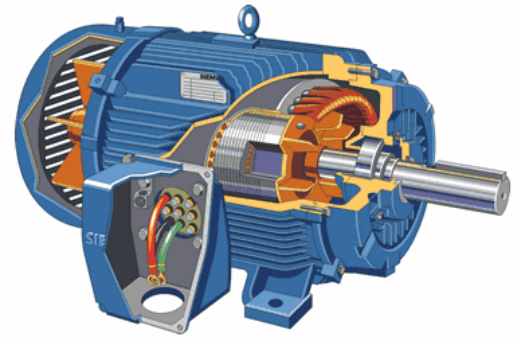
สงวนลิขสิทธิ์ © พ.ศ. 2546 ตามพระราชบัญญัติลิขสิทธิ์ โดย พิรพงศ์ ลิ้มประสิทธิ์วงศ์ ห้ามลอกเลียนแบบไม่ว่าส่วนหนึ่งส่วนใดของบทความฉบับนี้ ไม่ว่าในรูปแบบใดๆ นอกจากจะได้รับอนุญาตเป็นลายลักณ์อักษรจากผู้เขียนเท่านั้น ยกเว้นเพื่อการศึกษาโดยไม่แสวงหากำไร (Copyright © 2003)



พิรพงศ์ ลิ้มประสิทธ์วงศ์
(Bs.EE$_{KMITN}$., MBA$_{NIDA}$)
pirapongl@siemens.com
Sales Manager, Siemens Limited

ข้อควรคำนึงในการนำมอเตอร์ NEMA 60 Hz มาใช้กับ 50 Hz

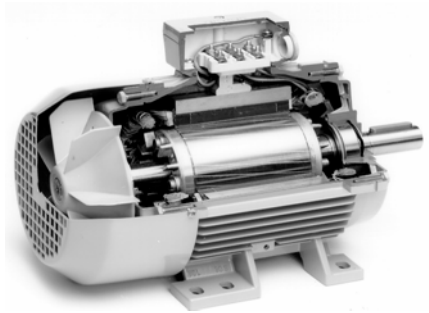
สืบเนื่องจากระบบหน่วยวัดทางด้านงานวิศวกรรมที่ใช้รวมทั้งระบบไฟฟ้าในโลกนี้สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ระบบใหญ่ๆ คือ NEMA Standard ซึ่งส่วนใหญ่จะใช้ในประเทศอเมริกา หรือละตินอเมริกา รวมทั้งบางประเทศ ที่เป็นเมืองขึ้นในเครือจักรภพอังกฤษ เช่นประเทศออสเตเลีย (โชคดีที่เมืองไทยไม่ได้เป็นเมืองขึ้น) เช่น หน่วยวัดระยะเป็นนิ้ว ฟุต หลา ไมล์ อุณหภูมิเป็นองศาฟาเรนไฮน์ น้ำหนักเป็นปอนด์ ส่วนอีกระบบหนึ่งคือ IEC หรือ SI unit ส่วนใหญ่จะเป็นประเทศยุโรป เอเชีย และประเทศอื่นๆ รวมทั้งประเทศไทย เช่น หน่วยวัดระยะเป็นมิลลิเมตร เมตร กิโลเมตร อุณหภูมิเป็นองศาเซลเซียส น้ำหนักเป็นกิโลกรัม เป็นต้น

สำหรับประเทศไทยวิศวกรส่วนใหญ่ในประเทศจะคุ้นเคยกับระบบ IEC หรือ SI เสียเป็นส่วนใหญ่ ประกอบกับระบบไฟฟ้าในบ้านเราก็เหมือนกับระบบไฟฟ้าในประเทศยุโรป กล่าวคือ ระบบไฟฟ้าจะเป็นแบบแรงดัน 220-230 V, 380-400V, 660-690 V, 3000-3300 V และมีความถี่คือ 50Hz ทำให้มาตรฐานต่างๆ รวมทั้งมาตรฐานทางระบบไฟฟ้าในประเทศไทยจึงมีความใกล้เคียงกับมาตรฐาน IEC เป็นอย่างมาก ส่วนระบบ NEMA ระบบไฟฟ้าจะเป็นแบบแรงดัน 110-120 V, 460V, 2300 V, 4160 V และมีความถี่ที่แตกต่างกันคือ 60Hz

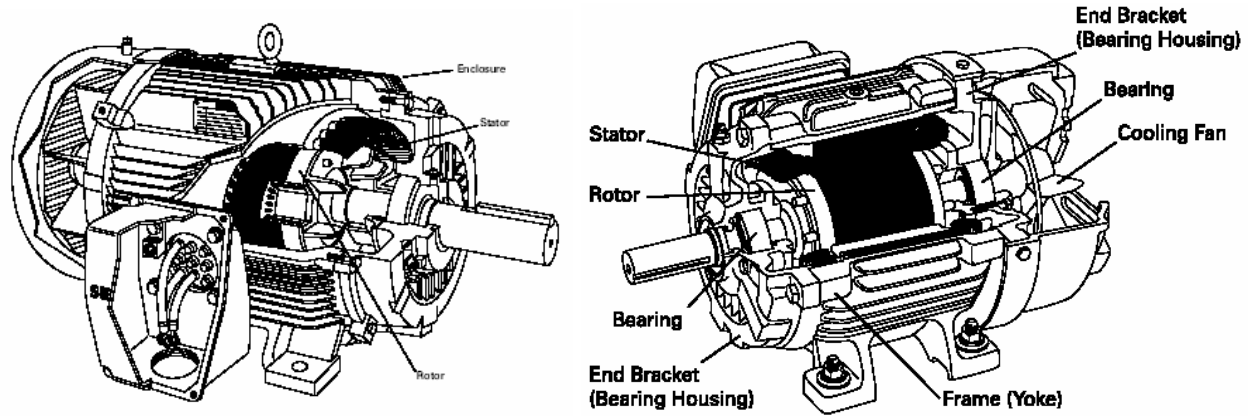
ดังนั้นการออกแบบอุปกรณ์ไฟฟ้า รวมถึงมอเตอร์ไฟฟ้าของบริษัทผู้ผลิต ในกลุ่มประเทศอเมริกา จะออกแบบมอเตอร์ให้มีความเหมาะสมกับการใช้งานของระบบไฟฟ้าของประเทศนั้นๆ ยกตัวอย่างเช่น มอเตอร์ขนาด 10 แรงม้า 440V 4 ขั้ว จะมีความเร็วรอบโดยประมาณ 1800 รอบต่อนาที แต่มอเตอร์ทาง IEC จะเป็นขนาด 7.5 kW 400V 4 ขั้ว จะมีความเร็วรอบโดยประมาณ 1500 รอบต่อนาที จะเห็นได้ว่าส่วนที่แตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัดคือ ขนาดของแรงดัน และความเร็วรอบมอเตอร์ที่ออกแบบมาแตกต่างกัน ทำให้ตลาดในประเทศไทยส่วนใหญ่จะเป็นมอเตอร์ที่มีการนำเข้ามอเตอร์ตามมาตรฐาน IEC มากกว่า 80% ของการนำเข้ามอเตอร์ทั้งหมด* (ข้อมูลจากกรมศุลกากร) แต่ในบางครั้งอาจจะมีมอเตอร์ที่ติดกับ OEM (Original Manufacture Equipment) ที่ผลิตจากประเทศอเมริกา ที่ออกแบบมาใช้กับมาตรฐาน NEMA มาใช้ คำถามที่มักจะพบได้บ่อยๆ เช่น

หากเรานำมอเตอร์ ที่ออกแบบตามมาตรฐาน NEMA ขนาด 10 แรงม้า 1800 รอบต่อนาที มาใช้ในบ้านเรา ยังจะสามารถขับโหลด ได้หรือไม่ ?
ถ้านำมาใช้จะต้องทำอย่างไรบ้าง และมีข้อควรคำนึงถึงอย่างไร ?
ทำไมประสิทธิภาพของ เครื่องจักรถึงลดลง เมื่อนำมาใช้กับบ้านเรา?

คำถามเหล่านี้ สามารถวิเคราะห์ และอธิบายได้ เนื่องจากผลกระทบจากระบบไฟฟ้าที่ไม่เหมือนกัน ก่อนที่จะตอบคำถาม เราควรจะมีความเข้าใจในด้านต่าง ๆ ของผลกระทบที่มีต่อเครื่องจักร และมอเตอร์เสียก่อน



รูปที่ 1 แสดงลักษณะโครงสร้างของมอเตอร์กรงกระรอกตามมาตรฐาน IEC



รูปที่ 2 แสดงโครงสร้างภายใน ของมอเตอร์กรงกระรอก ตามมาตรฐาน NEMA

มอเตอร์คือเครื่องจักรกลที่ทำหน้าที่ เปลี่ยนจากพลังงานไฟฟ้าในรูปของ แรงดัน กระแส ความถี่ เป็นพลังงานกล ในรูปของแรงบิด และความเร็วรอบ โดยปกติมอเตอร์นั้นมีหลายชนิดด้วยกัน ในที่นี้จะขอพูดถึงเฉพาะมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ ชนิดเหนี่ยวนำแบบกรงกระรอก (Ac Squirrel Cage Induction Motor) ซึ่งมีการใช้อย่างแพร่หลายมากที่สุด

จากรูปที่ 1 และ 2 แสดงมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ ชนิดเหนี่ยวนำแบบกรงกระรอก แบบหุ้มมิด (TEFC AC Squirrel Cage Induction Motor) มอเตอร์ทั้งแบบ IEC และ NEMA การออกแบบค่อนข้างจะเหมือนกัน อาจจะแตกต่างกันบ้าง เช่น เทอร์มินอลต่อสายที่ไม่เหมือนกัน ความสูงหรือเฟรมที่ออกแบบมาไม่เหมือนกันเพราะมาตรฐานที่แตกต่างกันเป็นต้น มอเตอร์ประเภทนี้ จะใช้พัดลมที่ติดอยู่กับตัวโรเตอร์ระบายความร้อน จากครีบระบายความร้อน เป็นแบบที่พบเห็นและใช้กันโดยทั่วไปมากที่สุด และมอเตอร์ชนิดนี้ยังสามารถติดตั้งพัดลมระบบบายความร้อนภาพนอกเพิ่มเติม เพื่อเพิ่มความสามารถในการระบายความร้อนได้ด้วย มอเตอร์แบบนี้สามารถติดตั้งได้ทั้งภายในและภายนอกอาคาร และสามารถทนต่อสภาวะแวดล้อมทั้งน้ำ และฝุ่นได้ดี ตามมาตรฐาน IEC-IP 55

หากเรานำมอเตอร์ ที่ออกแบบตามมาตรฐาน NEMA 60 Hz มาใช้ในบ้านเรา 50Hz จะมีผลกระทบ หรือข้อควรคำนึงถึง มีอะไรบ้าง ?

จากคำนิยามของมอเตอร์คือเครื่องจักรกลที่ทำหน้าที่ เปลี่ยนจากพลังงานไฟฟ้าในรูปของ *แรงดัน (U) กระแส (I) ความถี่ (f, Hz)* เป็นพลังงานกล ในรูปของ *แรงบิด (Torque)* และ *ความเร็วรอบ (Speed)* จากคำนิยาม จึงของวิเคราะห์ออกเป็นส่วนๆ ดังต่อไปนี้

1. ผลกระทบจากความถี่ที่เปลี่ยนไป

เมื่อเรานำมอเตอร์อเมริกาที่ออกแบบให้ใช้ที่ระบบความถี่ 60 Hz 4 ขั้ว ตามสูตรจะได้ความเร็วรอบประมาณ 1800 รอบต่อนาที่ มาใช้ที่ระบบไฟฟ้า 50 Hz ความเร็วรอบจะเปลี่ยนไปเป็นประมาณ 1500 รอบต่อนาที่ ตามสูตร

$$\text{Speed, } n = (1 - Slip)\frac{120f}{P} \approx \frac{120f}{P}$$

n = ความเร็วรอบมอเตอร์ มีหน่วยเป็น รอบต่อนาที (Speed)
f = ความถี่ (Hz)
P = จำนวนขั้วแม่เหล็ก (Pole)

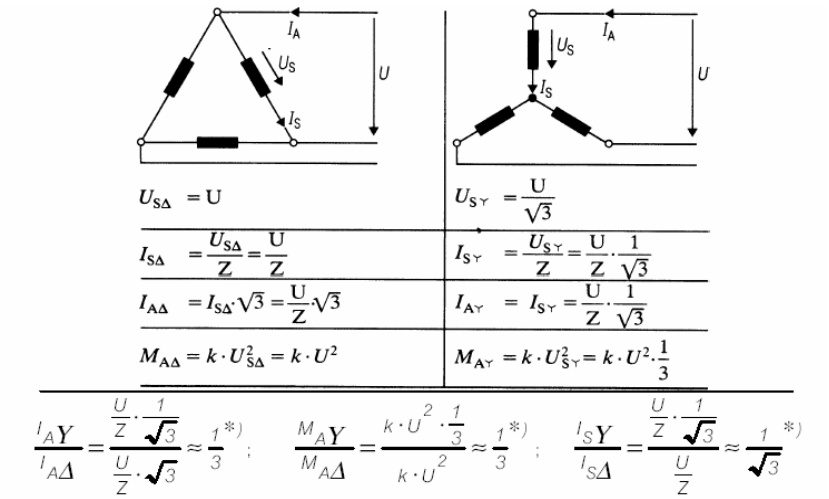
หากเรานำเอาเครื่องจักรสำเร็จรูปที่มีมอเตอร์ติดกับ OEM (Original Manufacture Equipment) ที่ผลิตจากประเทศอเมริกา ซึ่งออกแบบตามระบบไฟฟ้าของประเทศอเมริกามาใช้ เช่นพัดลม (Fan or Blower) หรือ เครื่องสูบน้ำ (Water Pump) *สำเร็จรูปมาใช้จะมีผลกระทบอย่างไร?*

ตามกฎพลศาสตร์ ปริมาณลม หรือน้ำ จะขึ้นอยู่กับความเร็วรอบยกกำลังสาม ($Q \sim n^3$) ดังนั้นเมื่อเรานำมอเตอร์อเมริกาที่ออกแบบให้ใช้ที่ระบบความถี่ 60 Hz ความเร็วรอบ 1800 รอบต่อนาที่ มาใช้ที่ระบบไฟฟ้า 50 Hz ความเร็วรอบจะเป็น 1500 รอบต่อนาที่ จะทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องจักรลดลงตามตามกฎพลศาสตร์ของไหลผลลัพท์จะได้ปริมาณลม หรือน้ำจะได้ไม่เต็มที่ตาม ($Q \sim n^3$) แต่จะไม่มีผลกระทบต่อตัวมอเตอร์เองมากนัก เพราะการใช้พลังงานไฟฟ้าก็จะลดลงไปด้วยตามสัดส่วนของพลังงานที่จ่ายออกไป

2. ผลกระทบจากแรงดันไฟฟ้า (Voltage)

แรงดันไฟฟ้าสำหรับประเทศไทยจะเป็นระบบ 220-230 V 1 phase, 380-400V, 660-690 V, 3000-3300 V ส่วนระบบ NEMA ระบบไฟฟ้าจะเป็นแบบแรงดัน 110-120 V 1 phase, 460V, 2300 V, หรือ 4160 V

หากเรานำมอเตอร์ที่ออกแบบ 460 V มาใช้ที่ แรงดัน 380-400V จะมีผลกระทบอย่างไรบ้าง?



U = แรงดันไลน์ (Line to Line voltage)
Us = แรงดันเฟส (Phase voltage)
I_A = กระแสเริ่มหมุนของแหล่งจ่าย (Lock-rotor current in supply)
I_S = กระแสเริ่มหมุนต่อเฟส (Lock-rotor current / phase)
M_A = แรงบิดเริ่มหมุน (Lock rotor torque)
Z = อิมพีแดนซ์ต่อ 1 เฟส (Impedance of one phase)
K = ค่าคงที่ ขึ้นอยู่กับมอเตอร์ (Constant depending on motor data)

รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัน กระแส และแรงบิด ของมอเตอร์

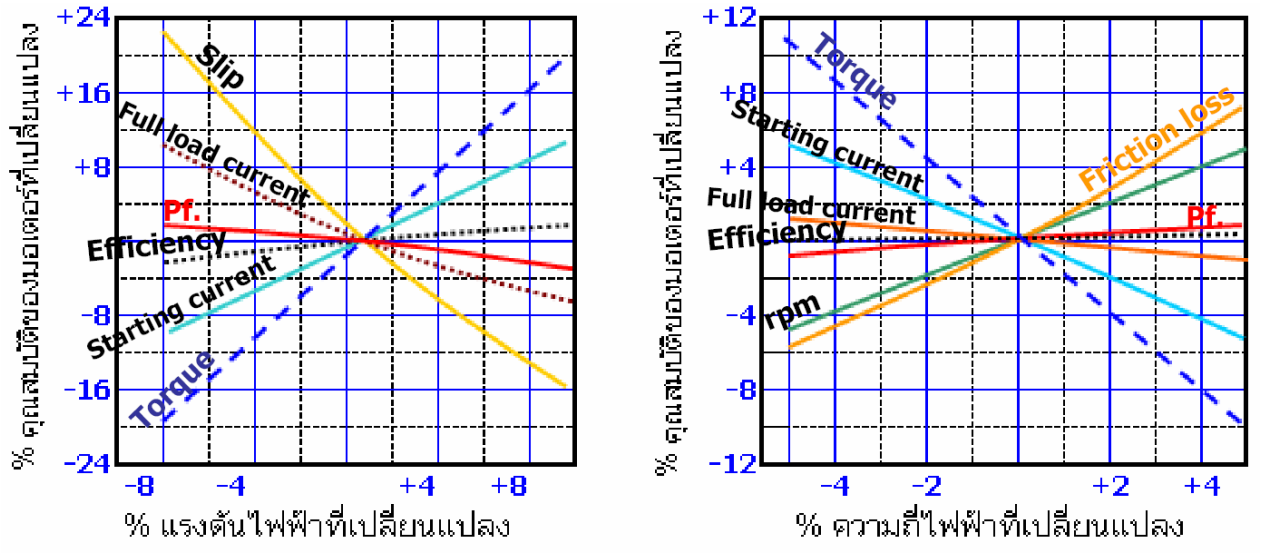
ตามรูปที่ 3 แรงบิด (Torque or M_A) มอเตอร์ที่เพลาจะแปลผกผันตามแรงดันไฟฟ้ายกกำลังสอง ($T \sim U^2$) แสดงว่าหากนำมอเตอร์ที่ ออกแบบที่ความถี่เดียวกันแต่แรงดันไฟฟ้า 460 V, มาใช้ที่แรงดันไฟฟ้า 400 V นั่นคือ แรงดันไฟฟ้าลดลงจากที่ออกแบบไว้เดิม 13% จะทำให้แรงบิดพิกัดมอเตอร์ลดลงจากเดิมเหลือเพียง 76% ของแรงบิดพิกัดเดิม

ในทางตรงกันข้ามหากเรานำมอเตอร์ตัวเดียวกันนี้ไปขับโหลดที่แรงบิดพิกัดของมอเตอร์ (Rated torque or M_A) ตามคุณสมบัติของมอเตอร์จะพยายามขับโหลดให้ได้ โดยพยายามดึงกระแสไฟฟ้าเพื่อมาเพิ่มแรงบิดขับโหลด ทำให้กระแสเพิ่มขึ้นเกินพิกัด นั่นแสดงว่ามอเตอร์กำลังทำงานที่จุด Over load เกินแรงบิดที่จุดควรจะใช้งานไปถึง 24% ความเร็วรอบของมอเตอร์จะลดลงเล็กน้อยอันเนื่องมาจาก Slip ของมอเตอร์จะมากกว่าปกติ มอเตอร์ทำงานหนักขึ้น กระแสซึ่งแปลผันตามแรงบิดจะเพิ่มขึ้นเกินพิกัดของมอเตอร์ ทำให้มอเตอร์จะร้อนกว่าปกติ เมื่อความร้อนเพิ่มสูงขึ้น อาจจะทำความเสียหายให้แก่ฉนวนของขดลวดมอเตอร์ได้ หรือทำให้อายุการใช้งานสั้นลงอย่างรวดเร็ว

ตามมาตรฐานการผลิตมอเตอร์ไม่ว่าจะเป็น NEMA หรือ IEC จะมีค่าที่ยอมรับได้ของแรงดันที่เปลี่ยนแปลง (Voltage Fluctuate) +/- 5% หรือ +/-10% ขึ้นอยู่กับบริษัทผู้ผลิตมอเตอร์ ยกตัวอย่างเช่น มอเตอร์ขนาด 10 kW 380 V+/-10% มีความหมายว่า เราสามารถนำมอเตอร์ตัวนี้ไปใช้ที่แรงดันไฟฟ้า 342-418 โวลท์ นั่นแสดงว่าหากแรงดันไฟฟ้าลดลงต่ำถึง 342 โวลท์ มอเตอร์ยังสามารถขับโหลดได้เต็มพิกัดที่ 10 kW โดยไม่มีอันตรายต่อตัวมอเตอร์ และไม่ทำให้อายุการใช้งานสั้นลง หรือ เมื่อนำไปใช้ที่แรงดันสูงถึง 418 โวลท์ก็ไม่เกิดผลกระทบใดๆ ต่อมอเตอร์ได้

ปัจจุบันนี้ทางการไฟฟ้าฝ่ายผลิตจะจัดส่งแรงดันที่สูงกว่าปกติ เพราะต้องเผื่อแรงดันตกระหว่างสาย หากโรงงานอยู่ใกล้ต้นทางสายส่ง แรงดันไฟฟ้าอาจจะสูงขึ้นเป็น 400 V แต่หากอยู่ปลายทางสายส่งแรงดันไฟฟ้าอาจจะเป็น 360 V ดังนั้นผู้แทนจำหน่ายในบ้านเราส่วนใหญ่จะนิยมจำหน่ายมอเตอร์ที่มีแรงดันไฟฟ้า 400 โวลท์ +/-10% เพราะตามมาตรฐานแรงดันไฟฟ้าในประเทศยุโรปจะผลิตเป็นแรงดัน 400 โวลท์เป็นมาตรฐาน ทำให้การผลิตเป็นแบบ mass production ซึ่งสามารถหาซื้อได้ง่าย และสามารถนำมาใช้ได้กับระบบไฟฟ้า 360-440 โวลท์ได้โดยไม่เกิดผลเสียหายใดๆต่อตัวมอเตอร์

ดังนั้นการเลือกแรงดันไฟฟ้าที่เหมาะสม วิศวกรไฟฟ้าควรจะวัดแรงดันไฟฟ้าที่โรงงานที่จะทำการติดตั้งว่าที่โรงงานมีระดับแรงดันโดยเฉลี่ยเป็นเท่าใด และควรจะกำหนดให้ตรงกับระดับแรงดันโดยเฉลี่ยจึงจะเป็นการเลือกใช้แรงดันไฟฟ้ามอเตอร์ที่ถูกต้องที่สุด

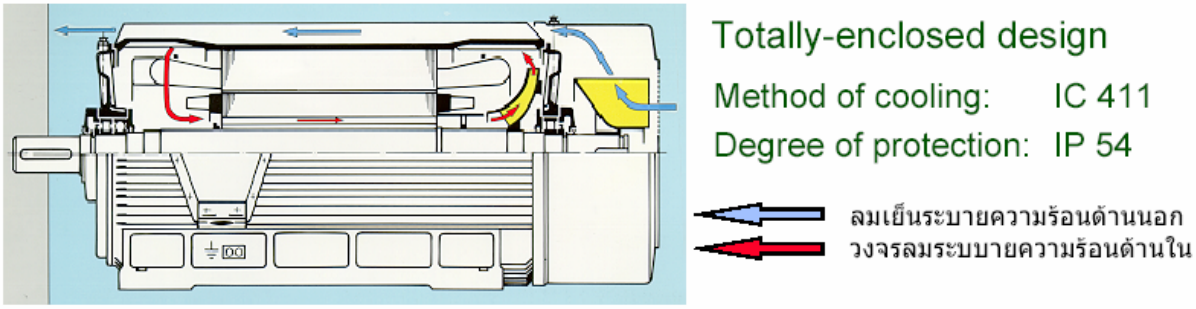


รูปที่ 4 คุณสมบัติของมอเตอร์ที่เปลี่ยนแปลงไป เมื่อแรงดัน และความถี่เปลี่ยนแปลง

3. ผลกระทบต่อระบบระบายความร้อนมอเตอร์

มอเตอร์กรงกระรอก หรือ อินดักชั่นมอเตอร์ โดยส่วนใหญ่จะมีการระบายความร้อนเป็นแบบชนิด IC411 หรือ แบบ Self Cool หรือ TEFC (Total Enclosure Fan Cool) โดยจะมีพัดลมอยู่สองชุด แยกวงจรลมออกเป็นวงจรลมร้อนภายใน และภายนอก โดยวงจรลมภายในจะมีครีบใบพัดติดที่ตัวโรเตอร์ทำหน้าที่ตีลมให้มีการหมุนเวียนภายในห้องโรเตอร์ให้ลมกระจายโดยทั่ว เพื่อสามารถนำพาเอาความร้อนจากตัวโรเตอร์เองและขดลวดสเตเตอร์ ถ่ายเทไปยังผิวของโครงสร้างตัวมอเตอร์ โดยวิธีการนำพาระบายความร้อน ส่วนวงจรลมด้านนอกจะมีพัดลมติดด้านท้ายของตัวโรเตอร์ด้านนอกโครงมอเตอร์ ทำหน้าที่ดูดลมเย็นจากทางด้านท้าย (Non Drive End) ผ่านทางครีบด้านนอกเพื่อช่วยนำพา และระบายความร้อนออกจากตัวโครงสร้างมอเตอร์ ดังรูปที่ 3

หากวิเคราะห์ดูตามหลักพลศาสตร์ การระบายความร้อน ส่วนที่ร้อนที่สุดคือส่วนกลางตัวมอเตอร์ เพราะอยู่ใกล้แหล่งกำเนิดความร้อนคือ ขดลวดสเตเตอร์มากที่สุด ส่วนที่มีอุณหภูมิต่ำที่สุดคือส่วนท้ายตัวมอเตอร์เพราะอยู่ใกล้แหล่งลมเย็นที่ระบายความร้อมมากที่สุด

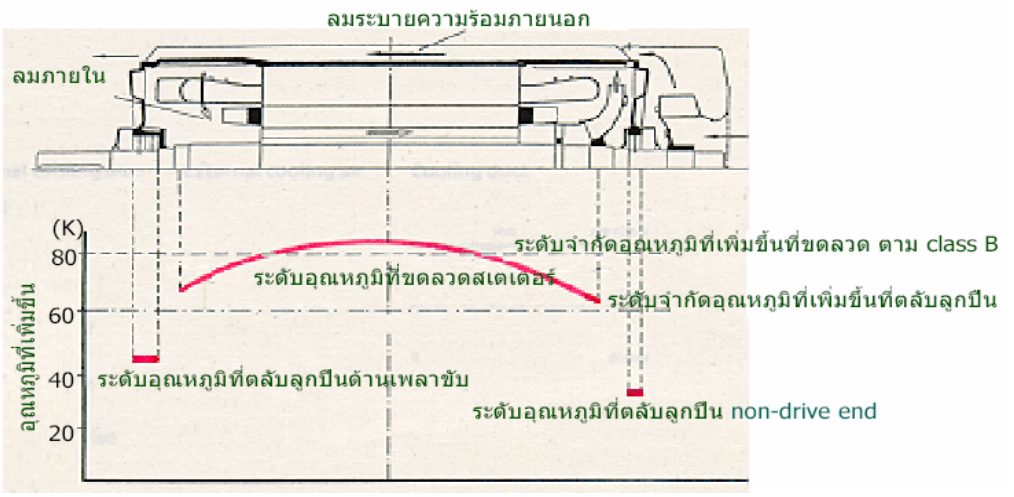


รูปที่ 5 แสดงลักษณะการระบายความร้อนของมอเตอร์

จากรูปที่ 5 ประสิทธิภาพของการระบายความร้อน ทั้งด้านนอก และภายในตัวมอเตอร์ ซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณลมที่ระบายความร้อน และความเย็นของลม ในขณะที่ปริมาณลมก็ขึ้นอยู่กับความเร็วของพัดลมยกกำลังสาม ($Q \sim n^3$) ตามกฎพลศาสตร์ ดังนั้นเมื่อเรานำมอเตอร์อเมริกาที่ออกแบบให้ใช้ที่อุณหภูมิแวดล้อมเท่ากัน ที่ระบบความถี่ 60 Hz ความเร็วรอบ 1800 รอบต่อนาที มาใช้ที่ระบบไฟฟ้า 50 Hz ความเร็วรอบ 1500 รอบต่อนาที จะทำให้ประสิทธิภาพของการระบายความร้อนของมอเตอร์ลดลง ทำให้ความสามารถในการรองรับกระแสก็จะลดลงตามไปด้วย ทำให้มอเตอร์ไม่สามารถขับโหลดได้เต็มพิกัดตามขนาดกระแสพิกัด หากเรานำมอเตอร์ไปขับยังกระแสพิกัด ผลที่ตามมาคือ มอเตอร์จะร้อนกว่าพิกัดที่ออกแบบไว้ ทำให้อายุการใช้งานของมอเตอร์สั้นลงอย่างรวดเร็ว

ดังนั้นหากต้องการนำมอเตอร์อเมริกาออกแบบที่ 60 Hz มาใช้ที่ระบบไฟฟ้า 50 Hz ควรตรวจดูความร้อนที่เพิ่มขึ้นที่ตัวมอเตอร์ โดยทั่วไปมอเตอร์ Class F Utilization Class B หมายถึง ฉนวนของขดลวดมีความสามารถทนความร้อนได้ไม่เกิน $155^{O}C$ และจะยอมให้มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นจากการใช้งานได้ไม่เกิน $80^{O}C$ จากอุณหภูมิ

แวดล้อม ยกตัวอย่างเช่น อุณหภูมิแวดล้อม 40^{O}C เมื่อขับมอเตอร์เต็มรอบ ความร้อนที่ขดลวดเพิ่มขึ้นเป็น 125^{O}C นั่นหมายความว่ามอเตอร์กำลังขับโหลดเกินกำลัง เพราะอุณหภูมิที่ยอมรับได้ คือ อุณหภูมิไม่เกิน 40^{O}+80^{O}=120^{O}C



รูปที่ 6 แสดงลักษณะอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นแต่ละตำแหน่งของมอเตอร์

การเพิ่มของอุณหภูมิจะเป็นผลทำให้เกิดการสูญเสียของการแปลงพลังงานจากพลังงานไฟฟ้าไปเป็นพลังงานกลในกรณีของมอเตอร์

นั้นคือกำลังสูญเสียขึ้นอยู่กับการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ การที่อุณหภูมิของขดลวดเพิ่มขึ้นสามารถคำนวณจากการเพิ่มขึ้นของความต้านทานของขดลวด

$$\theta = \frac{R_W - R_K}{R_K} \cdot (235 + \vartheta_K) + \vartheta_K - \vartheta_{cool}$$

เมื่อ
- θ คืออุณหภูมิเพิ่มขึ้นของขดลวด [[°K]
- R_K คือความต้านทานของขดลวดมอเตอร์ขณะเย็น [Ω]
- ϑ_K คืออุณหภูมิของขดลวดขณะเย็น [°C]
- R_W คือความต้านทานของขดลวดมอเตอร์ที่อุณหภูมิทำงาน
- ϑ_{cool} คืออุณหภูมิของการระบายความร้อน [°C]

อุณหภูมิกับอายุการใช้งานของมอเตอร์

อายุการใช้งานของมอเตอร์จะยาวนาน หรือสั้นลง ส่วนสำคัญคืออายุการใช้งานของฉนวนที่ขดลวด ส่วนอื่นๆ เช่นแบริ่ง ซึ่งเป็นอุปกรณ์ทางกลสามารถที่จะพอมองเห็นได้ด้วยตา หรือฟังด้วยเสียงได้ และการเปลี่ยนอุปกรณ์เหล่านี้ ไม่ยากและราคาไม่สูงมากนัก

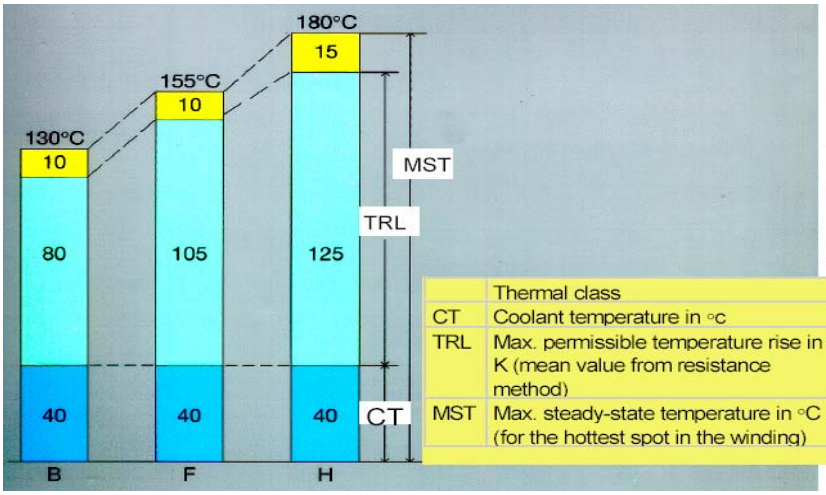
มอเตอร์ส่วนใหญ่เกินกว่า 80% จะเสียอันเนื่องมาจากเกิดการลัดวงจรของขดลวด การลัดวงจรอาจจะเกิดจากปัญหาทางกลที่สามารถมองเห็นได้ง่าย แต่สาเหตุใหญ่ที่อยู่เบื้องหลัง คือฉนวนเสื่อมคุณภาพก็เพราะความเป็นฉนวนไม่สามารถทำหน้าที่เป็นฉนวนทนแรงดันไฟฟ้าสูงสุดได้ จึงทำให้เกิดแรงดันทะลุฉนวน เกิดการลัดวงจรทางไฟฟ้า หรือลัดวงจรลงดิน

ฉนวนเสื่อมคุณภาพสาเหตุใหญ่เกิดจากอุณหภูมิเกิน เพราะอุณหภูมิเกินจะทำให้คุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุเปลี่ยนไป ความเป็นฉนวนของขดลวดเสื่อมคุณภาพ ทำให้เกิดการลัดวงจรลงโครง หรือระหว่างขดลวด

อุณหภูมิเกินนั้นมีสาเหตุมาจากหลายปัจจัย เช่น สภาพแวดล้อมไม่ตรงกับที่ออกแบบ, มอเตอร์ขับโหลดเกินทำให้กระแสเกิน, การสตาร์ทและหยุดบ่อยเกินไป จะมีกระแสเป็นจำนวนมากในตอนที่มอเตอร์สตาร์ททำให้ร้อนจัด, หรือการเลือกมอเตอร์ไม่เหมาะสมกับสภาพการใช้งานเป็นต้น

ดังนั้นปัจจัยที่สำคัญที่สุดที่ที่ก่อให้เกิดผลกระทบกระเทือนต่ออายุการใช้งานของมอเตอร์ก็คือ ความร้อนเกินนั้นเอง

โดยปกติฉนวนสำหรับมอเตอร์ควรจะมีอายุการใช้งาน 15-20 ปี ถ้ามอเตอร์นั้นทำงานภายใต้สภาวะแวดล้อมตามการที่ออกแบบเอาไว้ หากอุณหภูมิของฉนวนเพิ่มขึ้นทุกๆ 10 องศาเซลเซียส (10°K) อายุการใช้งานของฉนวนจะสั้นลงโดยประมาณ 50% ยกตัวอย่างเช่น ตามข้อมูลตามสถิติ ฉนวน Class F (155°C) นำไปใช้งานที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้นตาม Class F (105°K) จะมีอายุการใช้งานประมาณ 60,000 ชั่วโมง แต่หากนำไปใช้งานที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้นตาม Class B (80°K)จะมีอายุการใช้งานประมาณ 150,000 ชั่วโมง เป็นต้น



	Thermal class	B	F	H
CT	Coolant temperature in °c	40	40	40
TRL	Max. permissible temperature rise in K (mean value from resistance method)	80	105	125
MST	Max. steady-state temperature in °C (for the hottest spot in the winding)	130	155	180

รูปที่ 7 กราฟแสดงลักษณะมาตรฐาน Class อุณหภูมิ ของฉนวนมอเตอร์

4. ผลกระทบต่อแรงบิด (Torque)

แรงบิด (Torque) มีหน่วยวัดเป็น นิวตันเมตร ตาม IEC หรือ ปอนนิ้ว ตามมาตรฐาน NEMA กำลังขาออกของมอเตอร์ จะแปลผันตาม แรงบิด ส่วนแรงบิดจะแปลผันตรงกับกระแสที่จ่ายเข้ามอเตอร์โดยตรง

Power output = ωT = $\frac{2\pi n}{60} * T = \frac{nT}{9.55}$

ω = ความเร็วเชิงมุม = $\frac{2\pi n}{60}$

T = แรงบิด มีหน่วยเป็น นิวตันเมตร

n = ความเร็วรอบ มีหน่วยเป็น รอบต่อนาที

ปริมาณ หรือขนาดของกระแสจะถูกจำกัดด้วยความร้อนที่สะสมที่ขดลวด หรือความสามารถในการระบายความร้อน ดังนั้นหากต้องการนำมอเตอร์อเมริกาออกแบบที่ 60 Hz มาใช้ที่ระบบไฟฟ้า 50 Hz หากความร้อนสะสมไม่เกินข้อกำหนด มอเตอร์ เช่น มอเตอร์ Class F Utilization Class B หมายถึง ฉนวนของขดลวดมีความสามารถทนความร้อนได้ไม่เกิน 155°C และจะยอมให้มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นจากการใช้งานได้ไม่เกิน 80°K จากอุณหภูมิแวดล้อม ก็ไม่มีปัญหาประการใดในการขับโหลดที่แรงบิดพิกัดนั้นๆ

5. ผลกระทบต่อกำลังมอเตอร์ (Power)

จากประสบการณ์ของผู้เขียนพบว่า ผู้ผลิตมอเตอร์ชั้นนำ ซึ่งมีโรงงานผลิตมอเตอร์ทั้งในยุโรป และในประเทศอเมริกา ได้กำหนดค่าเฟกเตอร์ในการออกแบบขนาดกำลังมอเตอร์ ในโครงสร้างภายนอกเดียวกัน รุ่นเดียวกัน ที่แรงดันไฟฟ้าถูกต้องตรงกัน หากนำไปออกแบบเป็นมอเตอร์ที่ใช้ระบบความถี่ไฟฟ้าที่แตกต่างกัน 60Hz มอเตอร์ตัวเดียวกันนี้สามารถเพิ่มกำลังมอเตอร์ได้ 15-20% นั่นหมายความว่า หากต้องการนำมอเตอร์อเมริกาออกแบบที่แรงดันเดียวกันแต่ความถี่ 60 Hz มาใช้ที่ 50 Hz ควรจะนำมาใช้ที่ค่ากำลังมอเตอร์สูงสุดไม่เกิน 80-85% ของกำลังพิกัดมอเตอร์ที่ออกแบบโครงสร้างเดียวกัน ทำไมจึงเป็นเช่นนั้น?

จากเหตุผลหลายๆ อย่างดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ยกตัวอย่างเช่น เมื่อออกแบบที่แรงบิดเท่ากัน แต่ความเร็วรอบ หรือ ความเร็วเชิงมุม (ω) ลดลง 17% (1800➔1500 rpm) กำลังขาออกก็จะลดลงไปด้วยตามสัดส่วน (P= ωT) นั่นแสดงว่ากำลังขาออกสามารถทำได้เพียง 83% ของกำลังพิกัดมอเตอร์เดิม

6. ผลกระทบต่อเพาเวอร์เฟกเตอร์ ($\cos\varphi$)

ค่าเพาเวอร์เฟกเตอร์ ($\cos\varphi$) ในแง่ของผู้ใช้ไม่น่าเป็นกังวลใจมากนัก เพราะผลกระทบมีค่อนข้างน้อย และเราสามารถแก้ค่าเพาเวอร์เฟกเตอร์ ($\cos\varphi$) ได้โดยใส่คาปาซิเตอร์แก้ได้โดยไม่ยากนัก อย่างไรก็ตามพอจะวิเคราะห์ให้ดูง่ายๆ ได้เช่น ตามรูปที่ 6 มอเตอร์จะประกอบไปด้วยขดลวดหลักที่สเตเตอร์ 3 ขดต่อแบบ เดลต้า หรือ สตาร์ ซึ่งมีทั้งค่าความต้านทานเป็นส่วนน้อย และค่าอินดักแตนซ์ (jX_L) เป็นส่วนประกอบใหญ่

หากไม่นำเอาตัวแปลอื่นมาวิเคราะห์ ค่าอินดักแตนซ์ (jX_L) จะแปลผันตามค่าความถี่ ตามสูตร $X_L = 2\pi fL$ เมื่อค่าความถี่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม 60 Hz ➔ 50 Hz หรือ ความถี่ลดลงประมาณ 17% จะทำให้ ค่าอินดักแตนซ์ (jX_L) ลดลงจากเดิมไปด้วย 17% ในขณะที่ค่าความต้านทานของขดลวดยังคงเท่าเดิม ทำให้ค่า Z หรืออิมพีแดนซ์ (Impedance) ลดลงไปด้วย ทำให้ค่าเพาเวอร์เฟกเตอร์ ($\cos\varphi$) จะดีขึ้นกว่าเดิม

7. ผลกระทบต่อประสิทธิภาพ

ประสิทธิภาพเป็นหัวข้อหนึ่งที่มีการพูดถึงมากในยุคของการประหยัดพลังงาน เพราะนับวันพลังงานมีแต่จะมีราคาสูงขึ้นทุกวัน ประสิทธิภาพบงบอกถึงเงินที่ต้องจ่ายไปจากการใช้พลังงาน และเป็นตัวแปลในการตัดสินใจซื้อมอเตอร์ตัวหนึ่ง รวมไปถึงค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานที่จะมีตามมาตลอดอายุการใช้งานของมอเตอร์

ประสิทธิภาพของอุปกรณ์ไฟฟ้า รวมทั้งมอเตอร์นั้นสามารถหาได้จาก พลังงานที่ออกมา หารด้วยพลังงานที่ใส่เข้าไปในจากอุปกรณ์นั้นๆ

วิธีการวัดประสิทธิภาพของมอเตอร์นั้นมีหลายวิธี ทั้งแบบทางตรง หรือวิธีทางอ้อมโดยวัดค่าความสูญเสียแทนการวัดโดยตรง ซึ่งมีหลากหลายมาตรฐาน ทั้ง IEEE112 หรือ IEC34-2 แต่วิธีที่เที่ยงตรงที่สุด คือ การวัดโดยตรงโดยวัดกำลังขาเข้าในรูปของกำลังไฟฟ้า และ วัดกำลังขาออกในรูปของแรงบิด และความเร็วรอบ (Direct Measurement) โดยใช้วิธีการทดสอบขับโหลดเทียม และวัดแรงบิดด้วย torque meter ความเร็วรอบที่จุดพิกัดแรงบิด ด้านขาออกของมอเตอร์ ตามสูตรต่อไปนี้

ประสิทธิภาพ (%) = $\dfrac{Power\ output}{Power\ input} * 100\%$

Power input = $\sqrt{3}$ x Voltage x Current x Power Factor

Power output = $\omega T = \dfrac{2\pi n}{60} * T = \dfrac{nT}{9.55}$

ω = ความเร็วเชิงมุม
T = แรงบิด มีหน่วยเป็น นิวตันเมตร
n = ความเร็วรอบ มีหน่วยเป็น รอบต่อนาที

ถึงแม้ว่าวิธีการวัดประสิทธิภาพ โดยวิธีวัดโดยตรงจะเป็น วิธีที่เที่ยงตรงที่สุดก็ตาม แต่จะมีค่าใช้จ่าย และยุ่งยากมากกว่าการวัดโดยทางอ้อมที่วัดค่าสูญเสียที่ No load เพื่อมาหาค่าประสิทธิภาพมอเตอร์ จะเห็นว่าตัวแปรที่กระทบต่อประสิทธิภาพของมอเตอร์นั้นมีหลายตัว ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น นอกจากนี้ยังมีตัวแปลอื่นๆ ที่ส่งผลต่อการเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพยกตัวอย่างเช่น อุณหภูมิ ตามการทดสอบปกติจะทำการทดสอบที่อุณหภูมิห้อง 20'C แล้วจึงมาคำนวณหาค่าสูญเสียที่อุณหภูมิที่จุดใช้งาน

หากเรานำมอเตอร์ ที่ออกแบบตามมาตรฐาน NEMA มาใช้ในบ้านเรา ประสิทธิภาพจะเป็นอย่างไร ?

ยกตัวอย่างเช่น เมื่อความเร็วรอบมอเตอร์ลดลง กำลังด้านขาออกย่อมลดลงไปด้วย แต่กำลังขาเข้าก็จะลดลงตามไปด้วย เมื่อความถี่เปลี่ยนไป ค่าเพาเวอร์เฟกเตอร์ก็จะเปลี่ยนไป ค่าพลังงานขาเข้าก็จะลดลงตามไปด้วย จะเห็นว่ามีค่าตัวแปล มากมายเข้ามาเกี่ยวข้อง จึงยากที่จะตอบคำถามถึงเรื่องประสิทธิภาพ แต่พอจะสรุปได้ว่า ค่าประสิทธิภาพที่ 50 Hz เปรียบเทียบกับ 60Hz ไม่มีผลแตกต่างกันมากนัก ยกตัวอย่างเช่น มอเตอร์โครงสร้างเดียวกัน ออกแบบให้ไปใช้ที่ 60 Hz กำลัง 30 kW 4 Pole มีประสิทธิภาพ 92.4% มอเตอร์โครงสร้างเดียวกันนี้เมื่อออกแบบไปใช้ที่ 50 Hz กำลังจะทำได้แค่เพียง 22 kW 4 Pole มีประสิทธิภาพ 93.2% เป็นต้น

ส่วนผลกระทบอื่นๆ ไม่ได้ถือว่าเป็นข้อกังวลมากนัก เช่น เสียงอาจจะลดลงประมาณ 4 dB(A) เมื่อมาใช้กับไฟ 50Hz เป็นต้น สุดท้ายนี้ ในการเลือกใช้มอเตอร์ จะเป็นการดีที่สุด หากสามารถเลือกมอเตอร์ที่ออกแบบให้ตรงกับสภาพแวดล้อมที่จะนำไปใช้ หากมีความจำเป็นที่จะต้องนำมอเตอร์ 60 Hz มาใช้กับระบบไฟฟ้าบ้านเรา สิ่งที่ต้องสังเกตุเป็นพิเศษคือความร้อนที่เพิ่มขึ้นจากการใช้งานต้องไม่เกินกำหนดนั่นเอง

ตีพิมพ์ลงในวารสาร *INDUSTRIAL Technology Review* ฉบับที่ 113 ประจำเดือน *สิงหาคม พ.ศ.2546*