

บทที่ 4

การอนุรักษ์พลังงานสำหรับมอเตอร์ไฟฟ้า (Energy Conservation for Motor)

ความสำคัญของเนื้อหาวิชา

ประสิทธิภาพของมอเตอร์ขึ้นอยู่กับค่าของการสูญเสียที่เกิดขึ้นในตัวมอเตอร์ มอเตอร์ที่มีประสิทธิภาพสูงจะต้องการกำลังไฟฟ้าป้อนเข้าน้อยกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับมอเตอร์ที่มีประสิทธิภาพต่ำที่ให้กำลังงานขาออกเท่ากัน หลายปีที่ผ่านมาทางผู้ผลิตมอเตอร์ได้วิจัยและพัฒนาเพื่อผลิตมอเตอร์ที่มีประสิทธิภาพสูงออกสู่ตลาด สามารถลดการสูญเสียพลังงานได้ประมาณ 25-30% ของการสูญเสียเดิม นอกจากประหยัดพลังงานแล้วมอเตอร์ประสิทธิภาพสูงยังมีข้อดีอื่นๆ อีกคือ เกิดความร้อนจากการทำงานน้อยกว่า อายุการใช้งานของฉนวน และถูกป็นยาวนานขึ้น การสิ้นเปลืองน้อยกว่า มีเสียงรบกวนน้อย และค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ดีขึ้น การติดตั้งเครื่องควบคุมความเร็วรอบในเครื่องปั้มน้ำ พัดลม เครื่องอัดอากาศ (Air compressor) เป็นที่ยอมรับมานานแล้วว่าสามารถประหยัดพลังงานได้มาก การลดความเร็วรอบของปั้มน้ำลง 50 % จะทำให้อัตราการไหลลดลง 50 % ในขณะที่ความดันลดลง 75 % และแรงม้าของต้นกำลัง (Break Horsepower, BHp) ลดลงมากถึง 87.5 % ตามทฤษฎีของ Affinity Laws

วัตถุประสงค์

1. บอกชนิดและหลักการทำงานของมอเตอร์ประเภทต่างๆ ได้
2. อธิบายเรื่องประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้าได้
3. บอกความแตกต่างของมอเตอร์ประสิทธิภาพสูงกับมอเตอร์มาตรฐานทั่วไปได้
4. เลือกใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูงและอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบเพื่อให้เกิดการอนุรักษ์พลังงานได้
5. บอกแนวทางในการอนุรักษ์พลังงานในมอเตอร์ได้

4.1 บทนำ

มอเตอร์ไฟฟ้า (Motor) หมายถึง เครื่องกลไฟฟ้าชนิดหนึ่ง que เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้ามาเป็นพลังงานกล มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์ต้นกำลังและเป็นอุปกรณ์ควบคุมเครื่องจักรกลต่างๆ ที่ใช้ในระบบต่างๆ ในโรงงานและอาคาร

4.2 ชนิดและหลักการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้า

มอเตอร์ไฟฟ้าสามารถแบ่งตามประเภทของกระแสไฟฟ้าได้ 2 ชนิดคือ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (Direct Current Motor) และมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternating Current Motor)

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงหรือเรียกว่า ดี.ซี มอเตอร์ อาจแบ่งออกเป็น 3 ชนิด ได้แก่

- มอเตอร์แบบอนุกรมหรือเรียกว่า ซีรีส์มอเตอร์ (Series Motor)
- มอเตอร์แบบขนานหรือเรียกว่า ชันท์มอเตอร์ (Shunt Motor)
- มอเตอร์ไฟฟ้าแบบผสมหรือเรียกว่า คอมเปาวด์มอเตอร์ (Compound Motor)

ส่วนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับหรือเรียกว่า เอ.ซี มอเตอร์ สามารถแบ่งออกตามจำนวนเฟสของกระแสไฟฟ้าได้ ดังนี้

- มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับชนิด 1 เฟส หรือเรียกว่า ซิงเกิลเฟสมอเตอร์ (A.C. Sing phase motor) ซึ่งสามารถจำแนกย่อยได้เป็น 5 ประเภท ได้แก่
 - สปลิตเฟส มอเตอร์ (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)
- มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับชนิด 3 เฟสหรือเรียกว่า ทรีเฟสมอเตอร์ (A.C. Three phase motor)

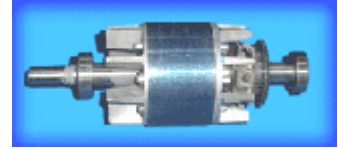
4.3 ส่วนประกอบและหลักการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้า

4.3.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส

4.3.1.1 สปลิตเฟสมอเตอร์ (Split-phase motor)

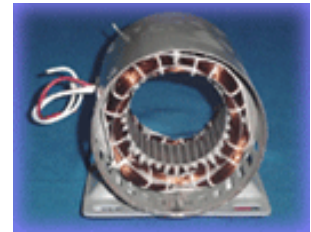
- โรเตอร์ (Rotor)

โรเตอร์ทำด้วยแผ่นเหล็กบางๆ (Laminated) อัดซ้อนกันเป็นแกนและมีเพลาร้อยทะลุเหล็กบางๆเพื่อยึดให้แน่นรอบโรเตอร์นี้จะมีร่องไปตามทางยาวในร่องนี้จะมีทองแดงหรืออลูมิเนียมเส้น โตะๆ ฝังอยู่โดยรอบปลายของทองแดงหรืออลูมิเนียมนี้จะเชื่อมติดอยู่กับวงแหวนทองแดงหรืออลูมิเนียม ซึ่งมีลักษณะคล้ายกรงกระรอกจึงเรียกชื่อว่า โรเตอร์กรงกระรอก (Squirrel cage rotor)



- สเตเตอร์ (Stator)

สเตเตอร์ (Stator) หรือเรียกว่าโครงสร้างสนามแม่เหล็กซึ่งประกอบด้วยแผ่นเหล็กบางๆ อัดแน่น มีร่องสำเร็จไว้ใส่ขดลวดเรียกว่าช่องสลอต (slot) อัดเป็นปีกแผ่นอยู่ภายในกรอบโครง (Frame) ซึ่งเฟรมนั้นจะทำมาจากเหล็กหล่อ (Cast iron) หรือเหล็กเหนียว (Steel) ที่สเตเตอร์ของสปลิตเฟสมอเตอร์จะมีขดลวดพันอยู่ 2 ชุด คือ ขดรันหรือขดเมน (Running Winding หรือ Main Winding) พันด้วยลวดเส้นใหญ่ จำนวนรอบมากขดลวดรันนี้จะมีไฟฟ้าไหลผ่านอยู่ตลอดเวลา ไม่ว่าจะเป็นการเริ่มสตาร์ทหรือทำงานปกติ ขดลวดชุดที่สอง สำหรับเริ่มหมุนหรือขดสตาร์ท (Starting winding) พันด้วยลวดเส้นเล็กและจำนวนรอบน้อยกว่าขดรัน ขดลวดสตาร์ทจะต่ออนุกรมอยู่กับสวิตช์แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางแล้วจึงนำไปต่อขนานกับขดรัน



- ฝาครอบ

ฝาครอบของมอเตอร์ทั้งสองข้างส่วนใหญ่ทำมาจากเหล็กหล่อหรือเหล็กเหนียวทั้งสองข้างจะถูกยึดด้วยสลักเกลียวให้แน่นและยังมีแบร์ริงแบบดัดลูกปืน (Ball bearing) สำหรับรองเพลาในการหมุนของโรเตอร์ให้ตรงแนวศูนย์กลางไม่เกิดการเสียดสีกับสเตเตอร์ และที่ฝาปิดอีกด้านหนึ่งจะมีส่วนประกอบของสวิตช์แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางอยู่ในส่วนที่เป็นหน้าสัมผัสที่อยู่กับที่



ฝาครอบปิดหัว-ท้ายของมอเตอร์

- **สวิทช์แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal switch)**

สวิทช์แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางนี้ทำหน้าที่ตัดวงจรสตาร์ทหรือบางที่เรียกว่าสวิทช์ตัดวงจรสตาร์ทสวิทช์แรงเหวี่ยงนี้ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วนดังนี้ คือส่วนที่อยู่กับที่ (Stationary part) จะประกบติดอยู่กับฝาปิดหัวท้ายของมอเตอร์ซึ่งเป็นส่วนของหน้าสัมผัสหรือหน้าทองขาวอยู่ 2 อัน และส่วนที่หมุน (Rotating part) เป็นส่วนที่ติดอยู่กับเพลลาของโรเตอร์ การทำงานของสวิทช์หนีศูนย์กลาง เมื่อความเร็วรอบของมอเตอร์ได้ 75 เปอร์เซ็นต์ของความเร็วยุติของมอเตอร์จะทำให้ส่วนที่ติดอยู่กับแกนเพลลาของโรเตอร์ผลักดันส่วนที่ติดอยู่กับฝาของมอเตอร์ทำให้หน้าสัมผัสแยกออกจากกันตัดวงจรสตาร์ทอย่างอัตโนมัติ



สวิทช์แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางส่วนเคลื่อนที่ได้



สวิทช์แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางส่วนอยู่กับที่

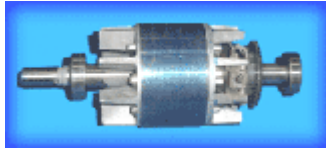
การทำงานอาศัยหลักการเหนี่ยวนำทางแม่เหล็กไฟฟ้า โดยที่ขดรีนและขดสตาร์ทที่วางทำมุมกัน 90 องศาทางไฟฟ้าเพื่อทำให้เกิดสนามแม่เหล็กหมุน (Rotating magnetic field) ไปเหนี่ยวนำให้เกิดกระแสไหลในขดลวดกรงกระรอก (Squirrel-cage winding) กระแสส่วนนี้จะสร้างสนามแม่เหล็กขึ้น ไปผลัดกับสนามแม่เหล็กที่สเตเตอร์ เกิดเป็นแรงบิดที่โรเตอร์ให้หมุนไป เมื่อโรเตอร์หมุนด้วยความเร็ว 75 เปอร์เซ็นต์ ของความเร็วสูงสุดสวิทช์แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางจะตัดขดลวดสตาร์ทออก ส่วนขดรีนจะทำงานตลอดตั้งแต่เริ่มเดินมอเตอร์จนหยุดหมุน เมื่อนำมอเตอร์นี้ไปใช้งานต้องให้หมุนตัวเปล่าก่อนแล้วจึงจะต่อโหลด

4.3.1.2 คาปาซิเตอร์มอเตอร์ (Capacitor motor)

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

โครงสร้างของคาปาซิเตอร์มอเตอร์ มีส่วนประกอบส่วนใหญ่เหมือนกับแบบสปลิทเฟสเกือบทุกอย่าง คือ

- โรเตอร์เป็นแบบกรงกระรอก
- สเตเตอร์ประกอบด้วยขดลวด 2 ชุด คือ ขดสตาร์ทและขดรีน
- ฝาปิดหัวท้ายประกอบด้วย ปลอกทองเหลือง (Bush) หรือคัลล์ลูกปืน (Ball bearing) สำหรับรองรับเพลลา
- คาปาซิเตอร์หรือคอนเดนเซอร์ (Capacitor or Condenser) โดยทั่วไปมี 3 ชนิด คือ 1. แบบกระดาษหรือ Paper capacitor 2. แบบเติมน้ำมันหรือ Oil-filled capacitor 3. แบบสารประกอบไฟฟ้าหรือ Electrolytic capacitor



โรเตอร์แบบกรงกระรอก



สเตเตอร์ประกอบด้วยขดลวด 2 ชุด คือ ชุดสตาร์ท และชุดรัน



ฝาปิดหัวท้าย



คาปาซิเตอร์หรือคอนเดนเซอร์

4.3.1.3 รีพัลชันมอเตอร์ (Repulsion motor)

โครงสร้างที่สำคัญของรีพัลชันมอเตอร์ประกอบไปด้วย 5 ส่วนสำคัญคือ

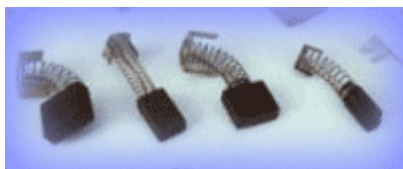
1. สเตเตอร์ (Stator)
2. โรเตอร์ (Rotor)
3. แปรงถ่านและช่องแปรงถ่าน (Brush and Brush Holder)
4. ฝาปิดหัวท้าย (End Plate)
5. อุปกรณ์แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal Switch)



สเตเตอร์ของรีพัลชันมอเตอร์จะมีขดลวดพันอยู่เพียงชุดเดียวเหมือนกับขดลวดรันของสปลิทเฟสมอเตอร์



โรเตอร์ คือตัวหมุนของรีพัลชันมอเตอร์ มีขดลวดพันอยู่ในร่อง (Slots) และปลายของขดลวดจะไปต่อตรงที่ขั้วคอมมิวเตเตอร์



แปรงถ่านและช่องแปรงถ่าน แปรงถ่านทำจากแท่งคาร์บอนมีสองอันต่อด้วยสายตัวนำถึงกัน วางอยู่บนช่องแปรงถ่านและมีสปริงกด เหมือนกับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

การทำงานของมอเตอร์อาศัยสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นและอุปกรณ์แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางจะทำหน้าที่กดวงแหวนตัวนำ (Neck Lace) ให้ติดกับขั้วคอมมิวเตเตอร์เหมือนกับสวิตช์วงจรคอมมิวเตเตอร์ การลัดขั้วคอมมิวเตเตอร์นั้น เพื่อให้ขณะที่มอเตอร์สตาร์ทไปแล้วที่ความเร็วประมาณ 75% ของความเร็วพิกัดของมอเตอร์อุปกรณ์แรง

เหวี่ยงหนีศูนย์กลางนี้จะทำงานโดยคดวงแหวนตัวนำลัดซึ่งคอมมิวเตเตอร์ ทำให้มอเตอร์หมุนรันไปแบบอินดักชันเพราะขณะนี้โรเตอร์จะมีคุณสมบัติเหมือนโรเตอร์แบบกรงกระรอก รีฟลัชันมอเตอร์บางชนิดจะมีตัวแยกแปร่งถ่านออกจากคอมมิวเตเตอร์ ในขณะที่อุปกรณ์แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางทำงานอีกด้วย

4.3.1.4 ยูนิเวอร์แซลมอเตอร์ (Universal motor)

เป็นมอเตอร์ขนาดเล็กมีขนาดกำลังไฟฟ้าตั้งแต่ 1/200 แรงม้าถึง 1/30 แรงม้า นำไปใช้ได้กับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงและใช้ได้กับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับชนิด 1 เฟส มอเตอร์ชนิดนี้มีคุณสมบัติที่โดดเด่น คือให้แรงบิดเริ่มหมุนสูงนำไปปรับความเร็วได้ นิยมนำไปใช้เป็นตัวขับเคลื่อนใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน เช่น เครื่องอบและผสมอาหาร มิคโคนหวดไฟฟ้า เครื่องนวดไฟฟ้า มอเตอร์จักรเย็บผ้า สว่านไฟฟ้า เป็นต้น

การทำงานของยูนิเวอร์แซลมอเตอร์ จะอาศัยการที่ขดอาร์เมเจอร์ (โรเตอร์) และขดลวดสนามแม่เหล็กที่ต่ออนุกรมกัน เมื่อจ่ายไฟฟ้าเข้าจะเกิดขั้วแม่เหล็กขึ้นที่ตัวอาร์เมเจอร์ และที่ขั้วสนามแม่เหล็ก ทำให้เกิดแรงผลักกันทำให้มอเตอร์หมุนไปได้

4.3.1.5 เซดเดดโพลมอเตอร์ (Shaded-pole motor)

เซดเดดโพลมอเตอร์เป็นมอเตอร์กระแสสลับ 1 เฟส มีขนาดเล็กที่สุดมีแรงบิดเริ่มหมุนต่ำมากนำไปใช้งานได้กับเครื่องใช้ไฟฟ้าขนาดเล็ก ๆ เช่น ใคร้เป่าผม พัดลมขนาดเล็ก โครงสร้างของมอเตอร์ประกอบด้วย

1. ขดลวดสนามแม่เหล็ก จะพันอยู่รอบ ๆ แกนของตัวสเตเตอร์
2. โรเตอร์ (ตัวหมุน) มีลักษณะเป็นโรเตอร์ แบบกรงกระรอก
3. สเตเตอร์ เป็นแผ่นเหล็กบางวางอัดซ้อนกัน บริเวณขั้วสนามแม่เหล็กแต่ละด้านแบ่ง เป็น 2 ส่วน ส่วนที่เล็กกว่าจะมีวงแหวนทองแดงพันอยู่รอบ ๆ
4. วงแหวนทองแดง (Shaded Coil) หรือขดลวดช่วยหมุน(Auxiliary Winding)

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

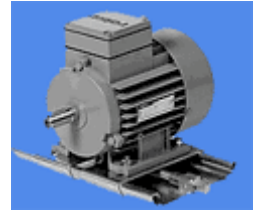
4.3.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส สามารถแบ่งออกตามโครงสร้างและหลักการทำงานของมอเตอร์ได้ 2 แบบ คือ

1. อินดักชันมอเตอร์ (Induction Motor)
2. ซิงโครนัสมอเตอร์ (Synchronous Motor)

4.3.2.1 อินดักชันมอเตอร์ (Induction motor)

มอเตอร์ไฟฟ้า 3 เฟส มีคุณสมบัติที่ดี คือมีความเร็วรอบคงที่เนื่องจากความเร็วรอบอินดักชันมอเตอร์ขึ้นอยู่กับความถี่ (Frequency) ของแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ มีราคาถูก โครงสร้างไม่ซับซ้อน สะดวกในการบำรุงรักษาเพราะไม่มีคอมมิวเตเตอร์และแปรงถ่านเหมือนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงเมื่อใช้ร่วมกับเครื่องควบคุมความเร็วแบบอินเวอร์เตอร์ (Inverter) สามารถควบคุมความเร็ว (Speed) ได้ตั้งแต่ศูนย์จนถึงความเร็วตามพิกัดของมอเตอร์ นิยมใช้กันมาก เป็นต้นกำลังในโรงงานอุตสาหกรรม ขับเคลื่อนลิฟท์ ขับเคลื่อนสายพานลำเลียง ขับเคลื่อนเครื่องจักรไฟฟ้า เช่น เครื่องไส เครื่องกลึงมอเตอร์ อินดักชันมี 2 แบบ แบ่งตามลักษณะตัวหมุนคือ



- **อินดักชันมอเตอร์ที่มีโรเตอร์แบบกรงกระรอก(Squirrel Cage Induction Motor)** อินดักชันมอเตอร์แบบนี้ตัวโรเตอร์จะมีโครงสร้างแบบกรงกระรอกเหมือนกับโรเตอร์ของสปลิทเฟสมอเตอร์

- **อินดักชันมอเตอร์ที่มีโรเตอร์แบบขดลวด(Wound Rotor Induction Motors)** อินดักชันมอเตอร์ชนิดนี้ตัวโรเตอร์จะทำจากเหล็กแผ่นบางๆอัดซ้อนกันเป็นตัวหุ้คล้ายกับอาร์เมเจอร์ ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงมีร่องสำหรับวางขดลวดของตัวโรเตอร์เป็นขดลวด 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 ตัวสเตเตอร์ ทำให้โรเตอร์ ได้รับการเหนี่ยวนำทำให้เกิดขั้วแม่เหล็กที่ตัวโรเตอร์และขั้วแม่เหล็กนี้จะพยายามดึงดูดกับสนามแม่เหล็กที่หมุนอยู่รอบ ๆ ทำให้อัตราเร็วของอินดักชันมอเตอร์หมุนไปได้ความเร็วของสนามแม่เหล็กหมุนที่ตัวสเตเตอร์ซึ่งจะคงที่ตามความถี่ของไฟฟ้ากระแสสลับ ดังนั้น โรเตอร์ของอินดักชันของมอเตอร์จึงหมุนตามสนามหมุนดังกล่าวไปด้วยความเร็วเท่ากับความเร็วของสนามแม่เหล็กหมุน

4.3.2.2 ซิงโครนัสมอเตอร์ (Synchronous motor)

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 ให้กับสเตเตอร์จะเกิดสนามแม่เหล็กหมุนขึ้นเหมือนสนามแม่เหล็กหมุนของอินดักชันมอเตอร์

2. **โรเตอร์ (Rotor)** เป็นแบบขั้วแม่เหล็กยื่น (Salient Poles) และมีขดลวดพันข้างๆ ขั้วแม่เหล็กยื่นเหล่านั้นขดลวดสนามแม่เหล็กที่พันรอบขั้วแม่เหล็กยื่นต่อกับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงภายนอก เพื่อสร้างขั้วแม่เหล็กขึ้นที่ตัวโรเตอร์

การทำงานของซิงโครนัสมอเตอร์เมื่อจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส ให้กับสเตเตอร์ของซิงโครนัสมอเตอร์จะเกิดสนามแม่เหล็กหมุนเนื่องจาก โรเตอร์ของซิงโครนัสมอเตอร์เป็นแบบขั้วแม่เหล็กยื่น และมีขดลวด



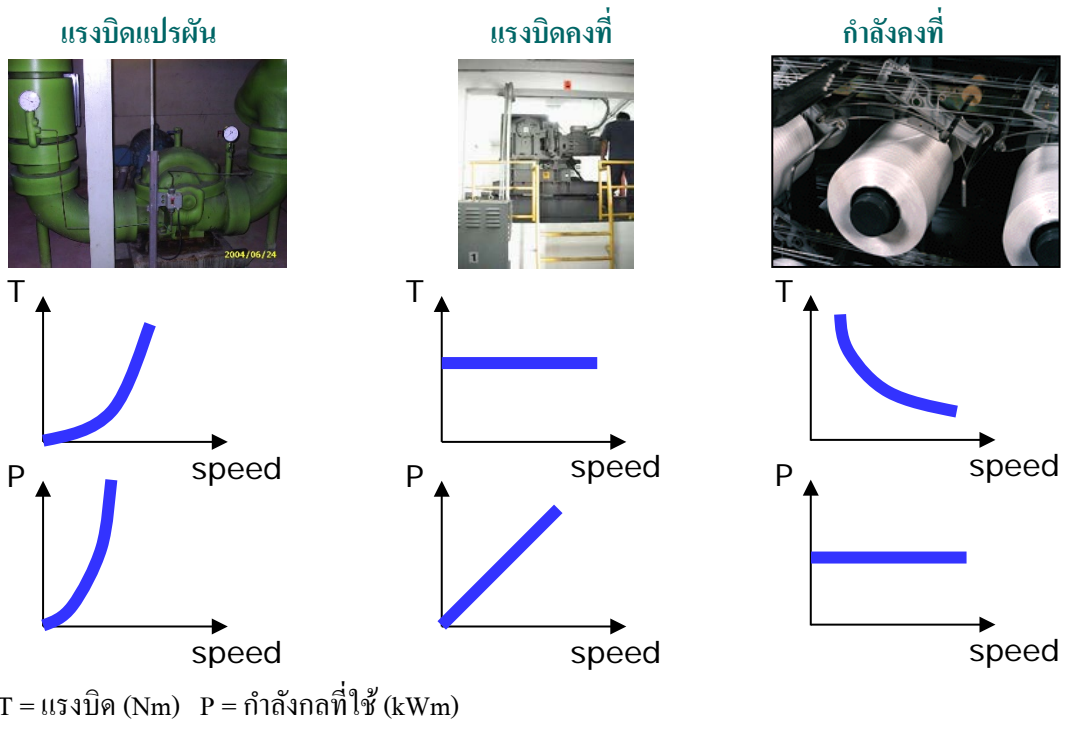
ตอนที่ 2 บทที่ 4 การอนุรักษ์พลังงานสำหรับมอเตอร์ไฟฟ้า

สนามแม่เหล็กพันอยู่รอบ ๆ เมื่อจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงให้กับโรเตอร์จะทำให้เกิดขั้วแม่เหล็กขึ้นที่โรเตอร์ ขั้วแม่เหล็กนี้จะเกาะตามการหมุนของสนามหมุนของสเตเตอร์ ทำให้มอเตอร์หมุนไปด้วยความเร็วเท่ากับความเร็วของสนามแม่เหล็กที่สเตเตอร์

4.3.3 การเลือกใช้มอเตอร์ไฟฟ้า 3 เฟส

4.3.3.1 ลักษณะของโหลด

ในการเลือกและควบคุมมอเตอร์เราจำเป็นต้องเข้าใจลักษณะโหลดประเภทต่างๆที่มอเตอร์ขับเคลื่อนซึ่งโหลดของมอเตอร์จัดได้ 3 ลักษณะดังนี้



ประเภทของโหลด

โหลดประเภทแรงบิดแปรผันตามความเร็ว (Variable Torque) ได้แก่ ปั๊มน้ำหรือพัดลมซึ่งเมื่อความเร็วรอบสูงขึ้น แรงบิดจะตามความเร็วรอบกำลังสอง และกำลังกลที่ใช้ก็จะแปรผันตามความเร็วรอบกำลังสาม

โหลดประเภทแรงบิดคงที่ (Constant Torque) ได้แก่ ปั่นจั่น ลิฟท์ ซึ่งแรงโน้มถ่วงจะเป็นน้ำหนักที่คงที่ แรงบิดจึงคงที่ไม่ขึ้นกับความเร็วรอบ โหลดประเภทนี้ กำลังกลที่ใช้จะแปรผันตามความเร็วรอบ

โหลดประเภทกำลังงานคงที่ (Constant Power) เช่น เครื่องม้วน เครื่องเจาะ สว่าน ฯลฯ แรงบิดจะลดลงเมื่อความเร็วรอบสูงขึ้น และกำลังกลที่ใช้จะคงที่ไม่ขึ้นกับความเร็วรอบ ในตารางต่อไปนี้จะแสดงลักษณะโหลดและแรงจลน์เริ่มเดินเครื่องของเครื่องจักรประเภทต่างๆ ในโรงงาน

โหลดเครื่องจักรแบบต่าง ๆ

เครื่องจักร	ประเภทโหลด	แรงจุดเริ่มเดินเครื่อง	เครื่องจักร	ประเภทโหลด	แรงจุดเริ่มเดินเครื่อง
พัดลม			ระบบลำเลียง		
-แรงเหวี่ยง	VT	ต่ำ	-สายพาน	CT	ปานกลาง
-สร้างความดัน	CT	ต่ำ	-สกรู	CT	สูง
ปั๊ม			เครื่องย่อย	CT	สูง
-แรงเหวี่ยง	VT	ต่ำ	เครื่องบด	CHP	ปานกลาง
-สร้างความดัน	CT	ปานกลาง	เครื่องรีด (Extruder)	CT	ปานกลาง
-ของหนืด	CT	สูง	เตาเผาปูน	CT	สูง
คอมเพรสเซอร์			เครื่องผสม(mixer)	CT	สูง
-แรงเหวี่ยง	VT	ต่ำ	เครื่องปั๊ม	CT	ปานกลาง
-ลูกสูบ	CT	ปานกลาง	เลื่อย	CT	ปานกลาง
-โรตารี	CT	ปานกลาง	เครื่องม้วน	CHP	ปานกลาง
เครน	CT	ปานกลาง	ลิฟท์	CT	ปานกลาง

VT = แรงบิดผันแปร CT = แรงบิดคงที่ CHP = กำลังกลคงที่

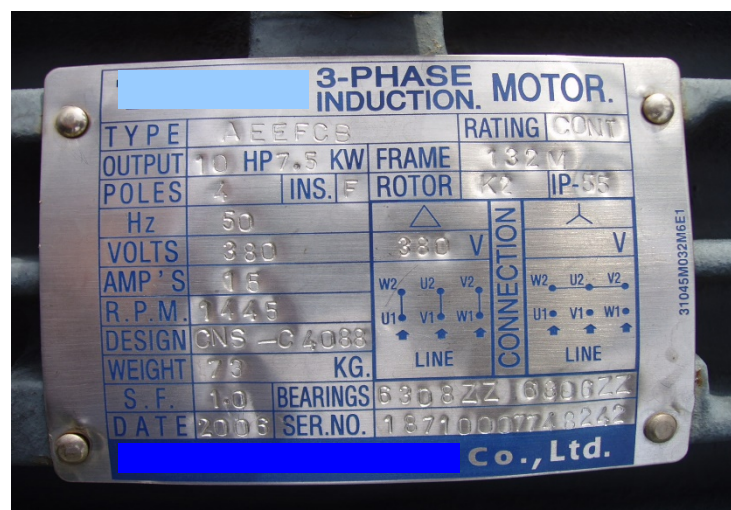
ต่ำ = แรงบิดเริ่มเดินเครื่องน้อยกว่าแรงบิดพิกัด

ปานกลาง = แรงบิดเริ่มเดินเครื่อง 100 - 150% ของแรงบิดพิกัด

สูง = แรงบิดเริ่มเดินเครื่องเกิน 150% ของแรงบิดพิกัด

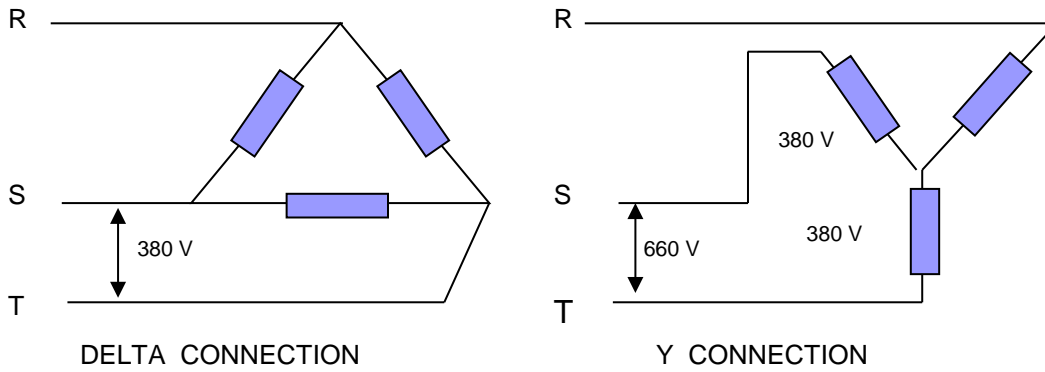
4.3.3.2 การพิจารณาคุณสมบัติของ มอเตอร์

การสั่งซื้อมอเตอร์มาใช้งานอย่างถูกต้องเหมาะสมกับการใช้งาน มีข้อมูลในการใช้งานหลายอย่างที่ ต้องกำหนด ข้อมูลหลักๆ ได้แก่



แผ่นป้ายประจำมอเตอร์

1. แรงดันไฟฟ้าและความถี่ แรงดันไฟฟ้าและความถี่ของมอเตอร์ต้องสอดคล้องกับระบบไฟฟ้าที่ติดตั้งในโรงงาน เช่น ถ้าแผ่นป้ายระบุ Δ 380 V / Y 660 V หมายถึง ถ้าเข้าสายที่ขั้วมอเตอร์แบบ Δ จะใช้กับแรงดัน 380 V ถ้าเข้าสายแบบ Y จะใช้กับแรงดัน 660 V เป็นต้น



การต่อสายเข้ามอเตอร์

2. การป้องกันน้ำและฝุ่น ต้องเลือกระดับการกันฝุ่นและกันน้ำของมอเตอร์ให้สอดคล้องกับการใช้งาน โดยทั่วไปเราจะอ้างอิงมาตรฐาน IEC ซึ่งใช้รหัสตัวเลข 2 ตัว แสดงระดับการป้องกันฝุ่น และกันน้ำ ตามลำดับดังนี้

การป้องกันฝุ่นและกันน้ำตามมาตรฐาน IEC

รหัส	ระดับการป้องกันฝุ่น	รหัส	ระดับการป้องกันน้ำ
0	ไม่มีการป้องกัน	0	ไม่มีการป้องกัน
1	ป้องกันวัตถุขนาดเกิน 50 mm. ได้	1	ป้องกันหยดน้ำลงในแนวตั้ง
2	ป้องกันวัตถุขนาดเกิน 12 mm. ได้	2	ป้องกันหยดน้ำและน้ำสาดมุมไม่เกิน 15 องศาในแนวตั้ง
3	ป้องกันวัตถุขนาดเกิน 2.5 mm. ได้	3	ป้องกันหยดน้ำและน้ำสาดมุมไม่เกิน 60 องศาในแนวตั้ง
4	ป้องกันวัตถุขนาดเกิน 1 mm. ได้	4	ป้องกันน้ำสาดทุกทิศทาง
5	ป้องกันฝุ่น	5	ป้องกันน้ำฉีดทุกทิศทาง
6	ผนึกกันฝุ่น	6	ป้องกันน้ำจากน้ำท่วมได้ชั่วขณะ
		7	จมน้ำลึกไม่เกิน 1 เมตร ได้ 30 นาที
		8	ใช้งานใต้น้ำได้

ตัวอย่าง เช่น มอเตอร์ที่ใช้งานในร่มทั่วไปมักจะเลือก IP54 และใช้งานกลางแจ้งจะเป็น IP65 เป็นต้น

3. อุณหภูมิเพิ่มของฉนวน เราต้องเลือกการทนความร้อนของฉนวน ปกติฉนวนจะเป็นตัวกำหนดอายุการใช้งานของมอเตอร์ ในการทนต่ออุณหภูมิของมอเตอร์มักจะกำหนดในรูปอุณหภูมิเพิ่ม คือยอมให้อุณหภูมิเพิ่มจากบรรยากาศแวดล้อมได้กี่องศา IEC ได้กำหนดระดับของอุณหภูมิเพิ่มไว้ดังนี้

อุณหภูมิเพิ่มของฉนวน

อุณหภูมิ	Class A	Class B	Class F	Class H
อุณหภูมิแวดล้อม (°C)	40	40	40	40
อุณหภูมิเพิ่ม (°C)	60	80	105	125
เพื่อสำหรับจุดสูงสุด (°C)	5	10	10	15
อุณหภูมิสูงสุด (°C)	105	130	155	180

มอเตอร์ที่ใช้งานทั่วไปมักเลือกระดับฉนวนชั้น B และมอเตอร์ที่ใช้งานกับอินเวอร์เตอร์ หรือ อาจมีการะเกินได้ มักเลือกฉนวนชั้น F หรือ H

4. แรงบิดเริ่มเดินเครื่อง การใช้งานบางแบบเราใช้แรงบิดเริ่มต้นต่ำ บางแบบใช้แรงบิดเริ่มต้นสูง แต่ขณะทำงานภาระต่ำ ในมาตรฐาน NEMA ได้กำหนดครุห์เกี่ยวกับแรงบิดเริ่มเดินเครื่องของมอเตอร์ โดยกำหนดเป็น DESIGN A ถึง D ดังนี้

แรงบิดของมอเตอร์ตามมาตรฐาน NEMA

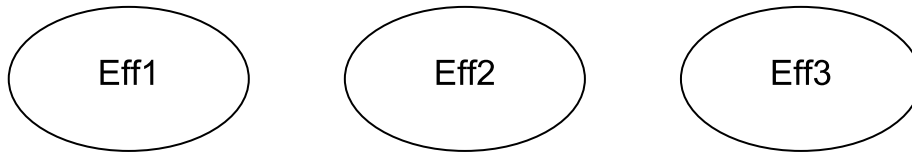
Design	แรงบิดเริ่มเดินเครื่อง (% Full load)	กระแสเริ่มเดินเครื่อง (% Full load)	แรงบิดสูงสุด (% Full load)
A	ปานกลาง (70-275%)	ไม่จำกัด (600-900%)	สูง (175-300%)
B	ปานกลาง (70-275%)	ปานกลาง (600-700%)	ปานกลาง (5%)
C	สูง (200-250%)	ปานกลาง (600-700%)	ปานกลาง (5%)
D	สูงสุด (275%)	ปานกลาง (600-700%)	สูง (275%)

4.3.3.3 การรับภาระของมอเตอร์

บางลักษณะการใช้งานมอเตอร์ทำงานตลอดเวลา บางลักษณะทำงานเดินช่วงสั้นๆ มักเรียกว่า DUTY หรือ SERVICE FACTOR (SF)

4.3.3.4 ประสิทธิภาพของมอเตอร์

ผู้ผลิตมอเตอร์ในยุโรปได้แบ่งชั้นของมอเตอร์ ขนาดไม่เกิน 90 กิโลวัตต์ตามประสิทธิภาพการใช้พลังงานด้วย โดยใช้รหัส Eff ตามด้วยตัวเลข 1-3



Eff3 จะหมายถึงมอเตอร์ธรรมดา Eff2 และ Eff1 จะมีประสิทธิภาพสูงขึ้นตามลำดับ

4.4 ประสิทธิภาพมอเตอร์ไฟฟ้า

ประสิทธิภาพของมอเตอร์ขึ้นอยู่กับค่าของการสูญเสียที่เกิดขึ้นในตัวมอเตอร์ โดยทั่วไปแล้วการสูญเสียในมอเตอร์จะมาจากการสูญเสียที่มีค่าคงที่ และการสูญเสียที่เปลี่ยนแปลงตามโหลดของมอเตอร์ ได้ดังนี้

การสูญเสียในมอเตอร์
ก. การสูญเสียที่แกนเหล็ก (Core losses)
เกิดจากพลังงานที่ใช้ในการเปลี่ยนทิศทางของสนามแม่เหล็กที่ไหลอยู่ในแกนเหล็ก (Hysteresis losses) รวมทั้งการสูญเสียที่เกิดจากกระแสไหลวนในแกนเหล็ก (Eddy current losses)
ข. การสูญเสียจากแรงลมที่ต้านทานการหมุน และแรงเสียดทาน (Windage and friction losses)
เกิดจากแรงเสียดทานในตลับลูกปืน และแรงต้านของครีบบรรยากาศที่ตัวมอเตอร์
ค. การสูญเสียที่สเตเตอร์ (Stator losses)
เกิดจากกระแสที่ไหลผ่านขดลวดที่มีความต้านทานอยู่ภายใน โดยอยู่ในรูปความร้อน
ง. การสูญเสียที่โรเตอร์ (Rotor losses)
อยู่ในรูปความร้อนเช่นเดียวกับสเตเตอร์ แต่เกิดที่ตัวนำในโรเตอร์
จ. การสูญเสียจากการใช้งาน (Stray losses)
เป็นผลจากค่าการสูญเสียที่เกิดจากความถี่ในแกนเหล็กที่โรเตอร์ ค่ากระแสไหลวนในขดลวดที่สเตเตอร์ ค่าการสูญเสียจากค่ากระแสฮาร์มอนิกในตัวนำของโรเตอร์ขณะที่มีโหลดค่าสนามแม่เหล็กรั่วไหลที่เกิดจากกระแสไหล
การสูญเสียที่แกนเหล็ก การสูญเสียจากแรงลม และแรงเสียดทาน เป็นค่าการสูญเสียที่คงที่ และไม่ขึ้นกับโหลดของมอเตอร์เรียกโดยรวมว่า “ค่าการสูญเสียขณะที่มอเตอร์ไม่มีโหลด” (No - Load losses)
การสูญเสียที่สเตเตอร์ โรเตอร์ และจากการใช้งาน จะเพิ่มขึ้นตามขนาดของโหลดเรียกโดยรวมว่า “ค่าการสูญเสียขณะมีโหลด” (Load losses)

ค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์หาได้ดังนี้

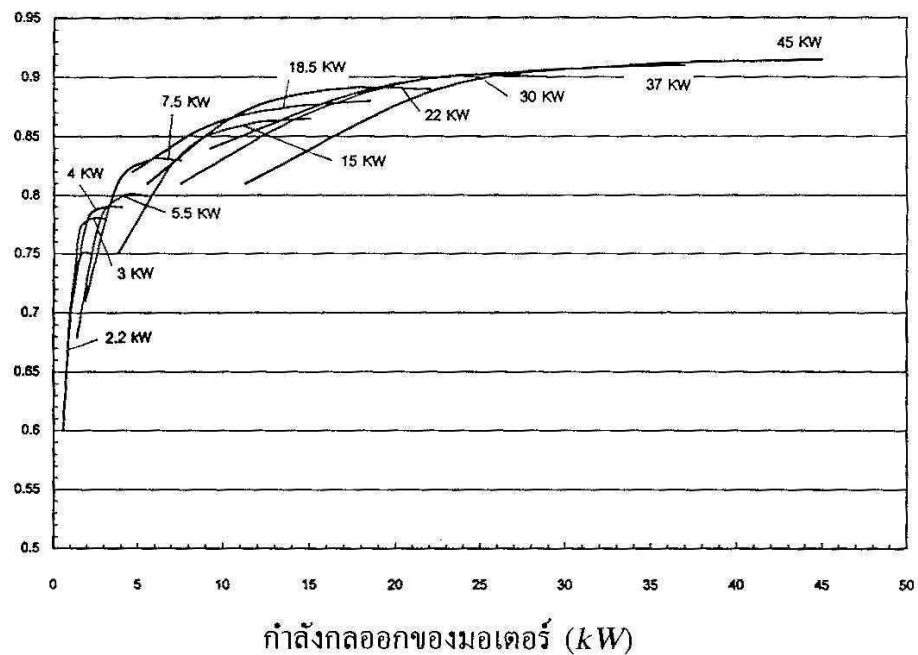
$$\begin{aligned} \text{ประสิทธิภาพ, \%} &= \frac{746 \times \text{แรงม้าขาออก(HP)} \times 100}{\text{กำลังไฟฟ้าป้อนเข้า (วัตต์)}} \\ &= \frac{\text{กำลังงานขาออก (วัตต์)} \times 100}{\text{กำลังไฟฟ้าป้อนเข้า (วัตต์)}} \end{aligned}$$

ค่าประสิทธิภาพอาจเขียนอยู่ในรูปที่แสดงค่ากำลังงานสูญเสียของมอเตอร์ด้วยก็ได้ ดังนี้

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

ปริมาณของกำลังไฟฟ้าป้อนเข้าที่ใช้ผลิตแรงม้าตามพิกัดนั้น จะต่างกันสำหรับมอเตอร์แต่ละตัว มอเตอร์ที่มีประสิทธิภาพสูงกว่าจะต้องการกำลังงานป้อนเข้าน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับมอเตอร์ที่มีประสิทธิภาพต่ำกว่าที่ให้ขาออกเท่ากัน

ประสิทธิภาพ



ความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพมอเตอร์ที่ภาระต่างๆ ของมอเตอร์

พิกัดกระแสไฟฟ้ามอเตอร์แบบเหนี่ยวนำ 1 เฟส และ 3 เฟส

Single phase motors				3 phase 4 pole motors 50/60 Hz								
kW	hp			kW	hp							
		220V	240V			220 - 240V	380V	415V	440V	500V	660V	1000V
0.37	0.5	3.9	3.6	0.39	0.5	1.8	1.03	-	0.99	1	0.6	0.4
0.55	0.75	5.2	4.8	0.55	0.75	2.75	1.6	-	1.36	1.21	0.9	0.6
7.5	1	6.6	6.1	0.75	1	3.5	2	2	1.68	1.5	1.1	0.75
1.1	1.5	9.6	8.8	1.1	1.5	4.4	2.6	2.5	2.37	2	1.5	1
1.5	2	12.7	11.7	1.5	2	6.1	3.5	3.5	3.06	2.6	2	1.3
1.8	2.5	15.7	14.4	2.2	3	8.7	5	5	4.42	3.8	2.8	1.9
2.2	3	18.6	17.1	3	4	11.5	6.6	6.5	5.77	5	3.8	2.5
3	4	24.3	22.2	3.7	5	13.5	7.7	7.5	7.1	5.9	4.4	3
4	5	29.6	27.1	4	5.5	14.5	8.5	8.4	7.9	6.5	4.9	3.3
4.4	6	34.7	31.8	5.5	7.5	20	11.5	11	10.4	9	6.6	4.5
5.2	7	39.8	36.5	7.5	10	27	15.5	14	13.7	12	8.9	6
5.5	7.5	42.2	38.7	9	12	32	18.5	17	16.9	13.9	10.6	7
6	8	44.5	40.8	10	13.5	35	20	-	-	15	11.5	7.5
7	9	49.5	45.4	11	15	39	22	21	20.1	18.4	14	9
7.5	10	54.4	50	15	20	52	30	28	26.5	23	17.3	12
				18.5	25	64	37	35	32.8	28.5	21.3	14.5
				22	30	75	44	40	39	33	25.4	17
				25	35	85	52	47	45.3	39.4	30.3	20
				30	40	103	60	55	51.5	45	34.6	23
				33	45	113	68	60	58	50	39	25
				37	50	126	72	66	64	55	42	28
				40	54	134	79	71	67	60	44	30
				45	60	150	85	80	76	65	49	33
				51	70	170	98	90	83	75	57	38
				55	75	182	105	100	90	80	61	40
				59	80	195	112	105	97	85	66	43
				63	85	203	117	115	109	89	69	45
				75	100	240	138	135	125	105	82	53
				80	110	260	147	138	131	112	86	57
				90	125	295	170	165	146	129	98	65
				100	136	325	188	182	162	143	107	71

4.4.1 แนวทางการประหยัดพลังงานในการใช้มอเตอร์

การใช้พลังงานของมอเตอร์ไฟฟ้าจะขึ้นอยู่กับ กำลังทางกลที่ต้องการใช้งาน ประสิทธิภาพของอุปกรณ์ทางกล ประสิทธิภาพของการส่งกำลัง ประสิทธิภาพของมอเตอร์ รวมถึงประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์ (ถ้ามี) และชั่วโมงการใช้งานของมอเตอร์ ดังสมการต่อไปนี้

$$\text{พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (kWh)} = \left(\frac{\text{กำลังงานที่ต้องการ (kW)} \times \eta_L \times \eta_t \times \eta_m \times \eta_c}{1} \right) \times \text{ชั่วโมงการทำงาน (hr)}$$

Diagram illustrating the energy consumption formula for a motor. The formula is: Energy (kWh) = (Required Power (kW) × Efficiency of Drive (η_L) × Efficiency of Power Transmission (η_t) × Motor Efficiency (η_m) × Inverter Efficiency (η_c)) × Operating Time (hr). The components are numbered 1 through 6 in the diagram.

ดังนั้นถ้าต้องการลดการใช้พลังงานในมอเตอร์ จำเป็นจะต้องควบคุมตัวแปรทั้ง 6 ดังนี้

แนวทางในการลดการใช้พลังงานในมอเตอร์

หมายเลข	แนวทางในการประหยัดพลังงาน	มาตรการที่ดำเนินการ
1	การลดกำลังทางกลหรือโหลดทางกลให้ต่ำที่สุด	<ul style="list-style-type: none"> ● การเปลี่ยนใบพัดห่อฝั่งน้ำจากโลหะเป็นไฟเบอร์กลาส ● การลดอัตราการไหลของน้ำเย็น ● การซ่อมจุกรั่วไหลของอากาศอัด ● การเลือกขนาดเครื่องจักรให้เหมาะสม ● การลดโหลดที่ไม่จำเป็นลงโดยการบำรุงรักษา ● การเลือกเดินเครื่องจักรให้มีจำนวนที่เหมาะสมกับโหลดหรือใช้การควบคุมความเร็วรอบเพื่อให้เหมาะสมกับโหลดที่มีการเปลี่ยนแปลง
2	การเพิ่มประสิทธิภาพของอุปกรณ์/ระบบทางกล	<ul style="list-style-type: none"> ● การเลือกเดินชุดที่มีประสิทธิภาพสูง ● การติดตั้งอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบ ● การลดขนาดปั๊มและพัดลมให้เหมาะสม ● การตรวจสอบและบำรุงรักษาเพื่อลดการสูญเสียทางกลของเครื่องจักร

3	การเพิ่มประสิทธิภาพการส่งกำลัง	<ul style="list-style-type: none"> ● การปรับความตึงของสายพาน ● การใช้สายพานประสิทธิภาพสูง ● การเปลี่ยนสายพานที่ชำรุด
4	การเพิ่มประสิทธิภาพมอเตอร์	<ul style="list-style-type: none"> ● การใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูง ● การลดขนาดมอเตอร์ให้เหมาะสม ● การระบายความร้อนของมอเตอร์
5	การเพิ่มประสิทธิภาพอินเวอร์เตอร์ (ถ้ามี)	<ul style="list-style-type: none"> ● การเลือกอินเวอร์เตอร์ที่มีประสิทธิภาพสูงกำลังสูญเสียต่ำ
6	การลดเวลาทำงานของมอเตอร์	<ul style="list-style-type: none"> ● การหยุดมอเตอร์ที่เดินตัวเปล่า

4.5 ความแตกต่างระหว่างมอเตอร์ไฟฟ้าประสิทธิภาพสูงและมอเตอร์ไฟฟ้ามาตรฐานทั่วไป

ในช่วงหลายปีที่ผ่านมาทางผู้ผลิตมอเตอร์ได้วิจัยและพัฒนาเพื่อผลิตมอเตอร์ที่มีประสิทธิภาพสูงออกสู่ตลาด โดยพยายามให้มีราคาสูงขึ้นไม่มาก มอเตอร์รุ่นใหม่มีส่วนประกอบและลักษณะการทำงานเหมือนมอเตอร์แบบเดิมแต่ใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยกว่า เนื่องจากเปลี่ยนแปลงรายละเอียดในการออกแบบใช้วัสดุที่ดีขึ้นและพิถีพิถันในกระบวนการผลิตมากขึ้นทำให้ประสิทธิภาพของมอเตอร์สูงขึ้นประมาณ 2-4 % หรือสามารถลดการสูญเสียพลังงานได้ประมาณ 25-30 % นอกจากประหยัดพลังงานแล้วมอเตอร์ประสิทธิภาพสูงยังมีข้อดีอื่นๆ อีกคือ เกิดความร้อนจากการทำงานน้อยกว่า อายุการใช้งานของฉนวนและลูกปืนยาวนานขึ้น การสั่นสะเทือนน้อยกว่า มีเสียงรบกวนน้อย และค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ดีขึ้น

นับตั้งแต่วิกฤตการณ์พลังงานในทศวรรษที่ 70 บรรดาผู้ผลิตมอเตอร์ได้พัฒนามอเตอร์ประสิทธิภาพสูงโดยการนำเทคโนโลยีเพื่อการปรับปรุงชิ้นส่วนอุปกรณ์ต่างๆ ในมอเตอร์ดังนี้

การพัฒนามอเตอร์ประสิทธิภาพสูง
1. ปรับปรุงคุณภาพของแกนเหล็ก
<p>มอเตอร์ทั่วๆ ไปใช้เหล็กแผ่นที่มีองค์ประกอบของคาร์บอนต่ำ (Low-carbon laminated steel) สำหรับทำตัวแกนเหล็กที่สเตเตอร์และโรเตอร์ ซึ่งแกนเหล็กดังกล่าวมีค่าการสูญเสียทางไฟฟ้าเทียบกับน้ำหนักประมาณ 6.6 วัตต์ต่อเหล็ก 1 กิโลกรัม ซึ่งมอเตอร์ไฟฟ้าประสิทธิภาพสูงจะใช้แผ่นเหล็กซิลิกอนคุณภาพสูง (High grade silicon steel) ซึ่งจะมีค่าการสูญเสียทางไฟฟ้าลดลงถึงครึ่งหนึ่งคือเหลือเพียงประมาณ 3.3 วัตต์ต่อเหล็ก 1 กิโลกรัม</p>

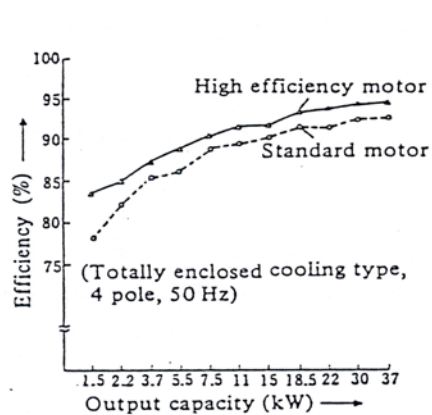
2. แผ่นเหล็กที่บางขึ้น
การลดความหนาของแผ่นเหล็กที่ใช้ทำแกนเหล็ก ทั้งในสเตเตอร์และโรเตอร์ จะช่วยลดการสูญเสียที่เกิดจากกระแสไหลวน ซึ่งเมื่อรวมกับการปรับปรุงฉนวนระหว่างแผ่นเหล็กแล้วจะช่วยลดค่าการสูญเสียที่เกิดจากกระแสไหลวนได้มากยิ่งขึ้น
3. เพิ่มขนาด ของตัวนำ
มอเตอร์รุ่นเก่า ๆ จะใช้ลวดทองแดง หรือลวดอะลูมิเนียมที่มีขนาดพอดีกับกระแสสูงสุดที่เกิดจากโหลดของมอเตอร์ แต่มอเตอร์ไฟฟ้าประสิทธิภาพสูงจะใช้ลวดทองแดงขนาดใหญ่ขึ้นเพื่อลดค่าความต้านทานในขดลวด โดยขนาดของตัวนำจะใหญ่กว่าประมาณ 35 ถึง 40 เปอร์เซ็นต์
4. ปรับปรุงการออกแบบร่องสล็อต
เพื่อที่จะรองรับกับขนาดขดลวดที่ใหญ่ขึ้นทำให้ต้องมีการปรับปรุงและออกแบบร่องสล็อตใหม่ รวมทั้งเพิ่มความยาวของแกนเหล็กที่สเตเตอร์ซึ่งแกนเหล็กที่ยาวขึ้นจะเป็นผลต่อค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ที่ดีขึ้นด้วย
5. ลดช่องว่างระหว่างสเตเตอร์และโรเตอร์
การลดช่องว่างที่เป็นทางเดินของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจะทำให้สนามแม่เหล็กไฟฟ้าจากสเตเตอร์ที่วิ่งผ่านไปยังโรเตอร์มีค่าเพิ่มสูงขึ้น ดังนั้นมอเตอร์จะใช้พลังงานไฟฟ้าลดลงเพื่อที่จะสร้างแรงบิดเท่าเดิม นอกจากนี้การเพิ่มความยาวของแกนเหล็กยังเป็นการเพิ่มปริมาณสนามแม่เหล็ก ที่จะเป็ผลทำให้เกิดผลแบบเดียวกันกับการลดช่องว่างระหว่างโรเตอร์กับสเตเตอร์
6. ปรับปรุงฉนวนที่โรเตอร์
ในมอเตอร์ประสิทธิภาพสูงร่องสล็อตที่โรเตอร์จะได้รับการตรวจสอบเป็นอย่างดี และเคลือบด้วยฉนวนที่สามารถทนความร้อนได้สูงซึ่งจะลดค่าการสูญเสียจากตัวนำที่ไม่เรียบร้อยที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิต ขณะที่ฝังตัวนำเข้าไปในโรเตอร์ ซึ่งโดยปกติแล้วตัวนำที่อยู่ที่โรเตอร์จะถูกออกแบบไว้ในลักษณะเฉียงกับแนวแกนของโรเตอร์ เพื่อที่จะลดเสียงรบกวนและแรงบิดที่ไม่สม่ำเสมอในมอเตอร์ขนาดเล็ก
7. ออกแบบพัดลมใหม่
เนื่องจากมอเตอร์ไฟฟ้าประสิทธิภาพสูงมีอุณหภูมิในขณะที่ทำงานต่ำกว่ามอเตอร์ธรรมดาเป็นผลให้พัดลมที่ใช้ระบายความร้อนมีขนาดเล็กลงซึ่งเป็นการลดการสูญเสียจากแรงลมรวมถึงระดับเสียงของพัดลมในการทำงานด้วย

มอเตอร์ที่ผลิตได้มาตรฐาน จะต้องได้รับการทดสอบเพื่อรับรองมาตรฐาน ซึ่งปัจจุบันหลายประเทศได้พัฒนา มาตรฐานการทดสอบที่สากลยอมรับ อาทิ มาตรฐาน CSA ของประเทศแคนาดา มาตรฐาน NEMA ของประเทศ สหรัฐอเมริกา มาตรฐาน IEC ของยุโรป และมาตรฐาน JEC ของประเทศญี่ปุ่น เป็นต้น ซึ่งแต่ละมาตรฐาน ดังกล่าวนั้น อาจมีรายละเอียดในการทดสอบแตกต่างกัน ลักษณะของกราฟแสดงประสิทธิภาพของมอเตอร์ แสดงได้ดังรูปที่ 4.5-1 และ 4.5-2

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

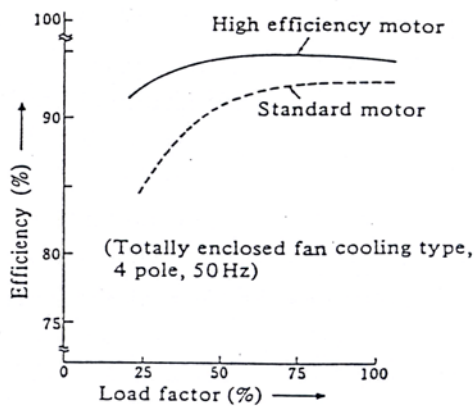
- ค่าประสิทธิภาพมาตรฐาน เป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากมอเตอร์แบบเดียวกันจำนวนมากจากผู้ผลิตมอเตอร์แต่ละตัวอาจมีค่าประสิทธิภาพที่ต่างจากค่าเฉลี่ยนี้มาก
- ค่าประสิทธิภาพรับประกันต่ำสุด เป็นค่าที่ผู้ผลิตรับประกันว่ามอเตอร์ขนาดนั้นๆ จะมีค่าประสิทธิภาพไม่น้อยกว่านั้น มาตรฐานระดับชาติส่วนใหญ่จะมีขีดกำหนดความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยและค่ารับประกันต่ำสุดเอาไว้

ตารางที่ 4.5-1 แสดงความแตกต่างของค่าประสิทธิภาพมาตรฐาน และ ค่าประสิทธิภาพรับประกันต่ำสุด ของมอเตอร์ที่มีพิกัดต่างกัน



รูปที่ 4.5-1 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับ พิกัดมอเตอร์ของมอเตอร์อินดักชัน ชนิด 3 เฟส แบบกรงกระรอก

ที่มา : Energy Conservation of Electrical Equipment



รูปที่ 4.5-2 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับ เปอร์เซนต์การใช้งานมอเตอร์ของมอเตอร์ อินดักชัน กรงกระรอก ชนิด 3 เฟส

ตารางที่ 4.5-1 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
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 - 30% ราคาที่เพิ่มขึ้นนี้จะกลับคืนมาในรูปของการประหยัดค่าพลังงาน จากการที่ประสิทธิภาพของมอเตอร์นั้นสูงขึ้น การประหยัดค่าพลังงานสามารถคำนวณได้ดังนี้ :-

ค่าพลังงานที่ประหยัดได้ = ค่าไฟฟ้าโดยเฉลี่ย x กิโลวัตต์ชั่วโมงที่ประหยัดได้
เมื่อ:

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

$$\text{กิโลวัตต์ที่ลดลง} = \text{ภาระกิโลวัตต์} \times \left(\frac{100}{\text{ประสิทธิภาพ มอเตอร์มาตรฐาน}} - \frac{100}{\text{ประสิทธิภาพ มอเตอร์ประสิทธิภาพสูง}} \right)$$

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

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

จงคำนวณผลการประหยัดพลังงานและระยะเวลาในการคืนทุนอย่างง่าย เมื่อซื้อมอเตอร์ประสิทธิภาพสูงเครื่องใหม่มาใช้แทนมอเตอร์มาตรฐาน ถ้าหากขนาดของมอเตอร์ที่ต้องใช้นั้นเท่ากับ 45 กิโลวัตต์

การคำนวณ :

กิโลวัตต์ที่ลดลง	= 45 กิโลวัตต์ x (100/91.5 - 100/93.9) x 0.75	
	= 0.95	กิโลวัตต์
กิโลวัตต์ที่ประหยัดได้	= 0.95 กิโลวัตต์ x 2000 ชั่วโมง	
	= 1,900	กิโลวัตต์ชั่วโมง
ค่าพลังงานที่ประหยัดได้	= 1,900 กิโลวัตต์ชั่วโมง x 1.1บาท/กิโลวัตต์ชั่วโมง	
	= 2,090	บาท
ค่าพลังงานที่ประหยัดได้ตลอดอายุการใช้งาน	= 41,800 บาท ในเวลา 20 ปี	
ระยะเวลาคืนทุนแบบเชิงเดียว	= $\frac{10,000}{2,090}$	
	= 5	ปี

ตัวอย่างที่ 4.2 พิจารณาถึงประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้น 1% เช่นจาก 94% เป็น 95% ของมอเตอร์ขนาด 500 แรงม้า ทำงานที่ 80% ของพิกัดกำลังจะทำให้มอเตอร์กินกำลังไฟฟ้าลดลงเท่าใด		
การคำนวณ :		
กำลังไฟฟ้า ที่มอเตอร์ประสิทธิภาพ 94% ต้องการ	=	$0.746 \times 500 \times \frac{0.8}{0.94}$
	=	317.45 kW
กำลังไฟฟ้า ที่มอเตอร์ประสิทธิภาพ 95% ต้องการ	=	$0.746 \times 500 \times \frac{0.8}{0.95}$
	=	314.11 kW
โดยกำหนดให้ 746 W เท่ากับ 1 แรงม้า		
ดังนั้นมอเตอร์ไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพ 95% จะกินกำลังไฟฟ้าน้อยกว่ามอเตอร์ไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพ 94% เป็นจำนวนเท่ากับ		
	$317.45 - 314.11 =$	3.34 kW
ถ้ามอเตอร์ทำงาน ประมาณ 6,000 ชั่วโมงใน 1 ปี และคิดค่าไฟฟ้าที่ 3 บาท ต่อ kWh ก็จะสามารถประหยัดค่าไฟฟ้าได้จากค่าประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้น 1% ได้เท่ากับ		
	$=$	$3.34 \times 6,000 \times 3$
	$=$	60,120 บาทต่อปี

ซึ่งในการใช้งานจริง ๆ นั้นนอกจากค่ากำลังไฟฟ้าที่ผู้ประกอบการต้องชำระแล้ว ผู้ประกอบการยังต้องชำระค่าพลังไฟฟ้า (Demand) ให้กับทางการไฟฟ้าด้วย ดังนั้นค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้ จะมีความมากกว่าตัวเลขที่คำนวณได้ ต้นทุนจากการบำรุงรักษาโดยทั่วไปแล้ว มาจากความเสียหายของมอเตอร์ที่เกิดขึ้นที่มีสาเหตุมาจากคลัทช์ลูกปืน แม้ว่าในปัจจุบันนี้ จะมีเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจสอบ วิเคราะห์และทำนายสภาพของคลัทช์ลูกปืน เพื่อที่จะได้ทำการบำรุงรักษาก่อนที่มอเตอร์จะเกิดความเสียหายที่รุนแรงขึ้น แต่การใช้อุปกรณ์เหล่านั้นไม่ใช่การแก้ปัญหาที่ต้นเหตุของความเสียหาย สาเหตุของความเสียหายของคลัทช์ลูกปืน ไม่ได้เกิดจากการขาดการบำรุงรักษาเท่านั้น อุณหภูมิของมอเตอร์ในขณะที่ทำงาน ก็เป็นองค์ประกอบอีกอันหนึ่ง ที่ทำให้อายุการใช้งานของคลัทช์ลูกปืนลดลง อุณหภูมิของมอเตอร์ในขณะที่ทำงาน เป็นผลมาจากอุณหภูมิภายนอก และอุณหภูมิที่เกิดขึ้นภายในตัวมอเตอร์เอง มอเตอร์ประสิทธิภาพสูงเองมีอุณหภูมิของมอเตอร์ในขณะที่ค่าเมื่อเทียบกับมอเตอร์ธรรมดาทั่วไปในการรับโหลดขนาดต่าง ๆ กัน และมอเตอร์ประสิทธิภาพสูงยังใช้คลัทช์ลูกปืนที่มีคุณภาพสูงอีกด้วย ดังนั้นมอเตอร์ประสิทธิภาพสูงโดยทั่วไป จะมีค่าใช้จ่ายจากการบำรุงรักษาที่ต่ำ เนื่องจากอายุการใช้งานที่ยาวนานกว่า และประสิทธิภาพสูงกว่า เทคโนโลยีใหม่ของมอเตอร์นี้ ทำให้ได้มอเตอร์ที่มีประสิทธิภาพที่สูงขึ้น และอายุการใช้งานที่ยาวนานกว่าเดิม มีรายงานผลการตรวจสอบการใช้มอเตอร์ว่าอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นของคลัทช์ลูกปืนของมอเตอร์เหนียวน่าแบบกรงกระรอก ชนิดระบายความร้อนด้วยตัวเอง (Total enclosed fan cool motor) จะ

เพิ่มขึ้นประมาณ 50% ถึง 75% ของอุณหภูมิที่ขดลวด และการออกแบบของมอเตอร์ประสิทธิภาพสูง จะเพิ่มอายุการใช้งานของสารหล่อลื่นในตลับลูกปืนขึ้นอีกถึง 200% เทียบกับมอเตอร์ธรรมดาทั่วไป อายุการใช้งานของสารหล่อลื่นที่ยาวนานขึ้นจะเป็นผลให้ความทนทานของตลับลูกปืนและมอเตอร์เพิ่มขึ้นตามไปด้วย

จากข้อมูลดังกล่าวมา สรุปได้ว่า อุณหภูมิของขดลวด เป็นตัวแปรสำคัญสำหรับอายุการใช้งานของตลับลูกปืน การลดอุณหภูมิของขดลวดเท่ากับเป็นการเพิ่มอายุการใช้งานของตลับลูกปืนและมอเตอร์ แม้ว่าตลับลูกปืนจะเป็นสาเหตุหลักของความเสียหายของมอเตอร์ แต่องค์ประกอบอื่นๆ เช่น ความเสียหายทางกล (Mechanical damage) สภาพแวดล้อมที่มอเตอร์ติดตั้งอยู่ และการติดตั้ง (Alignment) ยังคงเป็นองค์ประกอบสำคัญที่ทำให้มอเตอร์เสียหายได้ ดังนั้นเมื่อพิจารณาถึงอายุการใช้งานของมอเตอร์จะต้องนำเอาตัวแปรอื่น ๆ มาวิเคราะห์ด้วย มอเตอร์ไฟฟ้าประสิทธิภาพสูง ถึงแม้ว่าจะมีราคาที่สูงกว่ามอเตอร์ธรรมดาทั่วไปประมาณ 15 ถึง 30 เปอร์เซ็นต์ แต่ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานเมื่อใช้มอเตอร์ไฟฟ้าประสิทธิภาพสูงจะต่ำกว่าเมื่อใช้มอเตอร์ทั่วๆ ไป เมื่อพิจารณาต้นทุนการดำเนินงาน เนื่องจากมูลค่าที่สูงของค่าไฟฟ้าและค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาของมอเตอร์ ผู้ประกอบการหรือผู้ซื้อจึงควรที่จะใช้ค่าใช้จ่ายเหล่านี้เป็นองค์ประกอบในการตัดสินใจซื้อมอเตอร์ประสิทธิภาพสูงเมื่อเทียบกับมอเตอร์ธรรมดาทั่วไป ซึ่งจะชดเชยได้จากค่าไฟฟ้าและค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาที่ต่ำกว่า ดังนั้นการพิจารณาต้นทุนการดำเนินงานทั้งหมด จะช่วยให้ผู้ประกอบการมีต้นทุนในการผลิตที่ต่ำลง หลังจากระยะของการคืนทุนแล้วจำนวนเงินที่ประหยัดได้ในแต่ละปีจะเป็นผลให้ต้นทุนในการผลิตของผู้ประกอบการลดลง ดังนั้นการเปลี่ยนมอเตอร์ที่หมดอายุ ด้วยมอเตอร์ประสิทธิภาพสูง หรือใช้ต้นทุนในการดำเนินงานเป็นตัวแปรร่วมในการตัดสินใจในการซื้อมอเตอร์ จะทำให้ผู้ประกอบการมีความพร้อมต่อสถานะตลาดที่ผู้บริโภคได้ตื่นตัวเป็นอย่างมากเกี่ยวกับการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม ซึ่งจากการใช้ไฟฟ้าที่ลดลงของผู้ประกอบการเป็นผลกระทบจากการผลิตไฟฟ้าต่อสิ่งแวดล้อม หรือมลภาวะที่เกิดจากปฏิกิริยาเผาไหม้เชื้อเพลิงในกระบวนการผลิตไฟฟ้าลดลงด้วย ดังนั้นผู้ประกอบการที่รักษาสภาพแวดล้อมย่อมเข้าไปอยู่ในใจของผู้บริโภคได้ดีกว่า ซึ่งเป็นผลพลอยได้ของผู้ประกอบการนอกเหนือจากการประหยัดค่าไฟฟ้า

4.7 หลักการพิจารณาใช้มอเตอร์ไฟฟ้าประสิทธิภาพสูงและอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบ

การพิจารณาใช้มอเตอร์ไฟฟ้าประสิทธิภาพสูงและอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบ
(1) การพิจารณาเลือกซื้อมอเตอร์ประสิทธิภาพสูง
<p>การเลือกซื้อหรือเปลี่ยนมอเตอร์ใหม่ให้เป็นมอเตอร์ประสิทธิภาพสูง ควรพิจารณาเมื่อเครื่องที่ใช้อยู่เดิมชำรุดซึ่งพิจารณาได้ดังนี้</p> <ul style="list-style-type: none"> • หากมอเตอร์ที่มีอาการเสียที่มีขนาดต่ำกว่า 10 kW ให้เปลี่ยนได้เลย • หากมอเตอร์ที่มีอาการเสียที่มีขนาดมากกว่า 10 kW สามารถไปพันขดลวดได้ใหม่ประมาณ 1 – 2 ครั้ง เพราะหากเกินกว่านี้ราคาซ่อมจะสูงกว่าการซื้อเครื่องใหม่และประสิทธิภาพจะลดลง • ให้เลือกเปลี่ยนจากมอเตอร์ที่มีขนาดเล็กและมีชั่วโมงการทำงานสูง • มอเตอร์ที่มีอายุการใช้งานเกินกว่า 15 ปี ให้เปลี่ยนได้ทันที

(2) เมื่อไรจึงจะใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูง

ควรพิจารณาการใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูงในสถานการณ์ดังต่อไปนี้ :

- ควรซื้อมอเตอร์ประสิทธิภาพสูงสำหรับโรงงานใหม่
เมื่อมีการซื้อมอเตอร์ใหม่มักจะมีค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้น (ซึ่งเรียกว่า Price Premium) : (ราคามอเตอร์ประสิทธิภาพสูง – ราคามอเตอร์มาตรฐาน) ถึงแม้ว่าจะมีค่าใช้จ่ายดังกล่าวเพิ่มเติม แต่การใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูงยังคงเป็นที่น่าสนใจในการลงทุน
- ควรซื้อมอเตอร์ประสิทธิภาพสูงแทนการนำมอเตอร์มาตรฐานมาพันขดลวดใหม่
 - มอเตอร์ที่นำมาพันขดลวดใหม่ (ส่วนใหญ่จะเป็นมอเตอร์ขนาดใหญ่กว่า 10 กิโลวัตต์) ประสิทธิภาพจะลดลงถึง 2%
 - ในกรณีนี้ ประสิทธิภาพที่ดีขึ้นทั้งหมดจะเท่ากับผลรวมของประสิทธิภาพที่ลดลง เนื่องจากการพันขดลวดใหม่ (มากถึง 2%) กับ ประสิทธิภาพที่ดีขึ้นจากประสิทธิภาพของมอเตอร์มาตรฐาน
 - สำหรับกรณีนี้ ราคาที่สูงขึ้นคือราคาของมอเตอร์ประสิทธิภาพสูงลบด้วย ค่าพันขดลวดใหม่
- ควรซื้อมอเตอร์ประสิทธิภาพสูง เพื่อนำมาใช้เป็นมอเตอร์สำรอง
เมื่อจำเป็นต้องซื้อมอเตอร์สำหรับเป็นมอเตอร์สำรองเพื่อใช้แทนมอเตอร์ที่ใหม่ จะเป็นโอกาสที่เหมาะสม และ เป็นการคุ้มค่าที่จะเปลี่ยนมาใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูงแทนมอเตอร์มาตรฐาน

ในแต่ละกรณีที่กล่าวมาข้างต้น ควรมีการคำนวณระยะคืนทุนเชิงเดียว (ดังตัวอย่างที่ผ่านมา) เพื่อช่วยในการตัดสินใจว่าสมควรติดตั้งมอเตอร์ประสิทธิภาพสูงหรือไม่

4.8 การพิจารณาใช้อุปกรณ์ปรับความเร็วรอบเพื่อประหยัดพลังงานในมอเตอร์

กำลังขาออกของมอเตอร์ จะมีความสัมพันธ์กับแรงบิดของโหลด ดังนี้

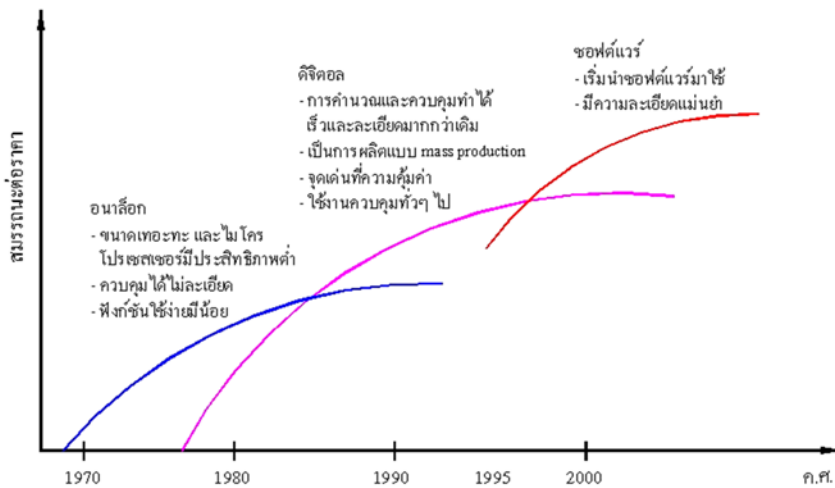
$$P = \frac{nT}{9550}$$

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

เพราะฉะนั้นถ้าความเร็วรอบลดลง กำลังขาออกที่เพลของมอเตอร์ก็จะน้อยลงด้วย ในปัจจุบัน เครื่องควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ ได้มีการนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในงานอนุรักษ์พลังงาน เนื่องจากค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าวันนี้จะเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง

4.8.1 งานที่ใช้เครื่องควบคุมความเร็วรอบ

ในช่วงต้นปี ค.ศ. 1980 ค่าใช้จ่ายสำหรับพลังงานไฟฟ้าเพิ่มสูงขึ้น ในขณะที่เครื่องควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ได้ใช้เทคโนโลยีการผลิตแบบ Mass Production ที่ยังได้นำเทคโนโลยีทางด้านไมโครโปรเซสเซอร์ มาใช้ในการออกแบบระบบควบคุมของเครื่อง ขนาดของเครื่อง และราคาต่ำลง ทำให้โอกาสในการนำมาใช้งานอนุรักษ์พลังงานเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากระยะเวลาคืนทุนสั้นลงอยู่ในช่วง 1 ถึง 2 ปี ดังรูปที่ 4.8-1



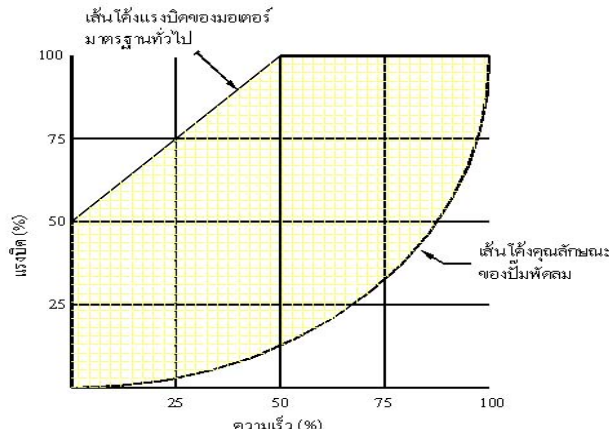
รูปที่ 4.8-1 วิวัฒนาการทางเทคโนโลยีของเครื่องควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์

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

$$\frac{\text{กำลังงาน}_1}{\text{กำลังงาน}_2} = \left(\frac{\text{ความเร็วรอบ}_1}{\text{ความเร็วรอบ}_2} \right)^3$$

การใช้เครื่องควบคุมความเร็วรอบ ร่วมกับมอเตอร์ประสิทธิภาพสูง เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพในการส่งพลังงานสูงสุด ซึ่งในปัจจุบันทำได้สูงถึง 97% โดยควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ให้เหมาะสมกับลักษณะของโหลดตามกระบวนการผลิตในแต่ละอุตสาหกรรมแล้ว สำหรับอุปกรณ์เครื่องสูบน้ำ พัดลม และเครื่องอัดอากาศ จะมีจุดทำงานที่เหมาะสมและให้ประสิทธิภาพสูงสุดที่ความเร็วรอบประมาณ 70% ของความเร็วรอบสูงสุด

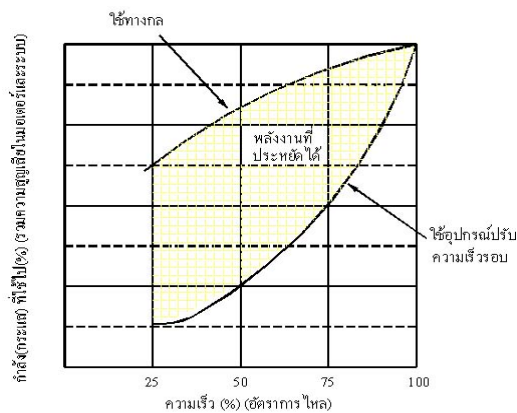
มอเตอร์ไฟฟ้ามาตรฐาน หรือมอเตอร์ประสิทธิภาพสูง โดยทั่วไปสามารถใช้ขับโหลดแบบแรงบิดคงที่ได้ที่ความเร็วรอบ 50% ของความเร็วรอบสูงสุดโดยไม่เกิดความเสียหายที่มอเตอร์ ซึ่งในกรณีที่ขับโหลดแบบแรงบิดไม่คงที่ สำหรับมอเตอร์ขนาดเดียวกัน ก็ไม่จำเป็นต้องลดขนาดมอเตอร์ หรือเพิ่มพัดลมระบายความร้อนให้แก่มอเตอร์ ดังรูปที่ 4.8-2



รูปที่ 4.8-2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของแรงบิดที่ความเร็วรอบต่างๆ ของมอเตอร์มาตรฐาน ในการขับโหลดแบบแรงบิดไม่คงที่

การประยุกต์ใช้เครื่องควบคุมความเร็วรอบเพื่อการอนุรักษ์พลังงานในโหลดแบบแรงบิดไม่คงที่ โดยเฉพาะ เครื่องสูบน้ำ จำแนกได้เป็นสี่ประเภท

1. แบบรักษาแรงดันคงที่ เช่น สถานีส่งจ่ายน้ำประปา, ระบบน้ำเย็น (Chilled water system) ระบบสูบน้ำสำหรับ หม้อไอน้ำ ระบบชลประทาน ระบบซีลด้วยน้ำ (Water seal systems) ระบบน้ำร้อน และน้ำหล่อเย็น เป็นต้น
2. แบบรักษาระดับคงที่ เช่น สถานีสูบน้ำส่งน้ำเย็น ระบบสูบน้ำเสียในอุตสาหกรรม ระบบบำบัดน้ำเสีย ระบบ บรรจุของเหลว และระบบ Condensate return เป็นต้น
3. แบบรักษาอุณหภูมิคงที่ เช่น ระบบน้ำหล่อเย็นในเตาอบ และเตาเผา ระบบแลกเปลี่ยนความร้อน การหล่อ เย็นคลับลูกปืน และระบบหมุนเวียนน้ำหล่อเย็น
4. แบบรักษาอัตราการไหลคงที่ เช่น การหมุนเวียนตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสีย และการหมุนเวียนของ ของเหลวในกระบวนการผลิต เป็นต้น ดังรูปที่ 4.8-3



รูปที่ 4.8-3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของการประหยัดพลังงานของมอเตอร์ที่ค่าความเร็วรอบ และอัตราการไหลต่างๆ

4.9 การตรวจวินิจฉัยเพื่อหาแนวทางการอนุรักษ์พลังงาน

สิ่งผิดปกติที่เกิดขึ้นในระบบมอเตอร์ไฟฟ้านั้น เหตุของการสูญเสียพลังงาน ดังนั้นควรทำการตรวจวินิจฉัยเพื่อหาสิ่งผิดปกติ เพื่อทำการแก้ไขอย่างสม่ำเสมอดังตาราง

รายการตรวจ	เกณฑ์พิจารณา	แนวทางปฏิบัติที่ดี
1. ตรวจสอบฝาครอบพัดลมระบายความร้อนของมอเตอร์	ฝาครอบควรอยู่ในสภาพดีเพื่อให้มอเตอร์ระบายความร้อนได้ดี	<ul style="list-style-type: none"> • ปรับปรุงฝาครอบพัดลมมอเตอร์ • จัดหาฝาครอบมาเปลี่ยน
2. ตรวจสอบเสียงของมอเตอร์ขณะทำงาน	ขณะทำงานมอเตอร์ไม่ควรมีเสียงดังผิดปกติ ซึ่งขณะนั้นประสิทธิภาพของมอเตอร์ต่ำ	<ul style="list-style-type: none"> • หาสาเหตุและทำการแก้ไขก่อนชำรุด
3. ตรวจสอบการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ขณะทำงาน	ขณะทำงานมอเตอร์ไม่ควรมีการสั่นสะเทือนที่ผิดปกติ	<ul style="list-style-type: none"> • หาสาเหตุและทำการแก้ไขก่อนชำรุด
4. ตรวจสอบอุณหภูมิผิวของมอเตอร์	ขณะทำงานอุณหภูมิผิวของมอเตอร์ไม่ควรสูงผิดปกติ (มือสัมผัสไม่ได้) ซึ่งบ่งบอกถึงประสิทธิภาพของมอเตอร์ลดลงอาจเกิดจากมอเตอร์รับภาระมากกว่าพิกัดหรือมอเตอร์เคยไหม้มาก่อน หรือการระบายความร้อนไม่ดี หรือถูกป็นหรือระบบรองล้มผิดปกติ เป็นต้น	<ul style="list-style-type: none"> • หาสาเหตุและทำการแก้ไข • นำไปใช้ในจุดที่ใช้งานน้อย • เปลี่ยนมอเตอร์ใหม่
5. ตรวจสอบประวัติมอเตอร์	มอเตอร์เกิดการไหม้แต่ครั้งจะทำให้อายุการใช้งานลดลงประมาณ 4%	<ul style="list-style-type: none"> • นำมอเตอร์ที่เคยไหม้ไปใช้งานในจุดที่ใช้งานน้อย • เปลี่ยนมอเตอร์ใหม่
6. ตรวจสอบวัดพลังไฟฟ้า (kW) เทียบกับพิกัดมอเตอร์	มอเตอร์มีประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อรับภาระอยู่ในช่วง 80 - 90% โดยภาระต่ำกว่า 80% ในทุก 10% ประสิทธิภาพของมอเตอร์จะลดลงประมาณ 1%	<ul style="list-style-type: none"> • สลับมอเตอร์ภายในโรงงาน • เปลี่ยนมอเตอร์ใหม่ให้มีขนาดเหมาะสม

รายการตรวจ	เกณฑ์พิจารณา	แนวทางปฏิบัติที่ดี
7. ตรวจสอบค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (PF)	ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าควรสูงกว่า 0.85 เพราะค่า PF ต่ำประสิทธิภาพของมอเตอร์จะลดต่ำลง	<ul style="list-style-type: none"> • ติดตั้งตัวเก็บประจุ • ลดขนาดมอเตอร์ให้เหมาะสมกับภาระโดยการสลับกันภายในโรงงาน หรือเปลี่ยนมอเตอร์ใหม่
8. ตรวจสอบการเดินตัวเปล่าของมอเตอร์	การเดินตัวเปล่าโดยไม่เกิดงานจะส่งผลให้สิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าโดยเปล่าประโยชน์ เพราะขณะเดินตัวเปล่าประสิทธิภาพของมอเตอร์ต่ำ	<ul style="list-style-type: none"> • บริหารจัดการการใช้ให้เดินตัวเปล่าน้อยที่สุด • ติดตั้งอุปกรณ์ลดรอบมอเตอร์ถ้ามีการเดินตัวเปล่าเป็นระยะเวลานาน
9. ตรวจสอบสภาพของมอเตอร์	มอเตอร์มีอายุการใช้งานมากกว่า 10 ปี เกยใหม่และขนาดใหญ่กว่าภาระรวมทั้งมีการใช้งานต่อวันมาก	<ul style="list-style-type: none"> • เปลี่ยนเป็นมอเตอร์ประสิทธิภาพสูงในขนาดที่เหมาะสม
10. ตรวจสอบอุปกรณ์ที่มอเตอร์ขับ	มอเตอร์ขับอุปกรณ์ที่สามารถลดรอบได้ เช่น บีม พัดลม หรือเครื่องจักร	<ul style="list-style-type: none"> • ติดตั้งอุปกรณ์ลดรอบมอเตอร์
11. ตรวจสอบระบบส่งกำลังของมอเตอร์	ประสิทธิภาพการส่งกำลังจะต้องสูงที่สุด	<ul style="list-style-type: none"> • ปรับความตึงของสายพาน • ใช้สายพานประสิทธิภาพสูง • เปลี่ยนวิธีการส่งกำลังใหม่

4.10 แบบตรวจสอบศักยภาพการอนุรักษ์พลังงาน

แบบตรวจสอบศักยภาพการอนุรักษ์พลังงานนี้มีประโยชน์ในการค้นหาแนวทางในการอนุรักษ์พลังงานก่อนที่จะดำเนินการตรวจวิเคราะห์เชิงลึก เพื่อหาผลการอนุรักษ์พลังงานต่อไป

รายการศักยภาพการอนุรักษ์พลังงาน	ผลการตรวจสอบศักยภาพ		
	ดำเนินการแล้ว	พร้อมดำเนินการ	ไม่พร้อมดำเนินการ
1. การลดการเดินมอเตอร์ตัวเปล่า			เพราะ...
2. การสลับมอเตอร์ให้มีขนาดเหมาะสม			เพราะ...
3. การลดการใช้งานมอเตอร์ที่เคยใหม่			เพราะ...
4. การเปลี่ยนมอเตอร์ใหม่ให้มีขนาดเหมาะสม			เพราะ...
5. การใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูง			เพราะ...
6. การใช้ Invertor ครอบมอเตอร์			เพราะ...
7. การเปลี่ยนจากมอเตอร์ 1 เฟส เป็น 3 เฟส			เพราะ...
8. การติดตั้งคาปาซิเตอร์ที่มอเตอร์			เพราะ...
9. การลดภาระที่มอเตอร์ขับ			เพราะ...
10. การปรับความตึงของสายพานให้เหมาะสม			เพราะ...
11. การลดการใช้ VS Moter			เพราะ...
12. การเลือกใช้ระบบส่งกำลังที่มีประสิทธิภาพสูง			เพราะ...
13. การเปลี่ยนเบร้งและล้อลื่นในระยะเวลาที่เหมาะสม			เพราะ...
14. การเปลี่ยนสายพานตัววีเป็นสายพานตัววีแบบ Cogged			เพราะ...
15. การเปลี่ยนสายพานตัววีเป็นสายพานตัววีแบบซิงโครนัส			เพราะ...
16. การปรับแรงดันไฟฟ้าเข้ามอเตอร์ให้เหมาะสม			เพราะ...
17. ไม่เปิดมอเตอร์ก่อนใช้งานและปิดทันทีหลังเลิกงาน			เพราะ...
18. เปลี่ยนจากมอเตอร์กระแสตรงเป็นมอเตอร์กระแสสลับ			เพราะ...


รายการ	สัญลักษณ์	หน่วย	ข้อมูล	แหล่งที่มาของข้อมูล
1. ข้อมูลเบื้องต้น				
1.1 จำนวนชั่วโมงที่สามารถหยุดมอเตอร์ที่เดินตัวเปล่าต่อวัน	h	h/d	5.00	
1.2 จำนวนวันที่โรงงานทำงาน	d	d/y	300.00	
1.3 ค่าไฟฟ้าเฉลี่ย	C_E	฿/kWh	3.00	
1.4 เงินลงทุนในการปรับปรุง	C	฿	10,000.00	
2. ข้อมูลตรวจวัด				
2.1 กำลังไฟฟ้ารวมของมอเตอร์ที่สามารถหยุดได้	P	kW	15.00	
3. การวิเคราะห์ทางเทคนิค				
3.1 พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ $E_{save} = P \times h \times d$	Q	kWh/y	22,500.00	
3.2 ค่าไฟฟ้าที่สามารถประหยัดได้ $B_S = E_{SAVE} \times C_E$	B_S	฿/y	67,500.00	
4. การวิเคราะห์การลงทุน				
4.1 ระยะเวลาคืนทุน $PB = C/B_S$	PB	y	0.15	

มาตรการที่ 2 การใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูง	
1. หลักการและเหตุผล	
ปัจจุบันผู้ผลิตมอเตอร์ได้ปรับปรุงประสิทธิภาพมอเตอร์ให้สูงขึ้น โดยปรับปรุงขดลวดแกนเหล็ก และช่องว่างอากาศทำให้เกิดมอเตอร์มาตรฐานใหม่ที่เรียกว่ามอเตอร์ประสิทธิภาพสูง มีประสิทธิภาพสูงกว่ามอเตอร์ธรรมดา 2-5% และมีราคาสูงกว่ามอเตอร์ธรรมดาประมาณ 25-30%	
	
รูปมอเตอร์เดิมก่อนเปลี่ยน	รูปมอเตอร์ประสิทธิภาพสูง
2. สมการที่ใช้ในการวิเคราะห์	
2.1 สมการที่ใช้ในการวิเคราะห์ทางเทคนิค	
2.1.1 พลังไฟฟ้าที่ลดลงต่อปี (kWh/y)	
$= \text{พลังไฟฟ้าที่มอเตอร์เดิมใช้ (kW)} \times (1 - (\text{ประสิทธิภาพของมอเตอร์เดิม} / \text{ประสิทธิภาพของมอเตอร์ใหม่})) \times \text{ชั่วโมงการใช้งานมอเตอร์ต่อปี (h/y)}$	
2.2 สมการที่ใช้วิเคราะห์การลงทุน	
2.2.1 ระยะเวลาคืนทุน (y)	
$PB = \text{เงินลงทุนเปลี่ยนมอเตอร์ (฿)} / \text{ด้านพลังงานไฟฟ้าลดลง (฿/y)}$	
3. การวิเคราะห์ข้อมูล	
ใช้โปรแกรม Excel ในการวิเคราะห์ข้อมูล โดยป้อนข้อมูลเบื้องต้นและข้อมูลตรวจวัดใส่ในช่องสีฟ้า	

รายการ	สัญลักษณ์	หน่วย	ข้อมูล	แหล่งที่มาของข้อมูล
1. ข้อมูลเบื้องต้น				
1.1 ชั่วโมงการทำงานต่อวัน	h	h/d	24.00	
1.2 วันทำงานต่อปี	d	d/y	300.00	
1.3 ขนาดมอเตอร์เดิม	p	kW	15.00	
1.4 ค่าไฟฟ้าเฉลี่ย	C_E	฿/kWh	3.00	
1.5 ราคารวมค่าติดตั้งของมอเตอร์ประสิทธิภาพสูง	C	฿	60,000.00	
2. ข้อมูลตรวจวัด				
2.1 กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของมอเตอร์เดิม	kW	kW	13.00	
2.2 ประสิทธิภาพของมอเตอร์เดิม ณ จุดใช้งานจากกราฟ	η_1	%	75.00	
3. การวิเคราะห์ทางเทคนิค				
3.1 เลือกขนาดมอเตอร์ตัวใหม่	Q	kW	15.00	
3.2 กำลังทางกลเดิม $P_m = kW \times (\eta_1/100)$	P_m	kW	9.75	
3.3 ประสิทธิภาพมอเตอร์ใหม่ ณ จุดใช้งานค่าจากกราฟเมื่อจ่ายภาระ kW	η_2	%	80.00	
3.4 พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ $E_{SAVE} = kW \times (1 - (\eta_1/100)) / (\eta_2/100) \times h \times d$	E_{SAVE}	kW	5,850.00	
3.5 ค่าไฟฟ้าที่สามารถประหยัดได้ $B_S = E_{SAVE} \times C_E$	B_S	฿	17,550.00	
4. การวิเคราะห์การลงทุน				
4.1 ระยะเวลาคืนทุน $PB = C/B_S$	PB	y	3.42	

4.12 กรณีศึกษา

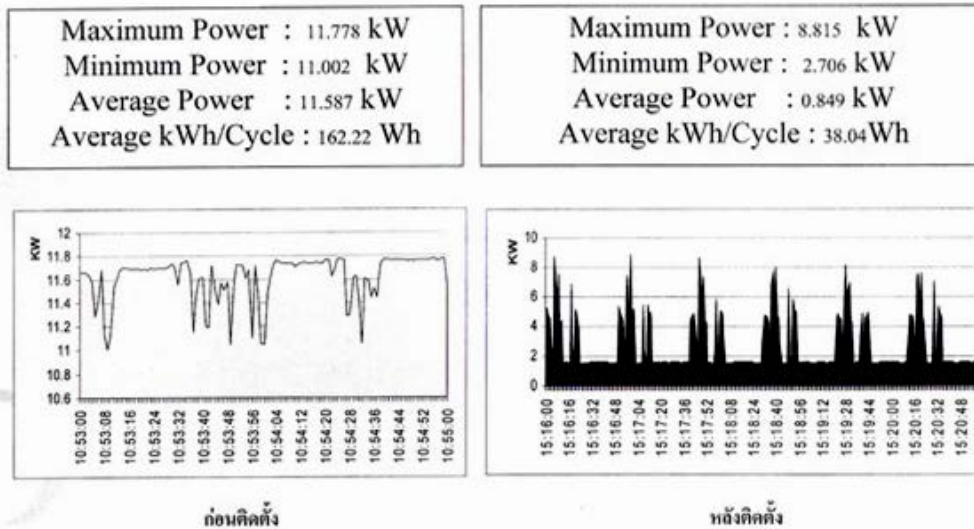
กรณีศึกษาถือเป็นต้นแบบของมาตรการอนุรักษ์พลังงานที่ประสบผลสำเร็จในการอนุรักษ์พลังงานที่โรงงานสามารถนำไปประยุกต์ใช้ให้เกิดผลการอนุรักษ์พลังงานที่เป็นรูปธรรมต่อไป

กรณีศึกษาที่ 1: การใช้อุปกรณ์ควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฮดรอลิกส์ขนาดใหญ่ของเครื่องฉีดพลาสติก เพื่อให้การทำงานพอดีกับสถานะโหลด
1. ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน
สถานประกอบการแห่งหนึ่ง ใช้เครื่องฉีดพลาสติกขนาด 2,500 ตัน 1 เครื่อง ซึ่งใช้มอเตอร์ขับเคลื่อนเครื่องสูบน้ำไฮดรอลิกส์ จำนวน 5 ตัว โดยมีขนาดดังนี้ มอเตอร์ 1 ขนาด 45 KW, มอเตอร์ 2 ขนาด 45 KW, มอเตอร์ 3 ขนาด 45 KW, มอเตอร์ 4 ขนาด 37 KW, มอเตอร์ 5 ขนาด 45 KW และมีเวลาการผลิตชิ้นงาน(Cycle Time) โดยเฉลี่ยประมาณ 50.5 วินาที
2. ปัญหาของอุปกรณ์/ระบบก่อนปรับปรุง
มอเตอร์ที่รับภาระต่ำกว่าพิกัดมากจะทำให้ประสิทธิภาพพลดต่ำลง ส่งผลให้สิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการขับ ซึ่งโดยทั่วไปผู้ออกแบบเครื่องจักรมักเผื่อขนาดของมอเตอร์ไว้เนื่องจากไม่ทราบว่าผู้ใช้นำไปใช้งานในลักษณะใด
3. แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินงาน
โดยทั่วไปมอเตอร์ที่รับภาระต่ำกว่าร้อยละ 80 ของพิกัด ประสิทธิภาพจะลดลงร้อยละ 1 ในทุกๆ ภาระร้อยละ 10 ที่ลดลง ดังนั้นสถานประกอบการจึงทดลองติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมความเร็วมอเตอร์ให้กับเครื่องสูบน้ำไฮดรอลิกทีละชุด แล้วทำการวัดกำลังไฟฟ้าที่ใช้และ Cycle Time โดย Cycle Time จะต้องไม่เพิ่มขึ้น และกำลังไฟฟ้าจะต้องลดลง
4. สภาพก่อนปรับปรุง
เมื่อลตรอบมอเตอร์ตัวที่ 1 - 4 พบว่า Cycle Time เพิ่มขึ้น แต่มอเตอร์ตัวที่ 5 ไม่ส่งผลต่อ Cycle Time และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ขับลดลง เนื่องจากมอเตอร์ตัวที่ 5 ขับปั๊มที่มีขนาดใหญ่เกินความต้องการของเครื่อง โดยกำลังไฟฟ้าที่ใช้ขับก่อนลตรอบ 11.778 kW ใช้พลังงานไฟฟ้าต่อหนึ่งรอบการทำงาน 0.16222 kWh

รูปที่ 4.12-1 แสดงเครื่องฉีดพลาสติกและมอเตอร์ตัวที่ 5

5. สภาพหลังปรับปรุง

หลังจากทำการติดตั้ง Power Logic ที่มอเตอร์ตัวที่ 5 เพื่อควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ขับเคลื่อนไฮดรอลิก ให้ทำงานเหมาะสมกับโหลดที่เปลี่ยนแปลงตลอดเวลา พบว่ากำลังไฟฟ้าที่ใช้ขับหลังลดรอบ 11.778 kW ใช้พลังงานไฟฟ้าต่อหนึ่งรอบการทำงาน 0.03804 kWh

กราฟเปรียบเทียบค่า KW ก่อนติดตั้งและ หลังติดตั้ง ของ Motor 5



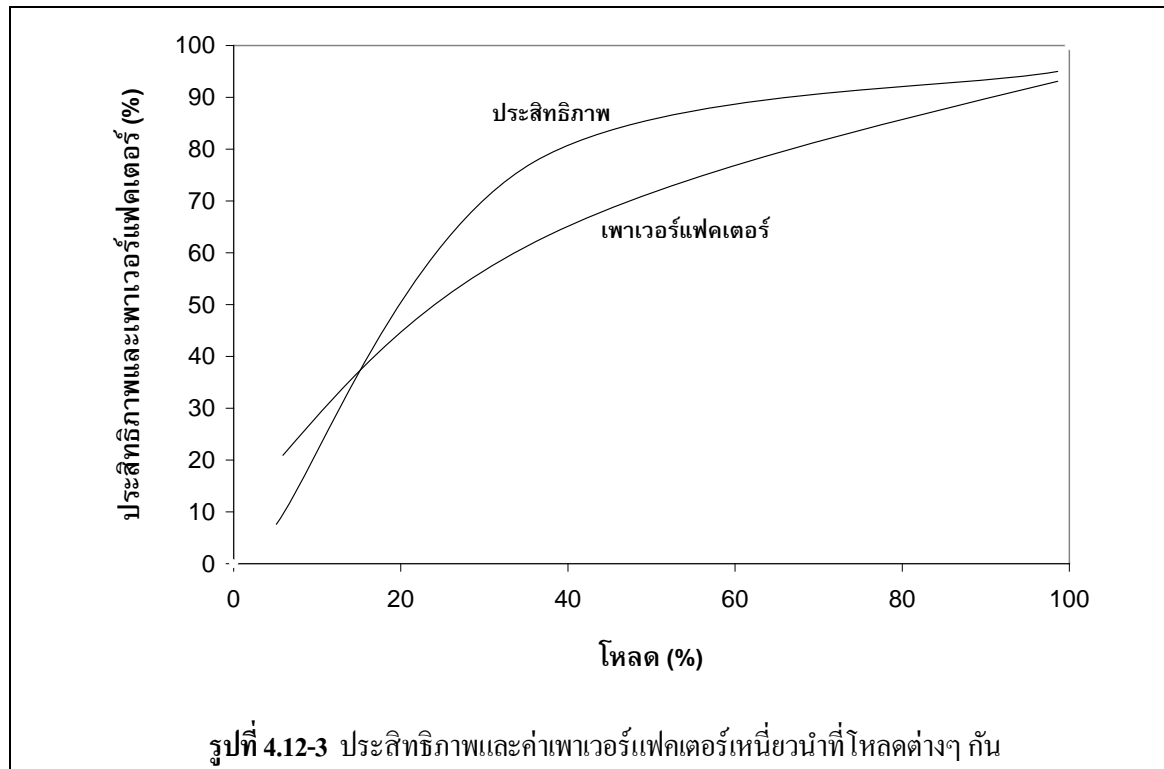
รูปที่ 4.12-2 แสดงกราฟเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าของมอเตอร์ตัวที่ 5 ก่อนและหลังติดตั้ง Power Logic

6. การวิเคราะห์ทางเทคนิค

กำลังไฟฟ้าลดลง	=	11.778 – 8.815	kW
	=	2.963	kW
พลังงานไฟฟ้าลดลง	=	162.22 – 38.04	
	=	0.12418	kWh/รอบ
จำนวนรอบการทำงานใน 1 ชั่วโมง	=	3600/50.5	
	=	71.29	รอบ/hr
ค่ากำลังไฟฟ้าลดลง	=	2.963 kW x 132.93 บาท/kW-เดือน	
	=	x 12 เดือน/ปี	
	=	4,726.44	บาท/ปี (PEAK DEMAND)
ค่าพลังงานไฟฟ้าลดลง	=	0.12418 kWh/ x 71.29 รอบ/hr x 9 hr/วัน	
	=	x 248 วัน/ปี	
	=	19,759.43 kWh/ปี x 2.695 บาท/kWh	
	=	53,251.67	บาท/ปี (ON PEAK)
	=	0.12418 kWh/รอบ x 71.29 รอบ/hr x 8 hr/วัน	
	=	x 248 วัน/ปี	

	=	17,563.94 kWh/ปี x 1.1914 บาท/kWh
	=	20,925.68 บาท/ปี (OFF PEAK)
	=	0.12418 kWh/รอบ x 71.29 รอบ/hr x 8 hr/วัน x 52 วัน/ปี
	=	3,682.76 kWh/ปี x 1.1914 บาท/kWh
	=	4,387.64 บาท/ปี (OFF PEAK _{saturday})
	=	41,006.13 kWh/ปี
รวมเป็นเงิน	=	83,291.43 บาท/ปี
7.การวิเคราะห์ผลตอบแทนการลงทุน		
เงินลงทุน	=	242,378 บาท
ระยะเวลาคืนทุน	=	242,378 / 83,291.43
	=	2.91 ปี

กรณีศึกษาที่ 2: การใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูงและปรับลดขนาดให้เหมาะสมกับการใช้งาน	
1. ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน	
<p>สถานประกอบการใช้มอเตอร์ ขนาด 30 kW ทำงานที่ 1450 RPM วันละประมาณ 8 ชั่วโมง มีพิกัดประสิทธิภาพ 87.30% และจากการตรวจวัดพบว่าใช้กำลังไฟฟ้า 10.59 kW เพาเวอร์แฟคเตอร์(P.F.) 0.75 จากการคำนวณพบว่า มี copper loss และ iron loss ในปริมาณที่สูง และโหลดการใช้งานของมอเตอร์มีค่าค่อนข้างต่ำ ส่งผลให้ประสิทธิภาพขณะใช้งานจริงต่ำจึงมีแนวคิดที่จะทำการเปลี่ยนเป็นมอเตอร์ประสิทธิภาพสูงและปรับขนาดให้เหมาะสมกับการใช้งานจริง</p>	
2. ปัญหาของอุปกรณ์/ระบบก่อนปรับปรุง	
<p>มอเตอร์มีอายุการใช้งานและมีขนาดพิกัดใหญ่กว่าภาระใช้งานจริงมาก ส่งผลให้มีประสิทธิภาพในขณะที่ใช้งานจริงต่ำกว่าที่พิกัดมาก เนื่องจากเกิดการสูญเสียไฟฟ้าเนื่องจากแกนเหล็ก (Iron Loss) จำนวนมาก ทำให้สิ้นเปลืองพลังงานขณะใช้งาน</p>	



รูปที่ 4.12-3 ประสิทธิภาพและค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์เหนี่ยวนำที่โหลดต่างๆ กัน

3. แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินงาน

ทำการเปลี่ยนใหม่เป็นมอเตอร์ประสิทธิภาพสูงที่มีขนาดเหมาะสมกับการใช้งานจริง โดยลดขนาดของมอเตอร์จากขนาด 30 kW 1,450 RPM เป็นขนาด 22.5 kW 1,500 RPM

4. สภาพก่อนปรับปรุง

พิกัดมอเตอร์เดิม ขนาด 30 kW 1,450 RPM ประสิทธิภาพ 87.30% แรงดันไฟฟ้า 380 Volt. กระแสไฟฟ้า 48.3 Amp. ค่าจากการตรวจวัด กำลังไฟฟ้า 10.59 kW แรงดันไฟฟ้า 377 Volt. ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ 0.75

5. สภาพหลังปรับปรุง


พิกัดมอเตอร์ใหม่ ขนาด 22.5 kW 1,500 RPM ประสิทธิภาพ 88.60% แรงดันไฟฟ้า 380 Volt. ใช้งาน 8 ชั่วโมง/วัน 300 วัน/ปี แฟคเตอร์การใช้งาน 75%

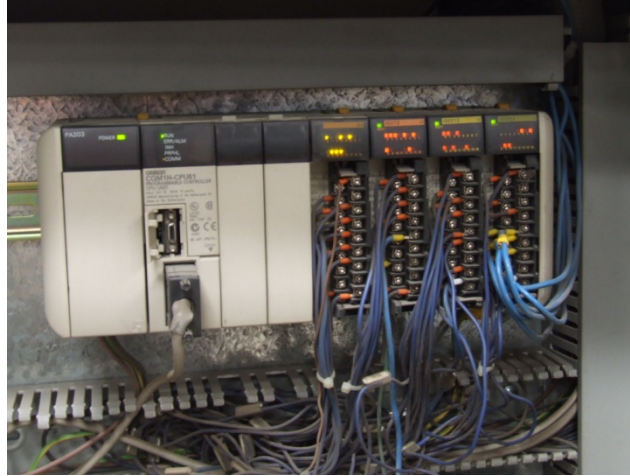
6. การวิเคราะห์ทางเทคนิค

ก่อนปรับปรุงขนาดมอเตอร์

กระแสไฟฟ้าจริง (I_{actual})	=	$(P_{ก่อน} \times 1000) / (3^{0.5} \times V_{actual} \times P.F.)$
	=	$(10.59 \times 1000) / (3^{0.5} \times 377 \times 0.75)$
	=	21.6 A
Iron Loss	=	$kW \times [(100 / \eta_{ก่อน}) - 1] \times 0.3 \times (V_{actual} / V_{rated})^2$
	=	$30 \times [(100 / 87.30) - 1] \times 0.3 \times (377 / 380)^2$
	=	1.29 kW
Copper Loss	=	$kW \times [(100 / \eta_{ก่อน}) - 1] \times 0.7 \times (I_{actual} / I_{rated})^2$

	=	$30 \times [(100 / 87.30) - 1] \times 0.7 \times (21.6 / 48.3)^2$
	=	0.61 kW
หลังปรับปรุงขนาดมอเตอร์		
ขนาดมอเตอร์	=	22.5 kW
ความเร็วรอบ	=	1,500 RPM
ประสิทธิภาพมอเตอร์หลังปรับปรุง ($\eta_{\text{หลัง}}$)	=	88.60 %
กำลังไฟฟ้าหลังปรับปรุง ($P_{\text{หลัง}}$)	=	$[P_{\text{ก่อน}} - (\text{Iron Loss} + \text{Copper Loss})] / (\eta_{\text{หลัง}} / 100)$
	=	$[10.59 - (1.29 + 0.61)] / (88.60 / 100)$
	=	9.81 kW
ชั่วโมงทำงาน (H)	=	8 ชั่วโมง/วัน
วันทำงาน (D)	=	300 วัน/ปี
แฟกเตอร์การใช้งาน (F)	=	75.00 %
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ก่อนปรับปรุง	=	$P_{\text{ก่อน}} \times H \times D \times F$
	=	$10.59 \times 8 \times 300 \times 75/100$
	=	19,062.00 kWh/ปี
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้หลังปรับปรุง	=	$P_{\text{หลัง}} \times H \times D \times F$
	=	$9.81 \times 8 \times 300 \times 75/100$
	=	17,652.58 kWh/ปี
พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้	=	$19,062.00 - 17,652.58$ kWh/ปี
ราคาค่าไฟฟ้า	=	3.86 บาท/kWh
คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้	=	$1,409.42 \times 3.86$
	=	5,440.37 บาท/ปี
7.การวิเคราะห์ผลตอบแทนการลงทุน		
เงินลงทุน	=	26,750.00 บาท
ระยะเวลาคืนทุน	=	$26,750.00 / 5,440.37$
	=	4.92 ปี

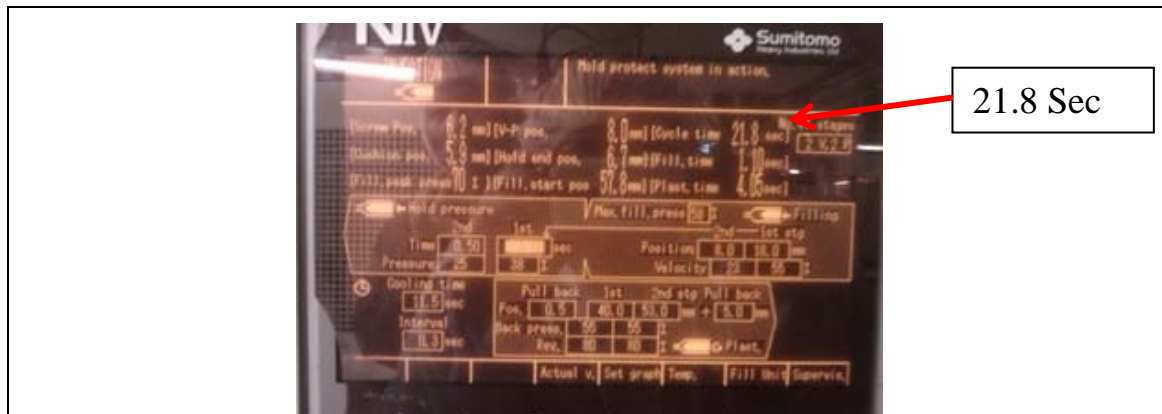
<p>กรณีศึกษาที่ 3: การลดการเดินตัวเปล่าของมอเตอร์ขับเคลื่อนสายพาน</p>	
<p>1. ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน</p> <p>กระเบื้องเซรามิก ที่ออกจากเตาเผาจะลำเลียงโดยสายพานลำเลียงซึ่งในแต่ละเตาจะมีอยู่ 2 ไลน์ โดยไลน์หนึ่งใช้สำรองในกรณีที่อีกไลน์หนึ่งชำรุด ซึ่งสถานประกอบการทำการเปิดมอเตอร์ขับเคลื่อนสายพานทิ้งไว้ตลอดเวลาทั้ง 7 เตา ส่งผลให้สิ้นเปลืองพลังงานโดยไม่เกิดประโยชน์</p>	
<p>2. ปัญหาของอุปกรณ์/ระบบก่อนปรับปรุง</p> <p>การปล่อยให้มอเตอร์เดินตัวเปล่าโดยไม่ได้ผลผลิต ทำให้เกิดการใช้พลังงานไม่คุ้มค่า</p>	
<p>3. แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินงาน</p> <p>ทำการตรวจวัดกำลังไฟฟ้าของมอเตอร์ขับเคลื่อนสายพานที่เดินตัวเปล่าทั้ง 7 เตา เพื่อนำไปหาพลังงานไฟฟ้าที่สูญเสีย และทำการต่อวงจรควบคุมการทำงานของไลน์บรรจุทั้ง 2 ไลน์ โดยถ้าไลน์หนึ่งทำงานให้อีกไลน์หนึ่งหยุดทำงานโดยอัตโนมัติ</p>	
<p>4. สภาพก่อนปรับปรุง</p> <p>ขณะสายพานเดินตัวเปล่าใช้กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยต่อไลน์ประมาณ 2.6 kW สถานประกอบการมีการเดินตัวเปล่าทั้งหมด 7 ไลน์ โดยเวลาทำงาน 24 ชั่วโมง/วัน 350 วัน/ปี</p>	
	
<p>รูปที่ 4.12-4 ไลน์ที่ไม่ได้ทำการบรรจุเดินตัวเปล่า</p>	
<p>5. สภาพหลังปรับปรุง</p> <p>ทำการต่อวงจรควบคุมการทำงานของไลน์บรรจุทั้ง 2 ไลน์ ถ้าไลน์หนึ่งทำงานให้อีกไลน์หนึ่งหยุดทำงานโดยอัตโนมัติ ซึ่งทำให้สามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ 107,016 kWh/ปี</p>	



รูปที่ 4.12-5 วงจรควบคุมให้มอเตอร์ขับเคลื่อนสายพานในไลน์ที่ไม่ได้ทำการบรรจุหยุดเดิน

6. การวิเคราะห์ทางเทคนิค			
พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้	=	กำลังไฟฟ้า x จำนวนไลน์ x ชั่วโมงทำงาน x	
		วันทำงาน x แฟกเตอร์ใช้งาน	
	=	2.6 x 7 x 24 x 350 x 0.7	
	=	107,016	kWh/ปี
คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้	=	107,016 x 2.6	
	=	278,241.6	บาท/ปี
7.การวิเคราะห์ผลตอบแทนการลงทุน			
เงินลงทุน	=	-	บาท
ผลประหยัดที่ได้	=	278,241.6	บาท/ปี
ระยะเวลาคืนทุน	=	-	ปี

กรณีศึกษาที่ 4: การลด Cycle time ในการผลิต	
1. ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน	
โรงงานมีเครื่อง Injection ในการผลิตขวดบรรจุภัณฑ์ โดยก่อนปรับปรุงได้กำหนด Cycle Time ในการผลิตเท่ากับ 21.8 sec และกินกำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 7.05 kW	
2. ปัญหาของอุปกรณ์/ระบบก่อนปรับปรุง	
สภาพเดิมมีต้นทุนพลังงานที่สูง SEC = 0.993 kWh/kg โดยผู้รับผิดชอบพิจารณาว่าสามารถที่จะปรับลดลงได้เพื่อเพิ่ม Productivity และลดต้นทุนพลังงาน	

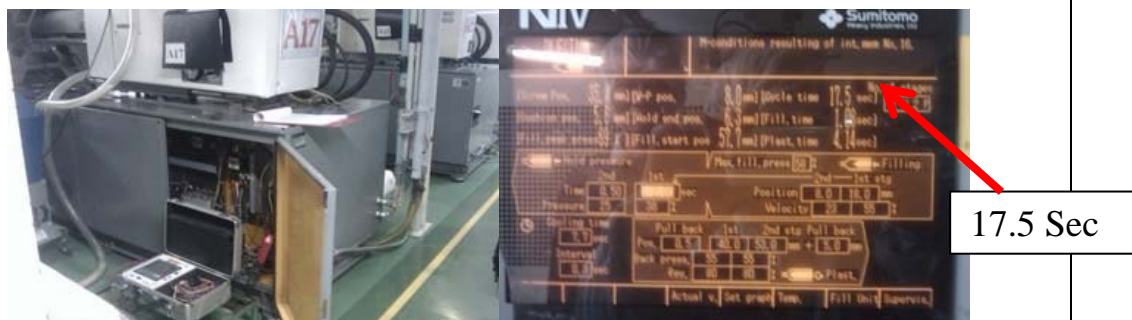


รูปที่ 4.12-6 Cycle Time ก่อนปรับปรุง = 21.8 sec

3. แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินงาน

ผู้รับผิดชอบมาตรการ ได้ดำเนินการทดลองปรับลด Cycle Time ให้ต่ำที่สุดโดยที่ไม่กระทบกับคุณภาพของสินค้า และติดตั้งเครื่องบันทึกพลังงานไฟฟ้าเพื่อตรวจสอบการใช้พลังงานในสภาวะ ก่อน และหลังปรับ Cycle Time

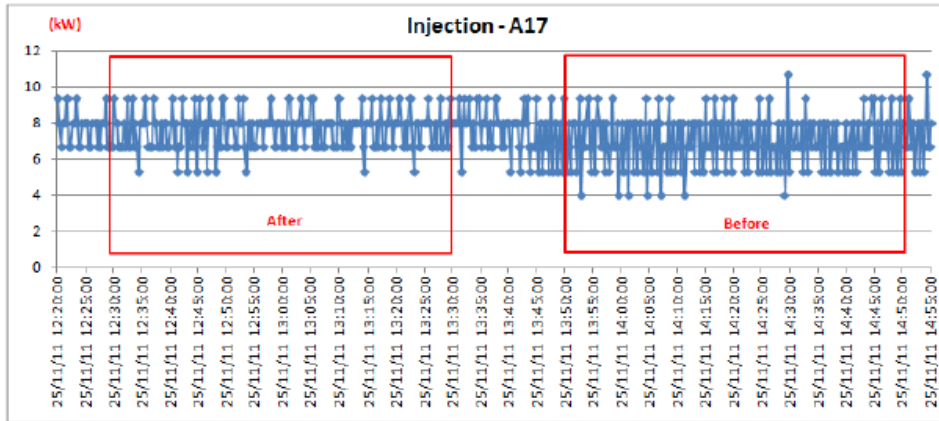
4. สภาพหลังปรับปรุง



รูปที่ 4.12-7 ปรับลด Cycle Time หลังปรับปรุง = 17.5 sec เพื่อลดต้นทุนพลังงาน

5. การวิเคราะห์ทางเทคนิค

Discription	Unit	Before	After	Save
Cycle time	sec	21.80	17.50	-
Max.Power	kW	10.68	10.68	-
Ave.Power	kW	7.05	7.70	-0.66
Energy	kWh/1hr	7.05	7.70	-0.66
Production	kg/hr	7.1	8.8	-
SEC	kWh/kg	0.993	0.875	0.117
Ton baseline	kg/yr	51,129	51,129	-
Total energy	kWh/yr	50,747	44,759	5,988
Energy rate	฿/kWh	3.14	3.14	-
Energy cost	฿/yr	159,347	140,544	18,803



รูปที่ 4.12-7 การวัดกำลังไฟฟ้าเปรียบเทียบก่อน-หลังปรับ Cycle Time

กำลังไฟฟ้าดลดลง	=	0.66	kW
พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัด	=	5,988	kWh/yr
ค่าไฟฟ้าที่ประหยัด	=	18,803	฿/yr

กรณีศึกษาที่ 5 : ปรับปรุงและพัฒนาเครื่องบด Hammer

1. ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน

เครื่องบดเมื่อบดมันเส้นแล้วเกิดการฟุ้งกระจายที่ Screw ใต้เครื่องบดและตัวเครื่องบด ทำให้ผู้ควบคุมการผลิตไม่สามารถปล่อยวัตถุดิบเข้ามาบดได้มาก อันเนื่องมาจาก Screw ใต้เครื่องบดมีความเร็วในการลำเลียงไม่เพียงพอ

2. ปัญหาของอุปกรณ์/ระบบก่อนปรับปรุง

Screw ใต้เครื่องบดลำเลียงมันเส้นที่บดแล้วไม่ทัน ทำให้เกิดการฟุ้งที่ Screw และตัวเครื่อง ผู้ควบคุมการผลิตไม่สามารถปล่อยของลงเครื่องบดในปริมาณมากได้ โดยความสามารถการบดมันเส้นประมาณ 12 Ton/hr สมรรถนะของเครื่องบด 5.92 kWh/ton



3. แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินงาน

ทำการเปลี่ยนระบบส่งกำลังใหม่ โดยปกติ Screw มีความเร็วรอบ 50 rpm (จับตรง) การออกแบบจะใช้เฟืองจับขนาด 30 ฟัน เฟืองตาม 18 ฟัน จากการคำนวณจะได้ความเร็วรอบ 83 rpm

4. สภาพหลังปรับปรุง

ผลการทดลอง ความสามารถการบดมันเส้นเพิ่มขึ้นจาก 12 Ton/hr เป็น 25 Ton/hr สมรรถนะของเครื่องบดเพิ่มขึ้นจาก 5.92 kWh/ton เป็น 4.57 kWh/ton

วัตถุดิบ	ตะแกรง (mm)	ปริมาณวัตถุดิบ (Ton)	เวลา (hr)	Ton/hr	kWh	kWh/ton
มันเส้น	2x2	14	1:10	11:99	83	5.92
มันเส้น	2x2	14	0:45	18:66	71	5.07
มันเส้น	2x2	14	0:35	28:0	64	4.57



5. การวิเคราะห์ทางเทคนิค

จากการทดลอง

kWh ที่ประหยัดได้	=	5.92 - 4.57	=	1.35	kWh/ton
ปริมาณการบดมันเส้น 15 Ton/วัน	=		=	450	Ton/เดือน
	=		=	5,400	Ton/ปี
ใน 1 ปี ประหยัดได้	=		=	7,290	kWh/ปี
ค่าไฟฟ้า ยูนิตละ 2.80 บาท/kwh	=		=	20,412	บาท/ปี

กรณีศึกษาที่ 6 : ลดการทำงานของเครื่องบดผสม (Needer)
1. ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน
<p>โรงงานมีเครื่องบดผสม (Needer) จำนวน 4 เครื่องขนาด 146 แรงม้า ทำหน้าที่บดผสมยางพารากับสารเคมีรวมกันแล้วส่งต่อไปให้เครื่องบดผสมยางกับกำมะถัน บดผสมรวมกันอีกทอดหนึ่ง</p>
2. ปัญหาของอุปกรณ์/ระบบก่อนปรับปรุง
<p>เครื่องบดผสม Needer มีการเปิดเดินตัวเปล่าอยู่เป็นครั้งคราว เนื่องจากกำลังการผลิตมีมากกว่าเครื่องจักรใน Line การผลิตต่อเนื่อง</p> 
3. แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินงาน
<p>ศึกษาผลกระทบในการหยุดเครื่องบดผสม (Needer) ช่วง On Peak</p>
4. สภาพหลังปรับปรุง
<p>ติดตั้งชุดควบคุม (switch) ที่อุปกรณ์บดผสม (Needer) ทั้ง 4 เครื่องให้ปิดช่วง 18.00 น.และเปิดอีกครั้งช่วง 22.00 น.</p> 

5. การวิเคราะห์ทางเทคนิค

เครื่องบดผสม (Needer) ใช้กำลังไฟฟ้า Name plate	146	Hp	จำนวน	4 เครื่อง
ใช้งานจริง	=	73.7	kW. (with load)	
ใช้งานจริง	=	6.8	kW. (without load)	
ผลประหยัด	=	6.8 kW x 4 เครื่อง x 4 ชม. x 312 วัน/ปี		
	=	33,946	kWh/ปี	
	=	33,946 kWh/ปี x 85.21/(1,000,000,000)		
	=	0.002893	ktoe/ปี	
ค่าไฟฟ้าเฉลี่ย	=	1.7034	บาท/kWh	
ค่า Ft	=	0.85		
ผลประหยัดจากหน่วย	=	(0.85 + 1.7034) บาท/kWh x 326,225 kWh/ปี		
	=	87,647	บาท/ปี	
คิดเป็นเงินที่ประหยัด				
จาก Peak Demand	=	73.7 x 285 บาท/kW x 12 เดือน		
	=	1,008,216	บาท/ปี	
รวมผลประหยัด	=	87,647 + 1,008,216		
	=	1,140,862	บาท/ปี	

สรุปเนื้อหาวิชา

1. ชนิดและส่วนประกอบของมอเตอร์
<p>มอเตอร์ไฟฟ้าสามารถแบ่งประเภทของกระแสไฟฟ้าได้ 2 ชนิดคือ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (Direct current motor) และมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternating Current Motor) มอเตอร์ที่ใช้ส่วนใหญ่คือ มอเตอร์กระแสสลับแบบสปลิตเฟส มอเตอร์ (Split-phase motor)ซึ่งมีส่วนประกอบที่สำคัญดังนี้</p> <ul style="list-style-type: none"> ● โรเตอร์ (Rotor) โรเตอร์ทำด้วยแผ่นเหล็กบางๆ (Laminated) อัดซ้อนกันเป็นแกน มีร่องไปตามทางยาว ในร่องนี้จะมีทองแดงหรืออลูมิเนียมเส้นโตๆ ฝังอยู่โดยรอบปลายของทองแดงหรืออลูมิเนียมนี้จะเชื่อมติดอยู่กับวงแหวนทองแดงหรืออลูมิเนียม ซึ่งมีลักษณะคล้ายกรงกระรอกจึงเรียกชื่อว่าโรเตอร์กรงกระรอก(Squirrel cage rotor) ● สเตเตอร์ (Stator) สเตเตอร์ ซึ่งประกอบด้วยแผ่นเหล็กบางๆ อัดแน่น มีร่องสำเร็จไว้ใส่ขดลวดเรียกว่าช่องสล็อต (slot) อัดเป็นปีกแผ่นอยู่ภายในกรอบโครง (Frame) ซึ่งเฟรมนั้นจะทำมาจากเหล็กหล่อ (Cast iron) หรือเหล็กเหนียว (Steel) ที่สเตเตอร์ของสปลิตเฟสมอเตอร์จะมีขดลวดพันอยู่ 2 ชุด คือ ขดรันหรือขดเมน (Running Winding หรือ Main Winding) พันด้วยลวดเส้นใหญ่จำนวนรอบมาก ขดลวดชุดที่สองสำหรับเริ่มหมุนหรือขดสตาร์ท (Starting winding) พันด้วยลวดเส้นเล็กและจำนวนรอบน้อยกว่าขดรัน ● ฝาครอบ ฝาครอบของมอเตอร์ทั้งสองข้างส่วนใหญ่ทำมาจากเหล็กหล่อหรือเหล็กเหนียว มีแบร์ริงแบบตลับลูกปืน (Ball bearing) สำหรับรองเพลลาในการหมุนของโรเตอร์ให้ตรงแนวศูนย์กลาง ● สวิทช์แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal switch) สวิทช์แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วนดังนี้ คือส่วนที่อยู่กับที่ (Stationary part) จะประกบติดอยู่กับฝาปิดหัวท้ายของมอเตอร์ซึ่งเป็นส่วนของหน้าสัมผัสหรือหน้าทองขาวอยู่ 2 อัน และส่วนที่หมุน (Rotating part) จะติดอยู่กับเพลลาของโรเตอร์ การทำงานของสวิทช์หนีศูนย์กลางเมื่อความเร็วรอบของมอเตอร์ได้ 75 เปอร์เซ็นต์ของความเร็วยุโรปสูงสุดของมอเตอร์จะทำให้ส่วนที่ติดอยู่กับแกนเพลลาของโรเตอร์ ผลักดันส่วนที่ติดตั้งอยู่กับฝาของมอเตอร์ทำให้หน้าสัมผัสแยกออกจากกันตัดวงจรขดสตาร์ทอย่างอัตโนมัติ สำหรับมอเตอร์อื่นๆเช่น คาปาซิเตอร์มอเตอร์ มีส่วนประกอบส่วนใหญ่เหมือนกับแบบสปลิตเฟสเกือบทุกอย่าง คือ ● โรเตอร์เป็นแบบกรงกระรอก ● สเตเตอร์ประกอบด้วยขดลวด 2 ชุด คือ ขดสตาร์ทและขดรัน ● 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. แบบน้ำยาไฟฟ้าหรือElectrolytic capacitor

โครงสร้างที่สำคัญของรีพัลซ์มอเตอร์ประกอบไปด้วย 5 ส่วนสำคัญคือ

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

ยูนิเวอร์แซลมอเตอร์ เป็นมอเตอร์ขนาดเล็กมีขนาดกำลังไฟฟ้าตั้งแต่ 1/200 แรงม้าถึง 1/30 แรงม้า นำไปใช้ได้กับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงและใช้กับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับชนิด 1 เฟส มอเตอร์ชนิดนี้มีคุณสมบัติที่โดดเด่น คือให้แรงบิดเริ่มหมุนสูงนำไปปรับความเร็วได้ ทั้งปรับความเร็วได้ง่ายทั้งวงจรลดแรงดันและวงจรรวมคุมอิเล็กทรอนิกส์ นิยมนำไปใช้เป็นตัวขับเคลื่อนเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน เช่น เครื่องบดและผสมอาหาร มีดโกนหนวดไฟฟ้า เครื่องนวดไฟฟ้า มอเตอร์จักรเย็บผ้า สว่านไฟฟ้า เป็นต้น

เซดเดดโพลมอเตอร์ (Shaded pole motor) เป็นมอเตอร์กระแสสลับ 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)

2. ประสิทธิภาพมอเตอร์ไฟฟ้า

ประสิทธิภาพของมอเตอร์ขึ้นอยู่กับค่าของการสูญเสียที่เกิดขึ้นในตัวมอเตอร์ โดยทั่วไปแล้วการสูญเสียในมอเตอร์จะมาจากการสูญเสียที่มีค่าคงที่ และการสูญเสียที่เปลี่ยนแปลงตามโหลดของมอเตอร์ ได้ดังนี้

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

ข. การสูญเสียจากแรงลมที่ต้านทานการหมุนและแรงเสียดทาน (Windage and friction losses) เกิดจากแรงเสียดทานในคลัตช์ลูกปืน และแรงต้านของครีบบระบายอากาศที่ตัวมอเตอร์ โดยรวมแล้วการสูญเสียที่แกนเหล็ก การสูญเสียจากแรงลม และแรงเสียดทาน เป็นค่าการสูญเสียที่คงที่ และไม่ขึ้นกับโหลดของมอเตอร์ เรียกโดยรวมว่า “ค่าการสูญเสียขณะที่มีมอเตอร์ไม่มีโหลด” (No - Load losses)

ค. การสูญเสียที่สเตเตอร์ (Stator losses) จะอยู่ในรูปของความร้อนเกิดจากกระแสที่ไหลผ่านขดลวดที่มีความต้านทานอยู่ภายใน

ง. การสูญเสียที่โรเตอร์ (Rotor losses) อยู่ในรูปความร้อนเช่นเดียวกับสเตเตอร์ แต่เกิดที่ตัวนำในโรเตอร์

จ. การสูญเสียจากภาระการใช้งาน (Stray losses) เป็นผลจากค่าการสูญเสียที่เกิดจากความถี่ในแกนเหล็กที่โรเตอร์ ค่ากระแสไหลวนในขดลวดที่สเตเตอร์ ค่าการสูญเสียจากค่ากระแสฮาร์มอนิกในตัวนำของโรเตอร์ ขณะที่มิโหลค่านามแม่เหล็กเร็วไหลที่เกิดจากกระแสไหล ซึ่งการสูญเสียที่สเตเตอร์ โรเตอร์ และจากภาระการใช้งาน จะเพิ่มขึ้นตามขนาดของไหลลวดเรียกโดยรวมว่า **“ค่าความสูญเสียขณะมีไหลลวด” (Load losses)**

ค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์หาได้ดังนี้

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

ค่าประสิทธิภาพอาจเขียนอยู่ในรูปที่แสดงค่ากำลังงานสูญเสียของมอเตอร์ด้วยก็ได้ ดังนี้

$$\text{ประสิทธิภาพ, \%} = \frac{\text{กำลังงานขาออก (วัตต์)}}{\text{กำลังงานขาออก (วัตต์) + กำลังงานสูญเสีย (วัตต์)}} \times 100$$

หรือ

$$\text{ประสิทธิภาพ, \%} = \frac{\text{กำลังไฟฟ้าป้อนเข้า (วัตต์) - กำลังงานสูญเสีย (วัตต์)}}{\text{กำลังงานขาออก (วัตต์)}} \times 100$$

3. ความแตกต่างระหว่างมอเตอร์ไฟฟ้าประสิทธิภาพสูงและมอเตอร์ไฟฟ้ามาตรฐานทั่วไป

มอเตอร์ประสิทธิภาพสูงทำโดยการนำเทคโนโลยีเพื่อการปรับปรุงชิ้นส่วนอุปกรณ์ต่างๆ ในมอเตอร์ดังนี้

3.1 ปรับปรุงคุณภาพของแกนเหล็ก มอเตอร์ทั่วไปใช้เหล็กแผ่นที่มีองค์ประกอบของคาร์บอนต่ำ (Low-carbon laminated steel) สำหรับทำตัวแกนเหล็กที่สเตเตอร์และโรเตอร์ ซึ่งแกนเหล็กดังกล่าวมีการสูญเสียทางไฟฟ้าเทียบกับน้ำหนักประมาณ 6.6 วัตต์ต่อเหล็ก 1 กิโลกรัม ซึ่งมอเตอร์ไฟฟ้าประสิทธิภาพสูงจะใช้แผ่นเหล็กซิลิกอนคุณภาพสูง (High grade silicon steel) ซึ่งจะมีการสูญเสียทางไฟฟ้าลดลงถึงครึ่งหนึ่งคือเหลือเพียงประมาณ 3.3 วัตต์ต่อเหล็ก 1 กิโลกรัม

3.2 แผ่นเหล็กที่บางขึ้น การลดความหนาของแผ่นเหล็กที่ใช้ทำแกนเหล็ก ทั้งในสเตเตอร์และโรเตอร์ จะช่วยลดการสูญเสียที่เกิดจากกระแสไหลวน ซึ่งเมื่อรวมกับการปรับปรุงจนวนระหว่างแผ่นเหล็กแล้วจะช่วยลดค่าการสูญเสียที่เกิดจากกระแสไหลวนได้มากยิ่งขึ้น

3.3 เพิ่มปริมาณของตัวนำ มอเตอร์รุ่นเก่า ๆ จะใช้ลวดทองแดง หรือลวดอะลูมิเนียมที่มีขนาดพอดีกับกระแสสูงสุดที่เกิดจากไหลลวดของมอเตอร์ แต่มอเตอร์ไฟฟ้าประสิทธิภาพสูงจะใช้ลวดทองแดงขนาดใหญ่ขึ้นเพื่อลดค่าความต้านทานในขดลวดโดยขนาดของตัวนำจะใหญ่กว่าประมาณ 35 ถึง 40 เปอร์เซ็นต์

3.4 ปรับปรุงการออกแบบร่องสล็อต เพื่อที่จะรองรับกับขนาดขดลวดที่ใหญ่ขึ้นทำให้ต้องมีการปรับปรุงและออกแบบร่องสล็อตใหม่ รวมทั้งเพิ่มความยาวของแกนเหล็กที่สเตเตอร์ซึ่งแกนเหล็กที่ยาวขึ้นจะเป็นผลต่อค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ที่ดีขึ้นด้วย

3.5 ลดช่องว่างระหว่างสเตเตอร์และโรเตอร์ การลดช่องว่างที่เป็นทางเดินของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจะทำให้สนามแม่เหล็กไฟฟ้าจากสเตเตอร์ที่วิ่งผ่านไปยัง โรเตอร์มีค่าเพิ่มสูงขึ้น ดังนั้นมอเตอร์จะใช้พลังงานไฟฟ้าลดลงเพื่อที่จะสร้างแรงบิดเท่าเดิม นอกจากนี้การเพิ่มความยาวของแกนเหล็กยังเป็นการเพิ่มปริมาณสนามแม่เหล็ก ที่จะเป็ผลทำให้เกิดผลแบบเดียวกันกับการลดช่องว่างระหว่างโรเตอร์กับสเตเตอร์

3.6 ปรับปรุงฉนวนที่โรเตอร์ ในมอเตอร์ประสิทธิภาพสูงร่องสล็อตที่โรเตอร์จะได้รับการตรวจสอบเป็นอย่างดี และเคลือบด้วยฉนวนที่สามารถทนความร้อนได้สูงซึ่งจะลดค่าการสูญเสียจากตัวนำที่ไม่เรียบร้อยที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตขณะที่ฝังตัวนำเข้าไปในโรเตอร์ ซึ่งโดยปกติแล้วตัวนำที่อยู่ที่โรเตอร์จะถูกออกแบบไว้ในลักษณะเฉียงกับแนวแกนของโรเตอร์ เพื่อที่จะลดเสียงรบกวนและแรงบิดที่ไม่สม่ำเสมอในมอเตอร์ขนาดเล็ก

3.7 ออกแบบพัดลมใหม่ เนื่องจากมอเตอร์ไฟฟ้าประสิทธิภาพสูงมีอุณหภูมิในขณะที่ทำงานต่ำกว่ามอเตอร์ธรรมดาเป็นผลให้พัดลมที่ใช้ระบายความร้อนมีขนาดเล็กลงซึ่งเป็นการลดการสูญเสียจากแรงลมรวมถึงระดับเสียงของพัดลมในขณะที่ทำงานด้วย

วิธีการทดสอบตามมาตรฐานจะสามารถแสดงประสิทธิภาพของมอเตอร์ ซึ่งค่าประสิทธิภาพนั้นมี 2 ลักษณะคือ ค่าเฉลี่ยมาตรฐาน (Nominal) หรือค่ารับประกันต่ำสุด (Guaranteed Minimum) ซึ่งมีความแตกต่างกันดังนี้

- **ค่าประสิทธิภาพมาตรฐาน** เป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากมอเตอร์แบบเดียวกันจำนวนมากจากผู้ผลิตมอเตอร์แต่ละตัวอาจมีค่าประสิทธิภาพที่ต่างจากค่าเฉลี่ยนี้มาก
- **ค่าประสิทธิภาพรับประกันต่ำสุด** เป็นค่าที่ผู้ผลิตรับประกันว่ามอเตอร์ขนาดนั้นๆ จะมีค่าประสิทธิภาพไม่น้อยกว่านั้น มาตรฐานระดับชาติส่วนใหญ่จะมีขีดกำหนดความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยและค่ารับประกันต่ำสุดเอาไว้

4. หลักการพิจารณาใช้มอเตอร์ไฟฟ้าประสิทธิภาพสูงและอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบ

(1) การพิจารณาเลือกซื้อมอเตอร์ประสิทธิภาพสูง

การเลือกซื้อหรือเปลี่ยนมอเตอร์ใหม่ให้เป็นมอเตอร์ประสิทธิภาพสูง ควรพิจารณาเมื่อเครื่องที่ใช้อยู่เดิมชำรุดซึ่งพิจารณาได้ดังนี้

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

(2) เมื่อไรจึงจะใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูง

ควรพิจารณาการใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูงในสถานการณ์ดังต่อไปนี้ :

- ควรซื้อมอเตอร์ประสิทธิภาพสูงสำหรับโรงงานใหม่
 - เมื่อมีการซื้อมอเตอร์ใหม่มักจะมีค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้น (ซึ่งเรียกว่า Price Premium) : ราคามอเตอร์ประสิทธิภาพสูง - ราคามอเตอร์มาตรฐาน ถึงแม้ว่าจะมีค่าใช้จ่ายดังกล่าวเพิ่มเติม แต่การใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูงยังคงเป็นที่น่าสนใจในการลงทุน
- ควรซื้อมอเตอร์ประสิทธิภาพสูงแทนการนำมอเตอร์มาตรฐานมาพันขดลวดใหม่
 - มอเตอร์ที่นำมาพันขดลวดใหม่ (ส่วนใหญ่จะเป็นมอเตอร์ขนาดใหญ่กว่า 10 กิโลวัตต์) ประสิทธิภาพจะลดลงถึง 2%
 - ในกรณีนี้ ประสิทธิภาพที่ดีขึ้นทั้งหมดจะเท่ากับผลรวมของประสิทธิภาพที่ลดลง เนื่องจากการพันขดลวดใหม่ (มากถึง 2%) กับประสิทธิภาพที่ดีขึ้นจากประสิทธิภาพของมอเตอร์มาตรฐาน
 - สำหรับกรณีนี้ ราคาที่สูงขึ้นคือราคาของมอเตอร์ประสิทธิภาพสูงลบด้วย ค่าพันขดลวดใหม่
- ควรซื้อมอเตอร์ประสิทธิภาพสูง เพื่อนำมาใช้เป็นมอเตอร์สำรอง
 - เมื่อจำเป็นต้องซื้อมอเตอร์สำหรับเป็นมอเตอร์สำรองเพื่อใช้แทนมอเตอร์ที่ใหม่ จะเป็นโอกาสที่เหมาะสมและเป็นการคุ้มค่าที่จะเปลี่ยนมาใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูงแทนมอเตอร์มาตรฐาน

(3) แนวทางการอนุรักษ์พลังงาน

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

การพิจารณาใช้อุปกรณ์ปรับความเร็วรอบเพื่อประหยัดพลังงานในมอเตอร์

กำลังขาออกของมอเตอร์ จะมีความสัมพันธ์กับแรงบิดของโหลด ดังนี้

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

โดยที่ P คือ กำลังขาออกที่เพลลาของมอเตอร์ (kW)

n คือ ความเร็วรอบ (rpm)

T คือ แรงบิดของโหลดของมอเตอร์ (N-m)

ฉะนั้นถ้าความเร็วรอบลดลง กำลังขาออกที่เพลลาของมอเตอร์ก็จะน้อยลงด้วย ในปัจจุบัน เครื่องควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ ได้มีการนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในงานอนุรักษ์พลังงาน เนื่องจากค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้านับวันจะเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง

การติดตั้งเครื่องควบคุมความเร็วรอบในเครื่องปั้มน้ำ พัดลม เครื่องอัดอากาศ (Air compressor) เป็นที่ยอมรับกันมานานแล้วว่า สามารถประหยัดพลังงานได้มาก โดยการลดความเร็วรอบของปั้มน้ำลง 50% จะทำให้อัตราการไหลลดลง 50% ในขณะที่ความดันลดลง 75% และแรงม้าของต้นกำลัง (Break Horsepower, BHP) ลดลงมากถึง 87.5% ตามทฤษฎีของ Affinity laws

เอกสารอ้างอิง
[1] ศิริพรรณ ชงชัย. การใช้มอเตอร์เป็นตัวขับเคลื่อนอย่างมีประสิทธิภาพ. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
[2] กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน, การประยุกต์ใช้พระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน. มาตรการประหยัดพลังงานมาตรฐาน มอเตอร์ประสิทธิภาพสูง. พฤษภาคม, 2543
[3] MOTOKI MAYSUO. เทคนิคการประหยัดพลังงานไฟฟ้าในอุตสาหกรรม. แปลโดย ดร.บัณฑิต โรจน์อารยานนท์ และคณะ. กรุงเทพฯ. สำนักพิมพ์ ส.ส.ท. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2543
[4] สุขชัย ปัญญาวิรัตน์ และ จตุพร สดากุลเจริญ, การลดต้นทุนการผลิตด้านพลังงาน, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), กรุงเทพฯ, 2549
[5] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, (2554), ตำราฝึกอบรมหลักสูตรการตรวจวิเคราะห์การอนุรักษ์พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมและอาคารธุรกิจ
[6] กรมส่งเสริมอุตสาหกรรมร่วมกับสถาบันสิ่งแวดล้อมไทย, คู่มือ การจัดการพลังงานไฟฟ้าในโรงงาน, 2550