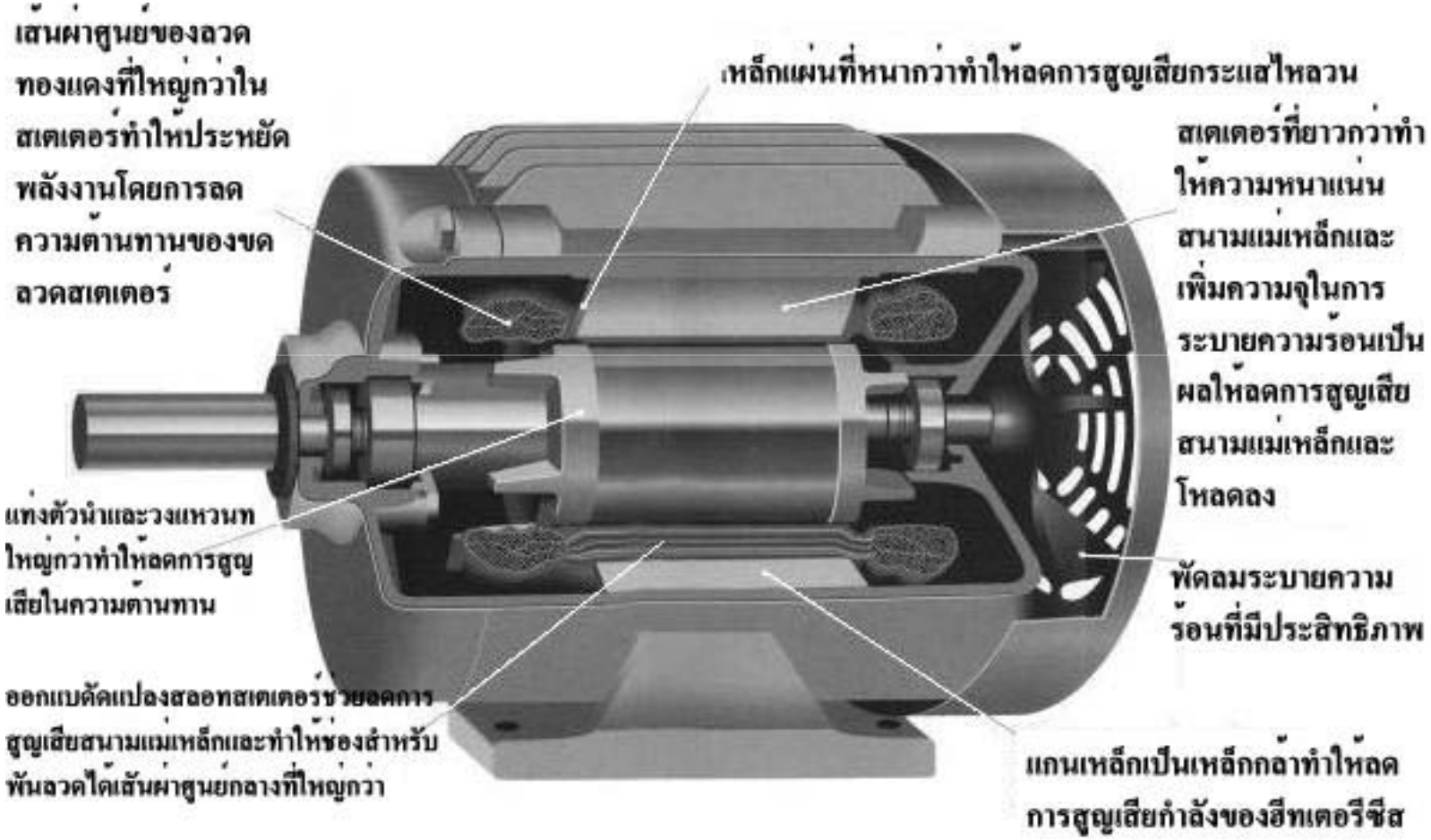


ความแตกต่างระหว่างมอเตอร์ประสิทธิภาพสูง และมอเตอร์ไฟฟ้ามาตรฐานทั่วไป

1. ใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยกว่า เนื่องจากเปลี่ยนแปลงรายละเอียดในการออกแบบ ใช้วัสดุที่ดีขึ้น และพิถีพิถันในกระบวนการผลิตมากขึ้น
2. ประสิทธิภาพของมอเตอร์สูงขึ้นประมาณ 2-4 % (สามารถลดการ สูญเสียพลังงานได้ประมาณ 25-30 %)
3. เกิดความร้อนจากการทำงานน้อยกว่า
4. อายุการใช้งานของฉนวน และลูกปืนยาวนานขึ้น
5. การสั่นสะเทือนน้อยกว่า มีเสียงรบกวนน้อย
6. ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ดีขึ้น



การใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูง

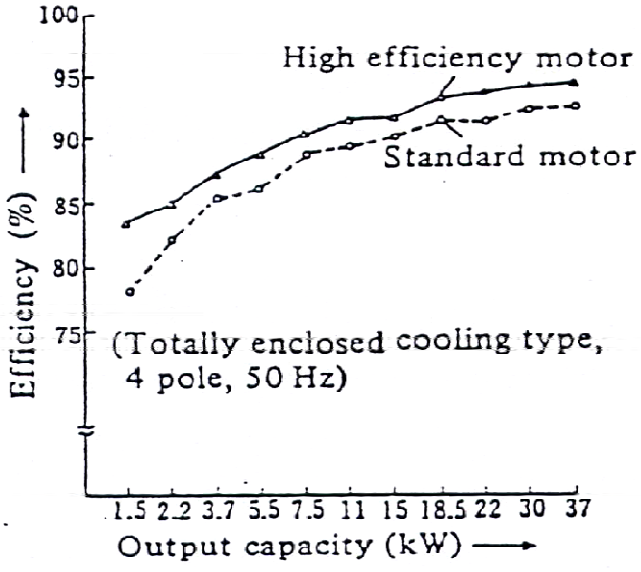


บันการตรวจวัดมอเตอร์ไฟฟ้า

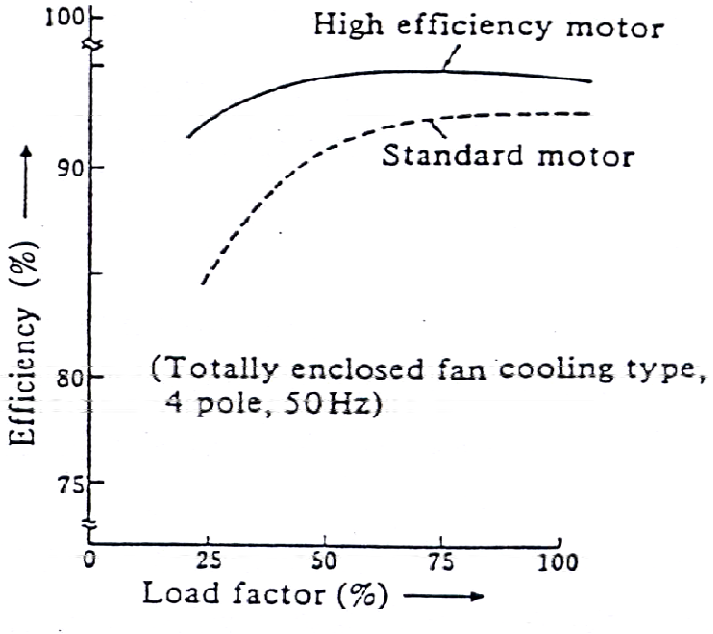
เครื่องจักรหรืออุปกรณ์ที่ใช้ไฟฟ้าอื่น ๆ ขนาดตั้งแต่ 5 กิโลวัตต์ขึ้นไป (ต่อ)

รายละเอียด	ลำดับที่ 1	ลำดับที่ 2	ลำดับที่ 3
ชื่อเครื่องจักรและอุปกรณ์			
พิกัดพลังไฟฟ้า (กิโลวัตต์)			
แรงดันไฟฟ้า (โวลท์)			
กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)			
จำนวนเฟส			
ตัวประกอบกำลัง (%)			
ประสิทธิภาพ (%)			
เดือน / พ.ศ. ที่ติดตั้งใช้งาน			
จำนวน(ชุด)			
ชื่อผู้ผลิต			
สถานที่ใช้งาน			
การบำรุงรักษา			
หมายเหตุ			

กราฟแสดงค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์
ประสิทธิภาพสูงและมอเตอร์มาตรฐาน



แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับพิกัดมอเตอร์
ของมอเตอร์อินดักชั่นแบบกรงกระรอก
ชนิด 3 เฟส



แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับเปอร์เซ็นต์การใช้งาน
มอเตอร์ของมอเตอร์อินดักชั่น แบบกรงกระรอก ชนิด 3 เฟส

ที่มา : Energy Conservation of Electrical Equipment

หลักการพิจารณาใช้มอเตอร์ไฟฟ้าประสิทธิภาพสูง

การพิจารณาเลือกซื้อมอเตอร์ประสิทธิภาพสูง

การเลือกซื้อหรือเปลี่ยนมอเตอร์ใหม่ให้เป็นมอเตอร์ประสิทธิภาพสูง

ควรพิจารณาเมื่อเครื่องที่ใช้อยู่เดิมชำรุด

- ✓ มอเตอร์ที่มีขนาดต่ำกว่า 10 kW ให้เปลี่ยนได้เลย
- ✓ มอเตอร์ที่มีขนาดมากกว่า 10 kW สามารถไปพันขดลวดได้ใหม่ ประมาณ 1 – 2 ครั้ง
- ✓ มอเตอร์ที่มีขนาดเล็กและมีชั่วโมงการทำงานสูง
- ✓ มอเตอร์ที่มีอายุการใช้งานเกินกว่า 15 ปี

แนวทางการอนุรักษ์พลังงาน

1. มาตรการประหยัดพลังงานโดย<u>การบำรุงรักษามอเตอร์</u>
   - จัดทำรายการมอเตอร์
   - บันทึกกำลังพิกัด กระแสพิกัด เพาว์เวอร์แฟกเตอร์ ตามที่ระบุบนแผ่นป้าย
   - วัดค่ากระแสไฟฟ้าเข้า และเพาเวอร์แฟกเตอร์ เมื่อมอเตอร์ทำงานตามปกติ
   - มอเตอร์มีเสียงดัง สั่น หรือร้อนผิดปกติหรือไม่
   - <u>ควรดำเนินการข้างต้นอย่างน้อย ทุก ๆ 6 เดือน</u>
2. มาตรการประหยัดพลังงานโดยการใช้<u>มอเตอร์ประสิทธิภาพสูง</u>

แนวทางการอนุรักษ์พลังงาน

3. มาตรการประหยัดพลังงานโดย<u>ให้แรงดันไฟฟ้าที่เหมาะสม</u>

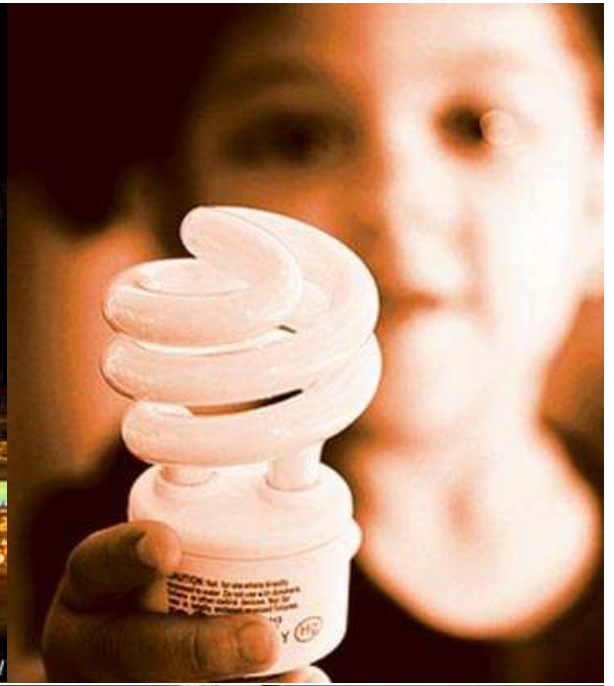
- การพิจารณาแรงดันไฟฟ้าที่เหมาะสมที่ป้อนให้กับมอเตอร์สามารถพิจารณาได้ดังนี้
  - กรณีมอเตอร์ส่วนใหญ่ทำงานที่โหลดพิกัด ตั้งแรงดันไฟเข้าไว้ที่แรงดันพิกัดของมอเตอร์ การตั้งแรงดันสูงกว่านี้จะทำให้มอเตอร์เสียหาย
  - กรณีมอเตอร์ส่วนใหญ่ขับโหลดน้อย ๆ เช่น น้อยกว่า **50%** การลดแรงดันไฟฟ้าเข้าลง จะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของมอเตอร์ขึ้นได้ แต่ต้องพิจารณาว่าแรงบิดเริ่มเดินเครื่อง และแรงบิดปกติต้องเพียงพอต่อโหลดที่มอเตอร์ต้องหมุนขับ

แนวทางการอนุรักษ์พลังงาน

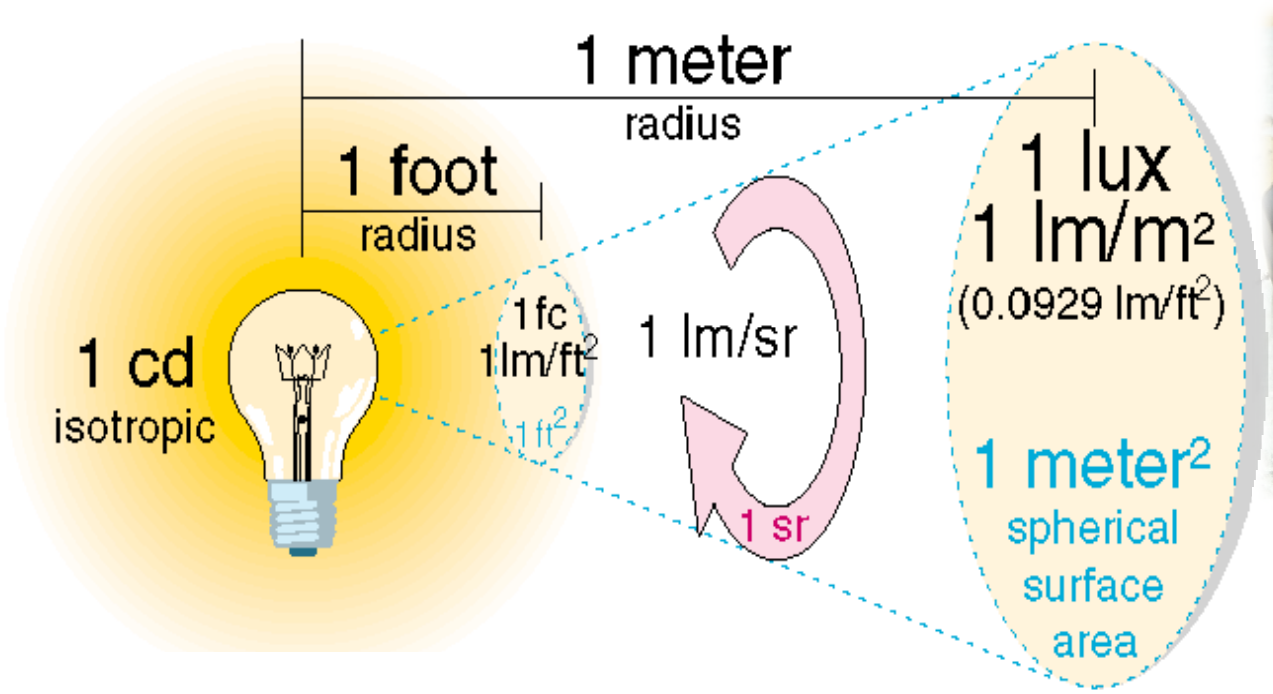
4. มาตรการประหยัดพลังงานโดยให้แรงดันที่สมดุล

   – เมื่อป้อนแรงดันที่ไม่สมดุล (Unbalanced voltage) เข้ามอเตอร์ จะมีองค์ประกอบแรงดันกลับทาง (Negative sequence voltage) สร้างแรงบิดต้านทิศทางแรงหมุน ทำให้กำลังสูญเสียในมอเตอร์สูงขึ้น ร้อนมากขึ้น ถ้าตรวจสอบพบต้องแก้ไข โดยจัดโหลดให้ใกล้เคียงกันทั้งสามเฟส จะสามารถลดการสูญเสียนี้ได้

ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง



ความหมายของความส่องสว่าง



ประสิทธิภาพของหลอดแสงสว่าง

ชนิดของหลอดแสงสว่าง	ลูเมนต่อวัตต์
หลอดไส้	8-22
หลอดแสงจันทร์	26-58
หลอดฟลูออเรสเซนต์	30-83
หลอดเมทัลฮาไลท์	67-115
หลอดโซเดียมความดันสูง	74-132

ตัวอย่าง มาตรฐานความส่องสว่าง

ค่าระดับความส่องสว่าง (Illuminance) สำหรับพื้นที่ทำงานและกิจกรรมต่าง ๆ ภายในโรงงาน	
ประเภทของพื้นที่และกิจกรรม	**ระดับความส่องสว่าง (ลักซ์)**
1. พื้นที่ภายในอาคารทั่วไป	
- โถงนั่งพัก	200
- พื้นที่ทางเดินภายในอาคาร	100
- บันได, บันไดเลื่อน และทางเลื่อน	150
- ห้องพักผ่อนทั่วไป	100
- ห้องน้ำ, ห้องสุขา และห้องรับฝากของ	200
- ห้องเก็บของ	50
2. อาคารสำนักงาน	
- พื้นที่เก็บเอกสาร, ถ่ายเอกสาร และพื้นที่ทั่วไปที่มีการสัญจร	300
- พื้นที่ที่มีการเขียน, พิมพ์, อ่าน และใช้คอมพิวเตอร์	500
- ห้องประชุม	300
3.กระบวนการผลิต	
- ผลิตทั่วไป	300
-ทอผ้า	500
- ห้องเย็น	200

ระบบแสงสว่าง

ระบบ	ค่าที่ตรวจวัด	เครื่องมือ
ระบบแสงสว่าง	• ค่าทางไฟฟ้าของระบบแสงสว่าง • ค่าความส่องสว่าง • ขนาดพื้นที่ของแต่ละส่วน	• เครื่องวัดค่าทางไฟฟ้า • เครื่องวัดค่าความส่องสว่าง (Lux Meter)

บันทึกการตรวจวัดในระบบไฟฟ้าแสงสว่าง

หมายเลขห้อง	รายละเอียดพื้นที่	ค่าสูงสุด (Lux)	ค่าต่ำสุด (Lux)	ค่าเฉลี่ย (Lux)	หลังปรับปรุง (Lux)
2	สำนักงาน	215.00	40.00	148.33	148.33
3	สโตร์สำนักงาน	155.00	120.00	137.50	137.50
4	ห้องประชุม	210.00	95.00	165.00	165.00

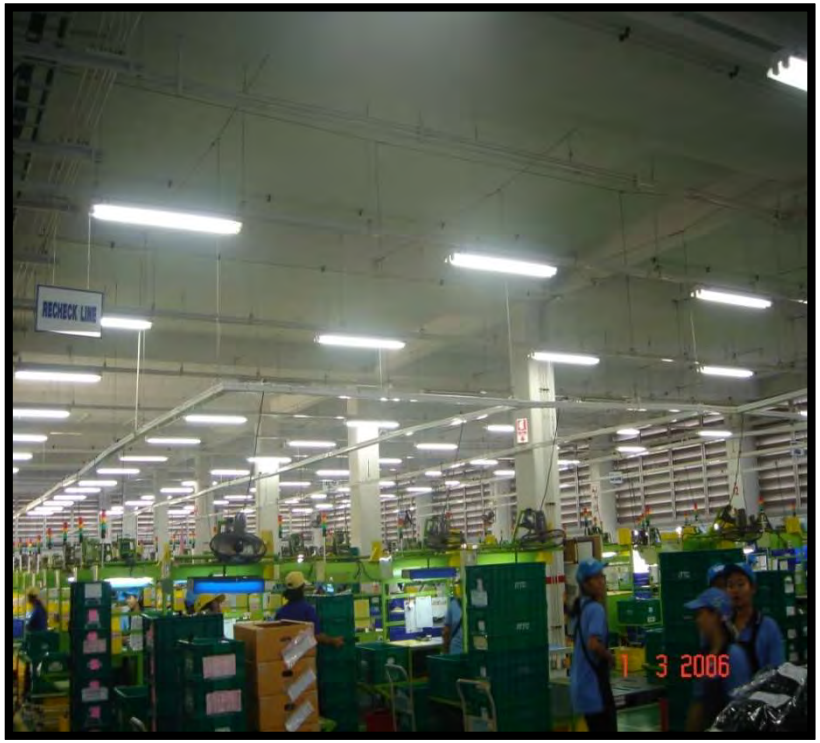
เครื่องมือวัดค่าความส่องสว่าง
(Lux Meter)

มาตรการด้านการอนุรักษ์พลังงาน

การใช้หลอดไฟฟ้าประสิทธิภาพสูง

การใช้แสงธรรมชาติ

จัดกลุ่มสวิตช์ใหม่ ,
ติดตั้ง Pull down Switch



จัดความสว่างให้เหมาะสม

(ค่าความสว่างตามมาตรฐาน)

การใช้โคมไฟฟ้าประสิทธิภาพสูง

Question