



ศิวะ หงษ์นภา  
(EE<sub>KMITN.</sub>, BE<sub>RU</sub> and MBE<sub>NIDA</sub>)  
Siwa\_Hongnapa@yahoo.com



## ความร้อน และผลต่อพิกัดกำลัง Temperature Vs Power Rating

มักมีคำถาม ถ้ามอเตอร์ ใดๆ เมื่อผู้เขียนกล่าวถึงเรื่องการ Derating ของอุปกรณ์ไฟฟ้าไม่ว่าจะเป็น เครื่องจักรกลไฟฟ้า เช่น มอเตอร์ หรือหม้อแปลง อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง เช่น ทรานซิสเตอร์, ทรานซิสเตอร์, IGBT หรือ อุปกรณ์ไฟฟ้าอื่น ๆ ว่าเหตุใด เมื่ออุปกรณ์ต่างๆ เหล่านี้ร้อนขึ้น ผู้ผลิตจึงมักจะแนะนำให้จ่ายกระแสผ่านอุปกรณ์เหล่านี้ได้น้อยลง ซึ่งหมายถึง การลดพิกัดกำลังของอุปกรณ์ลง อันจะส่งผลต่อเนื่องไปถึงกำลังการผลิตโดยรวมที่ต้องลดลงโดยปริยาย นอกจากนี้ยังมีคำถามต่าง ๆ พรั่งพรูเข้ามา เช่น

- ถ้ามอเตอร์ไม่มีพัดลมระบายความร้อนจะเกิดอะไรขึ้น
- ถ้าใช้งานมอเตอร์เหนียวนาในงานที่ต้องปรับความเร็วรอบเมื่อใดจึงจะต้องติดพัดลมระบาย

อากาศเพิ่ม

• เหตุใดมอเตอร์ดีซีจึงต้องติดพัดลมระบายอากาศแบบแยกส่วนและเป่าเข้าไปที่โรเตอร์โดยตรง ทำไมจึงไม่ติดที่ด้านท้ายแล้วเป่าผ่านครีبد้านนอกเหมือนดังเช่นมอเตอร์เหนียวนาปกติ

• ทำไมเมื่อให้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทำงานที่ความถี่สูง ๆ จึงทำให้ความสามารถในการนำกระแสของอุปกรณ์เหล่านั้นลดลง

- เมื่ออุณหภูมิแวดล้อมสูงขึ้น ทำไมจึงทำให้พิกัดกำลังของอุปกรณ์ลดลง
- ความสูงเหนือระดับน้ำทะเล มีผลทำให้ความสามารถในการนำกระแสของอุปกรณ์ไฟฟ้าลดลงได้

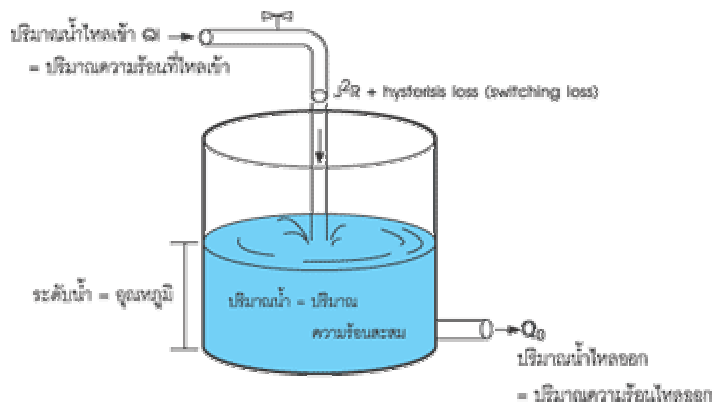
อย่างไร

ถ้าหากผู้อ่านไปเปิดตำราวิชาการก็คงได้รับคำตอบที่เต็มไปด้วยสมการคณิตศาสตร์มากมาย เห็นแล้วหลายคนแทบจะลืมนคำถามที่ตัวเองตั้งขึ้นมา ผู้เขียนจึงเขียนบทความนี้ขึ้นมาเพื่อตอบคำถามต่าง ๆ เหล่านี้ให้เห็นภาพอย่างง่าย ๆ

ก่อนอื่น เรามาดูก่อนว่า ความร้อนที่เกิดขึ้นในตัวอุปกรณ์ไฟฟ้านั้นมาจากไหนบ้าง หากพิจารณาดูจะพบว่า ความร้อนที่เกิดขึ้นบนอุปกรณ์ไฟฟ้า ไม่ว่าจะเป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าทั่วไป, เครื่องจักรกลไฟฟ้า หรืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ มักจะมาจากสาเหตุสำคัญ 2 สาเหตุหลักคือ

1. ความร้อนเนื่องมาจากกระแสไฟฟ้าไหลผ่านความต้านทานซึ่งกำลังไฟฟ้าที่ทำให้เกิดความร้อนนี้มีค่าแปรผันตามขนาดกระแสยกกำลังสอง และความต้านทานสามารถเขียนเป็นสมการได้คือ  $P = I^2R$  เนื่องจากความร้อนในส่วนนี้เกิดเนื่องมาจากการนำกระแสตามปกติ เราจึงเรียกการสูญเสียไปเป็นความร้อนในส่วนนี้ว่า Conduction Loss

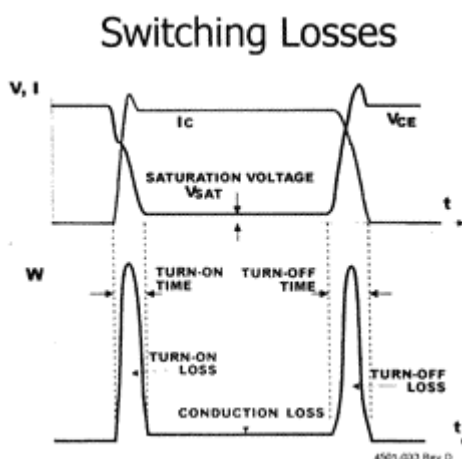
2. ความร้อนเนื่องมาจากการกลับตัวไปมาของโมเลกุล หรือการเคลื่อนไหวของโมเลกุลเนื่องจากความถี่ ความร้อนในส่วนนี้จะมีค่าน้อยตามความถี่ ตัวอย่างของความถี่ในกรณีนี้ถ้าเป็นพวกเครื่องจักรกลไฟฟ้า เช่น พวกมอเตอร์, หม้อแปลงไฟฟ้า หรือเครื่องกำเนิด ก็จะมี Loss ประเภท Hysteresis Loss แต่ถ้าเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์หรืออิเล็กทรอนิกส์กำลังก็จะมี Loss นี้เรียกว่า Switching Loss ต่อไป เราก็มารู้กันว่า เมื่อมีความร้อนเกิดขึ้นมาแล้ว จะมีผลอย่างไรต่อไป



รูปที่ 1 เปรียบเทียบปริมาณน้ำในถังเท่ากับปริมาณความร้อนสะสม

หากจะเปรียบเทียบให้มองเห็นภาพอย่างง่าย ๆ เพื่อให้ผู้อ่านสามารถคาดการณ์พฤติกรรมเกี่ยวกับความร้อนได้ ผู้เขียนก็จะขอเปรียบเทียบความร้อนเข้ากับน้ำที่เราคุ้นเคยกันเป็นอย่างดี หากเราเปรียบเทียบปริมาณความร้อนว่าเป็นเหมือนดังเช่นปริมาณน้ำ เราก็อาจเปรียบวัสดุที่เป็นที่เก็บความร้อนนั้นไว้เหมือนดังเช่น ตุ่มน้ำหรือถังใส่น้ำได้ ส่วนอุณหภูมิก็เปรียบได้กับระดับน้ำ ยกตัวอย่างเช่น เมื่อจ่ายกระแสให้มอเตอร์ ความร้อนจะผุดออกมาจากความต้านทานของขดลวดส่วนหนึ่ง และผุดขึ้นมาเนื่องจาก Hysteresis Loss ส่วนหนึ่ง โดยมีเนื้อเหล็กของมอเตอร์เป็นแหล่งรับปริมาณความร้อนนั้น ความร้อนที่ผุดขึ้นมานี้ก็เปรียบเสมือนกับเรากำลังเปิดน้ำให้ไหลลงถังเก็บ ดังรูปที่ 1 โดยปริมาตรของน้ำในถังเก็บก็คือปริมาณความร้อนสะสม ถ้ากระแสที่ไหลเข้ามอเตอร์มีค่ามาก หรือ ความถี่ที่จ่ายให้มอเตอร์มีค่าสูง ๆ ปริมาณความร้อนที่ไหลเข้าสู่ถังเก็บหรือเนื้อเหล็ก ก็จะมีค่ามาก ทำให้ปริมาณความร้อนสะสมเพิ่มสูงขึ้นเร็ว ระดับน้ำหรืออุณหภูมิก็จะสูงขึ้นเร็วด้วย ถ้าไม่มีการระบายความร้อนออก ปริมาณความร้อนสะสมก็จะมากขึ้นเรื่อย ๆ ทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นเรื่อย ๆ ทำให้อุปกรณ์ไหม้ได้ หรือถ้าเป็นกรณีของอุปกรณ์อื่นๆ เช่น อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง อุปกรณ์เหล่านั้นก็อาจจะพังได้ (นำล้นตม)

ในกรณีตัวอย่างข้างต้นนี้เป็นกรณีตัวอย่างของมอเตอร์ ซึ่งความร้อนส่วนใหญ่จะมาจากความต้านทาน แต่ถ้าเป็นกรณีของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ หรืออิเล็กทรอนิกส์กำลังนั้น ความร้อนส่วนใหญ่จะมาจาก Switching Loss ดังแสดงในรูปที่ 2 ซึ่งจะเห็นได้จากรูปว่าในขณะที่นำกระแสปกติ จะมีกำลังสูญเสียที่เกิดจากการนำกระแส หรือ Conduction Loss เพียงแค่นิดเดียว แต่ Switching Loss นั้น จะมีขนาดมากกว่าอย่างเห็นได้ชัด ดังนั้นถ้าความถี่ยิ่งมากขึ้น การ Switch ON-OFF ก็จะทำให้เกิดบ่อยขึ้น สัดส่วนของ Switching Loss ต่อ Loss ทั้งหมดก็จะมีมากขึ้น



รูปที่ 2 Switching Loss

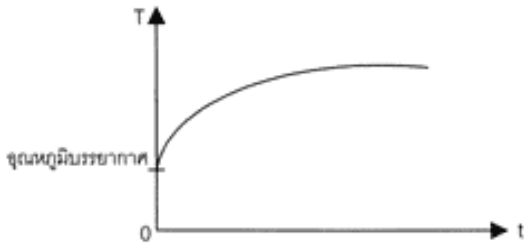
อย่างไรก็ตามเมื่อปริมาณความร้อนของอุปกรณ์มีมากขึ้น ก็จำเป็นต้องหาทางระบายความร้อนออกไป เพื่อป้องกันไม่ให้อุปกรณ์เกิดความเสียหาย ซึ่งโดยปกติ การระบายความร้อนจะทำได้ใน 3 วิธีคือ การนำ, การพา และการแผ่รังสี โดยธรรมชาติแล้วเมื่อมีความร้อนเกิดขึ้น ณ จุดใด การเคลื่อนตัวของความร้อนจะเกิดขึ้นทั้ง 3 วิธี แต่จะไปด้วยวิธีไหนมากกว่ากันนั้นก็ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมในขณะนั้น ๆ เช่น ถ้ามีลมพัดเข้ามาแรง ๆ การระบายอากาศด้วยการพา ก็จะมีมากที่สุด เป็นต้น วิธีการระบายความร้อนด้วยการพานี้นับได้ว่าเป็นวิธีที่ได้รับความนิยมมากที่สุด เพราะถ้าผู้อ่านสังเกตตามอุปกรณ์ไฟฟ้าที่กำเนิดความร้อนสูง ๆ ไม่ว่าจะเป็นมอเตอร์ไฟฟ้า, คอมพิวเตอร์, อินเวอร์เตอร์ ต่างก็ติดตั้งพัดลมเอาไว้เป่าลมเพื่อพาความร้อนออกไปจากอุปกรณ์ หากเราเปรียบเทียบความร้อนได้กับน้ำ เราก็อาจเปรียบเทียบการติดตั้งพัดลมได้กับการติดตั้งปั้มน้ำที่คอยดูดน้ำออกไปจากถังเก็บในรูปที่ 1

ส่วนกรณีการระบายความร้อนโดยการนำและการแผ่รังสีนั้น จะใช้หลักการตามธรรมชาติ โดยอาศัยความแตกต่าง ระหว่างอุณหภูมิของวัสดุที่เป็นแหล่งบรรจุความร้อนกับอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม เช่น อากาศ หากอุณหภูมิของสองสิ่งนี้แตกต่างกันมาก การระบายความร้อนด้วยวิธีนี้ก็จะได้ดี แต่ถ้าแตกต่างกันไม่มาก ก็ทำได้ไม่ดี สิ่งที่เราอาจจะช่วยได้ก็คือการเพิ่มผิวสัมผัสระหว่างวัสดุที่เป็นแหล่งความร้อนกับบรรยากาศ เช่น การทำครีบให้มอเตอร์ การติดตั้ง Heat Sink ให้กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เพื่อให้การระบายความร้อนด้วยวิธีนี้ได้ดีขึ้น หากเราเปรียบเทียบการระบายความร้อนแบบนี้กับการไหลออกของน้ำตามรูปที่ 1 ก็อาจจะเปรียบได้กับการขยายขนาดของท่อน้ำขาออก ทำให้  $Q_0$  มีปริมาณมากขึ้น การเปรียบเทียบการระบายความร้อนเหมือนดังเช่นการระบายน้ำออกจากถังเก็บ จะทำให้เรามองเห็นภาพของการระบายความร้อนได้ดียิ่งขึ้น กล่าวคือ ถ้าการระบายความร้อนทำได้ดี  $Q_0$  ก็มาก ระดับน้ำหรืออุณหภูมิก็ไม่สูงขึ้น ถ้าการระบายความร้อนทำได้ไม่ดี  $Q_0$  ก็น้อย ถ้า  $Q_i$  มากกว่า  $Q_0$  อุณหภูมิก็สูงขึ้น ถ้ามากกว่ามาก อุณหภูมิก็จะสูงขึ้นเร็ว และอุณหภูมิจะคงที่เมื่อ  $Q_i = Q_0$  นั้นหมายความว่า การติดตั้งพัดลมตัวใหญ่ ๆ จะทำให้อุณหภูมิลดลงมากกว่ากรณีการติดตั้งพัดลมตัวเล็ก ๆ

อย่างไรก็ตาม การสูงขึ้นของอุณหภูมิเองก็มีผลต่อ  $Q_0$  จากรูปที่ 1 ถ้าระดับน้ำสูงขึ้น ความแตกต่างระหว่างความดันน้ำกับความดันบรรยากาศก็มีมากขึ้น น้ำก็จะถูกดันให้ไหลออกมาจากท่อทางออกมากขึ้น  $Q_0$  ก็มากขึ้น เช่นเดียวกัน ถ้าอุณหภูมิของวัสดุที่เป็นแหล่งความร้อนมีค่ามากขึ้น ความร้อนก็จะไหลออกจากตัววัสดุแหล่งความร้อนไปสู่บรรยากาศมากขึ้น



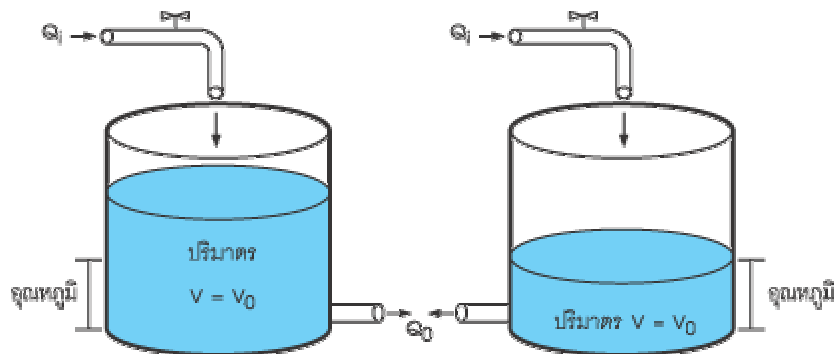
การที่  $Q_0$  จะมากขึ้นตามระดับความร้อนที่มากขึ้นนี้เป็นเหตุผลสำคัญที่ทำให้ได้คำตอบว่า เหตุใดเส้นกราฟการเพิ่มขึ้นของระดับอุณหภูมิเมื่อเราป้อนปริมาณความร้อนอย่างคงที่ 1 เข้าไปให้กับวัสดุใด ๆ จึงเป็นดังรูปที่ 3 คำตอบก็คือ เพราะในช่วงแรก  $Q_0$  น้อยกว่า  $Q_i$  มาก ระดับน้ำหรืออุณหภูมิจึงสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว แต่เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นก็ทำให้  $Q_0$  มีค่ามากขึ้นโดยอัตโนมัติในขณะที่  $Q_i$  มีค่าคงที่เนื่องจากต้นกำเนิดความร้อน ( $I$  หรือ  $f$ ) มีค่าคงที่ การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำหรืออุณหภูมิในช่วงหลังนี้จึงเพิ่มขึ้นด้วยอัตราการเพิ่มที่ลดลง และหยุดการเพิ่มในที่สุด เมื่อ  $Q_0 = Q_i$  พอดี



รูปที่ 3 กราฟการเพิ่มของระดับอุณหภูมิเมื่อป้อนปริมาณความร้อนอย่างคงที่

คำถามต่อมาคือ แล้วอุณหภูมิระดับไหนที่ยังถือว่าไม่มีปัญหาต่อตัวอุปกรณ์ คำตอบก็คือ ต้องดูที่ Spec ของอุปกรณ์ว่าอุปกรณ์นั้นทนระดับอุณหภูมิได้แค่ไหน เพราะถ้าอุณหภูมิถึงระดับที่ Spec กำหนด ก็เปรียบเหมือนกับว่าน้ำเต็มถังแล้วถ้ายังฝืนเติมน้ำต่อไป น้ำก็ล้น แต่ในกรณีของอุปกรณ์ไฟฟ้านั้น น้ำล้นไม่ได้เพราะเป็นภาชนะปิด ก็เหลืออยู่อีกทางหนึ่งคือ ถ้าต้องแตก ซึ่งหมายถึงอุปกรณ์ไหม้หรือพังนั่นเอง

กลับมาที่คำถามสำคัญ ซึ่งจะเป็นคำตอบของหัวเรื่องคือ แล้วความร้อนมีผลอย่างไรต่อการกำหนดพิทกกำลังของอุปกรณ์ไฟฟ้า การจะตอบคำถามนี้ได้ก็คงต้องกลับไปพิจารณาถึงไส้นำอีกเหมือนเดิม



รูปที่ 4 ปริมาณความร้อนเท่ากัน อุปกรณ์ขนาดเล็กจะมีอุณหภูมิที่สูงกว่าอุปกรณ์ขนาดใหญ่

เนื่องจากโดยปกติแล้ว อุปกรณ์ที่มีพิทกกำลังมากก็จะมีขนาดใหญ่ขึ้นตามไปด้วย เพื่อให้รับกำลังไฟฟ้าได้มากกว่า เมื่อเป็นเช่นนี้ก็หมายความว่าอุปกรณ์ที่มีพิทกกำลังน้อย ขนาดเล็ก ก็เปรียบเสมือนถังน้ำขนาดเล็ก เส้นผ่านศูนย์กลางน้อย ในขณะที่อุปกรณ์ที่มีพิทกกำลังมาก ขนาดใหญ่ ก็เปรียบเสมือนถังน้ำขนาดใหญ่ เส้นผ่านศูนย์กลางมาก ถ้าให้ถังทั้งสองเก็บปริมาณน้ำเท่ากัน ระดับน้ำของถังเล็กก็จะมีมากกว่า ดังเช่น รูปที่ 4 นั้นหมายความว่าที่ปริมาณความร้อนเท่ากัน อุปกรณ์ขนาดเล็กจะมีอุณหภูมิที่สูงกว่าอุปกรณ์ขนาดใหญ่ แต่นั่นก็ไม่สำคัญเท่ากับว่า ความสามารถในการระบายความร้อนของอุปกรณ์ขนาดเล็กโดยทั่วไปแล้วจะมีน้อยกว่าอุปกรณ์ขนาดใหญ่ จึงเป็นไปได้ว่า ถ้า  $Q_i$  มีมากจนถึงระดับหนึ่ง อุปกรณ์ขนาดเล็กจะไม่สามารถทำให้เกิด  $Q_0$  ที่สมดุลกับ  $Q_i$  ได้ ผลก็คือ อุปกรณ์จะร้อนขึ้นเรื่อย ๆ จนไหม้ได้ในที่สุด หรือในทางกลับกัน ถ้า  $Q_0$  น้อยลงทั้งสองตัว อุณหภูมิของอุปกรณ์ขนาดใหญ่ก็จะขึ้นช้ากว่าอุณหภูมิของอุปกรณ์ขนาดเล็ก ทำให้เสี่ยงต่อความเสียหายน้อยกว่าและนี่เป็นคำตอบว่าเหตุใดถ้าการระบายความร้อนไม่ดี จึงต้องเพิ่มขนาดของอุปกรณ์เพื่อชดเชยการระบายความร้อนที่ไม่ดีนั้น

ต่อไปเราจะมาเริ่มตอบคำถามที่ทั้งค้างไว้ตั้งแต่ต้น

**ถาม** ถ้ามอเตอร์ไม่มีพัดลมระบายความร้อนจะเกิดอะไรขึ้น ?

**ตอบ** พัดลมระบายความร้อนได้ถูกติดตั้งเข้ามาเพื่อเพิ่ม  $Q_0$  ให้กับมอเตอร์ ถ้าหากไม่มีพัดลมระบายความร้อน อุณหภูมิมอเตอร์ก็จะสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว ดังนั้นในกรณีที่ทำเป็น ไม่สามารถติดตั้งพัดลมระบายความร้อนได้จริง ๆ ก็ต้องแก้ไขโดย ลดขนาดของกระแสเพื่อลด  $Q_i$  หรือเพิ่มขนาดเฟรมของมอเตอร์เพื่อเพิ่ม  $V_0$

**ถาม** ถ้านำมอเตอร์เหนียวไปใช้ในงานที่ต้องการปรับความเร็วรอบ เมื่อใดจึงจะต้องติดพัดลมระบายอากาศเพิ่ม จากมอเตอร์ปกติทั่วไป ?

**ตอบ** การพิจารณาว่าจะต้องติดพัดลมระบายอากาศเพิ่มหรือไม่นั้น เราจะต้องตอบคำถามให้ได้เสียก่อนว่าเมื่อปรับความเร็วแล้ว  $Q_i$  กับ  $Q_0$  เปลี่ยนแปลงหรือไม่อย่างไร ?



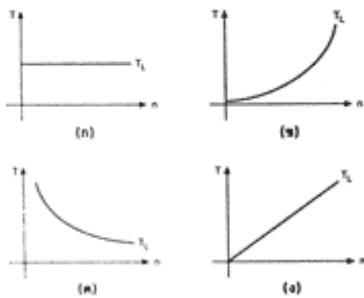
ในกรณีของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่มีพัดลมระบายอากาศติดอยู่กับเพลานั้น เมื่อถูกปรับให้ความเร็วรอบลดลง ความแรงของพัดลมระบายอากาศก็จะลดลงด้วย ส่งผลให้ความสามารถในการระบายความร้อนออกจากตัวมอเตอร์ลดลง จึงเป็นที่แน่นอนว่า เมื่อความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำลดลง  $Q_0$  จะลดลงตาม

การลดลงของ  $Q_0$  นี้ หากยังคง  $Q_i$  อยู่ในระดับเดิมก็จะทำให้ความร้อนที่สะสมอยู่ในตัวมอเตอร์มีค่าสูงขึ้น และยิ่ง  $Q_0$  น้อยลงมากเท่าใด ความร้อนสะสมก็จะยิ่งสูงขึ้นมากตาม อันเป็นสาเหตุให้ต้องจำกัดกระแสที่ไหลเข้ามอเตอร์ให้น้อยลงเพื่อลด  $Q_i$  ให้มาสมดุลกับ  $Q_0$  เพราะถ้ายังฝืนยอมให้กระแสที่ไหลเข้ามอเตอร์มีค่าเท่าเดิม อุณหภูมิของมอเตอร์ก็จะสูงขึ้นเรื่อย ๆ จนเป็นอันตรายกับมอเตอร์ อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าการจำกัดกระแสเพื่อจำกัด  $Q_i$  จะทำให้มอเตอร์ปลอดภัย แต่ก็ส่งผลทำให้ความสามารถในการสร้างแรงบิดของมอเตอร์ลดลงด้วย **รูปที่ 5** แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงแรงบิดสูงสุดที่มอเตอร์สามารถทำได้ โดยเส้นประ เป็นพิกัดแรงบิดในทางทฤษฎี แต่เมื่อคิดถึงเรื่องการระบายความร้อนที่ลดลง พิกัดแรงบิดจะเปลี่ยนมาเป็นเส้นทึบซึ่งจะเห็นว่าลดลงอย่างมากตั้งแต่ที่ความถี่ประมาณ 75% ของความถี่พิกัดลงมา แต่หากต้องการให้แรงบิดพิกัดกลับไปเป็นเส้นประเหมือนเดิม ก็จะต้องเพิ่มพัดลมระบายอากาศจากภายนอก เพื่อปรับ  $Q_0$  ให้คงที่ไม่ลดลงตามความเร็ว

หันมาดูในกรณีของ  $Q_i$  เนื่องจาก  $Q_i$  เกิดจากกระแสที่ไหลเข้ามอเตอร์ เราจึงต้องมาดูว่า เมื่อปรับความเร็วรอบแล้ว มีการเปลี่ยนแปลงของกระแสอย่างไร

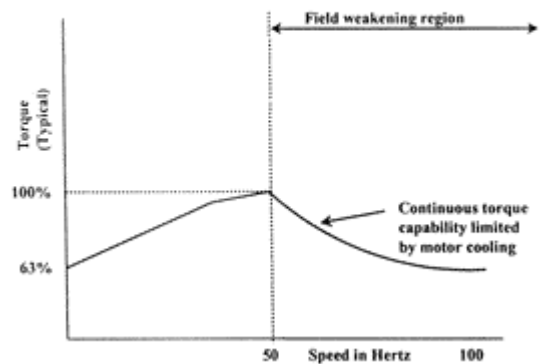
เป็นที่ทราบกันดีว่า ขนาดของกระแสจะเป็นเท่าใดนั้น ขึ้นอยู่กับแรงบิดด้านของโหลดซึ่งมีอยู่ 4 ประเภท ดัง **รูปที่ 6** ซึ่งขนาดของกระแสที่ความเร็วรอบต่าง ๆ ก็จะมีลักษณะเช่นเดียวกันกับลักษณะของแรงบิดตาม **รูปที่ 6** นี้ด้วย ซึ่งจะเห็นว่า ในกรณีที่เรารปรับให้ความเร็วรอบสูงขึ้นนั้น ถึงแม้ในกรณีของรูป ข และ ง จะดึงกระแสมากขึ้นที่ความเร็วสูงขึ้น ซึ่งทำให้  $Q_i$  มากขึ้น แต่จะไม่ส่งผลต่อการทำงาน เนื่องจากว่าที่ความเร็วรอบสูง  $Q_0$  ก็จะมีค่าด้วย ยกเว้นกรณีที่ความเร็วสูงเกินพิกัด ซึ่งจะทำให้การเพิ่มขึ้นของกระแสมีมากกว่าปกติ แต่โดยทั่วไปโหลดทั้งสองประเภทนี้ มักจะไม่ถูกใช้งานที่ความเร็วสูงกว่าพิกัดอยู่แล้ว

กรณีการทำงานที่ความเร็วรอบสูงจึงไม่มีปัญหา แต่เมื่อมาพิจารณากรณีที่มอเตอร์ทำงานที่ความเร็วรอบต่ำ จะพบว่าจะมีปัญหาในกรณีของโหลดประเภท ก และ ค เนื่องจากโหลด ก จะให้  $Q_i$  ที่คงที่ แม้ว่าความเร็วรอบจะลดลง ในขณะที่โหลด ค จะให้  $Q_i$  ที่เพิ่มขึ้น เมื่อความเร็วรอบลดลง แต่เนื่องจาก  $Q_0$  มีค่าลดลงในขณะที่ความเร็วรอบลดลงทำให้  $Q_i > Q_0$  ปริมาณความร้อนในตัวมอเตอร์จึงมากขึ้นเรื่อย ๆ ส่งผลให้อุณหภูมิสูงขึ้นเรื่อย ๆ จนเป็นอันตรายกับมอเตอร์ ด้วยเหตุนี้หากไม่มีการติดตั้งพัดลมระบายความร้อนจากภายนอกเพิ่มเติม ก็จะต้องจำกัดความเร็วต่ำสุดที่มอเตอร์ยังสามารถทำงานได้โดยไม่เสียหาย ซึ่งหาได้จากจุดตัดระหว่างแรงบิดพิกัดของมอเตอร์ตาม **รูปที่ 5** กับแรงบิดที่โหลดต้องการตาม **รูปที่ 6** เนื่องจากจุดดังกล่าวเป็นจุดที่กำหนดแรงบิดสูงสุดที่มอเตอร์สามารถรับได้ **รูปที่ 7** จะแสดงผลการพิจารณากราฟพร้อมดังกล่าว ซึ่งจะเห็นว่าในกรณีของโหลด ข และ ง นั้น จะสามารถปรับได้ตั้งแต่ศูนย์ในขณะที่โหลด ก และ ค จะไม่สามารถทำได้ แต่ถ้าใส่พัดลมเข้าไปก็จะสามารถปรับโหลด ก ได้ตั้งแต่ศูนย์ ส่วนโหลด ค นั้นแม้จะไม่ถึงศูนย์ แต่ก็ไต่ยานที่กว้างขึ้น



**รูปที่ 6** แสดงพฤติกรรมในการเกิดแรงบิดด้านของโหลด

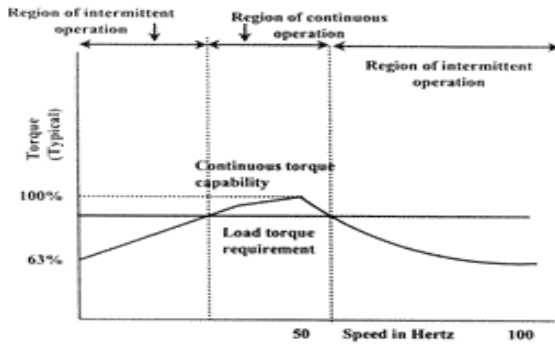
### Torque Derating Due to Motor Cooling



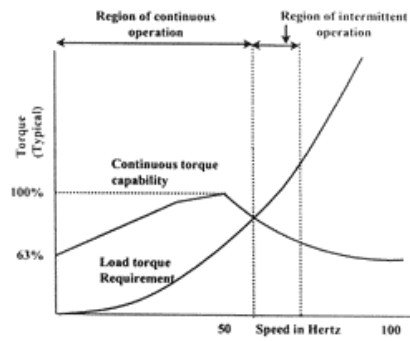
**รูปที่ 5** แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงแรงบิดสูงสุดที่มอเตอร์สามารถทำได้



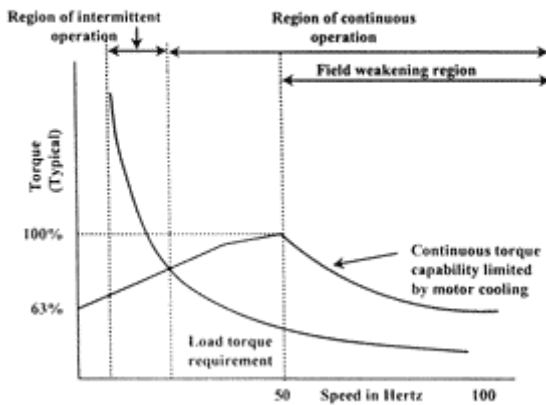
Constant Torque Load



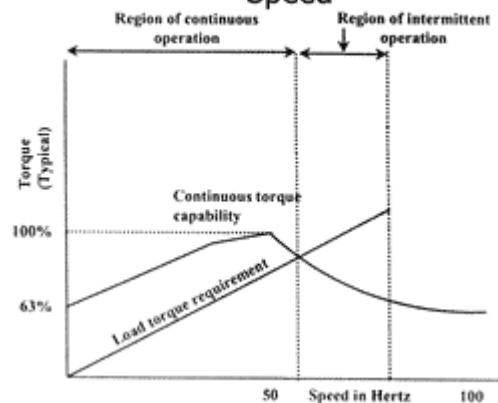
Load Torque Proportional To The Square of Speed



Constant Power Load



Load Torque Proportional To Speed



รูปที่ 7 กราฟแสดงผลจากการปรับแรงบิดของมอเตอร์

**ถาม** เหตุใดมอเตอร์ดีซีจึงต้องติดพัดลมระบายอากาศแบบแยกส่วนและเป่าเข้าไปที่โรเตอร์โดยตรง ?

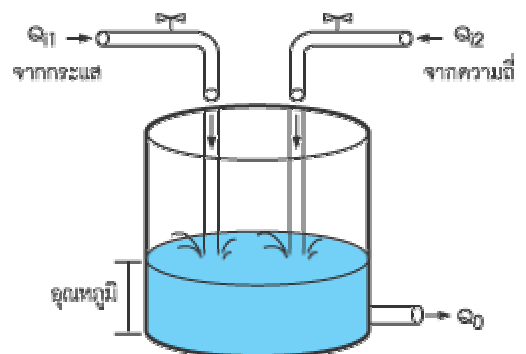
**ตอบ** การที่ต้องติดแบบแยกส่วน ไม่ติดมากับเฟลาเหมือนมอเตอร์กรงกระรอกปกติ ก็เพราะว่าดีซีมอเตอร์ถูกออกแบบมาเพื่อใช้กับงานปรับความเร็วรอบ จึงต้องติดตั้งพัดลมระบายอากาศแยกต่างหาก เพื่อให้  $Q_0$  มีค่าคงที่ จะได้ไม่เกิดปัญหาเหมือนกับเช่นมอเตอร์กรงกระรอก ส่วนการที่ต้องเป่าเข้าไปที่โรเตอร์โดยตรง เป็นเพราะว่าโรเตอร์ของมอเตอร์ดีซีเป็นที่อยู่ของอาร์เมเจอร์ซึ่งเป็นทางไหลของกระแสหลัก กำลังสูญเสียจำนวนมากจึงไปอยู่บนโรเตอร์ การระบายความร้อนจึงต้องเป่าไปที่โรเตอร์โดยตรง เพราะถ้าจะปล่อยให้ความร้อนถูกระบายจากโรเตอร์มายังสเตเตอร์โดยผ่านแบร์ริงตามปกติ ก็คงจะพังทั้งโรเตอร์และแบร์ริง เนื่องจากการระบายความร้อนดังกล่าวทำได้น้อย

**ถาม** ทำไมเมื่อให้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทำงานที่ความถี่สูง ๆ จึงทำให้ความสามารถในการนำกระแสของอุปกรณ์เหล่านั้นลดลง ?

**ตอบ** ถ้าพิจารณาว่าสาเหตุของความร้อนมาจาก 2 แหล่งคือจากกระแสและจากความถี่ จึงอาจพิจารณาแยก  $Q_i$  ออกเป็น 2 ส่วนย่อย ๆ คือ  $Q_{i1}$  และ  $Q_{i2}$  ดังรูปที่ 8 ถ้ายังให้ความสามารถในการระบายความร้อน  $Q_0$  มีค่าเท่าเดิม เนื่องจาก  $Q_{i1} + Q_{i2}$  ต้องเท่ากับ  $Q_0$  ดังนั้นเมื่อเพิ่มความถี่ซึ่งเป็นสาเหตุให้  $Q_{i2}$  เพิ่มขึ้นก็ต้องลด  $Q_{i1}$  หรือลดกระแส  $i$  เพื่อป้องกันไม่ให้อุปกรณ์มีอุณหภูมิสูงขึ้น อันอาจทำให้เกิดอันตรายกับตัวอุปกรณ์เองได้

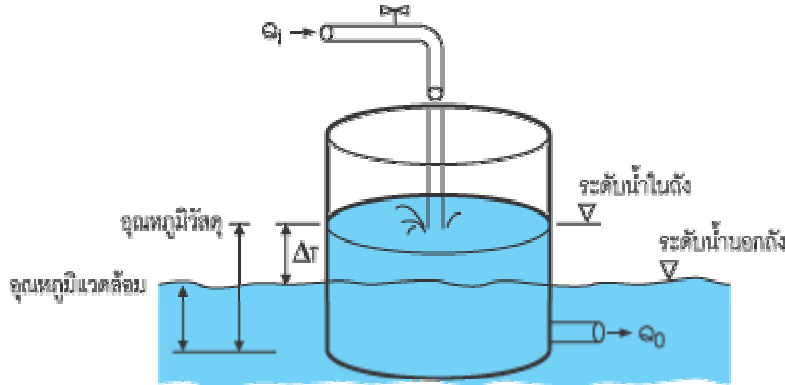
**ถาม** เมื่ออุณหภูมิแวดล้อมสูงขึ้น ทำไมจึงทำให้กำลังของอุปกรณ์ลดลง ?

**ตอบ** ในการพิจารณาที่ผ่านมานั้น ค่าว่าอุณหภูมิของวัสดุจะหมายถึงอุณหภูมิของวัสดุเมื่อเทียบกับบรรยากาศ เช่นถ้าอุณหภูมิบรรยากาศเท่ากับ  $30^{\circ}\text{C}$  และอุณหภูมิของวัสดุเท่ากับ  $50^{\circ}\text{C}$  ค่าว่าอุณหภูมิในความหมายที่ผ่านมาก็จะมีค่าเท่ากับ  $20^{\circ}\text{C}$  กล่าวคือ เราเหมาเอาง่าย ๆ ว่า อุณหภูมิบรรยากาศมีค่าเป็นศูนย์แล้วอุณหภูมิที่แท้จริงคืออุณหภูมิที่สูงกว่าบรรยากาศนั้น แต่หากเราคิด



รูปที่ 8  $Q_{i1} + Q_{i2}$  จะเท่ากับ  $Q_0$

อย่างละเอียดแล้ว เราก็อาจจะเปรียบเทียบได้ว่า บรรยากาศแวดล้อมก็คือแหล่งน้ำนอกถัง ส่วนอุณหภูมิแวดล้อมก็คือระดับน้ำนอกถังนั้น ดังแสดงในรูปที่ 9 ซึ่งความสามารถในการระบายน้ำออกจากถัง  $Q_0$  จะมากหรือน้อยก็ขึ้นอยู่กับความแตกต่างระหว่างระดับน้ำในถังกับนอกถัง ถ้าระดับน้ำในถังมากกว่าระดับน้ำนอกถังมาก ๆ น้ำก็ระบายออกได้ดี ถ้าแตกต่างกันน้อยก็ระบายออกได้ช้า ดังนั้น เมื่ออุณหภูมิแวดล้อมเพิ่มสูงขึ้น จึงเป็นเหตุผลการระบายความร้อน  $Q_0$  ลดลงหากยังคง  $Q_i$  ไว้เท่าเดิม อุณหภูมิก็จะสูงขึ้น และอาจเกิดความเสียหายกับอุปกรณ์ได้ จึงต้องป้องกันโดยการลดกระแสเพื่อลด  $Q_i$  ให้สมดุลกับ  $Q_0$  ที่ลดลง ซึ่งการลดความสามารถในการนำกระแส ก็จะทำให้พิกัดกำลังของอุปกรณ์นั้นลดลงด้วย



รูปที่ 9  $Q_0$  จะมากหรือน้อยก็ขึ้นอยู่กับความแตกต่างระหว่างระดับน้ำในถังกับนอกถัง

**ถาม** ความสูงเหนือระดับน้ำทะเล มีผลทำให้ความสามารถในการนำกระแสของอุปกรณ์ไฟฟ้าลดลงได้อย่างไร ?

**ตอบ** ยิ่งสูง บรรยากาศยิ่งเบาบางลง โมเลกุลของอากาศไม่หนาแน่นเหมือนกัน การระบายความร้อนโดยผ่านการนำของบรรยากาศก็ลดลง เปรียบเสมือนท่อทางออกของน้ำมีขนาดเล็กลง  $Q_0$  ก็น้อยลงจึงต้องลดกระแสเพื่อลด  $Q_i$  ให้สมดุลกับ  $Q_0$

บทความนี้ เป็นส่วนหนึ่งของหนังสือ "การควบคุมและการประยุกต์ใช้งานเอซีไดรฟ์" โดย ศิวะ หงษ์นภา อ้างอิงจากวารสาร. *Industrial Technology Review*. ปีที่ 10 ฉบับที่ 113 ประจำเดือน สิงหาคม พ.ศ.2546