กรมโรงงานอุตสาหกรรม
DEPARTMENT OF INDUSTRIAL WORKS

คู่มือ

มาตรฐานมอเตอร์ประสิทธิภาพสูง

คำนำ

พลังงานไฟฟ้าเป็นปัจจัยสำคัญในการดำเนินธุรกิจภาคอุตสาหกรรม เพราะสามารถเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันให้กับผู้ประกอบการได้ เนื่องจากพลังงานไฟฟ้าที่เพียงพอ สามารถรองรับการขยายตัวของการผลิตที่มีเครื่องจักรเป็นส่วนประกอบหลักได้ แต่การใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพเป็นสิ่งที่ผู้ประกอบการควรตระหนักและให้ความสำคัญด้วยเช่นกัน เพื่อลดต้นทุนในการผลิต ให้เกิดรายได้และผลกำไรสูงสุด และยังเป็นการอนุรักษ์พลังงาน อันเป็นการลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตไฟฟ้าได้อีกด้วย

กรมโรงงานอุตสาหกรรม มีพันธกิจในการส่งเสริมสนับสนุนข้อมูลและองค์ความรู้ด้านเครื่องจักร กระบวนการผลิต สิ่งแวดล้อม ความปลอดภัย สารเคมีวัตถุอันตราย พลังงาน และความรับผิดชอบต่อสังคม จึงสนับสนุนให้มีการจัดทำสื่อความรู้ด้านการอนุรักษ์พลังงานในภาคอุตสาหกรรม เพื่อเสริมสร้างความรู้ด้านการใช้พลังงาน ด้วยเนื้อหาที่สามารถนำไปปฏิบัติได้ด้วนตนเอง เข้าใจง่าย เน้นการปฏิบัติจริง โดยคู่มือฉบับนี้เหมาะสำหรับ ผู้ประกอบกิจการโรงงาน เจ้าหน้าที่ ผู้ตรวจสอบเอกชน และผู้ที่สนใจ สามารถนำไปประยุกต์ใช้และให้คำแนะนำผู้ประกอบการได้

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1 คำนิยามและความสำคัญของมอเตอร์	**1-1**
1.1. คำนิยาม	1-1
1.2. ความสำคัญของมอเตอร์	1-1
บทที่ 2 หลักการทำงานและชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้า	**2-1**
2.1. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (Direct Current Motor)	2-1
2.2. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternating Current Motor)	2-2
บทที่ 3 ส่วนประกอบของมอเตอร์ไฟฟ้า	**3-1**
3.1. ส่วนประกอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	3-1
3.2. ส่วนประกอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส	3-5
3.3. ส่วนประกอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส	3-11
บทที่ 4 ประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้า	**4-1**
บทที่ 5 ความแตกต่างระหว่างมอเตอร์ไฟฟ้าประสิทธิภาพสูงและมอเตอร์ไฟฟ้ามาตรฐานทั่วไป	**5-1**
บทที่ 6 การอนุรักษ์พลังงานและมาตรการที่เกี่ยวข้องมอเตอร์	**6-1**
6.1. การลดกำลังงานที่ต้องการใช้งานหรือโหลดทางกลให้ต่ำที่สุด	6-2
6.2. การติดตั้งอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบ (VSD)	6-2
6.3. การปรับความตึงของสายพาน	6-6
6.4. การใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูง	6-8
6.5. การลดขนาดมอเตอร์ให้เหมาะสม	6-11
6.6. ลดการเดินตัวเปล่าของมอเตอร์	6-13
6.7. การตรวจสอบและบำรุงรักษาเพื่อลดการสูญเสีย	6-14

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 2-1 มอเตอร์กระแสสลับแบบซิงโครนัส 2-2
รูปที่ 2-2 มอเตอร์กระแสสลับแบบเหนี่ยวนำ 2-3
รูปที่ 2-3 โรเตอร์แบบกรงกระรอก 2-5
รูปที่ 2-4 โรเตอร์แบบพันขดลวด 2-5
รูปที่ 3-1 โครงสร้างภายนอก และโครงสร้างภายในของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 3-1
รูปที่ 3-2 ขั้วแม่เหล็ก 3-2
รูปที่ 3-3 ขดลวดสนามแม่เหล็ก 3-2
รูปที่ 3-4 แปรงถ่านรูปแบบต่าง ๆ และลักษณะการติดตั้ง 3-3
รูปที่ 3-5 ตลับลูกปืนและปลอกทองเหลือง 3-3
รูปที่ 3-6 แกนเหล็กอาร์เมเจอร์ 3-4
รูปที่ 3-7 คอมมิวเตเตอร์รูปแบบต่าง ๆ 3-4
รูปที่ 3-8 การพันอาร์เมเจอร์ แบบแลป (Lap) และ เวฟ (Wave) 3-5
รูปที่ 3-9 โรเตอร์กรงกระรอก 3-5
รูปที่ 3-10 สเตเตอร์ 3-6
รูปที่ 3-11 ฝาครอบปิดหัว-ท้ายของมอเตอร์ 3-6
รูปที่ 3-12 ส่วนประกอบสวิตซ์แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง 3-7
รูปที่ 3-13 ส่วนประกอบคาปาซิเตอร์มอเตอร์ 3-8
รูปที่ 3-14 ส่วนประกอบหลักรีพัลชั่นมอเตอร์ 3-8
รูปที่ 3-15 ยูนิเวอร์แซลมอเตอร์ 3-9
รูปที่ 3-16 สเตเตอร์และขดลวดอาร์เมเจอร์ (โรเตอร์) ของยูนิเวอร์แซลมอเตอร์ 3-10
รูปที่ 3-17 เชดเดดโพลมอเตอร์ 3-10
รูปที่ 3-18 อินดักชั่นมอเตอร์ 3-11
รูปที่ 3-19 ซิงโครนัสมอเตอร์ 3-12
รูปที่ 4-1 การสูญเสียพลังงานในมอเตอร์ 4-1
รูปที่ 4-2 ความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพมอเตอร์ที่ภาระต่างๆ ของมอเตอร์ 4-3
รูปที่ 5-1 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับพิกัดมอเตอร์ ของมอเตอร์อินดักชั่นชนิด 3 เฟส แบบกรงกระรอก 5-3
รูปที่ 5-2 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับเปอร์เซ็นต์การใช้งานมอเตอร์ ของมอเตอร์อินดักชั่นกรงกระรอก ชนิด 3 เฟส. 5-3
รูปที่ 6-1 ใบพัด Cooling tower ก่อนและหลังปรับปรุง 6-2
รูปที่ 6-2 กราฟความสัมพันธ์ของแรงบิดที่ความเร็วรอบต่างๆ ของมอเตอร์มาตรฐานในการขับโหลดแบบแรงบิดไม่คงที่ 6-4
รูปที่ 6-3 กราฟความสัมพันธ์ของการประหยัดพลังงานในมอเตอร์ที่ค่าความเร็วรอบ และอัตราไหลต่างๆ 6-5
รูปที่ 6-4 ชุดโบลเวอร์ที่ควบคุมความเร็วรอบโดยใช้อินเวอร์เตอร์ 6-6

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 6-5 การตรวจปรับความตึงสายพาน 6-7
รูปที่ 6-6 การปรับความตึงของสายพานที่เหมาะสม 6-7
รูปที่ 6-7 การเปลี่ยนมอเตอร์ประสิทธิภาพสูง 6-9
รูปที่ 6-8 การลดขนาดมอเตอร์ปั๊มน้ำให้เหมาะสม 6-12
รูปที่ 6-9 การวัดค่ากำลังไฟฟ้ามอเตอร์ขณะเดินตัวเปล่า 6-13

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 4-1 แสดงการสูญเสียที่มีค่าคงที่ และการสูญเสียที่เปลี่ยนแปลงตามภาระของมอเตอร์.......................... 4-1
ตารางที่ 4-2 พิกัดกระแสไฟฟ้ามอเตอร์แบบเหนี่ยวนำ 1 เฟส และ 3 เฟส.. 4-3
ตารางที่ 5-1 เปรียบเทียบประสิทธิภาพมอเตอร์มาตรฐานกับมอเตอร์ประสิทธิภาพสูง.................................... 5-4
ตารางที่ 6-1 แนวทางในการลดการใช้พลังงานในมอเตอร์ 6-1
ตารางที่ 6-2 กฎของปั๊มน้ำ 6-3
ตารางที่ 6-3 กฎของพัดลม 6-4
ตารางที่ 6-4 ตัวอย่างการตั้งชั่วโมงทำงาน และลักษณะการทำงาน PM...6-14

บทที่ 1

บทที่ 1

คำนิยามและความสำคัญของมอเตอร์

1.1. คำนิยาม

มอเตอร์ไฟฟ้า หมายถึง เครื่องกลไฟฟ้าชนิดหนึ่งที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้ามาเป็นพลังงานกล ทำหน้าที่ในการขับเคลื่อนชิ้นงานต่างๆ ให้เคลื่อนไหว ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานให้เป็นเครื่องต้นกำลังและเป็นอุปกรณ์ควบคุมเครื่องจักรกลต่างๆ โดยมอเตอร์ประสิทธิภาพสูงเป็นการออกแบบและสร้างมอเตอร์ที่มีการสูญเสียพลังงานน้อยในระหว่างการทำงาน และมีประสิทธิภาพการแปลงพลังงานสูง ซึ่งส่งผลให้มีประสิทธิภาพการทำงานสูง โดยลดการสูญเสียพลังงานที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงพลังงานเป็นรูปแบบอื่นๆ เช่น ความร้อน หรือเสียงรบกวนในระหว่างการทำงาน

1.2. ความสำคัญของมอเตอร์

มอเตอร์เป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญสูงในระบบต่างๆ ในโรงงานและอาคาร มอเตอร์เป็นส่วนสำคัญของเครื่องจักรและอุปกรณ์อุตสาหกรรมที่ใช้ในกระบวนการผลิตและการทำงานอื่นๆ เช่น ระบบลำเลียงสินค้า การกวนผสม ปั๊มน้ำ ฯลฯ

ประสิทธิภาพของมอเตอร์ขึ้นอยู่กับค่าของการสูญเสียที่เกิดขึ้นในตัวมอเตอร์ มอเตอร์ที่มีประสิทธิภาพสูงจะต้องการกำลังไฟฟ้าป้อนเข้าน้อยกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับมอเตอร์ที่มีประสิทธิภาพต่ำที่ให้กำลังงานขาออกเท่ากัน มอเตอร์ที่มีประสิทธิภาพสูงสามารถลดการสูญเสียพลังงาน ได้ประมาณ 25-30 % ของการสูญเสียเดิม นอกจากประหยัดพลังงานแล้วมอเตอร์ประสิทธิภาพสูงยังมีข้อดีอื่นๆ อีกคือ เกิดความร้อนจากการทำงานน้อยกว่า อายุการใช้งานของฉนวน และลูกปืนยาวนานขึ้น การสั่นสะเทือนน้อยกว่า มีเสียงรบกวนน้อย และค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าดีขึ้น

บทที่ 2

บทที่ 2

หลักการทำงานและชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้า

มอเตอร์ไฟฟ้าหมุนได้โดยอาศัยหลักการเหนี่ยวนำทางแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งสามารถเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกล โดยมีส่วนประกอบหลัก 2 ส่วนคือ

สเตเตอร์ (Stator) เป็นส่วนที่อยู่กับที่ ทำด้วยวัสดุแม่เหล็กเป็นทรงกระบอกกลวง มีขดลวดทองแดงพันอยู่ในร่องสล็อต เมื่อขดลวดทองแดงที่พันอยู่กับสเตเตอร์มีกระแสไฟฟ้าสลับ (3 เฟส) ไหลผ่านจะเกิดสนามแม่เหล็กหมุนอยู่ในช่องอากาศรอบๆ แกนหมุน โดยความเร็วของสนามแม่เหล็กหมุนนี้ จะเรียกว่าความเร็วซิงโครนัส

โรเตอร์ (Rotor) เป็นส่วนที่หมุนได้ ทำด้วยวัสดุแม่เหล็กเป็นรูปทรงกระบอกตัน หมุนได้รอบแกนหมุนและโรเตอร์จะหมุนอยู่ภายในสเตเตอร์ การที่โรเตอร์หมุนได้เกิดจากสนามแม่เหล็กหมุนที่เกิดจากสเตเตอร์เหนี่ยวนำให้เกิดแรงดันและกระแสไฟฟ้าขึ้นในขดลวดโรเตอร์ โดยกระแสไฟฟ้านี้จะสร้างสนามแม่เหล็กที่โรเตอร์ ซึ่งเป็นผลให้เกิดแรงบิดจากการผลักกันของสนามแม่เหล็กระหว่างสเตเตอร์และโรเตอร์ทำให้มอเตอร์หมุนได้

การแบ่งชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้าสามารถแบ่งตามประเภทของกระแสไฟฟ้าได้ 2 ชนิด คือ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง และมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ โดยมีรายละเอียด ดังนี้

2.1. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (Direct Current Motor)

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง คือ มอเตอร์ที่ใช้กับไฟฟ้ากระแสตรง (Direct Current) ในการขับเคลื่อน สามารถปรับความเร็วรอบได้ง่าย มีแรงบิดเริ่มต้นสูง สามารถแบ่งออกเป็น 3 ชนิด คือ

2.1.1. มอเตอร์แบบอนุกรมหรือเรียกว่า ซีรีส์มอเตอร์ (Series Motor) ขดลวดสนามจะต่ออนุกรมกับขดลวดอาร์เมเจอร์ คุณสมบัติเฉพาะตัว คือ ให้แรงบิดที่สูงสุดในกลุ่มมอเตอร์กระแสตรงด้วยกัน แต่ความเร็วรอบจะไม่คงที่ เนื่องจากคุณสมบัติด้านแรงบิดที่สูงมาก จึงนิยมนำไปใช้ในงานที่ต้องการแรงบิดเริ่มหมุนสูง ๆ เช่น หัวรถจักร รถราง รถยนต์ที่ขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้า เครื่องมือไฟฟ้า เป็นต้น

2.1.2. มอเตอร์แบบขนานหรือเรียกว่า ชันท์มอเตอร์ (Shunt Motor) ขดลวดสนามต่อขนานกับขดลวดอาร์เมเจอร์ คุณสมบัติเฉพาะตัว คือ ให้ความเร็วรอบที่ค่อนข้างคงที่มาก แต่แรงบิดจะต่ำสุดในกลุ่มมอเตอร์กระแสตรงด้วยกัน เหมาะสำหรับใช้กับพัดลมเพราะพัดลมต้องการความเร็วคงที่ บางครั้งมีการใช้เป็นมอเตอร์สำหรับเครื่องเจา และเครื่องกลึง

2.1.3. มอเตอร์ไฟฟ้าแบบผสมหรือเรียกว่า คอมเปาวด์มอเตอร์ (Compound Motor) ขดลวดสนามมี 2 ชุด ชุดหนึ่งต่ออนุกรมกับขดลวดอาร์เมเจอร์ อีกชุดหนึ่งต่อขนานกับขดลวดอาร์เมเจอร์ ให้แรงบิดที่สูงกว่ามอเตอร์แบบขนาน และความเร็วรอบคงที่กว่ามอเตอร์แบบอนุกรม กล่าวคือ มีคุณสมบัติผสมระหว่างมอเตอร์แบบขนานและอนุกรม มักใช้เป็นมอเตอร์สำหรับงานหนักหรืองานที่ต้องการความเร็วที่อยู่ในค่าคงที่

เช่น ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมหรือเครื่องจักรกลต่างๆ ที่ใช้มอเตอร์รวมคุณลักษณะของชันท์มอเตอร์และซีรีส์มอเตอร์

2.2. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternating Current Motor)

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ สามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

2.2.1. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับแบบซิงโครนัส (Synchronous Motor)

มอเตอร์ชนิดนี้มีสเตเตอร์คล้ายคลึงกับสเตเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ และอาจใช้แทนกันได้ ส่วนโรเตอร์นั้นแตกต่างกันในด้านโครงสร้างโดยที่จะทำขึ้นเป็นขั้วแม่เหล็ก เมื่อสนามแม่เหล็กที่เกิดจากสเตเตอร์หมุนจะเกิดแรงแม่เหล็กไฟฟ้าขึ้นที่ขั้วแม่เหล็กของโรเตอร์ มีลักษณะคล้ายกับขั้วแม่เหล็กเสมือนหมุนรอบสเตเตอร์ และดูดขั้วแม่เหล็กที่โรเตอร์ให้หมุนตามไปด้วย โดยความเร็วของโรเตอร์สอดคล้อง (Synchronized) กับความเร็วของสนามแม่เหล็กหมุนของสเตเตอร์ แต่เนื่องจากความเร็วของสนามแม่เหล็กหมุนของสเตเตอร์ขึ้นอยู่กับความถี่ของแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนเข้าทางสเตเตอร์ และจำนวนขั้วแม่เหล็ก ดังสมการต่อไปนี้

$$n_s = \frac{120f}{p}$$

เมื่อ n_S = ความเร็วรอบสนามแม่เหล็กของสเตเตอร์ (รอบ/นาที)

f = ความถี่ของแรงดันไฟฟ้าป้อนเข้าสเตเตอร์ (Hz)

p = จำนวนขั้วแม่เหล็ก

ดังนั้นความเร็วรอบโรเตอร์ จะมีค่าเท่ากับความเร็วรอบสนามแม่เหล็กของสเตเตอร์ ซึ่งจะมีค่าคงที่เพราะความถี่ f และจำนวนขั้วแม่เหล็ก p มีค่าคงที่ มอเตอร์ไฟฟ้าชนิดซิงโครนัส จึงถือว่าเป็นมอเตอร์ชนิดความเร็วคงที่ไม่ว่าจะมีโหลดหรือภาระงานมาก หรือน้อย เนื่องจากตัวโรเตอร์ของมอเตอร์ชนิดซิงโครนัสมีราคาแพง จึงทำให้มอเตอร์ชนิดนี้มีราคาแพงกว่ามอเตอร์ชนิดเหนี่ยวนำมาก

รูปที่ 2-1 มอเตอร์กระแสสลับแบบซิงโครนัส

ที่มา: คู่มือ การบริหารจัดการพลังงานไฟฟ้า, กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน

2.2.2. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับแบบเหนี่ยวนำ (Induction Motor)

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับแบบเหนี่ยวนำ เป็นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับที่ใช้หลักการเหนี่ยวนำไฟฟ้าในขดลวด ด้วยไฟฟ้ากระแสสลับคล้ายกับหม้อแปลงไฟฟ้า ซึ่งมอเตอร์ในอาคารหรือโรงงานอุตสาหกรรมส่วนมากเป็นมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส เพราะมอเตอร์ชนิดนี้มีราคาถูกมากเมื่อเทียบกับมอเตอร์กระแสตรงและมอเตอร์แบบซิงโครนัส ต้องการการดูแลรักษาน้อยเพราะไม่มีแปรงถ่านและมีความเร็วรอบเกือบคงที่ กล่าวคือความเร็วที่ลดลงจากสภาพไม่มีโหลดจนกระทั่งขับโหลดเต็มที่เพียงไม่กี่เปอร์เซ็นต์ แต่มีข้อเสียดังนี้

1) ควบคุมความเร็วได้ยาก

2) ขณะมีโหลดน้อยจะทำงานที่ Power Factor ต่ำและล้าหลัง

3) กระแสไฟฟ้าเริ่มต้นหมุนสูงประมาณ 5 เท่าหรือ 7 เท่าของกระแสไฟฟ้าขณะขับโหลดเต็มที่ (หรือกระแสพิกัด)

รูปที่ 2-2 มอเตอร์กระแสสลับแบบเหนี่ยวนำ

ที่มา: คู่มือ การบริหารจัดการพลังงานไฟฟ้า, กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน

โรเตอร์ของมอเตอร์กระแสสลับแบบเหนี่ยวนำจะหมุนตามสนามแม่เหล็กหมุนจากสเตเตอร์ด้วยความเร็วที่ช้ากว่าความเร็วซิงโครนัส ถ้าความเร็วของโรเตอร์เท่ากับความเร็วของสนามแม่เหล็กหมุนก็จะไม่เกิดการเหนี่ยวนำไฟฟ้าในขดลวดหรือตัวนำที่โรเตอร์

ถ้า

S (Slip) = ความแตกต่างระหว่างความเร็วรอบของสนามแม่เหล็กที่สเตเตอร์กับความเร็วของโรเตอร์

n_s = ความเร็วรอบซิงโครนัสหรือความเร็วรอบสนามแม่เหล็กหมุนที่สเตเตอร์ (rpm)

n_r = ความเร็วรอบที่โรเตอร์ (rpm)

จะได้

$$S = \frac{n_s - n_r}{n_s} \times 100$$ หน่วยเป็น เปอร์เซ็นต์

หรือ

$$S = \frac{n_s - n_r}{n_s}$$ หน่วยเป็น ทศนิยมของ 1

หรือหาค่าความเร็วรอบที่โรเตอร์ได้จาก

$$n_r = (1-S)n_s$$ หน่วยเป็น rpm

มอเตอร์เหนี่ยวนำ สามารถแบ่งออกตามจำนวนเฟสของกระแสไฟฟ้าได้ ดังนี้

1) **มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับชนิด 1 เฟส** สามารถแยกย่อยได้เป็น 5 ประเภท ได้แก่

- **สปลิทเฟสมอเตอร์ (Split-phase motor)** การทำงานอาศัยหลักการเหนี่ยวนำทางแม่เหล็กไฟฟ้า โดยที่ขดรันและขดสตาร์ทที่วางทำมุมกัน 90 องศาทางไฟฟ้าเพื่อทำให้เกิดสนามแม่เหล็กหมุน (Rotating magnetic field) ไปเหนี่ยวนำให้เกิดกระแสไหลในขดลวดกรงกระรอก (Squirrel-cage winding) กระแสส่วนนี้จะสร้างสนามแม่เหล็กขึ้นไปผลักกับสนามแม่เหล็กที่สเตเตอร์ เกิดเป็นแรงบิดที่โรเตอร์ให้หมุน เมื่อโรเตอร์หมุนด้วยความเร็ว 75% ของความเร็วสูงสุดสวิตช์แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางจะตัดขดลวดสตาร์ทออก ส่วนขดรันจะทำงานตลอดตั้งแต่เริ่มเดินมอเตอร์จนหยุดหมุน เมื่อนำมอเตอร์นี้ไปใช้งานต้องให้หมุนตัวเปล่าก่อนแล้วจึงต่อโหลด

- **คาปาซิเตอร์มอเตอร์ (Capacitor motor)** มีลักษณะคล้ายสปลิทเฟสมอเตอร์มาก โดยต่างกันตรงที่มีคาปาซิเตอร์เพิ่มขึ้นมาทำให้มอเตอร์มีคุณสมบัติพิเศษกว่าสปลิทเฟสมอเตอร์คือมีแรงบิดขณะสตาร์ทสูงใช้กระแสขณะสตาร์ทน้อย

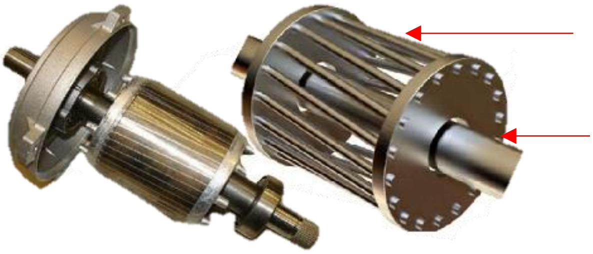
- **รีพัลชั่นมอเตอร์ (Repulsion motor)** การทำงานของมอเตอร์อาศัยสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นและอุปกรณ์แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางจะทำหน้าที่กดวงแหวนตัวนำ (Neck Lace) ให้ติดกับซี่คอมมิวเตเตอร์เหมือนกับลัดวงจรคอมมิวเตเตอร์ การลัดซี่คอมมิวเตเตอร์นั้น เพื่อให้ขณะที่มอเตอร์สตาร์ทไปแล้วที่ความเร็วประมาณ 75% ของความเร็วพิกัดของมอเตอร์อุปกรณ์แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางนี้จะทำงานโดยกดวงแหวนตัวนำลัดซี่คอมมิวเตเตอร์ ทำให้มอเตอร์หมุนรันไปแบบ อินดักชั่นเพราะขณะนี้โรเตอร์จะมีคุณสมบัติเหมือนโรเตอร์แบบกรงกระรอก รีพัลชั่นมอเตอร์บางชนิดจะมีตัวยกแปรงถ่านออกจากคอมมิวเตเตอร์ ในขณะที่อุปกรณ์แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางทำงานอีกด้วย

- **ยูนิเวอร์แซลมอเตอร์ (Universal motor)** การทำงานของยูนิเวอร์แซลมอเตอร์จะอาศัยการที่ขดอาร์เมเจอร์ (โรเตอร์) และขดลวดสนามแม่เหล็กที่ต่ออนุกรมกัน เมื่อจ่ายไฟฟ้าเข้าจะเกิดขั้วแม่เหล็กขึ้นที่ตัวอาร์เมเจอร์ และที่ขั้วสนามแม่เหล็ก ทำให้เกิดแรงผลักกันทำให้มอเตอร์หมุนไปได้

- **เชดเดดโพลมอเตอร์ (Shaded- pole motor)** การทำงานของเชดเดดโพลมอเตอร์จะอาศัยขดลวดช่วยหมุนคือลวดทองแดงเส้นใหญ่ที่พันอยู่กับขั้วสนามแม่เหล็กเรียกว่าเชดเดด (Shaded Coil) หรือขดลวดช่วยหมุน (Auxiliary Winding) เมื่อจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับเข้าขดลวดสเตเตอร์ของมอเตอร์จะเกิดเส้นแรงแม่เหล็กเคลื่อนที่ผ่านโรเตอร์ของมอเตอร์และมีสนามแม่เหล็กส่วนหนึ่งที่ผ่าน ขดลวดเชดเดดทำให้เกิดแรงแม่เหล็กบิดเบี้ยวไป การบิดเบี้ยวไปนี้ทำให้เกิดแรงบิดหมุนขนาดเล็กทำให้มอเตอร์หมุนได้

2) **มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับชนิด 3 เฟส** สามารถแยกตามลักษณะที่แตกต่างกันที่โครงสร้างของตัวโรเตอร์ได้ 2 แบบ ดังนี้

- **อินดักชันมอเตอร์ที่มีโรเตอร์กรงกระรอก (Squirrel-cage Induction Motor)** มีแท่งตัวนำ (Rotor Bar) คล้ายกรงกระรอกฝังอยู่ภายในโรเตอร์ ที่ปลายทั้งสองด้านของแท่งตัวนำถูกลัดวงจรด้วยตัวนำรูปวงแหวน (End Ring) ดังรูปที่ 2-3

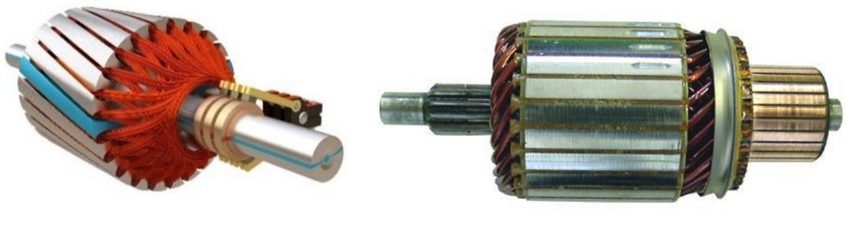


รูปที่ 2-3 โรเตอร์แบบกรงกระรอก

ที่มา: http://www.9engineer.com/index.php?m=article&a=print&article_id=2482

แท่งตัวนำของโรเตอร์มักมีลักษณะเฉียงเพราะจะทำให้โรเตอร์หมุนได้ราบเรียบ และลดปัญหาเสียงฮัมของแม่เหล็ก (Magnetic Hum) มีข้อดี คือ ทำง่าย มีราคาถูก มีข้อเสีย คือ ปรับความเร็วได้ยาก กระแสขณะเริ่มเดินเครื่องสูง

- **อินดักชันมอเตอร์ที่มีโรเตอร์พันขดลวด (Wound-Rotor Induction Motor)** โรเตอร์ของมอเตอร์ชนิดนี้จะแตกต่างกับแบบกรงกระรอก คือ มีขดลวดทองแดงพันรอบตัวโรเตอร์ ส่วนปลายของขดลวดนี้จะต่อกับวงแหวนที่มีแปรงถ่านกดอยู่ด้วยสปริง จึงสามารถต่อตัวต้านทานภายนอกอนุกรมกับโรเตอร์ได้ เมื่อเพิ่มค่าความต้านทานนี้ในขณะที่มอเตอร์เริ่มต้นหมุนจะทำให้กระแสไฟฟ้าเริ่มต้นหมุนลดลงและแรงบิดเริ่มต้นหมุนสูงขึ้น ต่อเมื่อมอเตอร์มีความเร็วเพิ่มขึ้น จะลดความต้านทานที่อนุกรมอยู่ลง เพื่อให้แรงบิดสูงสุดตลอดช่วงที่มีการเร่ง ถ้าความเร็วของมอเตอร์เหมาะสมกับการทำงานแล้วจึงปลดตัวต้านทานออกทั้งหมดโดยลัดวงจรที่แปรงถ่าน และในระหว่างที่มอเตอร์ทำงานสามารถปรับความเร็วรอบของมอเตอร์ได้ด้วยการเปลี่ยนแปลงความต้านทานที่อนุกรมกับขดลวดที่โรเตอร์ได้ ทั้งนี้ช่วงความเร็วที่ปรับได้ มีค่าประมาณ 50% ถึง 100% ของความเร็วซิงโครนัส



รูปที่ 2-4 โรเตอร์แบบพันขดลวด

ที่มา: http://research.rmu.ac.th/rdi-mis//upload/fullreport/1632636174.pdf

และ https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3647425

เนื่องจากมอเตอร์ชนิดนี้สามารถคงแรงบิดสูงสุดตลอดช่วงเวลาการเร่งได้ มีกระแสขณะเริ่มเดินน้อยกว่ามอเตอร์เหนี่ยวนำ และสามารถปรับความเร็วรอบได้บ้างจึงนิยมใช้กับโหลดที่มีความเฉื่อยขณะเริ่มต้นหมุนสูง หรือโหลดที่ต้องการปรับความเร็วรอบ

บทที่ 3

บทที่ 3

ส่วนประกอบของมอเตอร์ไฟฟ้า

3.1. ส่วนประกอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

โครงสร้างภายนอก โครงสร้างภายใน

รูปที่ 3-1 โครงสร้างภายนอก และโครงสร้างภายในของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

ที่มา: http://rms.pktc.ac.th/files/76384_18062313135103.pdf

โครงสร้างมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ประกอบไปด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนที่อยู่กับที่ (Stator) และส่วนที่เคลื่อนที่ (Rotor)

3.1.1 ส่วนที่อยู่กับที่ ประกอบด้วย

1) เปลือกหรือโครง (Frame or Yoke) ทำด้วยเหล็กหล่อ ม้วนเป็นรูปทรงกระบอก ทำหน้าที่ยึดขั้วแม่เหล็กและส่วนประกอบทั้งหมด และเป็นทางเดินของเส้นแรงแม่เหล็ก (Magnetic circuit)

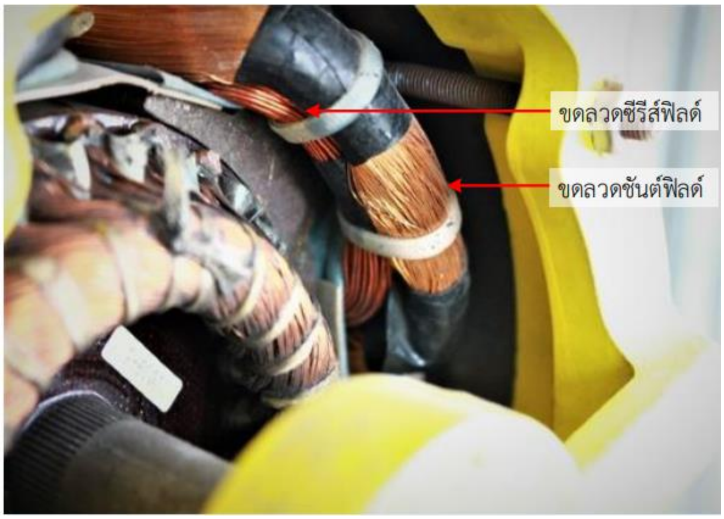
2) ขั้วแม่เหล็ก (Field pole) ทำจากแผ่นเหล็กบาง ๆ โดยแต่ละแผ่นเคลือบฉนวน อัดซ้อนกันเป็นแท่งขั้วแม่เหล็ก ยึดติดกับด้านในของโครงเหล็กด้วยสกรู ส่วนปลายที่ทำเป็นรูปโค้งเพื่อรับรูปทรงกลมของตัวโรเตอร์เรียกว่าขั้วแม่เหล็ก (Pole shoes) แต่มีมอเตอร์ขนาดเล็กบางชนิดจะหล่อขั้วแม่เหล็กเป็นเนื้อเหล็กผืนเดียวกับโครงมอเตอร์

รูปที่ 3-2 ขั้วแม่เหล็ก

ที่มา : https://www.indiamart.com/jinglecorporation/dc-motor-spares.html

และ http://www.ksf-kommutatoren.com/en/product/supplies/

3) ขดลวดสนามแม่เหล็ก (Field coil or Field winding) เป็นขดลวดตัวนำหุ้มฉนวนพันรอบขั้วแม่เหล็ก ทำหน้าที่สร้างเส้นแรงแม่เหล็กเมื่อได้รับกระแสไฟฟ้ากระตุ้น ขดลวดสนามแม่เหล็กมี 2 ชนิด คือ ขดลวดชันต์ฟิลด์ (Shunt field) พันด้วยลวดเส้นเล็กจะมีค่าความต้านทานสูง และขดลวดซีรีส์ฟิลด์ (Series field) พันด้วยขดลวดเส้นใหญ่จะมีค่าความต้านทานต่ำ



รูปที่ 3-3 ขดลวดสนามแม่เหล็ก

ที่มา : https://www.indiamart.com/proddetail/copper-mixer-motor-field-coil13568388373.html

4) แปรงถ่านและชุดยึดแปรงถ่าน (Brush and Brush Holder) แปรงถ่านทำจากคาร์บอนและแกรไฟต์ อัดเป็นแท่งสี่เหลี่ยมผืนผ้า แปรงถ่านมีเส้นลวดตัวนำทองแดงฝอยตีเกลียวเพื่อต่อไปยังวงจรภายนอก แปรงถ่านจะบรรจุอยู่ในชุดยึดแปรงถ่าน มีสปริงกดแปรงถ่านให้หน้าสัมผัสของแปรงถ่านกับซี่คอมมิวเตเตอร์ตลอดเวลาในขณะที่อาร์เมเจอร์หมุน ทำหน้าที่เชื่อมต่อวงจรขดลวดอาร์เมเจอร์จากคอมมิวเตเตอร์ไปยังวงจรภายนอก

รูปที่ 3-4 แปรงถ่านรูปแบบต่าง ๆ และลักษณะการติดตั้ง

ที่มา : http://www.carbonbrushmanufacturers.com/products/ และ https://www.groschopp.com/accessory/brushes/

5) ตลับลูกปืนหรือปลอกทองเหลือง (Bearing or Bush) ตลับลูกปืนจะยึดติดอยู่ที่ฝาครอบทั้ง 2 ด้านของมอเตอร์ ทำหน้าที่เป็นตัวรองรับน้ำหนักจากเพลาส่วนหมุนกับฝาครอบด้านในและลดแรงเสียดทานที่เพลาขณะที่อาร์เมเจอร์หมุน

ตลับลูกปืน

ปลอกทองเหลือง

รูปที่ 3-5 ตลับลูกปืนและปลอกทองเหลือง

ที่มา : https://www.amazon.com/SKF-Universal และ https://www.indiamart.com/proddetail/bush-bearing-11160471112.html

6) ฝาปิดหัวท้ายหรือฝาครอบ (End plate) ทำจากเหล็กหล่อเช่นเดียวกับโครงมอเตอร์ ทำหน้าที่บังคับให้อาร์เมเจอร์หมุนในแนวศูนย์กลางของสนามแม่เหล็กและอยู่ในศูนย์กลางของมอเตอร์

3.1.2 ส่วนที่เคลื่อนที่ ประกอบด้วย

1) แกนเพลา (Shaft) เป็นแกนเหล็กกลมยาว สำหรับสวมแกนเหล็กอาร์เมเจอร์และยึดคอมมิวเตเตอร์ประกอบเป็นตัวโรเตอร์ แกนเพลาจะวางอยู่บนตลับลูกปืนเพื่อบังคับให้หมุนอยู่ในแนวศูนย์กลางของมอเตอร์

2) แกนเหล็กอาร์เมเจอร์ (Armature core) ทำด้วยแผ่นเหล็กเคลือบฉนวน อัดซ้อนกันเป็นรูปทรงกระบอก ผิวด้านนอกโดยรอบทำเป็นร่องสำหรับบรรจุขดลวดอาร์เมเจอร์ และที่แกนเหล็กอาร์เมเจอร์จะเจาะรูไว้ด้วยเพื่อช่วยในการระบายความร้อนจากการสูญเสีย

รูปที่ 3-6 แกนเหล็กอาร์เมเจอร์

ที่มา : http://motorcorechina.it/3-3-yamaha-dc-motor-core.html

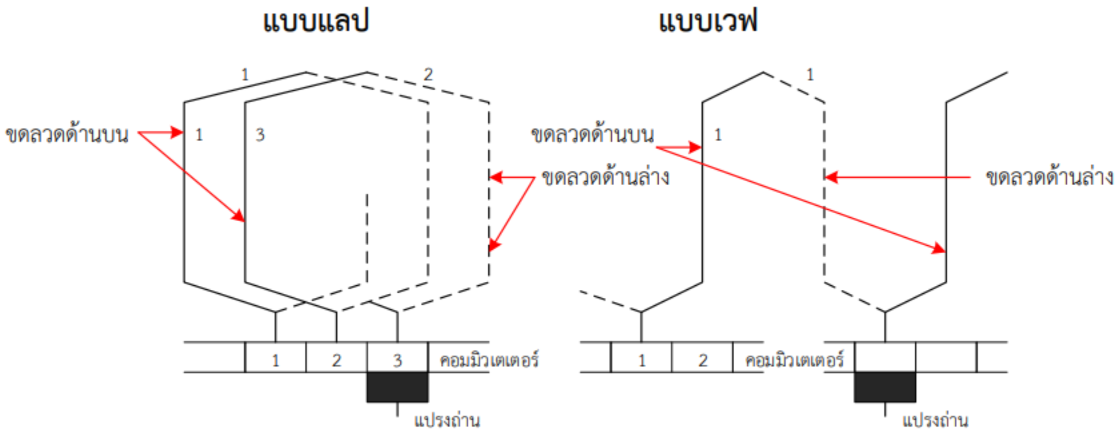
3) คอมมิวเตเตอร์ (Commutator) ประกอบด้วยแท่งทองแดงหลาย ๆ ซี่อัดเข้าด้วยกันเป็นวงแหวนทรงกระบอกสวมติดไว้บนเพลาอันเดียวกับแกนเหล็กอาร์เมเจอร์ ระหว่างแท่งทองแดงแต่ละซี่จะคั่นด้วยฉนวนไมก้า ส่วนหัวซี่ของคอมมิวเตเตอร์จะมีร่องสำหรับใส่ปลายสายของขดลวดอาร์เมเจอร์

คอมมิวเตเตอร์ทำหน้าที่เรียงไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง และนำกระแสไฟฟ้าจากแปรงถ่านเข้าไปยังขดลวดอาร์เมเจอร์

รูปที่ 3-7 คอมมิวเตเตอร์รูปแบบต่าง ๆ

ที่มา : http://www.cebes.cz/o-nas/

4) ขดลวดอาร์เมเจอร์ (Armature or Armature winding) เป็นขดลวดทองแดงเคลือบฉนวนที่พันและบรรจุลงในร่องของแกนเหล็กอาร์เมเจอร์ ทำหน้าที่สร้างเส้นแรงแม่เหล็กในอาร์เมเจอร์เมื่อได้รับกระแสไฟฟ้ากระตุ้น โดยมีการพันแบบแลป (Lap) หรือแบบเวฟ (Wave) ขึ้นอยู่กับการออกแบบมอเตอร์ชนิดนั้น ๆ ปลายของขดลวดจะถูกนำไปเชื่อมต่อเข้ากับซี่คอมมิวเตเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 3-8



รูปที่ 3-8 การพันอาร์เมเจอร์ แบบแลป (Lap) และ เวฟ (Wave)

ที่มา: http://rms.pktc.ac.th/files/76384_18062313135103.pdf

3.2. ส่วนประกอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส

3.2.1 สปลิทเฟสมอเตอร์ (Split-phase motor)

1) โรเตอร์ (Rotor) ทำด้วยแผ่นเหล็กบางๆ (Laminated) อัดซ้อนกันเป็นแกนและมีเพลาร้อยทะลุเหล็กบางๆ เพื่อยึดให้แน่นรอบโรเตอร์จะมีร่องไปตามทางยาวในร่องนี้จะมีทองแดงหรืออลูมิเนียมเส้นใหญ่ ฝังอยู่โดยรอบปลายของทองแดงหรืออลูมิเนียมนี้จะเชื่อมติดอยู่กับวงแหวนทองแดงหรืออลูมิเนียม ซึ่งมีลักษณะคล้ายกรงกระรอกจึงเรียกชื่อว่าโรเตอร์กรงกระรอก (Squirrel cage rotor)

รูปที่ 3-9 โรเตอร์กรงกระรอก

ที่มา: https://en.wikipedia.org/wiki/File:Wirnik_by_Zureks.jpg

2) สเตเตอร์ (Stator) หรือเรียกว่าโครงสร้างสนามแม่เหล็กซึ่งประกอบด้วยแผ่นเหล็กบางๆ อัดแน่น มีร่องสำเร็จไว้ใส่ขดลวดเรียกว่าช่องสลอต (slot) อัดเป็นปึกแผ่น อยู่ภายในกรอบโครง (Frame) ซึ่งเฟรมทำมาจากเหล็กหล่อ (Cast iron) หรือเหล็กเหนียว (Steel) ที่สเตเตอร์ของสปลิทเฟสมอเตอร์จะมีขดลวดพันอยู่ 2 ชุด คือขดรันหรือขดเมน (Running Winding หรือ Main Winding) พันด้วยลวดเส้นใหญ่จำนวนรอบมาก ขดลวดรันจะมีไฟฟ้าไหลผ่านอยู่ตลอดเวลา ไม่ว่าจะเป็นการเริ่มสตาร์ทหรือทำงานปกติ ขดลวดชุดที่สองสำหรับเริ่มหมุนหรือขดสตาร์ต (Starting winding) พันด้วยลวดเส้นเล็กและจำนวนรอบน้อยกว่าขดรันขดลวดสตาร์ทจะต่ออนุกรมอยู่กับสวิตช์แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางแล้วจึงนำไปต่อขนานกับขดรัน

รูปที่ 3-10 สเตเตอร์

ที่มา: https://www.marposs.com/eng/application/stator

3) ฝาครอบ ของมอเตอร์ทั้งสองข้างส่วนใหญ่ทำมาจากเหล็กหล่อ หรือเหล็กเหนียวทั้งสองข้างจะถูกยึดด้วยสลักเกลียวให้แน่นและยังมีแบริ่งแบบตลับลูกปืน (Ball bearing) สำหรับรองเพลาในการหมุนของโรเตอร์ให้ตรงแนวศูนย์กลางไม่เกิดการเสียดสีกับสเตเตอร์ และที่ฝาปิดอีกด้านหนึ่งจะมีส่วนประกอบของสวิทช์แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางอยู่ในส่วนที่เป็นหน้าสัมผัสที่อยู่กับที่

รูปที่ 3-11 ฝาครอบปิดหัว-ท้ายของมอเตอร์

ที่มา: https://th.union-machining.com/aluminum-die-casting/aluminum-electric-motor-cover-die-casting.html

4) สวิตช์แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal switch) ทำหน้าที่ตัดวงจรสตาร์ทหรือเรียกว่าสวิทช์ตัดวงจรสตาร์ท สวิตช์แรงเหวี่ยงนี้ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วน คือส่วนที่อยู่กับที่ (Stationary part) จะประกอบติดอยู่กับฝาปิดหัวท้ายของมอเตอร์ซึ่งเป็นส่วนของหน้าสัมผัสหรือหน้าทองขาวอยู่ 2 อัน และส่วนที่หมุน (Rotating part) เป็น ส่วนที่ติดอยู่กับเพลาของโรเตอร์ การทำงานของสวิทช์หนีศูนย์กลาง เมื่อความเร็วรอบของมอเตอร์ได้ 75% ของความเร็วรอบสูงสุดของมอเตอร์จะทำให้ส่วนที่ติดอยู่กับแกนเพลาของโรเตอร์ผลักดันส่วนที่ติดตั้งอยู่กับฝาของมอเตอร์ทำให้หน้าสัมผัสแยกออกจากกันตัดวงจรขดสตาร์อย่างอัตโนมัติ

สวิตช์แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางส่วนเคลื่อนที่ได้

สวิตช์แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางส่วนอยู่กับที่

รูปที่ 3-12 ส่วนประกอบสวิตช์แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง

ที่มา: https://www.utmel.com/blog/categories/switches/introduction-to-centrifugal-switch

3.2.2. คาปาซิเตอร์มอเตอร์ (Capacitor motor)

คาปาซิเตอร์มอเตอร์เป็นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟสที่มีลักษณะคล้ายสปลิทเฟสมอเตอร์มาก โดยต่างกันตรงที่มีคาปาซิเตอร์เพิ่มขึ้นมาทำให้มอเตอร์มีคุณสมบัติพิเศษกว่าสปลิทเฟสมอเตอร์คือมีแรงบิดขณะสตาร์ทสูงใช้กระแสขณะสตาร์ทน้อย มอเตอร์ชนิดนี้มีขนาดตั้งแต่ 1/20 แรงม้า ถึง 10 แรงม้า มอเตอร์ชนิดนี้นิยมใช้งานเกี่ยวกับ ปั๊มน้ำ เครื่องอัดลม ตู้แช่ ตู้เย็น โครงสร้างของคาปาซิเตอร์มอเตอร์ มีส่วนประกอบส่วนใหญ่เหมือนกับแบบสปลิทเฟสเกือบทุกอย่าง คือ

1) โรเตอร์ เป็นแบบกรงกระรอก

2) สเตเตอร์ประกอบด้วยขดลวด 2 ชุด คือ ชุดสตาร์ทและชุดรัน

3) ฝาปิดหัวท้ายประกอบด้วย ปลอกทองเหลือง (Bush) หรือตลับลูกปืน (Ball bearing) สำหรับรองรับเพลา

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

โรเตอร์แบบกรงกระรอก

ที่มา: https://en.wikipedia.org/wiki/File:Wirnik_by_Zureks.jpg

สเตเตอร์

ที่มา: https://www.marposs.com/eng/application/stator

ฝาปิดหัวท้าย

ที่มา: https://th.union-machining.com/aluminum-die-casting/aluminum-electric-motor-cover-die-casting.html

คาปาซิเตอร์หรือคอนเดนเซอร์

ที่มา: http://www.9engineer.com/index.php?m=article&a=show&article_id=2483

รูปที่ 3-13 ส่วนประกอบคาปาซิเตอร์มอเตอร์

3.2.3. รีพัลชั่นมอเตอร์ (Repulsion motor)

รีพัลชั่นมอเตอร์ เป็นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส มีขนาดตั้งแต่ 1/10 แรงม้า ถึง 20 แรงม้า มีคุณสมบัติพิเศษ คือ มีแรงบิดเริ่มหมุนสูง (High Staring Torque) และมีความเร็วคงที่ (Constant Speed) จึงถูกนำไปใช้กับงานที่ต้องการแรงบิดเริ่มหมุนสูง และมีโหลดต่อไว้ขณะที่เริ่มหมุน เช่น ปั๊มลม ปั๊มน้ำขนาดใหญ่ เป็นต้น

โครงสร้างที่สำคัญของรีพัลชั่นมอเตอร์ ประกอบด้วย 5 ส่วนสำคัญ คือ

1) สเตเตอร์ (Stator) มีขดลวดพันอยู่เพียงชุดเดียวเหมือนกับขดรันของสปลิทเฟสมอเตอร์

2) โรเตอร์ (Rotor) โรเตอร์ตัวหมุนของรีพัลชั่นมอเตอร์มีขดลวดพันอยู่ในร่อง (Slots) และปลายของขดลวดจะไปต่อตรงที่ขั้วคอมมิวเตเตอร์

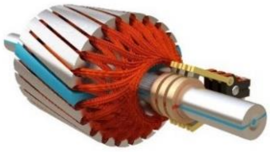
3) แปรงถ่านและซองแปรงถ่าน (Brush and Brush Holder) แปรงถ่านทำจากแท่งคาร์บอนมีสองอันต่อด้วยสายตัวนำถึงกัน วางอยู่บนซองแปรงถ่านและมีสปริงกดเหมือนกับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

4) ฝาปิดหัวท้าย (End Plate)

5) อุปกรณ์แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal Switch)

สเตเตอร์

ที่มา: https://www.marposs.com/eng/application/stator



โรเตอร์

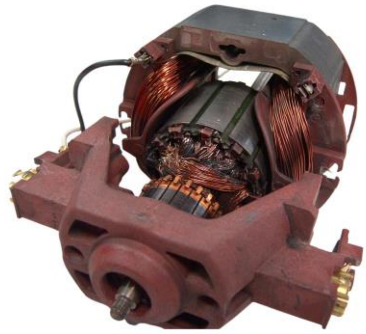
ที่มา: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3647425

แปรงถ่านและซองแปรงถ่าน

ที่มา: https://www.sgb.co.th/the-carbon-brush-060-090-160.html

รูปที่ 3-14 ส่วนประกอบหลักรีพัลชั่นมอเตอร์

3.2.4. ยูนิเวอร์แซลมอเตอร์ (Universal motor)



รูปที่ 3-15 ยูนิเวอร์แซลมอเตอร์

ที่มา: https://en.wikipedia.org/wiki/Universal_motor

เป็นมอเตอร์ขนาดเล็กมีขนาดกำลังไฟฟ้าตั้งแต่ 1/200 แรงม้าถึง 1/30 แรงม้า นำไปใช้ได้กับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงและใช้ได้กับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับชนิด 1 เฟส มอเตอร์ชนิดนี้มีคุณสมบัติที่โดดเด่น คือ ให้แรงบิดเริ่มหมุนสูงนำไปปรับความเร็วได้ นิยมนำไปใช้เป็นตัวขับเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน เช่น เครื่องบดและผสมอาหาร มีดโกนหนวดไฟฟ้า เครื่องนวดไฟฟ้า มอเตอร์จักรเย็บผ้า สว่านไฟฟ้า เป็นต้น โครงสร้างของมอเตอร์ประกอบด้วย

1) สเตเตอร์ ซึ่งเป็นขั้วแม่เหล็กแบบยืน (Salient Pole) ทำจากเหล็กแผ่นบางๆ อัดเรียงกันด้วยหมุดย้ำส่วนมากจะทำเป็นชนิด 2 ขั้ว ที่แกนเหล็กสเตเตอร์มีขดลวดทองแดงพันไว้ เพื่อทำให้เกิดสนามแม่เหล็กเมื่อมีกระแสไหลผ่านขดลวด

2) ขดลวดอาร์เมเจอร์ (โรเตอร์) เป็นส่วนที่หมุนทำจากเหล็กแผ่นบางๆ อัดเรียงติดกันแน่นเข้ากับเพลาและที่ผิวด้านนอกทำเป็นสลอตไปตามทางยาวไว้โดยรอบ อาจเป็นแบบสลอตตรงหรือสลอตเฉียง และที่ปลายด้านหนึ่งจะมีคอมมิเตเตอร์ติดตั้งอยู่ ส่วนภายในสลอตของอาร์เมเจอร์จะพันไว้ด้วยขดลวดทองแดงและปลายของขดลวดจะต่อเข้ากับซี่ของคอมมิเตเตอร์

3) คอมมิวเตเตอร์ ทำหน้าที่เป็นทางผ่านของกระแสไฟฟ้าทีมาจากแปรงถ่านเข้าไปยังขดลวดอาร์เมเจอร์ ประกอบด้วยซี่ทองแดงหลายๆ ซี่วางเรียงเข้าด้วยกันเป็นรูปทรงกระบอก และมีฉนวนไมก้าคั่นระหว่างซี่ทองแดงแต่ละซี่

4) ฝาปิดหัวท้าย ทำจากเหล็กเหนียวยึดเข้ากับโครงด้วยสลักเกลียว ฝาปิดหัวท้ายนี้เป็นตัวยึดส่วนที่หมุนให้เคลื่อนที่อยู่ในแนวศูนย์กลาง และเป็นที่ติดตั้งแบริ่งที่รองรับเพลาอาร์มเจอร์ และฝาปิดด้านหนึ่งจะติดตั้งซองแปรงถ่าน 2 ชุด

5) แปรงถ่าน ทำจากผงกราไฟต์ มีหน้าที่นำกระแสไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายภายนอกเข้าคอมมิวเตเตอร์ แปรงถ่านนี้จะบรรจุอยู่ในซองอย่างเหมาะสม

สเตเตอร์ ขดลวดอาร์เมเจอร์ (โรเตอร์)

รูปที่ 3-16 สเตเตอร์และขดลวดอาร์เมเจอร์ (โรเตอร์) ของยูนิเวอร์แซลมอเตอร์

ที่มา: http://9engineer.com/index.php?m=article&a=show&article_id=2485

3.2.5. เชดเดดโพลมอเตอร์ (Shaded-pole motor)

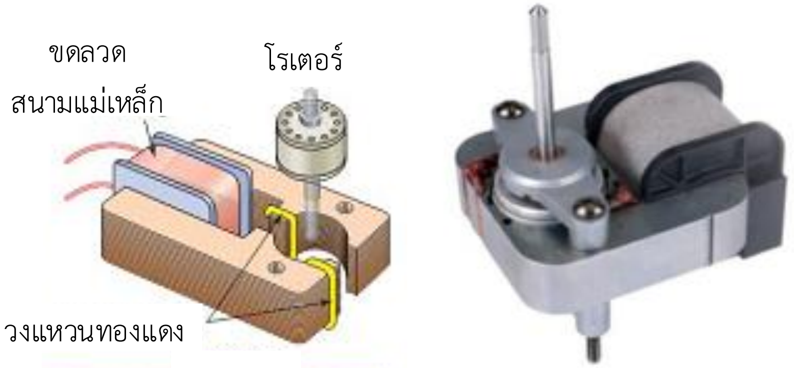
เชดเดดโพลมอเตอร์เป็นมอเตอร์กระแสสลับ 1 เฟส มีขนาดเล็กที่สุดมีแรงบิดเริ่มหมุนต่ำมาก นำไปใช้งานได้กับเครื่องใช้ไฟฟ้าขนาดเล็ก ๆ เช่น ไดร์เป่าผม พัดลมขนาดเล็ก โครงสร้างของมอเตอร์ประกอบด้วย

1) ขดลวดสนามแม่เหล็ก จะพันอยู่รอบ ๆ แกนของตัวสเตเตอร์

2) โรเตอร์ (ตัวหมุน) มีลักษณะเป็นโรเตอร์ แบบกรงกระรอก

3) สเตเตอร์ เป็นแผ่นเหล็กบางวางซ้อนกัน บริเวณขั้วสนามแม่เหล็กแต่ละด้านแบ่ง เป็น 2 ส่วน ส่วนที่เล็กกว่าจะมีวงแหวนทองแดงพันอยู่รอบ ๆ

4) วงแหวนทองแดง (Shaded Coil) หรือขดลวดช่วยหมุน (Auxiliary Winding)



รูปที่ 3-17 เชดเดดโพลมอเตอร์

ที่มา: https://www.ermec.es/Moteurs/Johnson-Motion/AC-Motors-Johnson

3.3. ส่วนประกอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส สามารถแบ่งออกตามโครงสร้างและหลักการทำงานของมอเตอร์ได้ 2 แบบ คือ

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

3.3.1. อินดักชั่นมอเตอร์ (Induction motor)

รูปที่ 3-18 อินดักชั่นมอเตอร์

ที่มา: https://www.indiamart.com/proddetail/s3-s4-duty-motors-18611292148.html

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส มีคุณสมบัติที่ดี คือมีความเร็วรอบคงที่เนื่องจากความเร็วรอบอินดักชันมอเตอร์ขึ้นอยู่กับความถี่ (Frequency) ของแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ มีราคาถูก โครงสร้างไม่ซับซ้อน สะดวกในการบำรุงรักษาเพราะไม่มีคอมมิวเตเตอร์และแปรงถ่านเหมือนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง เมื่อใช้ร่วมกับเครื่องควบคุมความเร็วแบบอินเวอร์เตอร์ (Inverter) สามารถควบคุมความเร็ว (Speed) ได้ตั้งแต่ศูนย์จนถึงความเร็วตามพิกัดของมอเตอร์ นิยมใช้กันมาก เป็นต้นกำลังในโรงงานอุตสาหกรรม ขับเคลื่อนลิฟท์ ขับเคลื่อนสายพานลำเลียง ขับเคลื่อนเครื่องจักรไฟฟ้า เช่น เครื่องไส เครื่องกลึงมอเตอร์ อินดักชั่นมี 2 แบบ แบ่งตามลักษณะตัวหมุนคือ

- อินดักชันมอเตอร์ที่มีโรเตอร์แบบกรงกระรอก (Squirrel Cage Induction Motor) อินดักชันมอเตอร์แบบนี้ ตัวโรเตอร์จะมีโครงสร้างแบบกรงกระรอกเหมือนกับโรเตอร์ของสปลิทเฟสมอเตอร์
- อินดักชันมอเตอร์ที่มีโรเตอร์แบบขดลวด (Wound Rotor Induction Motors) อินดักชันมอเตอร์ชนิดนี้ตัว โรเตอร์จะทำจากเหล็กแผ่นบางๆอัดซ้อนกันเป็นตัวทุ่นคล้ายกับอาร์เมเจอร์ ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงมีร่องสำหรับวางขดลวดของตัวโรเตอร์เป็นขดลวด 3 ชุด สำหรับสร้างขั้วแม่เหล็ก 3 เฟส เช่นกัน ปลายของขดลวดทั้ง 3 ชุด ต่อกับสลิปริง (Slip Ring) จำนวน 3 อัน สำหรับเป็นทางให้กระแสไฟฟ้าครบวงจรทั้ง 3 เฟส การทำงานของอินดักชันมอเตอร์เมื่อจ่ายไฟฟ้าสลับ 3 เฟส ให้ที่ขดลวดทั้ง 3 ของตัวสเตเตอร์จะเกิดสนามแม่เหล็กหมุนรอบ ๆ ตัวสเตเตอร์ ทำให้โรเตอร์ ได้รับการเหนี่ยวนำทำให้เกิดขั้วแม่เหล็กที่

ตัวโรเตอร์และขั้วแม่เหล็กนี้จะพยายามดึงดูดกับสนามแม่เหล็กที่หมุนอยู่รอบ ๆ ทำให้มอเตอร์ของอินดักชันมอเตอร์หมุนไปได้ความเร็วของสนามแม่เหล็กหมุนที่ตัวสเตเตอร์ซึ่งจะคงที่ตามความถี่ของไฟฟ้ากระแสสลับ ดังนั้น โรเตอร์ของอินดักชั่นของมอเตอร์จึงหมุนตามสนามหมุนดังกล่าวไปด้วยความเร็วเท่ากับความเร็วของสนามแม่เหล็กหมุน

3.3.2. 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

รูปที่ 3-19 ซิงโครนัสมอเตอร์

ที่มา: https://thai.alibaba.com/p-detail/TYCP280S1-8-1600739944094.html?spm=a2700.details.0.0.1e851a5a7CslrH

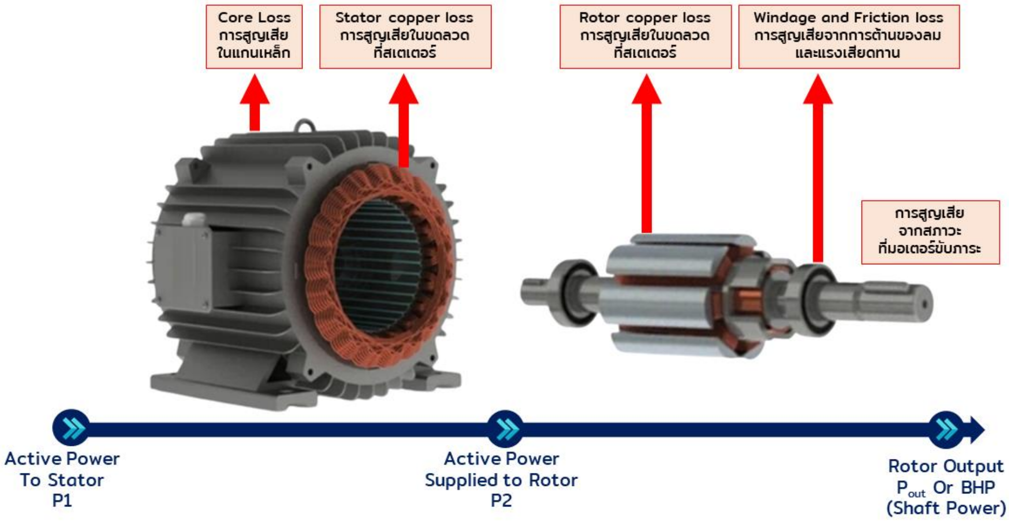
1) สเตเตอร์ (Stator) มีร่องสำหรับพันขดลวดจำนวน 3 ชุด เฟสละ 1 ชุด เมื่อจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส ให้กับสเตเตอร์จะเกิดสนามแม่เหล็กหมุนขึ้นเหมือนสนามแม่เหล็กหมุนของอินดักชันมอเตอร์

2) โรเตอร์ (Rotor) เป็นแบบขั้วแม่เหล็กยื่น (Salient Poles) และมีขดลวดพันข้างๆ ขั้วแม่เหล็กยื่นเหล่านั้นขดลวดสนามแม่เหล็กที่พันรอบขั้วแม่เหล็กยื่นต่อกับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงภายนอก เพื่อสร้างขั้วแม่เหล็กขึ้นที่ตัวโรเตอร์การทำงานของซิงโครนัสมอเตอร์เมื่อจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส ให้กับสเตเตอร์ของซิงโครนัสมอเตอร์จะเกิดสนามแม่เหล็กหมุนเนื่องจาก โรเตอร์ของซิงโครนัสมอเตอร์เป็นแบบขั้วแม่เหล็กยื่น และมีขดลวด สนามแม่เหล็กพันอยู่รอบ ๆ เมื่อจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงให้กับโรเตอร์จะทำให้เกิดขั้วแม่เหล็กขึ้นที่โรเตอร์ขั้วแม่เหล็กนี้จะเกาะตามการหมุนของสนามหมุนของสเตเตอร์ ทำให้มอเตอร์หมุนไปด้วยความเร็วเท่ากับความเร็วของสนามแม่เหล็กที่สเตเตอร์

บทที่ 4

บทที่ 4
ประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้า

ค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์คืออัตราส่วนระหว่างกำลังงานขาออก และกำลังไฟฟ้าป้อนเข้า โดยค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้าขึ้นอยู่กับค่าของการสูญเสียที่เกิดขึ้นในตัวมอเตอร์ โดยทั่วไปการสูญเสียในมอเตอร์เกิดจากการสูญเสียทางไฟฟ้า (Electrical loss) การสูญเสียจากภาระการใช้งาน (Stray loss) ซึ่งแบ่งเป็นการสูญเสียที่มีค่าคงที่ และการสูญเสียที่เปลี่ยนแปลงตามภาระของมอเตอร์ แสดงดังตารางที่ 4-1 โดยทั่วไปผู้ผลิตมอเตอร์จะออกแบบและเลือกใช้วัสดุในการผลิตที่มีค่าความสูญเสียน้อย เช่น ขวดลวด แกนเหล็กรวมไปจนถึงพัดลมระบายความร้อนเพื่อให้มอเตอร์นั้นมีประสิทธิภาพที่สูงขึ้น มอเตอร์ที่มีค่าประสิทธิภาพสูงกว่าจะใช้กำลังไฟฟ้าป้อนเข้าน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับมอเตอร์ ที่มีประสิทธิภาพต่ำที่สภาวะการทำงานเดียวกัน



รูปที่ 4-1 การสูญเสียพลังงานในมอเตอร์

ตารางที่ 4-1 แสดงการสูญเสียที่มีค่าคงที่ และการสูญเสียที่เปลี่ยนแปลงตามภาระของมอเตอร์

การสูญเสียที่มีค่าคงที่	**การสูญเสียที่เปลี่ยนแปลงตามภาระของมอเตอร์**
การสูญเสียที่แกนเหล็ก (Core loss) เกิดจากพลังงานที่ใช้ในการเปลี่ยนทิศทางของสนามแม่เหล็กในแกนเหล็ก (Hysteresis loss) รวมทั้งการสูญเสียที่เกิดจากกระแสไหลวนในแกนเหล็ก (Eddy loss)	กระแสไหลวนในแกนเหล็กที่โรเตอร์ขณะที่มีภาระ มีค่าการสูญเสียที่เพิ่มขึ้นตามขนาดของภาระ
การสูญเสียจากแรงลมและแรงเสียดทาน (Windage and Friction loss) เกิดจากแรงเสียดทานในตลับลูกปืนและแรงต้านทานของครีบระบายอากาศที่ตัวมอเตอร์	กระแสไฟฟ้าที่ไหลในขดลวดที่สเตเตอร์ มีค่าการสูญเสียที่เพิ่มขึ้นตามขนาดของภาระ

การสูญเสียที่มีค่าคงที่	การสูญเสียที่เปลี่ยนแปลงตามภาระของมอเตอร์
การสูญเสียที่สเตเตอร์ (Stator loss) อยู่ในรูปของความร้อนที่เกิดจากกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านขดลวดที่มีความต้านทานอยู่ภายใน	ค่าการสูญเสียจากค่ากระแสฮาร์มอนิกในตัวนำของโรเตอร์ขณะที่มีภาระ มีค่าการสูญเสียที่เพิ่มขึ้นตามขนาดของภาระ
การสูญเสียที่โรเตอร์ (Rotor loss) อยู่ในรูปความร้อนเช่นเดียวกับสเตเตอร์แต่เกิดที่ขดลวดในโรเตอร์	ค่าสนามแม่เหล็กรั่วไหลที่เกิดจากกระแสไฟฟ้าขณะที่มีภาระ มีค่าการสูญเสียที่เพิ่มขึ้นตามขนาดของภาระ

ค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์ คือ อัตราส่วนระหว่างกำลังงานขาออก (Output Power) และกำลังไฟฟ้าป้อนเข้า (Input Power) โดย

กำลังงานขาออก (Output Power) คือ กำลังงานที่มอเตอร์สามารถทำได้

กำลังไฟฟ้าป้อนเข้า (Input Power) คือ กำลังไฟฟ้าที่มอเตอร์จะต้องใช้เพื่อทำให้เกิดกำลังงานนั้นๆ

ค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์มีความสัมพันธ์ตามสมการ ดังนี้

$$\text{ประสิทธิภาพ } (\%) = \frac{746 \text{ x แรงม้าขาออก(HP)}}{\text{กำลังไฟฟ้าป้อนเข้า (วัตต์)}} \text{ x100}$$

$$= \frac{\text{กำลังงานขาออก (วัตต์)}}{\text{กำลังไฟฟ้าป้อนเข้า (วัตต์)}} \text{ x100}$$

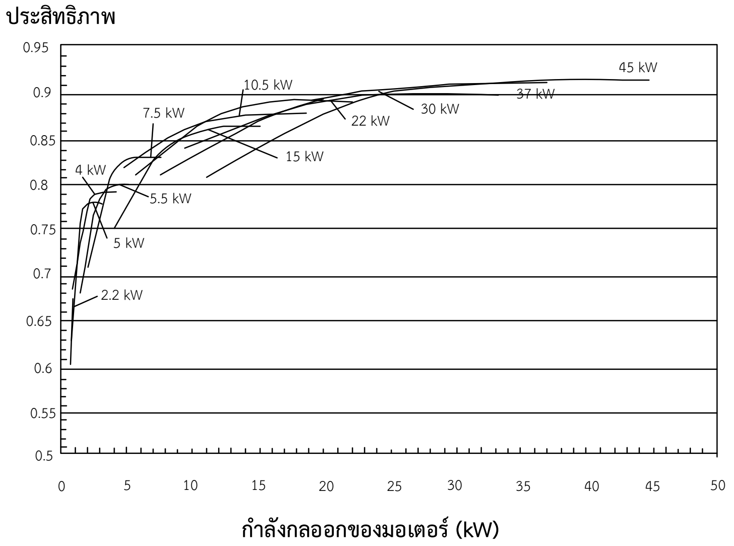
ค่าประสิทธิภาพอาจเขียนอยู่ในรูปที่แสดงค่ากำลังงานสูญเสียของมอเตอร์ได้ ดังนี้

กำลังงานสูญเสีย คือ การสูญเสียในมอเตอร์มาจากการสูญเสียที่มีค่าคงที่และการสูญเสียที่เปลี่ยนแปลงตามโหลดของมอเตอร์

$$\text{ประสิทธิภาพ } (\%) = \frac{\text{กำลังงานขาออก (วัตต์)}}{\text{กำลังงานขาออก (วัตต์)} + \text{กำลังงานสูญเสีย (วัตต์)}} \text{ x100}$$

$$\text{ประสิทธิภาพ } (\%) = \frac{\text{กำลังไฟฟ้าป้อนเข้า (วัตต์)} - \text{กำลังงานสูญเสีย (วัตต์)}}{\text{กำลังไฟฟ้าป้อนเข้า (วัตต์)}} \text{ x100}$$

ปริมาณของกำลังไฟฟ้าป้อนเข้าที่ใช้ผลิตแรงม้าตามพิกัด จะต่างกันสำหรับมอเตอร์แต่ละตัว มอเตอร์ที่มีประสิทธิภาพสูงกว่าจะต้องการกำลังไฟฟ้าป้อนเข้าน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับมอเตอร์ที่มีประสิทธิภาพต่ำกว่าที่ให้ขาออกเท่ากัน แสดงดังรูปที่ 4-2



รูปที่ 4-2 ความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพมอเตอร์ที่ภาระต่างๆ ของมอเตอร์

พิกัดกระแสไฟฟ้ามอเตอร์แบบเหนี่ยวนำ 1 เฟส และ 3 เฟสทั่วไปตามท้องตลาดแสดงดังตารางที่ 4-2

ตารางที่ 4-2 พิกัดกระแสไฟฟ้ามอเตอร์แบบเหนี่ยวนำ 1 เฟส และ 3 เฟส

Single phase motors				3 phase 4 pole motors 50/60 Hz								
kW	hp	220V	240V	kW	hp	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

บทที่ 5

บทที่ 5

ความแตกต่างระหว่างมอเตอร์ไฟฟ้าประสิทธิภาพสูงและมอเตอร์ไฟฟ้ามาตรฐานทั่วไป

ปัจจุบันมีการวิจัยและพัฒนาเพื่อผลิตมอเตอร์ที่มีประสิทธิภาพสูงออกสู่ตลาด โดยพยายามให้มีราคาสูงขึ้นไม่มากเกินไป ซึ่งมอเตอร์รุ่นใหม่จะมีส่วนประกอบและลักษณะการทำงานแบบเดิมแต่ใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยกว่า เนื่องจากเปลี่ยนแปลงรายละเอียดในการออกแบบ การใช้วัสดุที่ดีขึ้นและพิถีพิถันในกระบวนการผลิตมากขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพของมอเตอร์สูงขึ้นประมาณ 2-4 % หรือสามารถลดการสูญเสียพลังงานได้ประมาณ 25-30 % นอกจากประหยัดพลังงานแล้วมอเตอร์ประสิทธิภาพสูงยังมีข้อดีอื่นๆ อีกคือ เกิดความร้อนจากการทำงานน้อยกว่า อายุการใช้งานของฉนวนและลูกปืนนานขึ้น การสั่นสะเทือนน้อยกว่า มีเสียงรบกวนน้อยและค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ดีขึ้น

แนวทางการพัฒนามอเตอร์ประสิทธิภาพสูงโดยการเปลี่ยนแปลงรายละเอียดในการออกแบบ และการเลือกใช้วัสดุ ในการผลิตที่ดีขึ้น เพิ่มค่าประสิทธิภาพให้กับมอเตอร์ ดังนี้

1) **ปรับปรุงคุณภาพวัสดุของแกนเหล็ก** มอเตอร์ไฟฟ้าทั่วไปใช้แผ่นเหล็กที่มีองค์ประกอบของคาร์บอนต่ำ (Low-carbon laminated steel) ทำตัวแกนเหล็กที่สเตเตอร์และโรเตอร์ ซึ่งแผ่นเหล็กดังกล่าวมีค่าการสูญเสียทางไฟฟ้าเทียบกับน้ำหนักประมาณ 6.6 วัตต์ต่อเหล็ก 1 กิโลกรัม ส่วนมอเตอร์ไฟฟ้าประสิทธิภาพสูงจะใช้แผ่นเหล็กซิลิกอนคุณภาพสูง (High grade silicon steel) ซึ่งมีค่าการสูญเสียทางไฟฟ้าลดลงครึ่งหนึ่ง คือเหลือเพียงประมาณ 3.3 วัตต์ต่อเหล็ก 1 กิโลกรัม

2) **ปรับปรุงความหนาแผ่นเหล็กที่ใช้ทำแกนเหล็ก** ลดความหนาของแผ่นเหล็กที่ใช้ทำแกนเหล็กทั้งใน สเตเตอร์และโรเตอร์จะช่วยเพิ่มความต้านทานของแม่เหล็กทำให้กระแสไหลวน (Eddy Current) น้อยลง ซึ่งช่วยลดการสูญเสียที่เกิดจากกระแสไหลวน โดยเมื่อรวมกับการปรับปรุงฉนวนระหว่างแผ่นเหล็กแล้วจะช่วยลดค่าการสูญเสียที่เกิดจากกระแสไหลวนได้มากขึ้น

3) **ปรับปรุงเพิ่มขนาดของตัวนำ** มอเตอร์ไฟฟ้าทั่วไปจะใช้ตัวนำลวดทองแดง หรือลวดอะลูมิเนียมที่มีขนาดพอดีกับกระแสสูงสุดที่เกิดจากโหลดของมอเตอร์ แต่มอเตอร์ไฟฟ้าประสิทธิภาพสูงจะใช้ตัวนำลวดทองแดงขนาดใหญ่ขึ้น โดยขนาดของตัวนำจะใหญ่กว่าประมาณ 35 - 40 % เพื่อลดค่าความสูญเสียภายในตัวต้านทานที่เปลี่ยนเป็นความร้อน

4) **ปรับปรุงการออกแบบร่องสล๊อต** ต้องมีการปรับปรุงและออกแบบร่องสล็อตแกนเหล็กสเตเตอร์ใหม่ให้รองรับกับขนาดขดลวดที่ใหญ่ขึ้น รวมทั้งเพิ่มความยาวของแกนเหล็กที่สเตเตอร์ทำให้พื้นที่แกนเหล็ก

เพิ่มขึ้น ลดความหนาแน่นของสนามแม่เหล็กซึ่งมีผลทำให้ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ดีขึ้น กระแสไฟฟ้าเข้าขดลวดสเตเตอร์จะลดลง

5) ปรับปรุงช่องว่างระหว่างสเตเตอร์และโรเตอร์ การลดช่องว่างอากาศระหว่างสเตเตอร์และโรเตอร์จะทำให้ความต้านทานต่อเส้นแรงแม่เหล็กจากสเตเตอร์ไปโรเตอร์น้อยลง ส่งผลให้สนามแม่เหล็กไฟฟ้าจากสเตเตอร์ที่วิ่งผ่านไปยังโรเตอร์มีค่าเพิ่มสูงขึ้นและลดเส้นแรงแม่เหล็กรั่วไหลออก ดังนั้นมอเตอร์จะใช้พลังงานไฟฟ้าลดลงเพื่อที่จะสร้างแรงบิดเท่าเดิม และยังลดการสูญเสียในสภาวะการใช้งาน (Stray losses)

6) ปรับปรุงฉนวนที่โรเตอร์ มอเตอร์ไฟฟ้าประสิทธิภาพสูงร่องสล๊อตที่โรเตอร์จะถูกเคลือบด้วยฉนวนที่สามารถทนความร้อนได้สูงซึ่งจะลดค่าการสูญเสียจากตัวนำที่ไม่เรียบร้อยที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตขณะที่ฝังตัวนำเข้าไว้ในโรเตอร์ ซึ่งโดยปกติแล้วตัวนำที่อยู่ที่โรเตอร์จะถูกออกแบบไว้ในลักษณะเฉียงกับแนวแกนของโรเตอร์ เพื่อที่จะลดเสียงรบกวนและแรงบิดที่ไม่สม่ำเสมอในมอเตอร์ขนาดเล็ก

7) ปรับปรุงการออกแบบพัดลมใหม่ มอเตอร์ไฟฟ้าประสิทธิภาพสูงจะมีอุณหภูมิในขณะที่ทำงานต่ำกว่ามอเตอร์ธรรมดา ทำให้พัดลมที่ใช้ระบายความร้อนมีขนาดเล็กลงซึ่งเป็นการลดการสูญเสียจากแรงลมรวมถึงระดับเสียงของพัดลมในขณะทำงาน

8) ปรับปรุงตลับลูกปืน ตลับลูกปืนในมอเตอร์ไฟฟ้ามี 2 ส่วน คือ ลูกปืนหน้ามอเตอร์ และลูกปืนหลังมอเตอร์ การเลือกใช้ตลับลูกปืนที่มีแรงเสียดทานน้อยลง จะทำให้ประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้าสูงขึ้น

มอเตอร์ที่ผลิตได้มาตรฐาน จะต้องได้รับการทดสอบเพื่อรับรองมาตรฐาน ปัจจุบันหลายประเทศได้พัฒนามาตรฐานการทดสอบที่สากลยอมรับ อาทิ มาตรฐาน CSA ของประเทศแคนาดา มาตรฐาน NEMA ของประเทศสหรัฐอเมริกา มาตรฐาน IEC ของยุโรป และมาตรฐาน JEC ของประเทศญี่ปุ่น เป็นต้น

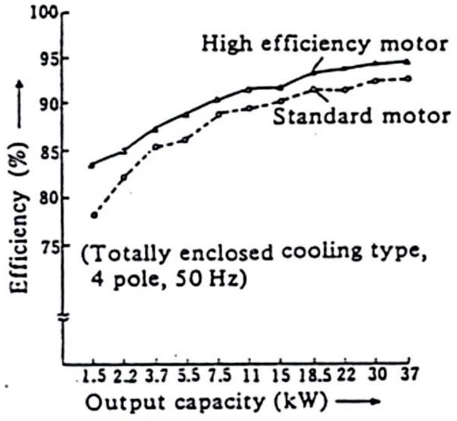
ความแตกต่างของมาตรฐานแต่ละมาตรฐานอยู่ที่การวัดค่าความสูญเสียสเตรย์โหลด ดังนี้

มาตรฐาน CSA : (ประเทศคานาดา)	รวมค่าความสูญเสียสเตรย์โหลดไว้ด้วย และวัดค่าโดยทางอ้อม ตามวิธีของ IEEE 112
มาตรฐาน NEMA : (ประเทศสหรัฐอเมริกา)	ใช้วิธีตามมาตรฐาน IEEE 112 ซึ่งคำนวณหาค่าความสูญเสียสเตรย์โหลดโดยวิธีการทางอ้อม
มาตรฐาน IEC : (กลุ่มประเทศยุโรป)	สมมติค่าความสูญเสียสเตรย์โหลด โดยกำหนดให้มีค่าคงที่เท่ากับ 0.5 % ของกำลังที่ป้อนเข้า และยอมให้มีการกำหนดค่าคาดเคลื่อนของประสิทธิภาพได้
มาตรฐาน JEC : (ประเทศญี่ปุ่น)	สมมติว่าไม่มีความสูญเสียสเตรย์โหลด

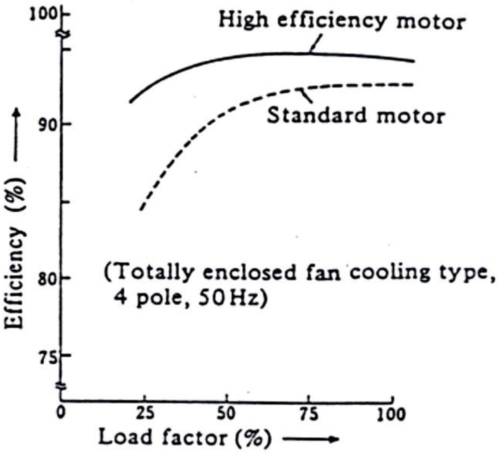
ค่าประสิทธิภาพมาตรฐานของมอเตอร์ได้จากวิธีการทดสอบตามมาตรฐานแต่ละมาตรฐาน โดยค่าประสิทธิภาพมี 2 ลักษณะ คือ ค่าเฉลี่ยมาตรฐาน (Nominal) หรือค่ารับประกันต่ำสุด (Guaranteed Minimum) ซึ่งมีความแตกต่างกัน ดังนี้

- ค่าประสิทธิภาพมาตรฐาน เป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากมอเตอร์แบบเดียวกันจำนวนมากจากผู้ผลิตมอเตอร์ แต่ละตัวอาจมีค่าประสิทธิภาพที่ต่างจากค่าเฉลี่ยนี้มาก
- ค่าประสิทธิภาพรับประกันต่ำสุด เป็นค่าที่ผู้ผลิตรับประกันว่ามอเตอร์ขนาดนั้นๆ จะมีค่าประสิทธิภาพไม่น้อยกว่านั้น มาตรฐานระดับชาติส่วนใหญ่จะมีขีดกำหนดความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยและค่ารับประกันต่ำสุดเอาไว้

มาตรฐานแต่ละมาตรฐานอาจมีรายละเอียดในการทดสอบแตกต่างกัน ลักษณะของกราฟแสดงประสิทธิภาพของมอเตอร์ แสดงได้ดังรูปที่ 5-1 และรูปที่ 5-2



รูปที่ 5-1 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับพิกัดมอเตอร์ ของมอเตอร์อินดักชั่นชนิด 3 เฟส แบบกรงกระรอก



รูปที่ 5-2 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับเปอร์เซ็นต์การใช้งานมอเตอร์ ของมอเตอร์อินดักชั่น กรงกระรอก ชนิด 3 เฟส

ที่มา: Energy Conservation of Electrical Equipment

มอเตอร์มาตรฐานกับมอเตอร์ประสิทธิภาพสูงสามารถเปรียบเทียบกันได้ โดยอ้างอิงตามข้อมูลศูนย์อนุรักษ์พลังงานแห่งประเทศไทย แสดงดังตารางที่ 5-1

ตารางที่ 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	85.5	85.5	85.5
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

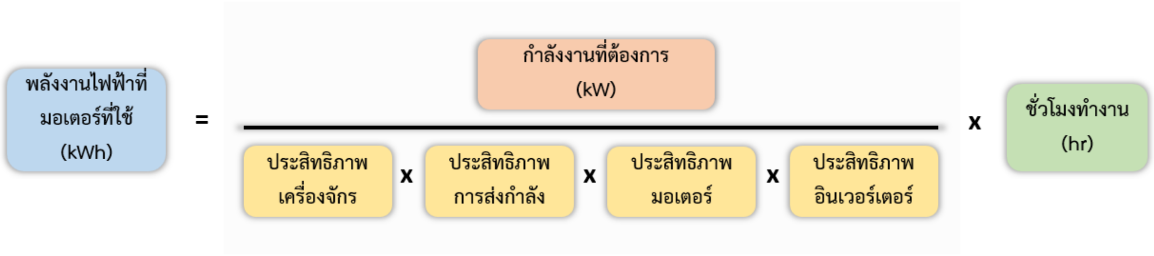
ที่มา: “ กระบวนการและเทคนิคการลดค่าใช้จ่ายพลังงาน” ศูนย์อนุรักษ์พลังงานแห่งประเทศไทย

บทที่ 6

บทที่ 6

การอนุรักษ์พลังงานและมาตรการที่เกี่ยวข้องมอเตอร์

การใช้พลังงานของมอเตอร์ไฟฟ้าขึ้นอยู่กับตัวแปรทั้งหมด 6 ตัว ประกอบด้วย 1) กำลังงานที่ต้องการใช้งาน 2) ประสิทธิภาพของเครื่องจักร 3) ประสิทธิภาพของการส่งกำลัง 4) ประสิทธิภาพของมอเตอร์ 5)ประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์ (ถ้ามี) และ 6) ชั่วโมงการใช้งานของมอเตอร์ มีความสัมพันธ์ดังสมการต่อไปนี้



ดังนั้นหากต้องการลดการใช้พลังงานในมอเตอร์ จำเป็นจะต้องควบคุมตัวแปรทั้ง 6 ตัว ดังตารางที่ 6-1

ตารางที่ 6-1 แนวทางในการลดการใช้พลังงานในมอเตอร์

ลำดับ	แนวทางในการลดการใช้พลังงาน	ตัวอย่างมาตรการที่เกี่ยวข้อง
1	การลดกำลังงานที่ต้องการใช้งานหรือโหลดทางกลให้ต่ำที่สุด	1) การเปลี่ยนใบพัดหอผึ่งน้ำจากโลหะเป็นไฟเบอร์กลาส 2) การลดอัตราการไหลของน้ำเย็น 3) การซ่อมจุดรั่วไหลของอากาศอัด 4) การเลือกขนาดเครื่องจักรให้เหมาะสม 5) การลดโหลดที่ไม่จำเป็นลง
2	การเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องจักรหรือระบบทางกล	1) การเลือกเดินเครื่องจักรชุดที่มีประสิทธิภาพสูง 2) การติดตั้งอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบ 3) การลดขนาดปั๊มและพัดลมให้เหมาะสม 4) การตรวจสอบและบำรุงรักษาเพื่อลดการสูญเสีย
3	การเพิ่มประสิทธิภาพการส่งกำลัง	1) การปรับความตึงของสายพาน 2) การใช้สายพานประสิทธิภาพสูง 3) การเปลี่ยนสานพานที่ชำรุด
4	การเพิ่มประสิทธิภาพมอเตอร์	1) การใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูง 2) การลดขนาดมอเตอร์ให้เหมาะสม 3) การบำรุงรักษามอเตอร์
5	การเพิ่มประสิทธิภาพอินเวอร์เตอร์ (ถ้ามี)	1) การเลือกอินเวอร์เตอร์ที่มีประสิทธิภาพสูงกำลังสูญเสียต่ำ
6	การลดเวลาทำงานของมอเตอร์	1) ลดการเดินตัวเปล่าของมอเตอร์

6.1. การลดกำลังงานที่ต้องการใช้งานหรือโหลดทางกลให้ต่ำที่สุด

การลดกำลังงานที่ต้องการใช้งานหรือโหลดทางกลให้ต่ำที่สุดเป็นการลดภาระของมอเตอร์ในการขับโหลดการทำงานลงโดยตรงส่งผลให้การใช้พลังงานไฟฟ้าลดลง โดยการลดโหลดดังกล่าวต้องไม่ส่งผลกระทบต่อการทำงานของเครื่องจักรหรือระบบที่เกี่ยวข้อง เช่น การเปลี่ยนใบพัดหอผึ่งน้ำจากโลหะเป็นไฟเบอร์กลาส การลดอัตราการไหลของน้ำเย็น การลดโหลดที่ไม่จำเป็นลง เป็นต้น

<u>**ตัวอย่าง**</u>

โรงงานแห่งหนึ่งมีการใช้งาน Cooling tower ในการระบายความร้อนในกระบวนการผลิต Cooling tower มีโดยมอเตอร์ขับใบพัดขนาด 112 kW 2 ชุด เปิดใช้งาน 24 ชั่วโมง/วัน 365 วัน/ปี หากโรงงานต้องการเปลี่ยนใบพัดเดิมที่มีน้ำหนักมากเป็นใบพัดใหม่ชนิด Fiberglass Reinforced Plastic (FRP) ซึ่งมีน้ำหนักเบากว่า สามารถประหยัดพลังงานได้เท่าไร เมื่อกำลังไฟฟ้ามอเตอร์ขับใบพัดเฉลี่ยก่อนปรับปรุงวัดได้ 89 kW กำลังไฟฟ้ามอเตอร์ขับใบพัดเฉลี่ยหลังปรับปรุงวัดได้ 71.5 kW อัตราค่าไฟฟ้าเฉลี่ย 4.5 บาท/kWh

รูปที่ 6-1 ใบพัด Cooling tower ก่อนและหลังปรับปรุง

<u>ผลประหยัด</u>

กำลังไฟฟ้าที่ลดลง (89 - 71.5) kW = 17.5 kW

ไฟฟ้าที่ประหยัดได้ = kW × จำนวนมอเตอร์ x ชั่วโมงใช้งาน x วันทำงาน

= 17.5 kW x 2 ตัว × 24 ชั่วโมง/วัน × 365 วัน/ปี

= 306,600.00 kWh/ปี

เงินที่ประหยัดได้ = 306,600 kWh/ปี × 4.5 บาท/kWh

= 1,379,700 บาท/ปี

6.2. การติดตั้งอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบ (VSD)

กำลังขาออกของมอเตอร์มีความสัมพันธ์กับแรงบิดของโหลด ดังสมการนี้

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

โดยที่ P คือ กำลังขาออกที่เพลาของมอเตอร์ (kW)

n คือ ความเร็วรอบ (rpm)

T คือ แรงบิดของโหลดของมอเตอร์ (N-m)

จากสมการ ถ้าความเร็วรอบของมอเตอร์ลดลง กำลังขาออกที่เพลาของมอเตอร์จะน้อยลงด้วย ดังนั้นจึงมีการใช้เครื่องควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์เพื่อปรับเปลี่ยนความถี่และแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ (Voltage/frequency control: V/f) สำหรับมอเตอร์ไฟฟ้าเพื่อควบคุมความเร็วรอบให้สัมพันธ์กับความต้องการภาระของระบบ (Load demand) เพื่อลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้า โดยข้อดีของการใช้อุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ มีดังนี้

1) สามารถปรับความเร็วรอบมอเตอร์ได้ ทำให้เลือกใช้ความเร็วรอบที่เหมาะสมตามความต้องการของงานแต่ละประเภท

2) มีการควบคุมความเร็วรอบแบบวงปิด (Closed loop control) ทำให้ระบบมีการทำงานที่แม่นยำและมีเสถียรภาพอยู่ตลอดเวลา

3) เป็นการเพิ่มคุณภาพของชิ้นงานให้ถูกต้องตามความต้องการ เนื่องจากระบบมีความแม่นยำมากขึ้นทำให้ช่วยลดต้นทุนการผลิต

4) ช่วยลดการสึกหรอของเครื่องจักร และป้องกันการสูญเสียจากการทำงานของมอเตอร์ พัดลมและปั๊มน้ำ

5) ลดการกระชากไฟตอนเริ่มต้น ทำให้ลดค่าความต้องการกำลังไฟฟ้า (Demand) ลงได้

6) ประหยัดพลังงาน โดยใช้พลังงานตามความจำเป็นของภาระ

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

ตารางที่ 6-2 กฎของปั๊มน้ำ

Function	เปลี่ยนความเร็วรอบ	เปลี่ยนเส้นผ่านศูนย์กลาง
อัตราการไหล	$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{N_2}{N_1}$	$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{D_2}{D_1}$
หัวน้ำ	$\frac{h_2}{h_1} = \left(\frac{N_2}{N_1}\right)^2$	$\frac{h_2}{h_1} = \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^2$
กำลังที่เพลา	$\frac{L_2}{L_1} = \left(\frac{N_2}{N_1}\right)^3$	$\frac{L_2}{L_1} = \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^3$

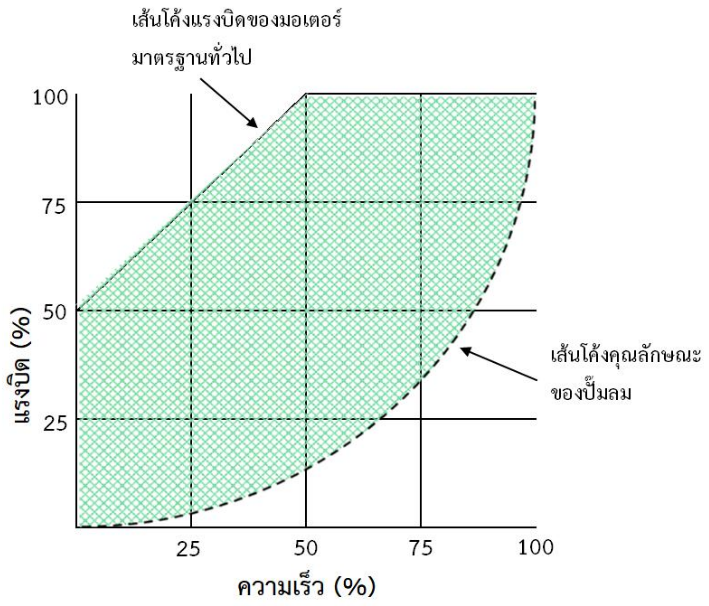
ตารางที่ 6-3 กฎของพัดลม

Function	เปลี่ยนความเร็วรอบ	เปลี่ยนเส้นผ่านศูนย์กลาง
ความจุอากาศ	$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{N_2}{N_1}$	$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{D_2}{D_1}$
ความดันอากาศ	$\frac{h_2}{h_1} = \left(\frac{N_2}{N_1}\right)^2$	$\frac{h_2}{h_1} = \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^2$
กำลังที่เพลา	$\frac{L_2}{L_1} = \left(\frac{N_2}{N_1}\right)^3 \left(\frac{\eta_1}{\eta_2}\right)$	$\frac{L_2}{L_1} = \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^3$

กำลังไฟฟ้าขาเข้าของปั๊มน้ำและพัดลม $L_M = \frac{L_2}{\eta_M}$

การใช้อุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบร่วมกับมอเตอร์ประสิทธิภาพสูง เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพในการส่งพลังงานสูงสุด ซึ่งในปัจจุบันทำได้ถึง 97% โดยควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ให้เหมาะสมกับลักษณะของโหลดตามกระบวนการผลิตแล้ว สำหรับอุปกรณ์เครื่องสูบน้ำ พัดลม และเครื่องอัดอากาศ จะมีจุดทำงานที่เหมาะสมและให้ประสิทธิภาพสูงสุดที่ความเร็วรอบประมาณ 70% ของความเร็วรอบสูงสุด

มอเตอร์ไฟฟ้ามาตรฐาน หรือมอเตอร์ประสิทธิภาพสูง โดยทั่วไปสามารถใช้ขับโหลดแบบแรงบิดคงที่ได้ที่ความเร็วรอบ 50% ของความเร็วรอบสูงสุดโดยไม่เกิดความเสียหายที่มอเตอร์ ซึ่งในกรณีที่ขับโหลดแบบแรงบิดไม่คงที่ สำหรับมอเตอร์ขนาดเดียวกัน ไม่จำเป็นต้องลดขนาดมอเตอร์ หรือเพิ่มพัดลมระบายความร้อนให้แก่มอเตอร์ ดังรูปที่ 6-2



รูปที่ 6-2 กราฟความสัมพันธ์ของแรงบิดที่ความเร็วรอบต่างๆ ของมอเตอร์มาตรฐาน ในการขับโหลดแบบแรงบิดไม่คงที่

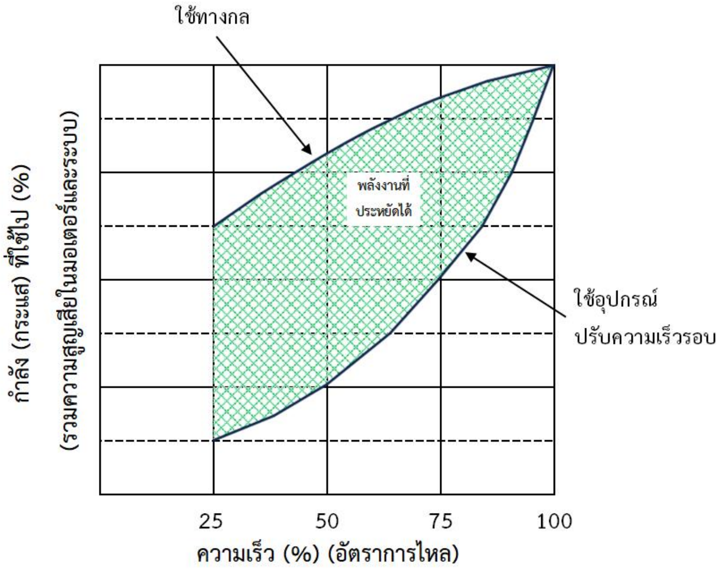
การประยุกต์ใช้อุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบเพื่อการอนุรักษ์พลังงานในโหลดแบบแรงบิดไม่คงที่ โดยเฉพาะเครื่องสูบน้ำ จำแนกได้เป็น 4 ประเภทดังนี้

1. แบบรักษาแรงดันคงที่ เช่น สถานีส่งจ่ายน้ำประปา ระบบน้ำเย็น (Chilled water system) ระบบสูบน้ำสำหรับหม้อไอน้ำ ระบบชลประทาน ระบบซีลด้วยน้ำ (Water seal systems) ระบบน้ำร้อน และน้ำหล่อเย็น เป็นต้น

2. แบบรักษาระดับคงที่ เช่น สถานีสูบส่งน้ำเย็น ระบบสูบน้ำเสียในอุตสาหกรรม ระบบบำบัดน้ำเสีย ระบบบรรจุของเหลว และระบบ Condensate return เป็นต้น

3. แบบรักษาอุณหภูมิคงที่ เช่น ระบบน้ำหล่อเย็นในเตาอบ และเตาเผา ระบบแลกเปลี่ยนความร้อน การหล่อเย็นตลับลูกปืน และระบบหมุนเวียนน้ำหล่อเย็น

4. แบบรักษาอัตราการไหลคงที่ เช่น การหมุนเวียนตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสีย และการหมุนเวียนของของเหลวในกระบวนการผลิต เป็นต้น สามารถแสดงความสัมพันธ์ของการประหยัดพลังงานที่ค่าความเร็วรอบ และอัตราการไหลต่างๆ ดังรูปที่ 6-3



รูปที่ 6-3 กราฟความสัมพันธ์ของการประหยัดพลังงานในมอเตอร์ที่ค่าความเร็วรอบ และอัตราการไหลต่างๆ

ตัวอย่าง โบลเวอร์ถูกควบคุมความเร็วรอบโดยใช้อินเวอร์เตอร์ให้ลดลงเหลือ 50% ของความเร็วตามพิกัด ถ้าปริมาณอากาศขณะเดินเต็มที่เท่ากับ 3,000 m^3/min ความดัน 100 Pa กำลังที่เพลา 50 kW (ประสิทธิภาพของโบลเวอร์เปลี่ยนจาก 80% เป็น 65%) จงคำนวณหาความจุอากาศ ความดัน และกำลังที่เพลา เมื่อลดความเร็วรอบลง โดยโรงงานทำงาน 16 ชั่วโมง/วัน 300 วัน/ปี ผลการประหยัดคิดที่อัตราค่าไฟฟ้าเฉลี่ย 4.5 บาท/kWh

รูปที่ 6-4 ชุดโบลเวอร์ที่ควบคุมความเร็วรอบโดยใช้อินเวอร์เตอร์

<u>ผลประหยัด</u>

จากสมการกฎของพัดลม $Q_2 = Q_1 (N_2/N_1)$

$P_2 = P_1 (N_2/N_1)^2$

$L_2 = L_1 (N_2/N_1)^3 (\eta_1/\eta_2)$

โดย Q = ความจุอากาศ N = ความเร็วรอบ P = ความดันอากาศ L= กำลังที่เพลา

η = ประสิทธิภาพโบลเวอร์

ความจุอากาศใหม่ $Q_2 = 3{,}000\ m^3/min \times 60\%$

$= 1{,}800\ m^3/min$

ความดันอากาศใหม่ $P_2 = 100\ Pa \times (50\%)^2$

$= 25\ Pa$

กำลังที่เพลาใหม่ $L_2 = 50\ kW \times (50\%)^3 \times (80\%/65\%)$

$= 7.69\ kW$

กำลังไฟฟ้าที่ลดลง (50-7.69) kW = 42.31 kW

ไฟฟ้าที่ประหยัดได้ = kW × ชั่วโมงใช้งาน x วันทำงาน

= 42.31 kW × 16 ชั่วโมง/วัน × 300 วัน/ปี

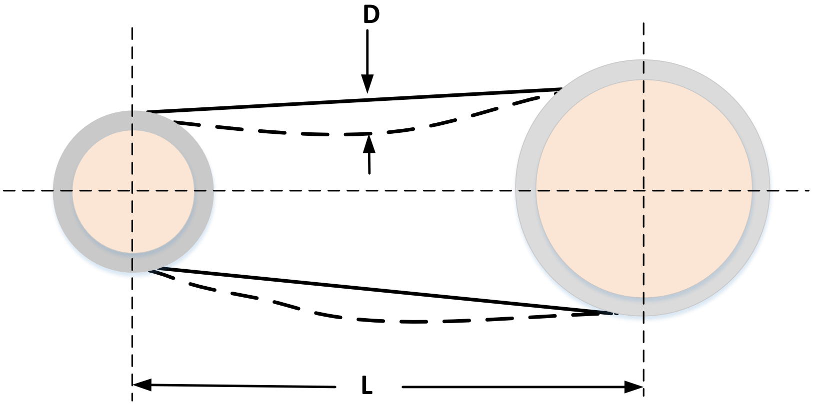
= 203,088.00 kWh/ปี

เงินที่ประหยัดได้ = 203,088 kWh/ปี × 4.5 บาท/kWh

= 913,896 บาท/ปี

6.3. การปรับความตึงของสายพาน

การใช้มอเตอร์ขับภาระด้วยสายพานของเครื่องจักร ควรมีการตรวจสอบด้วยว่าเครื่องจักรที่มีมอเตอร์ขับภาระมีสภาพหย่อนหรือไม่ โดยปกติการใช้มอเตอร์ขับสายพานนั้นก็จะเกิดการสูญเสียอยู่ระหว่าง 2-3 % แต่ถ้าสายพานหย่อนเกินไปก็จะทำให้เกิดการสูญเสียเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นควรตรวจสอบสายพานเป็นประจำ โดยใช้นิ้วกดลงที่สายพาน ระยะ D ไม่ควรกว้างกว่าที่คำนวณตามรายละเอียด ดังนี้



รูปที่ 6-5 การตรวจปรับความตึงสายพาน

จาก $D = L / 100$

เมื่อ D คือ ระยะความหย่อนของสายพานที่เหมาะสม

L คือ ระยะความห่างของพู่เล่ย์

ถ้าให้ระยะห่างของพู่เล่ย์ยาว (L) 100 ซม. ควรจะมีระยะความหย่อนของสายพานที่เหมาะสม เท่ากับ D = 100/100 = 1 ซม.

<u>ตัวอย่าง</u> โรงงานมีการใช้งานมอเตอร์ขนาด 37 kW เปิดใช้งาน 16 ชั่วโมง/วัน ทำงาน 300 วัน/ปี ค่าไฟฟ้าเฉลี่ย 4.5 บาท/kWh จากการสำรวจพบว่าสายพานมีระยะความหย่อนมากกว่าที่ประเมินไว้ หากดำเนินการปรับสายพานให้มีความตึงที่เหมาะสม จะสามารถลดการใช้พลังงานได้เท่าใด

รูปที่ 6-6 การปรับความตึงของสายพานที่เหมาะสม

<u>ผลประหยัด</u>

ไฟฟ้าที่ประหยัดได้ = $kW_{\text{พิกัด}}$ × ชั่วโมงใช้งาน × วันทำงาน × %ที่ประหยัดได้

= 37 kW × 16 ชั่วโมง/วัน × 300 วัน/ปี × 3 % ที่ประหยัดได้

= 5,328.00 kWh/ปี

เงินที่ประหยัดได้ = 5,328 kWh/ปี × 4.5 บาท/kWh

= 23,976.00 บาท/ปี

6.4. การใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูง

ในการตัดสินใจลงทุนเรื่องใดๆ จะต้องคำนึงถึงการประหยัดเงินลงทุนด้วยไม่ใช่เพียงเรื่องของการประหยัดพลังงานเท่านั้น ดังนั้น ในการพิจารณาเกี่ยวกับการลงทุนในมอเตอร์ ประสิทธิภาพสูงจะต้องมีข้อมูลทั้งทางด้านเทคนิค การค่านวณค่าใช้จ่าย และระยะเวลาคืนทุน โดยทั่วไปมอเตอร์ประสิทธิภาพสูง จะมีราคาสูงกว่ามอเตอร์มาตรฐานประมาณ 20% แต่ราคาซื้อที่เพิ่มขึ้นจะถูกชดเชยโดยค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้เพื่อคืนทุนในระยะเวลาอันสั้น

ความแตกต่างของประสิทธิภาพของมอเตอร์ประสิทธิภาพสูงและมอเตอร์มาตรฐานทั่วไปสามารถใช้คำนวณหาค่าพลังงานไฟฟ้า (Power) ที่ประหยัดได้ (หรือ kW ที่ประหยัดได้) จากสมการ

$$kW_{\text{ที่ลดลง}} = kW_{\text{ตามภาระ}} \text{ x } \left(\frac{100}{E_s} - \frac{100}{E_h}\right)$$

เมื่อ

E_S = ประสิทธิภาพของมอเตอร์มาตรฐานทั่วไปที่โหลดค่าหนึ่ง

E_h = ประสิทธิภาพของมอเตอร์ประสิทธิภาพสูงที่โหลดค่าเดียวกัน

$kW_{\text{ตามภาระ}}$ = กำลังไฟฟ้าของมอเตอร์

$kW_{\text{ที่ลดลง}}$ = กำลังไฟฟ้าที่ประหยัดได้

การพิจารณาเลือกใช้มอเตอร์ไฟฟ้าประสิทธิภาพสูงสามารถพิจารณาได้จากข้อมูล ดังนี้

1) มอเตอร์ที่ใช้อยู่เดิมชำรุด สามารถพิจารณาเปลี่ยนเป็นมอเตอร์ไฟฟ้าประสิทธิภาพสูง ดังนี้

- มอเตอร์ที่มีอาการเสีย มีขนาดต่ำกว่า 10 kW สามารถเปลี่ยนได้ทันที
- มอเตอร์ที่มีอาการเสีย มีขนาดมากกว่า 10 kW สามารถพันขดลวดได้ใหม่ก่อนได้ประมาณ 1-2 ครั้ง เพราะหากเกินกว่านี้ราคาค่าซ่อมจะสูงกว่าการซื้อใหม่
- ให้เลือกเปลี่ยนจากมอเตอร์ที่มีขนาดเล็กและมีชั่วโมงการทำงานสูงก่อนเป็นอันดับแรก
- มอเตอร์ที่มีอายุการใช้งานเกินกว่า 15 ปี สามารถเปลี่ยนได้ทันที

2) ควรใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูงสำหรับโรงงานใหม่ เมื่อเปรียบเทียบราคามอเตอร์ประสิทธิภาพสูงกับราคามอเตอร์มาตรฐาน ถึงแม้ว่าจะมีค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้น แต่การใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูงยังคงน่าสนใจในการลงทุนมากกว่า

3) ควรซื้อมอเตอร์ประสิทธิภาพสูง เพื่อนำมาใช้เป็นมอเตอร์สำรอง เมื่อจำเป็นต้องซื้อมอเตอร์สำหรับเป็นมอเตอร์สำรองเพื่อใช้แทนมอเตอร์ที่ไหม้จะเป็นโอกาสที่เหมาะสมและเป็นการคุ้มค่าที่จะเปลี่ยนมาใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูงแทนมอเตอร์มาตรฐาน

ในแต่ละกรณีที่กล่าวมาข้างต้น ควรมีการคำนวณระยะคืนทุนเชิงเดียว เพื่อช่วยในการตัดสินใจว่าสมควรเปลี่ยนมอเตอร์ประสิทธิภาพสูงหรือไม่

<u>ตัวอย่าง</u> โรงงานแห่งหนึ่งต้องการซื้อมอเตอร์ใหม่ขนาด 200 แรงม้า 4 ขั้ว โดยทางผู้ขายเสนอรายละเอียดของมอเตอร์มาดังนี้

มอเตอร์มาตรฐาน ประสิทธิภาพ (STD_{eff}) 93.6 % ราคา 230,000 บาท

มอเตอร์ประสิทธิภาพสูง ประสิทธิภาพ (HE_{eff}) 95.0 % ราคา 280,000 บาท

รูปที่ 6-7 การเปลี่ยนมอเตอร์ประสิทธิภาพสูง

โดยมอเตอร์จะถูกใช้งานที่ภาระการทำงาน 80% ของพิกัดกำลัง ชั่วโมงใช้งาน 6,000 ชั่วโมง/ปี ค่าไฟฟ้าเฉลี่ย 4.5 บาท/kWh หากทางโรงงานต้องการทราบระยะเวลาคืนทุนระหว่างการติดตั้งมอเตอร์มาตรฐานกับมอเตอร์ประสิทธิภาพสูง สามารถคำนวณได้ ดังนี้

<u>ผลประหยัด</u>

กำลังไฟฟ้าที่ลดลง = %การทำงานเทียบพิกัด x กำลังไฟฟ้ามอเตอร์ x ((100/ STD_{eff}) - (100/ HE_{eff}))

= 80% x 0.746 kW/hp x 200 hp x ((100/93.6) – (100/95))

= 1.88 kW

ไฟฟ้าที่ประหยัดได้ = 1.88 kW x 6,000 ชั่วโมง/ปี

= 11,280.00 kWh/ปี

เงินที่ประหยัดได้ = 11,280.00 kWh/ปี × 4.5 บาท/kWh

= 50,760.00 บาท/ปี

ระยะเวลาคืนทุน = ความแตกต่างของราคามอเตอร์/เงินที่ประหยัดได้ต่อปี

= (280,000 - 230,000) บาท / 50,760 บาท/ปี

= 0.99 ปี

ระยะเวลาคืนทุน 0.99 ปี เป็นเพียงระยะคืนทุนระหว่างการเลือกติดตั้งมอเตอร์มาตรฐานกับมอเตอร์ประสิทธิภาพสูง ซึ่งในความเป็นจริงผลประหยัดที่ได้ยังเป็นไปอย่างต่อเนื่องตลอดอายุการใช้งานของมอเตอร์

<u>ตัวอย่าง</u> พิจารณาถึงประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้น 1% เช่นจาก 94% เป็น 95% ของมอเตอร์ขนาด 200 แรงม้า ทำงานที่ 80% ของพิกัดกำลังจะทำให้มอเตอร์ใช้กำลังไฟฟ้าลดลงเท่าใด (โดยกำหนดให้ 1 แรงม้า เท่ากับ 746 W)

<u>การคำนวณ</u>

กำลังไฟฟ้าที่มอเตอร์ประสิทธิภาพ 94% ต้องการ = กำลังไฟฟ้ามอเตอร์ x (%การทำงาน/%ประสิทธิภาพ)
= 0.746 kW/hp x 200 hp x (0.8/0.94)
= 126.98 kW

กำลังไฟฟ้าที่มอเตอร์ประสิทธิภาพ 95% ต้องการ = กำลังไฟฟ้ามอเตอร์ x (%การทำงาน/%ประสิทธิภาพ)
= 0.746 kW/hp x 200 hp x (0.8/0.95)
= 125.64 kW

กำลังไฟฟ้าที่ลดได้ = 126.98 kW - 125.64 kW
= 1.34 kW

ใช้งาน 1 ปี (6,000 ชั่วโมง/ปี) ไฟฟ้าประหยัดได้ = 1.34 kW x 6,000 ชั่วโมง/ปี
= 8,040.00 kWh/ปี

หรือ เงินที่ประหยัดได้ = 8,040.00 kWh/ปี × 4.5 บาท/kWh
= 36,180.00 บาท/ปี

<u>การพิจารณาระหว่างการพันขดลวดมอเตอร์ใหม่กับการใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูง</u>

มอเตอร์เมื่อใช้งานไม่ถูกต้องอาจจะทำให้เกิดการไหม้ได้ โดยทั่วไปผู้ประกอบการมักจะนำมอเตอร์ไปพันขดลวดใหม่ แต่การพันขดลวดใหม่จะทำให้ประสิทธิภาพลดลงประมาณ 1-3% จนบางครั้งการซื้อมอเตอร์ใหม่อาจจะประหยัดกว่าการพันขดลวดใหม่เมื่อเปรียบเทียบจากระยะเวลาการใช้งานมอเตอร์ ดังนั้น หากมีความจำเป็นต้องพันขดลวดมอเตอร์ใหม่ ควรพิจารณาร้านหรือโรงงานที่รับพันขดลวดที่มีมาตรฐาน ประกอบกับพิจารณาความคุมทุนระหว่างการพันขดลวดใหม่กับซื้อใหม่ เพื่อช่วยในการตัดสินใจว่าสมควรเปลี่ยนเป็นมอเตอร์ประสิทธิภาพสูงใหม่แทนหรือไม่ ดังตัวอย่าง

<u>ตัวอย่าง</u> โรงงานแห่งหนึ่งนำมอเตอร์ขนาด 22 kW ไปพันขดลวดใหม่เสียค่าใช้จ่าย 12,000 บาท พบว่าประสิทธิภาพลดลงเหลือ 84% ขณะที่มอเตอร์ประสิทธิภาพสูงขนาด 22 kW ประสิทธิภาพ 92% ราคาตัวละ 43,000 บาท จงพิจารณาว่าควรเลือกวิธีการพันขดลวดใหม่หรือซื้อใหม่ ถ้ามอเตอร์มีภาระเฉลี่ย 80% และอัตราค่าไฟฟ้าเฉลี่ย 4.5 บาท/kWh ใช้งานวันละ 16 ชั่วโมง ทำงาน 365 วัน

<u>การคำนวณ</u>

กรณีพันขดลวดใหม่

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ = ($kW_{พิกัด}$ /eff) x ชั่วโมงการทำงาน/ปี × %ภาระการทำงาน

= (22 kW/84%) x (16 x365) ชั่วโมง/ปี × 80%

= 122,361.90 kWh/ปี

กรณีซื้อมอเตอร์ใหม่ประสิทธิภาพสูง

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ = ($kW_{พิกัด}$ /eff) x ชั่วโมงการทำงาน/ปี × %ภาระการทำงาน

= (22 kW/92%) x (16 x365) ชั่วโมง/ปี × 80%

= 111,721.74 kWh/ปี

ไฟฟ้าที่ประหยัดได้ = (122,361.90 - 111,721.74) kW

= 10,640.16 kWh/ปี

เงินที่ประหยัดได้ = 10,640.16 kWh/ปี × 4.5 บาท/kWh

= 47,880.72 บาท/ปี

ราคาของมอเตอร์ที่เพิ่มขึ้น = 43,000 – 12,000 บาท

= 31,000.00 บาท

ระยะเวลาคืนทุน = 31,000.00 บาท / 47,880.72 บาท/ปี

= 0.65 ปี

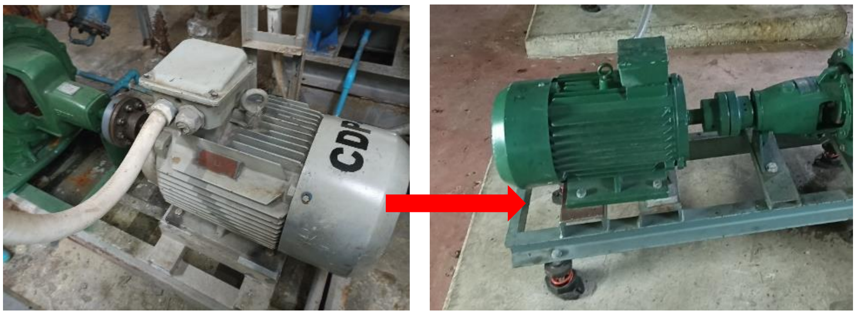
ดังนั้น การซื้อมอเตอร์ใหม่ประสิทธิภาพสูงเหมาะสมกว่าเนื่องจากระยะเวลาคืนทุนเร็ว

6.5. การลดขนาดมอเตอร์ให้เหมาะสม

โหลดสูงสุดที่ให้มอเตอร์ทำงานมักมีค่าต่ำกว่าขนาดพิกัดของมอเตอร์ ที่เป็นเช่นนี้อาจเกิดจากหลายสาเหตุด้วยกัน ซึ่งบางครั้งเกิดจากการเผื่อขนาดของการออกแบบทางกล โดยการใช้มอเตอร์ขนาดใหญ่กว่าปกติเพื่อความน่าเชื่อถือของระบบขับเคลื่อน และเผื่อการเปลี่ยนแปลงหรือการเพิ่มการผลิตที่อาจเกิดขึ้นได้ในอนาคต อุตสาหกรรมแต่ละประเภทมักมีการใช้มอเตอร์ขนาดใหญ่กว่าปกติแตกต่างกัน อาจกล่าวได้ว่าโหลดเฉลี่ยที่มอเตอร์ทำงานโดยทั่วไปอยู่ที่ร้อยละ 65 ของขนาดพิกัดมอเตอร์ ในหลายๆ กรณี ผู้ใช้อาจไม่สามารถเลือกขนาดมอเตอร์ไฟฟ้าได้ เนื่องจากติดตั้งมาเป็นชุดสำเร็จรูปพร้อมอุปกรณ์อื่นๆ โดยผู้ผลิตอุปกรณ์มักใช้สภาวะทำงานสูงที่สุดในการเลือกขนาดของมอเตอร์สาหรับชุดอุปกรณ์นั้นๆ

การใช้งานมอเตอร์ที่มีขนาดพิกัดสูงเกินไปจะทำให้มอเตอร์ทำงานที่เปอร์เซ็นต์ภาระต่ำๆ ซึ่งเป็นสภาวะการทำงานที่ไม่ดี เพราะมอเตอร์จะมีประสิทธิภาพและค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ต่ำลง เมื่อมองในแง่การประหยัดพลังงานแล้ว ควรจะใช้งานมอเตอร์ที่เหมาะสมกับภาระการทำงานประมาณ 80 – 100% ของพิกัด

ตัวอย่าง มอเตอร์ปั๊มน้ำขนาด 37 kW ประสิทธิภาพที่พิกัด (Full load) 91.0% ค่าตัวประกอบกำลัง 0.87 ขณะใช้งานวัดภาระทางไฟฟ้าได้ 9.9 kW ตัวประกอบกำลัง 0.54 ใช้งาน 24 ชั่วโมง/วัน โรงงานเปิดใช้งาน 300 วัน/ปี ราคาค่าไฟฟ้าเฉลี่ย 4.5 บาท/kWh (Core loss ประมาณ 30% ของ Loss ทั้งหมด และ Copper loss ประมาณ 70% ของ Loss ทั้งหมด)



รูปที่ 6-8 การลดขนาดมอเตอร์ปั๊มน้ำให้เหมาะสม

ก่อนปรับปรุง

$$\text{Core loss} = kW_{\text{พิกัด}} \times ((1/eff) - 1) \times \%\text{Core loss}$$

$$= 37\ kW \times ((1/91\%) - 1) \times 30\%$$

$$= 1.098\ kW$$

$$\text{Copper loss} = kW_{\text{พิกัด}} \times ((1/eff) - 1) \times \%\text{Copper loss} \times (kVA_{\text{ใช้งาน}} / kVA_{\text{พิกัด}})^2$$

$$= 37\ kW \times ((1/91\%) - 1) \times 70\% \times ((9.9\ kW/0.54) / (37\ kW/0.87))^2$$

$$= 0.476\ kW$$

ดังนั้น มีค่าความสูญเสียรวม 1.574 kW

หลังปรับปรุง

เปลี่ยนมอเตอร์ปั๊มน้ำจากขนาด 37 kW เป็นขนาด 11 kW ราคา 20,000 บาท ประสิทธิภาพที่พิกัด (full load) 90 % ตัวประกอบกำลัง 0.84 โดยตัวประกอบกำลังขณะใช้งานมีค่าใกล้เคียงกับค่าตัวประกอบกำลัง (full load) ของมอเตอร์ตัวใหม่ 0.84

$$\text{Core loss} = kW_{\text{พิกัด}} \times ((1/eff) - 1) \times \%\text{Core loss}$$

$$= 11\ kW \times ((1/90\%) - 1) \times 30\%$$

$$= 0.367\ kW$$

$$\text{Copper loss} = kW_{\text{พิกัด}} \times ((1/eff) - 1) \times \%\text{Copper loss} \times (kVA_{\text{ใช้งาน}} / kVA_{\text{พิกัด}})^2$$

$$= 11\ kW \times ((1/90\%) - 1) \times 70\% \times ((9.9\ kW/0.84) / (11\ kW/0.84))^2$$

$$= 0.693\ kW$$

ดังนั้น มีค่าความสูญเสียรวม 1.037 kW

<u>ผลประหยัด</u>

ไฟฟ้าที่ประหยัดได้ = (1.574-1.037) kW × 24 ชั่วโมง/วัน × 300 วัน/ปี
= 3,866.40 kWh/ปี

เงินที่ประหยัดได้ = 3,866.40 kWh/ปี × 4.5 บาท/kWh
= 17,398.80 บาท/ปี

ระยะเวลาคืนทุน = 20,000 บาท / 17,398.80 บาท/ปี
= 1.15 ปี

6.6. ลดการเดินตัวเปล่าของมอเตอร์

เนื่องจากในขณะที่มอเตอร์เดินตัวเปล่าไม่มีภาระ กำลังที่มอเตอร์ใช้จะถูกเปลี่ยนเป็นกำลังสูญเสียทั้งหมดซึ่งประกอบด้วยกำลังสูญเสียในแกนเหล็ก กำลังสูญเสียในขดลวด กำลังสูญเสียเกิดจากแรงเสียดทานและแรงต้านของพัดลมระบายอากาศ ดังนั้นไม่ควรปล่อยให้มอเตอร์เดินตัวเปล่า

การใช้อุปกรณ์ควบคุมมอเตอร์ตามภาระการใช้งาน (Dynamic motor load control) ก็จะช่วยในการประหยัดพลังงานในขณะที่มอเตอร์เดินตัวเปล่าไม่มีภาระได้ อุปกรณ์จะทำหน้าที่ลดกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการสร้างสนามแม่เหล็กในขณะที่มอเตอร์ไม่มีภาระ ทำให้ค่าสูญเสียในมอเตอร์ลดลง ดังนั้นระยะเวลาที่มอเตอร์ไม่มีภาระแต่ยังคงต้องเดินมอเตอร์ไว้ จึงมีความสำคัญต่อผลการประหยัดพลังงานที่เกิดขึ้น โดยปกติมอเตอร์ที่จะติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมมอเตอร์ตามภาระการใช้งาน ควรมีช่วงเวลา Unload หรือเดินเครื่องตัวเปล่าไม่ต่ำกว่าร้อยละ 60 ของระยะการใช้งานทั้งหมด จึงจะทำให้ผลการประหยัดที่น่าพอใจ

<u>ตัวอย่าง</u> โรงงานแห่งหนึ่งมีเครื่องจักรที่ใช้มอเตอร์ขนาด 15 kW เป็นตัวขับเคลื่อน มีการวัดค่ากำลังไฟฟ้าขณะเดินตัวเปล่าได้ 3.5 kW และมีการบันทึกเวลาเดินเครื่องตัวเปล่าเฉลี่ยได้ 3 ชั่วโมง/วัน โรงงานทำงาน 300 วัน/ปี ค่าไฟฟ้าเฉลี่ย 4.5 บาท/kWh หากสามารถลดช่วงเวลาการเดินเครื่องตัวเปล่าได้จะสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายได้ ดังนี้

รูปที่ 6-9 การวัดค่ากำลังไฟฟ้ามอเตอร์ขณะเดินตัวเปล่า

ผลประหยัด

ไฟฟ้าที่ประหยัดได้ = กำลังไฟฟ้ามอเตอร์ใช้จริง x เวลาเดินตัวเปล่าต่อวัน x วันทำงานต่อปี

= 3.5 kW x 3 ชั่วโมง/วัน x 300 วัน/ปี

= 3,150.00 kWh/ปี

เงินที่ประหยัดได้ = 3,150.00 kWh/ปี × 4.5 บาท/kWh

= 14,175.00 บาท/ปี

6.7. การตรวจสอบและบำรุงรักษาเพื่อลดการสูญเสีย

การดูแลมอเตอร์ในขณะที่มอเตอร์ยังอยู่ในสภาพใช้งานได้ มี 2 แนวทาง ดังนี้

6.7.1. Preventive Maintenance (PM)

เป็นการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน การบำรุงรักษาลักษณะนี้จะมีการกำหนดช่วงชั่วโมงการทำงาน และแต่ละช่วงของชั่วโมงการทำงานจะมีลักษณะการเข้าทำ PM เช่น ตัวอย่างดังตารางที่ 6-5 เป็นการป้องกันมอเตอร์จากการเกิดปัญหาได้ในระดับหนึ่งเท่านั้น แต่ก็ยังมีผลเสียที่อาจเกิดขึ้นโดยทั่วไป เช่น

1. แปรงถ่านอาจจะแตกหักก่อน 2,000 ชั่วโมง ทำให้เกิดการหยุดมอเตอร์ก่อน 2,000 ชั่วโมง โดยไม่ได้วางแผนล่วงหน้า
2. แปรงถ่านยังคงใช้งานได้ดี และยังมีความยาวที่ยังใช้งานได้ แต่ต้องถูกเปลี่ยนทิ้งที่ 2,000 ชั่วโมง เมื่อถึงกำหนดเวลา
3. แบริ่งอาจจะเสียหายก่อน 10,000 ชั่วโมง

ตารางที่ 6-4 ตัวอย่างการตั้งชั่วโมงทำงาน และลักษณะการทำงาน PM

ชั่วโมงการทำงาน	ลักษณะการทำงาน PM
- ทุก 1,000	- อัดจารบี 40 gm
- ทุก 2,000	- เปลี่ยนแปรงถ่าน
- ทุก 10,000	- เปลี่ยน Bearing
- ทุก 20,000	- ถอด ล้างทำความสะอาดและอาบวานิชใหม่

จากการวิเคราะห์จะเห็นได้ว่าลักษณะการบำรุงรักษาเชิงป้องกันไว้ก่อน ยังมีผลเสียเด่นชัด 2 ประการ คือ

1. เวลาหยุดมอเตอร์ (Shutdown) โดยไม่จำเป็นหรือไม่ได้วางแผนไว้ก่อน ในกรณีที่เวลาการทำ PM ยังมาไม่ถึง
2. เสียอะไหล่ (Spare parts) โดยไม่จำเป็นในกรณีที่เวลาการทำ PM มาถึง

6.7.2. Predictive maintenance

เป็นการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ ซึ่งจะทำโดยการตั้งชั่วโมงการทำงานเพื่อเข้าตรวจเช็ค และนำผลการตรวจเช็คไปวิเคราะห์ดูแนวโน้มของปัญหาที่อาจจะเกิดขึ้น เพื่อหาทางป้องกันความเสียหาย หรือเวลาหยุดของมอเตอร์ มี 2 ขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 กำหนดชั่วโมงทำงานเข้าตรวจเช็ค เช่น

ชั่วโมงการทำงาน	ลักษณะเข้าตรวจเช็ค
500	- อุณหภูมิแบริ่ง และ Frame มอเตอร์
100	- ความสั่นสะเทือน (Vibration)

ขั้นตอนที่ 2 นำข้อมูลจากขั้นตอนที่ 1 มาเก็บข้อมูล และวิเคราะห์โดยการเปรียบเทียบแนวโน้ม และเทียบกับค่ามาตรฐาน เช่น

หัวข้อวิเคราะห์	ชั่วโมงการทำงาน			
	500	1,000	1,500	2,000
- อุณหภูมิแบริ่งของมอเตอร์ A ด้าน Drive	60	65	68	71
- อุณหภูมิแบริ่งของมอเตอร์ B	60	61	60	60

จากข้อมูลข้างต้นจะเห็นว่าแนวโน้มของอุณหภูมิแบริ่งด้าน Drive ของมอเตอร์ A จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ในขณะที่อุณหภูมิแบริ่งของมอเตอร์ B ยังคงที่อยู่ ดังนั้นควรมีการหาสาเหตุการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของมอเตอร์ A ว่าเพิ่มขึ้นเนื่องมาจากสาเหตุอะไร แล้ววางแผนหยุดและทำการแก้ไข ซึ่งในลักษณะการหยุดนี้ จะเกิดก่อนที่มอเตอร์จะเกิดความเสียหายมาก และเป็นลักษณะที่มีการวางแผนไว้ก่อน นั่นคือจะเกิดการสูญเสียน้อยที่สุด

ควรมีการตรวจเช็คมอเตอร์อย่างสม่ำเสมอพร้อมกับการทำ PM พื้นฐาน เช่น การอัดจารบี การอัดจาระบี หยอดน้ำมันหล่อลื่น ซึ่งเรียกลักษณะดังกล่าวนี้รวมๆ ว่า Predictive maintenance ลักษณะการ PM แบบ Predictive นี้ช่วยให้ทราบประวัติของมอเตอร์ แนวโน้มของปัญหาที่จะเกิดขึ้น และการวางแผนแก้ไขระยะยาว รวมทั้งการประหยัดด้านทุนของอะไหล่และหยุดมอเตอร์โดยไม่จำเป็น

ขั้นตอนการบำรุงรักษา

1) ทำ Check list ของจุดที่ควรทำการเช็คและกำหนดชั่วโมงการเข้าตรวจเช็ค
2) เข้าตรวจเช็คตามชั่วโมงที่กำหนด
3) วิเคราะห์ดูแนวโน้มของข้อมูล

4) ทำการแก้ไขมอเตอร์ที่มีแนวโน้มทำงานบางอย่างไม่ได้ แล้วทำการตรวจเช็คอีกครั้ง

1. ขณะมอเตอร์ยังใช้งานอยู่
   - ควรเติมจารบีกรณีครบรอบ หรือแบริ่งมีเสียงดัง เพื่อลดกำลังงานสูญเสียและการสึกหรอเนื่องจากแรงเสียดทานหรือความฝืด
   - ตรวจดูการระบายความร้อน ว่ามีอะไรขวางทางลมหรือการระบายอากาศหรือไม่ หมั่นใช้เครื่องเป่าลมเป่าทำความสะอาดฝุ่นละอองที่เกาะติดบริเวณมอเตอร์ เนื่องจากฝุ่นละอองที่เกาะติดอยู่ทำให้การระบายความร้อนของมอเตอร์ไม่ดี หากมอเตอร์มีอุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้เกิดกำลังงานสูญเสียของมอเตอร์เพิ่มขึ้นเนื่องจากความต้านทานของขดลวดเพิ่มขึ้น
   - ตรวจสอบระดับแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้มอเตอร์ ถ้ามอเตอร์ทำงานที่ค่าแรงดันต่างกันเกินไปจากค่าพิกัด จะทำให้สมรรถนะการทำงานของมอเตอร์เปลี่ยนไป ซึ่งมีผลต่อประสิทธิภาพของระบบขับเคลื่อน และอายุการใช้งานของมอเตอร์
2. ขณะมอเตอร์หยุดนิ่ง
   - กรณีไม่มีความเสียหายให้ทำการขันจุดต่อของไฟฟ้า และสภาพทั่วไปของเครื่องจักร
   - กรณีเสียหายต้องถอดมอเตอร์มาทำการเปิดตรวจเช็คจุดต่าง ๆ
   - ตรวจสอบแรงตึงของสายพานให้มีค่าที่เหมาะสมไม่ตึงหรือหย่อนเกินไป

3. การพิจารณาดูค่าจากการตรวจเช็คต่างๆ บางครั้งสามารถเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานได้ เช่น ค่าความสั่นสะเทือน (Vibration) ถ้าหากมีค่าสูงกว่ามาตรฐานอาจจะต้องมีการหยุดเครื่องจักร เพื่อตรวจเช็คละเอียดอีกครั้งว่ามีสาเหตุมาจากอะไร โดยสาเหตุของความสั่นสะเทือนอาจจะเนื่องมาจากสาเหตุดังนี้
   - การตั้งศูนย์ (Alignment) ไม่ดี
   - โรเตอร์ของมอเตอร์เกิดไม่สมดุล (Unbalance)
   - เฟรมของมอเตอร์บิดเสียรูป
   - แท่งโรเตอร์บาร์ (กรณีมอเตอร์กระรอก) เกิดการแตกหัก
   - ขามอเตอร์ไม่ได้ระดับ (Soft foot)

4. ในกรณีที่มอเตอร์สกปรกมาก และต้องการล้างสิ่งสกปรกออก ควรจะทำการถอด แยกชิ้นส่วนมอเตอร์ก่อน แล้วแยกล้างเป็นชิ้นส่วน เช่น Stator, Rotor อื่นๆ โดยการล้างอาจจะใช้น้ำสะอาด สารละลายซึ่งไม่กัดกร่อนจำพวก Solvent ต่างๆ แล้วนำชิ้นส่วนเหล่านั้นมาอบให้แห้งสนิทก่อนจะทำการประกอบใหม่

เอกสารอ้างอิง

[1] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, (2561), คู่มือผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน (โรงงาน)

[2] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, (มปป.), คู่มือ การบริหารจัดการพลังงานไฟฟ้า

[3] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, (มปป.), ตำราฝึกอบรมผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน (ผชพ) ด้านไฟฟ้า

[4] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, (มปป.), คู่มือมาตรการอนุรักษ์พลังงาน

[5] สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา, (มปป.), เอกสารประกอบการสอนวิชาการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า