



## การเลือกขนาดมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

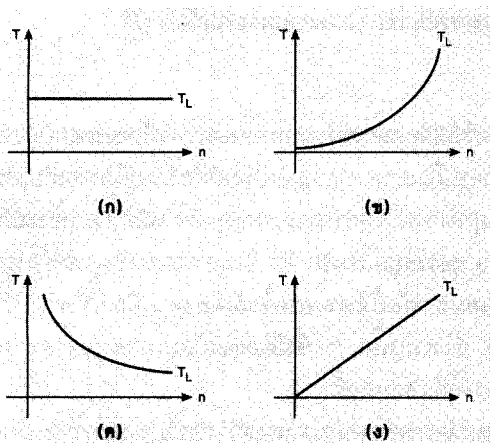
U ทความล่าสุดของผู้เขียนที่ลงตีพิมพ์ในวารสารอินดัสตรีลฉบับที่ 109 ได้กล่าวถึงการคำนวณหาขนาดมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่ใช้กับรถไฟฟ้าประเภทรถยนต์นั่งส่วนบุคคล เพื่อให้ห้องค์ความรู้ที่เกี่ยวกับเรื่องการเลือกขนาดมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงมีความสมบูรณ์ในฉบับนี้ ผู้เขียนจึงขอกล่าวถึงการคำนวณหาขนาดมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่ใช้ในงานอุตสาหกรรมทั่วไป ซึ่งจะกล่าวถึงใน 2 แนวทางคือ การเลือกมอเตอร์เมื่อซื้อเครื่องจักรใหม่ และการเลือกมอเตอร์ทดแทนมอเตอร์เก่า

### การเลือกมอเตอร์ใหม่

การเลือกมอเตอร์ก็คือ การเลือกสิ่งที่จะมาออกแรงขับให้โหลดทางกลหมุนได้ด้วยความเร็วที่ต้องการ ดังนั้นการเลือกมอเตอร์ ไม่ว่าจะเป็นมอเตอร์ดีซีหรือมอเตอร์เอซี สิ่งที่ต้องคำนึงถึงอันดับแรกก็คือ มอเตอร์ตัวนั้นออกแรงบิดได้เพียงพอกับที่ต้องการหรือไม่ เพราะถ้าแรงบิดไม่พอ ทุกอย่างก็จบ เนื่องจากมอเตอร์ไม่มีแรงเพียงพอที่จะไปทำให้โหลดทางกลหมุนได้ อย่างไรก็ตามการคำนึงถึงเฉพาะแรงบิดที่จะทำให้โหลดทางกลหมุนได้แต่เพียงอย่างเดียวก็ยังไม่พอ เพราะเราต้องคำนึงถึงด้วยว่าเราต้องการให้โหลดทางกลออกตัวได้อย่างรวดเร็วเพียงใด ซึ่งแน่นอนว่ามอเตอร์จะต้องมีขนาดใหญ่พอที่จะสร้างแรงบิดส่วนเกินนี้ได้อีกส่วนหนึ่ง จากนั้นจึงค่อยไปดูว่าเราต้องการให้มอเตอร์หมุนด้วยความเร็วรอบเท่าใด เป็นขั้นตอนสุดท้ายในการเลือกขนาดมอเตอร์ เราจึงสรุปเป็นขั้นตอนในการเลือกได้ 3 ขั้นตอนดังนี้

### 1. ทั่วไปโหลดต้องการแรงบิดสูงสุดเท่าใด

โดยพิจารณาจากทุกย่านความเร็วรอบที่ใช้งานจริง ซึ่งโดยทั่วไปโหลดทางกลจะมีพฤติกรรมพื้นฐานในการเกิดแรงบิดต้านการหมุนอยู่ 4 แบบ ดังแสดงในรูปที่ 1 คือ



รูปที่ 1 แสดงพฤติกรรมในการเกิดแรงบิดต้านการหมุน

- ก. โหลดออกแรงบิดต้านการหมุนเท่ากันตลอดย่านความเร็ว
- ข. โหลดออกแรงบิดต้านการหมุนเพิ่มขึ้นตามความเร็วรอบกำลังสอง
- ค. โหลดออกแรงบิดต้านการหมุนแปรผกผันกับความเร็วรอบ
- ง. โหลดออกแรงบิดต้านการหมุนเป็นสัดส่วนกับความเร็วรอบ

ในกรณีของโหลดประเภท ก. นั้นถือได้ว่าง่ายมาก เพราะถ้าโหลดต้องการการทำให้ เร่งบิดของมอเตอร์ที่ต้องใช้ในการขับโหลดทางกลให้หมุนด้วยความเร็วค่าใดค่าหนึ่งก็จะต้องมีค่าเท่ากันหรือมากกว่าแรงบิดที่โหลดต้องการซึ่งมีค่าเท่าเดิมตลอดย่านการปรับความเร็ว ส่วนในกรณีของโหลดประเภท ข, ค และ ง. นั้น จะต้องเลือกระดับแรงบิดให้เท่ากันหรือมากกว่าค่าสูงสุดที่โหลดต้องการ ในย่านความเร็วที่ต้องการปรับความเร็วรอบ กล่าวคือในกรณีของรูป ข และ ง แรงบิดสูงสุดจะอยู่ด้านซ้ายมือของกราฟ ส่วนรูป ค แรงบิดสูงสุดจะอยู่ด้านซ้ายมือของกราฟ

### 2. ทั่วไปต้องการให้โหลดออกตัวเร็วช้ามากน้อยเพียงใด

สำหรับแรงบิดที่มอเตอร์ต้องใช้ในการขับโหลดทางกลนั้น เป็นไปตามสมการ

\*ศูนยฝึกรวมเบรนนิดส์ เทคโนโลยี

$$T_m = T_L + J \frac{d\omega}{dt} \dots\dots\dots (1)$$

เมื่อ  $T_L$  คือ แรงบิดด้านการหมุนของโหลดตามที่อธิบายไว้ในข้อ 1

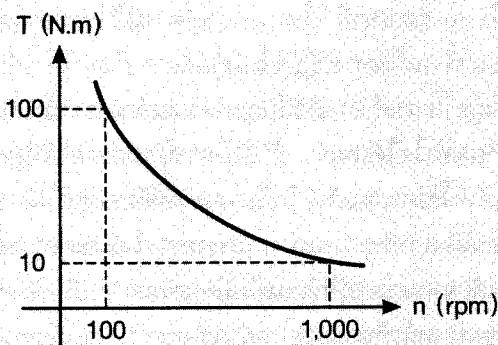
$J$  คือ โมเมนต์ความเฉื่อยของมอเตอร์และโหลดทางกลรวมกัน

$\frac{d\omega}{dt}$  คือ อัตราเร่ง หรือ อัตราการออกตัว, อัตราการเปลี่ยนความเร็วของมอเตอร์

จากสมการ ถ้าเราต้องการให้ระบบมีอัตราเร่งที่ดี ( $\frac{d\omega}{dt}$  มาก) เราก็จะต้องเลือกมอเตอร์ที่ตัวใหญ่ขึ้นมาก ๆ เมื่อเทียบกับกรณีที่ไม่ต้องการอัตราเร่งมาก แม้ว่าโหลดทางกลจะเป็นตัวเดียวกันก็ตาม เปรียบเหมือนคนตัวใหญ่แข็งแรง เมื่อให้ไปปั่นจักรยานแข่งกับคนตัวผอม แรงน้อย การออกตัว, เวลาเร่งย่อมทำได้ดีกว่าคนผอม หรือรถยนต์แรงม้าสูง เวลาเร่งเครื่องย่อมไปได้เร็วกว่ารถแรงม้าต่ำ แม้ขนาดของรถจะเท่ากันก็ตาม

### 3. พิจารณาความเร็วพิกัดที่ดองการ

ในกรณีของโหลดประเภท ก, ข และ ง นั้น การพิจารณา ก็ทำแบบตรงไปตรงมา กล่าวคือ โหลดต้องการความเร็วรอบสูงสุดเท่าใด ก็เลือกมอเตอร์ที่มีพิกัดความเร็วรอบเท่ากัน หรือมากกว่า แต่ถ้าเป็นโหลดประเภท ค การเลือกด้วยวิธีดังกล่าว อาจทำให้ผู้เลือกต้องเสียเงินซื้อมอเตอร์มากขึ้นโดยไม่จำเป็น เพราะถ้าสังเกตดูจะเห็นว่าที่ความเร็วรอบสูงขึ้น โหลดต้องการแรงบิดน้อยลง เพื่อให้เห็นภาพชัดเจนขึ้น จะขอยกตัวอย่างเป็นตัวเลขดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 แสดงสัดส่วนระหว่างความเร็วรอบกับแรงบิดของมอเตอร์

จากรูปที่ 2 สมมุติว่าโหลดต้องการแรงบิด 100 N.m ที่ความเร็ว 100 rpm และลดลงเรื่อย ๆ เมื่อความเร็วเพิ่มขึ้น โดยความเร็วสูงสุดที่ต้องการคือ 1,000 rpm ณ ความเร็วนี้ โหลดจะต้องการแรงบิดเพื่อการหมุนเพียง 10 N.m

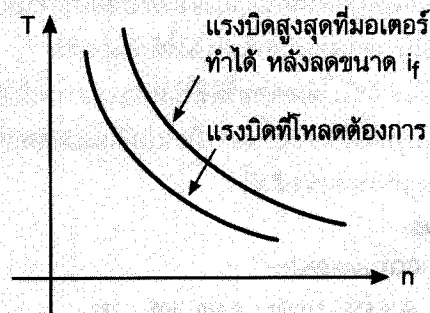
จากข้อมูลข้างต้น ถ้าเราเลือกตามปกติ เราก็จะเลือกมอเตอร์ที่รับ  $T_L$  ได้ 100 N.m (ยังไม่รวมแรงบิดที่ต้องใช้ในการเร่ง)

และมีความเร็วพิกัด 1,000 rpm ในกรณีนี้กำลังไฟฟ้าของมอเตอร์ที่ต้องการคือ

$$P = 100 \times \frac{2\pi(1,000)}{60 \times 1,000} = 10.46 \text{ kW}$$

แม้จะเห็นว่าแรงบิด 100 N.m จะถูกใช้ที่ความเร็วรอบเพียง 100 rpm ดังนั้นเราสามารถเลือกมอเตอร์ที่มีความเร็วพิกัดเพียง 100 rpm และใช้การลดกระแส  $i_f$  เพื่อเพิ่มความเร็วจาก 100 rpm เป็น 1,000 rpm ได้ ทั้งนี้ต้องพิจารณาให้มั่นใจว่าที่ 1,000 rpm แรงบิดของมอเตอร์จะยังมีค่าเท่ากับหรือมากกว่า 10 N.m ดังรูปที่ 3 หากเป็นเช่นนี้ กำลังไฟฟ้าของมอเตอร์ก็จะเหลือเพียง

$$P = 100 \times \frac{2\pi(100)}{60 \times 1,000} = 1.05 \text{ kW (น้อยกว่าถึง 10 เท่า)}$$



รูปที่ 3 กราฟแสดงแรงบิดของมอเตอร์

การหาระดับแรงบิดสูงสุดของดีซีมอเตอร์หลังจากลด  $i_f$  นั้น สามารถทำได้โดยตรงไปตรงมา โดยในกรณีของดีซีมอเตอร์ที่เป็น Separate Excite หรือแยกการจ่ายไฟระหว่างขดลวดสนามแม่เหล็กหลักกับขดลวดอาร์เมเจอร์ จะสามารถคำนวณหาแรงบิดสูงสุดที่มอเตอร์ทำได้ ณ ความเร็วใดความเร็วหนึ่ง หลังจากความเร็วเกินพิกัดไปแล้วได้ตามสมการ

$$T_{max} = P_r / \omega \dots\dots\dots (2)$$

เมื่อ  $P_r$  คือ พิกัดกำลังตามเนมเพลตของมอเตอร์

$\omega$  คือ ความเร็วใด ๆ หลังจากความเร็วพิกัด

แต่ในกรณีมอเตอร์ดีซีประเภทอื่น ๆ การหาแรงบิดจะขึ้นอยู่กับสมการของเส้นกราฟของมอเตอร์ประเภทนั้น ๆ

## การเลือกมอเตอร์ทดแทนมอเตอร์เดิม

อันที่จริงเมื่อคิดถึงการเลือกมอเตอร์ทดแทนมอเตอร์เดิม ก็ไม่น่าจะมีปัญหาที่ทำให้ต้องมานั่งคิดกันให้วุ่นวาย หลายคนคงคิดเหมือนกันว่า ก็แค่เลือกมอเตอร์ให้เหมือนเดิมก็จบ ผู้เขียนขอตอบว่า ถ้าเป็นมอเตอร์เอชซีแบบเหนี่ยวนำธรรมดา การเลือกให้เหมือนเดิมก็คงจบ เพราะมอเตอร์เอชซีแบบเหนี่ยวนำของแต่ละยี่ห้อมักจะเหมือนกัน และไม่ค่อยเปลี่ยนแปลงมากนัก แต่ถ้าเป็นมอเตอร์ดีซี คำตอบคือไม่ง่ายอย่างที่คิด เพราะมอเตอร์ดีซีแต่ละยี่ห้อ แม้ว่ากำลังวัตต์เท่ากัน แต่ขนาดของมอเตอร์ (Framesize) อาจไม่เท่ากัน นอกจากนี้ตัวแปรต่าง ๆ เช่น แรงบิด, แรงดันอาร์เมเจอร์, แรงดันที่จ่ายให้ขั้วแม่เหล็ก รวมถึงความเร็วพิกัดก็อาจไม่เท่ากัน ที่กล่าวมาทั้งหมดข้างต้นนั้นอย่าว่าแต่ต่างยี่ห้อที่ไม่เท่ากัน แม้แต่ยี่ห้อเดียวกัน แต่ใช้มานานมาแล้ว ถ้าผู้ใช้ต้องการซื้อยี่ห้อเดิมให้เหมือนของเก่าก็ทำได้ยาก เพราะอาจพบว่าผู้ผลิตได้เลิกผลิตรุ่นนั้นไปแล้ว กล่าวโดยสรุปง่าย ๆ ว่าเป็นการยากที่จะหาดีซีมอเตอร์ตัวใหม่ให้เหมือนของเดิม แม้ว่าจะเป็นยี่ห้อเดียวกันก็ตาม ด้วยเหตุนี้เราจึงต้องมานั่งคิดกันใหม่ว่า มอเตอร์ที่จะซื้อมาแทนตัวเก่านั้นใช้ได้หรือไม่ โดยจะขอยกตัวอย่างให้เห็นกันชัด ๆ

มีโรงงานแห่งหนึ่งใช้มอเตอร์ดีซีในกระบวนการผลิตและมียุติมอเตอร์อยู่ตัวหนึ่งเกิดเสียขึ้นมา เมื่อไปดูที่เนมเพลต พบว่ามอเตอร์มีข้อมูลทางเทคนิคดังนี้

### SIEMENS

TYPE : 1GG5 284-ONJ40

V : 460 A : 685 1/min : 1,440 kW : 298

Separate Excite : 310 V

มอเตอร์ตัวนี้เป็นมอเตอร์ที่บริษัทซีเมนส์ผลิตขึ้นเมื่อปี ค.ศ.1992 เนื่องจากมอเตอร์ตัวนี้เสียหายอย่างหนักและถ้านำไปซ่อมจะเสียค่าใช้จ่ายสูงมาก จึงอาจจะไม่คุ้มเมื่อเทียบกับการซื้อใหม่ ผู้ใช้จึงตัดสินใจซื้อใหม่ แต่เมื่อไปเปิดแคตตาล็อกของทางบริษัทซีเมนส์ที่ใช้ในปัจจุบัน ปรากฏว่าไม่พบมอเตอร์ตัวดังกล่าว และไม่ว่าจะหาอย่างไรก็ไม่เจอ ถ้าพิจารณาที่กิโลวัตต์และความเร็วรอบ ดังเช่นมอเตอร์เอชซี โดยยึดหลักว่ามอเตอร์ตัวใหม่ต้องมีขนาด Framesize เท่าเดิมเพื่อง่ายในการติดตั้ง ตัวที่ใกล้เคียงจะมี 2 ตัวคือ

1. TYPE : 1GG6 286-ONE40-1WV1  
328 kW, 470 V, 745 A 1,180 rpm
  2. TYPE : 1GG6 286-ONF40-1WV1  
386 kW, 470 V, 870 A 1,410 rpm
- ทั้งคู่มี Separate Excite 310 V

กรณีของมอเตอร์ตัวแรกนั้นถึงแม้กิโลวัตต์จะมากกว่าเดิม แต่ความเร็วรอบน้อยกว่าเดิมมาก เมื่อเป็นเช่นนี้ ผู้ใช้จะมั่นใจได้อย่างไรว่า เมื่อเพิ่มความเร็วรอบด้วยวิธีลดกระแสแล้วจะยังขับโหลดได้อยู่ ส่วนมอเตอร์ตัวที่สองนั้น ถึงแม้ความเร็วรอบจะใกล้เคียงกับของเดิม แต่กิโลวัตต์ก็มากกว่าเดิมเกือบร้อย เมื่อเป็นเช่นนี้ จะมั่นใจได้อย่างไรว่ามอเตอร์ที่เลือกมานี้จะไม่ใหญ่เกินไปจนกระทั่งเสียเงินมากเกินไป นอกจากนี้ ตามตัวอย่างที่ยกมา ยังถือว่าโชคดี เพราะได้มอเตอร์ที่กิโลวัตต์มากกว่าของเดิม แต่ในการปฏิบัติงานจริงอาจพบว่ามอเตอร์ที่เลือกได้มีกิโลวัตต์ลดลงจากเดิม ซึ่งจะทำให้ความไม่มั่นใจในการเลือกใช้มีมากขึ้นไปอีก ซึ่งปัญหาในลักษณะนี้จะเจอกับผู้ผลิตทุกยี่ห้อ ไม่ใช่เฉพาะแต่ของ SIEMENS ที่เป็นเช่นนี้ เพราะในปัจจุบันผู้ผลิตต่างก็แข่งขันกันพัฒนาประสิทธิภาพการทำงานของดีซีมอเตอร์ให้มีมากขึ้น ทำให้ดีซีมอเตอร์ในปัจจุบัน มีข้อจำกัดทางเทคนิคที่แตกต่างไปจากเมื่อก่อน เช่น เดิมรับแรงดันได้ 460 V แต่ของใหม่จะรับได้ 470 V, เดิมมอเตอร์ Framesize 280 จะรับกำลังสูงสุดก็ประมาณ 350 kW โดยมีแรงบิดสูงสุดอยู่ที่ประมาณ 2,000 N.m ตัน ๆ แต่ปัจจุบันมอเตอร์ขนาดเฟรมเดียวกัน จะรับกำลังได้สูงสุดประมาณ 480 kW โดยมีแรงบิดสูงสุดที่ทำได้ อยู่ประมาณ 3,200 N.m ในด้านความเร็วรอบต่ำสุดก็เช่นเดียวกัน ถ้าเป็นเมื่อก่อน (ปี 1992) ผู้ผลิตเช่น SIEMENS ทำความเร็วรอบต่ำสุดได้เพียง 50 รอบ/นาที แต่ในปัจจุบัน ทำได้ต่ำสุดถึง 10 รอบ/นาที (ในทางทฤษฎีความเร็วรอบต่ำสุดคือ 0 รอบ/นาที แต่ในทางปฏิบัติไม่มีผู้ผลิตรายใดทำได้ เนื่องจากติดปัญหาโครงสร้าง) เมื่อมีปัญหาดังเช่นที่กล่าวมาข้างต้น ผู้ใช้ก็เตรียมใจได้เลยว่า ถ้าต้องการซื้อมอเตอร์ดีซีทดแทนของเก่าที่ใช้มานานแล้ว ไม่มีทางจะได้ดีซีมอเตอร์ที่มี Spec เหมือนเดิมทุกประการแน่ ๆ (เพราะของใหม่จะดีกว่าของเดิม นอกเสียจากมอเตอร์ยี่ห้อนั้นไม่มีการพัฒนา) เมื่อเป็นเช่นนี้ก็คงต้องเป็นหน้าที่ของวิศวกรอย่างเราละครับว่าจะเลือกมอเตอร์ตัวใดมาใช้แทน จึงจะใช้แทนของเดิมได้โดยเสียเงินน้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้

ในการเลือกมอเตอร์หรือเครื่องจักรกลที่ใช้ในการขับเคลื่อนอะไรก็แล้วแต่ ให้ระลึกไว้เสมอว่า สิ่งที่สำคัญที่สุดที่จะต้องพิจารณาถึงเป็นอันดับแรกก็คือ แรงบิด ไม่ใช่กิโลวัตต์อย่างที่คนส่วนใหญ่เข้าใจ เพราะกิโลวัตต์คือผลคูณของแรงบิดกับความเร็วรอบ แต่ถึงแม้กิโลวัตต์จะเกินของเก่า แต่ถ้าแรงบิดที่มอเตอร์จ่ายได้น้อยกว่าที่โหลดต้องการ มอเตอร์ก็ไม่สามารถ

ขับโหลดได้ เมื่อได้แรงบิดแล้วจึงค่อยมาดูต่อไปว่าต้องการรอบเท่าใด จากนั้นก็เอาแรงบิดคูณรอบ ก็จะได้กิโลวัตต์มาเป็นลำดับหลังสุด แต่ถ้าผู้อ่านคุ้นเคยกับเอชเอ็มเอเตอร์ อาจจะนึกค้ำในใจว่า ตอนเลือกเอชเอ็มเอเตอร์เห็นดูแต่กิโลวัตต์อย่างเดียวไม่เคยดูแรงบิดเลย คำตอบก็คือ เนื่องจากเอชเอ็มเอเตอร์ไม่มีปัญหาอย่างที่เราจะมา เมื่อกิโลวัตต์และความเร็วรอบเท่าเดิม ผู้ใช้ก็จะได้มอเตอร์ที่มีแรงบิดเท่าเดิมโดยอัตโนมัติ เรากลับมามาดูตัวอย่างของเราต่อดีกว่าครับว่าจะทำอย่างไรดี

เป็นที่แน่นอนว่ามอเตอร์ตัวเดิมขับโหลดได้ ดังนั้นถ้าจะเลือกมอเตอร์ตัวใหม่ก็ต้องเลือกมอเตอร์ที่จ่ายแรงบิดได้เท่ากับหรือมากกว่าตัวเก่า จากตารางที่ 1 ซึ่งคัดลอกมาจากแคตตาล็อกของซีเมนส์ปี 1992 หน้า 2/88 จะพบว่ามอเตอร์เดิมมีแรงบิดพิกัดเท่ากับ 1,970 N.m

### พิจารณามอเตอร์ตัวใหม่

จากตารางที่ 2 ซึ่งคัดลอกมาจากแคตตาล็อกของซีเมนส์ปี 1996 หน้า 2/98 จะพบว่ามอเตอร์ตัวที่ 1 มีแรงบิดพิกัดเท่ากับ 2,650 N.m ส่วนมอเตอร์ตัวที่ 2 มีแรงบิดพิกัดเท่ากับ 2,620 N.m สรุปได้ว่ามอเตอร์ทั้งสองตัวมีแรงบิดเพียงพอกับที่โหลดต้องการอย่างแน่นอน ถ้ามอเตอร์ทั้งสองทำงานที่ความเร็วไม่สูงไปกว่าความเร็วพิกัดของตัวเอง แต่ปัญหาก็

กรณีที่ไม่ใช่แคตตาล็อก สามารถหาแรงบิดพิกัดได้จาก

$$T_r = P_r / \omega_r$$

$$\text{จากตัวอย่าง } P_r = 298 \times 10^3 \text{ watt}$$

$$\omega_r = \frac{2\pi \times 1,440}{60} = 150.72 \text{ rad/s}$$

$$T_r = \frac{298 \times 10^3}{150.72} = 1,977 \text{ N.m}$$

(สูงกว่าของจริงเล็กน้อย)

ความเร็วของมอเตอร์ทั้งสองต่ำกว่าความเร็วของมอเตอร์เดิม ซึ่งหมายความว่าถ้าต้องการให้ความเร็วเพิ่มขึ้นจนถึงความเร็วเดิม จะต้องควบคุมการทำงานของมอเตอร์ด้วยวิธีการใด ๆ ซึ่งเราได้ทราบแล้วว่า การลด  $i_r$  ลงจะทำให้ความสามารถในการทำให้แรงบิดสูงสุดของมอเตอร์ลดลงด้วย โดยลักษณะของการลดลงจะลดลงด้วยคุณสมบัติตามสมการ

$$P = T\omega = \text{ค่าคงที่} \dots\dots\dots(3)$$

โดยในการคำนวณจะกำหนด P ให้เท่ากับพิกัดกำลังของมอเตอร์เพราะเป็นกำลังสูงสุดที่มอเตอร์รับได้ ส่วนแรงบิดสูงสุด  $T_n$  ความเร็วรอบนั้น ๆ จะเป็นเท่าใดก็ขึ้นอยู่กับสมการ

$$T_{\text{max}} = P_r / \omega \dots\dots\dots(2)$$

ซึ่งสมการนี้จะใช้ได้ที่ความเร็วตั้งแต่ความเร็วพิกัดจนกระทั่งถึงความเร็วสูงสุดที่มอเตอร์สามารถทำได้

จากตารางสำหรับมอเตอร์ตัวที่ 1 ความเร็วพิกัดคือ 1,180 rpm และความเร็วสูงสุดคือ 1,750 rpm เนื่องจากมอเตอร์ตัวเก่ามีความเร็วพิกัดอยู่ที่ 1,440 rpm ซึ่งอยู่ระหว่าง 1,180

ตารางที่ 1

Rated speed, output and torque for rated armature voltages of				Rated output P <sub>r</sub> kW	Rated torque M <sub>r</sub> Nm	Max. speed (i <sub>r</sub> using field weakening) RPM	Order No.	Moment of inertia J <sub>r</sub> kgm <sup>2</sup>	Rated current I <sub>r</sub> A	Efficiency η <sub>r</sub> %	Field power P <sub>fld</sub> W	Armature circuit		Series inductance L <sub>s</sub> mH
400 V	460 V	520 V	600 V									700 V	800 V	
394	462	530	620	735	845	960	1180	4.50	242	82	4.1	210.0	8.25	0.00
452	530	605	705	835	960	1130	1400	4.50	268	84	4.1	166.0	8.25	0.00
535	625	715	835	980	1130	1330	1580	4.50	308	86	4.1	120.0	8.25	0.00
605	705	805	935	1100	1280	1490	1810	4.50	346	87	4.1	95.5	8.25	0.00
715	835	950	1100	1300	1490	1710	2150	4.50	398	89	4.1	72.5	8.25	0.00
825	980	1090	1270	1490	1710	1960	2400	4.50	448	90	4.1	53.0	8.25	0.00
970	1120	1280	1480	1740	1990	2280	2780	4.50	540	91	4.1	40.8	8.25	0.00
1140	1320	1500	1740	2070	2300	2590	3100	4.50	620	92	4.1	29.6	8.25	0.00
1250	1440	1640	1890	2200	2480	2780	3380	4.50	695	92	4.1	24.0	8.25	0.00
1500	1710	1960	2250	2620	2940	3280	3980	4.50	800	93	4.1	17.3	8.25	0.00

ตารางที่ 2

Rated speed for rated armature voltages of				Rated output P <sub>r</sub> kW	Rated torque M <sub>r</sub> Nm	Max. speed (i <sub>r</sub> using field weakening) RPM	Order No.	Moment of inertia J <sub>r</sub> kgm <sup>2</sup>	Rated current I <sub>r</sub> A	Efficiency η <sub>r</sub> %	Field power P <sub>fld</sub> W	Armature circuit		Series inductance L <sub>s</sub> mH
420 V	470 V	520 V	600 V									700 V	800 V	
605	685	765	890	1050	1230	1330	1620	4.4	452	88	4.8	80.0	3.44	
715	805	900	1050	1230	1410	1510	1810	4.4	515	89	4.8	59.5	2.59	
815	920	1020	1190	1400	1580	1680	2010	4.4	565	90	4.8	49.4	2.19	
915	1030	1150	1330	1510	1710	1810	2150	4.4	625	91	4.8	39.6	1.66	
1020	1130	1250	1440	1610	1810	1910	2250	4.4	675	92	4.8	31.6	1.66	
1120	1240	1360	1560	1740	1940	2040	2400	4.4	745	93	4.8	23.6	1.31	
1220	1340	1460	1660	1840	2040	2140	2500	4.4	800	94	4.8	18.3	0.74	
1320	1440	1560	1780	1980	2180	2280	2600	4.4	860	95	4.8	14.3	0.74	
1420	1540	1660	1880	2100	2300	2400	2700	4.4	920	96	4.8	11.3	0.58	
1520	1640	1760	2000	2220	2420	2520	2800	4.4	980	97	4.8	9.3	0.58	
1620	1740	1860	2100	2320	2520	2620	2900	4.4	1040	98	4.8	7.3	0.58	
1720	1840	1960	2200	2420	2620	2720	3000	4.4	1100	99	4.8	5.3	0.58	
1820	1940	2060	2300	2520	2720	2820	3100	4.4	1160	100	4.8	4.3	0.58	

และ 1,750 rpm ซึ่งเป็นความเร็วพิกัดและความเร็วสูงสุดของมอเตอร์ตัวใหม่ที่เราเลือก ดังนั้นเราสามารถหาแรงบิดสูงสุดที่มอเตอร์ตัวใหม่ทำได้ ณ ความเร็ว 1,440 rpm จากสมการที่ 2

$$\text{จากสมการ } T_{\max} = P_r / \omega$$

$$\text{เนื่องจาก } \omega = \frac{2\pi \times 1,440}{60} = 150.72$$

$$\text{จะได้ } T_{\max} = \frac{328 \times 10^3}{150.72} = 2,176 \text{ N.m}$$

จะเห็นได้ว่าถึงแม้จะให้มอเตอร์ทำงานในย่านที่แรงบิดสูงสุดของมอเตอร์ลดลง แต่ก็ยังมากกว่าแรงบิดสูงสุดของมอเตอร์ตัวเดิมคือ 1,970 N.m ในกรณีเช่นนี้เราจึงเลือกใช้มอเตอร์นี้ได้สำหรับกรณีที่ความเร็วที่ต้องการเกินจากความเร็วสูงสุด ( $n_{F\max}$  ในที่นี้คือ 1,750 rpm) แรงบิดสูงสุดที่มอเตอร์ทำได้จะยิ่งตกเร็วขึ้น ดังแสดงในรูป 4(ก) และมีการพลาของกำลังสูงสุดที่มอเตอร์ทำได้ดังแสดงในรูป 4(ข) แต่ทั้งนี้ทั้งนั้นความเร็วที่จะใช้งานจะต้องไม่เกิน  $n_{\text{mech}}$  ซึ่งเป็นความเร็วสูงสุดที่มอเตอร์ทำได้ตามข้อจำกัดทางกล สำหรับกำลังสูงสุดที่มอเตอร์ทำได้เมื่อความเร็วมากกว่า  $n_{F\max}$  หรือ  $P_{\text{red}}$  สามารถหาได้จากสมการที่ 4 ดังนี้

$$P_{\text{red}} = \frac{\frac{n^* - 1}{n_f} \cdot P_n}{\frac{n^* - 1}{n_{F\max}}} \dots (4)$$

ซึ่งอาจเขียนให้อยู่ในรูป

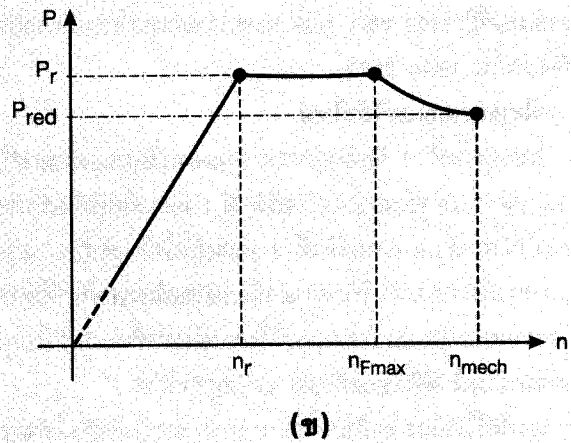
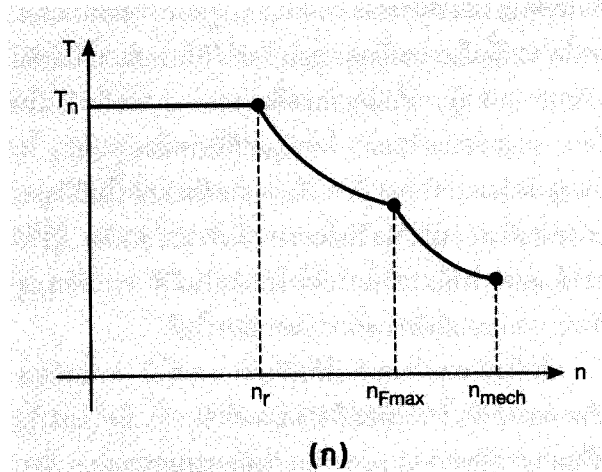
$$n_f = \frac{n^*}{\left( \frac{n^* - 1}{n_{F\max}} \right) \frac{P_{\text{red}}}{P_n} + 1} \dots (5)$$

โดยที่  $n^*$  คือ ค่าความเร็วอ้างอิงตามขนาด Framesize ของมอเตอร์ ดังแสดงในตารางที่ 3

$n_f$  คือ ความเร็วที่ต้องการที่อยู่ระหว่าง  $n_{F\max}$  และ  $n_{\text{mech}}$

Framesize	ความเร็ว (RPM)
100	26,000
112	22,800
132	18,100
160	14,900
180	13,000
200	11,700
225	10,500
250	9,400
280	8,300
355	6,900
400	6,000
500	4,580
630	3,580

ตารางที่ 3  
เปรียบเทียบขนาด  
ของมอเตอร์กับ  
ความเร็วรอบ



รูปที่ 4 (ก) แรงบิดสูงสุดที่มอเตอร์ทำได้

(ข) กราฟของกำลังสูงสุดที่มอเตอร์ทำได้

$n_r$  ความเร็วพิกัด

$n_{F\max}$  ความเร็วสูงสุดที่ยังอยู่ในสถานะ  $P_n = \text{ค่าคงที่}$

$n_{\text{mech}}$  ความเร็วสูงสุดที่ทำได้ตามข้อจำกัดทางกล

$P_r$  พิกัดกำลังตามเนมเพลต

$P_{\text{red}}$  กำลังสูงสุดที่มอเตอร์ทำได้เมื่อความเร็วสูงกว่า  $n_{F\max}$

