유도전동기의 Torque 에 대한 이해

1. 유도 전동기 Torque 의 종류

유도 전동기 및 그 부하는 기동시 일반적으로 아래 그림과 같은 Torque 곡선을 가지며, 전동기의 Torque 와 부하의 Torque 곡선이 만나는 점에서 운전이 이루어진다. Torque 의 종류에는 다음과 같은 것들이 있으며 아래의 그림을 참고하기 바란다.

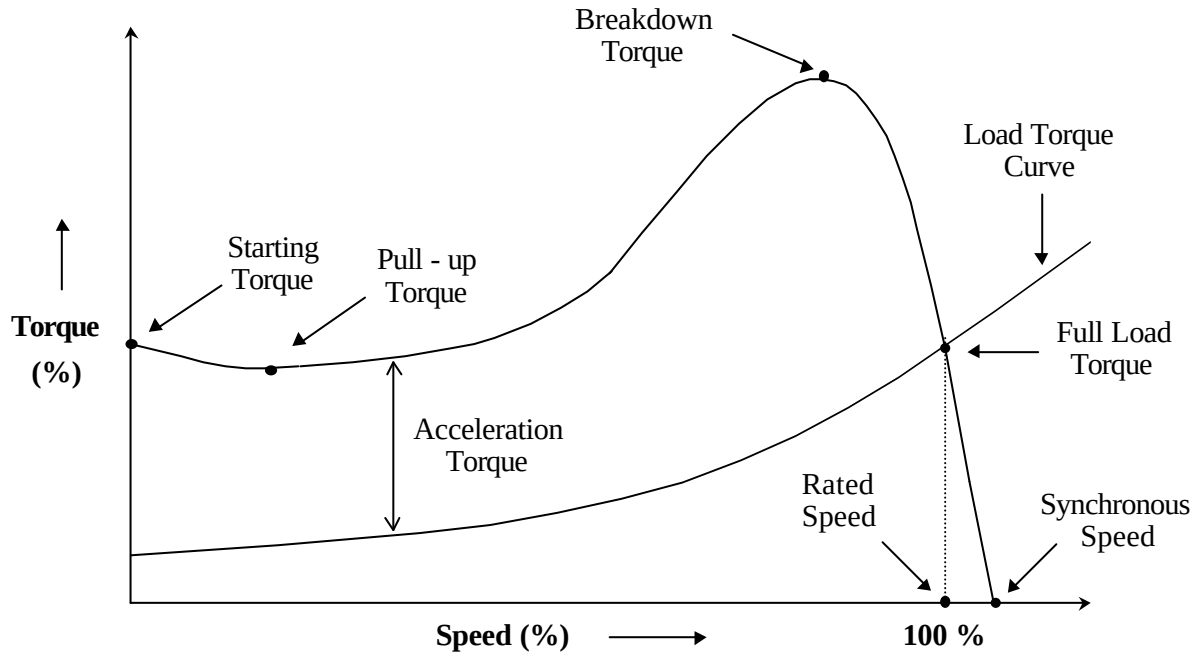
1) 전부하 Torque (Full Load Torque)
   - 정격전압 인가상태의 전부하 속도에서 정격부하를 인가할 수 있는 Torque

2) 구속 Torque(Locked Rotor or Starting Torque)
   - 정격전압 인가 상태에서 기동시 발생되는 Torque

3) 최소 Torque (Pull up Torque)
   - 기동 후 최대 토크 도달하기 까지 사이에서의 최소 Torque

4) 최대 Torque(Breakdown Torque)
   - 정격전압 인가 상태에서 전동기가 낼 수 있는 최대 Torque 로써 이 이상의 Torque 를 요구하는 부하가 인가될 경우에는 전동기는 정지하게 된다.

5) 가속 Torque (Acceleration Torque)
   - 전동기를 가속하기 위한 부하 Torque 와 전동기 출력 Torque 와의 차이



전동기 Torque 의 종류

2. Speed – Torque 특성 곡선

전동기의 속도에 따른 Torque 의 변화를 백분율로 나타낸 것으로 전동기의 성능을 표시함에 있어 기본이 되는 곡선이다.

1) NEMA Design Code (MG 1-1.16)

부하의 Speed-Torque 곡선을 만족시키기 위하여 전동기 제작시 전동기의 Speed-Torque 곡선을 결정하는 것으로서 A, B, C, D 의 네 가지 종류가 있으며 특별한 경우를 제외하고는 이중 B, C, D, 만을 적용한다. 아래 표는 이들에 대한 특성을 요약한 것이다.

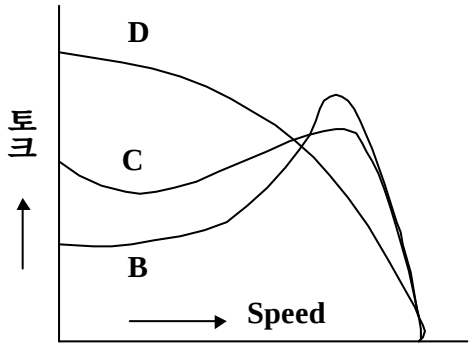
NEMA Design 전동기의 특성 요약

NEMA Design	Initial Cost, %	Starting Torque, %	Starting Current, %	Full Load Slip, %	Breakdown Torque, %	Efficiency (Full Load), %
B	100	Normal (100 ~ 115)	Normal (550 ~ 650)	Low (3)	Normal (200)	High (87 ~ 92)
C	105 ~ 115	High (200 ~ 250)	Normal (550 ~ 650)	Low (3)	Normal (190)	High (87 ~ 92)
D	110 ~ 180	High (225 ~ 300)	Low (450 ~ 550)	High (5~8)or(8~13)	High (225 ~ 300)	Low (82 ~ 86)

이러한 Code 별 Speed-Torque 곡선을 얻기 위해서는 회전자의 슬롯 구조를 다르게 제작하여야 하는데, 각 Design 의 회전자 구조 및 특성은 아래와 같다.

NEMA Design	회전자 구조 및 특성
Design B	Deep-Slot 형, 회전자 도체는 단면적이 큰 사각 Bar 로 제작된다. 기동시 실효 저항을 증가 시키기 위해 Bar 상부로 전류를 흐르게 하는 구조이며, 정격 Speed 에서는 전 Bar 에 Uniform 하게 분포되도록 하여 저 Slip 및 고효율을 얻기 위한 구조이다.
Design C	2 중 농형 구조이며 상부 Bar 는 고저항 도체로, 하부 Bar 는 저저항 도체로 설계 제작된다. 기동시에는 회전자 주파수가 전원 주파수와 같고 Impedance 는 자속 쇄교 수가 많은 하부 Bar 가 크므로, 기동시 전류는 Impedance 가 작은 상부 Bar 로 흐르게 된다. 또, 상부 Bar 가 고저항으로 되어 있으므로 고 기동 Torque 및 낮은 기동 전류를 얻게 된다. 회전수가 증가됨에 따라 회전자의 주파수는 낮아지므로 하부 Bar 의 Impedance 가 작아진다. 그러므로 운전시에는 저항이 작은 하부 Bar 로 대부분의 전류가 흐르게 되어 열 손실이 적어진다.
Design D	고 저항의 Bar 을 삽입하여 기동 전류를 제한하고, 기동 토크를 크게 하도록 되어있다.

2) 부하에 따른 Design Code 의 적용



부하의 Speed-Torque 특성에 따라 전동기의 그것도 다르게 적용되어야 한다. 특히 부하의 Speed-Torque 특성이 어떠한 기동 Torque 를 요구하며, 정속도 Torque 특성을 갖는지, 2 승 혹은 3 승 Torque 특성을 갖는지를 잘 파악하여 전동기를 선정하여야 한다.

다음의 표는 NEMA Design B,C,D 전동기의 특징과 용도를 나타낸 것이다.

NEMA Design B,C,D 전동기의 특징과 용도

Design	부하의 성질 및 특징	주요 부하 예
B	- 기동 Torque 가 비교적 작고, 기동 빈도가 그리 높지 않는 부하 - GD^2 이 비교적 큰 부하 - 운전중의 특성이 좋다. - 부하가 변하여도 속도 변화가 적다.	● M-G set ● Fan ● Blower ● Pump ● Compressor ● Hoist
C	- 비교적 큰 기동 Torque 를 필요로 하고 너무 빈번한 기동이 일어나지 않는 부하 - 운전중 특성은 B 보다 좋지 않다. - 허용된 $GD^2$2 는 B 보다 낮다.	● Crusher ● Conveyer ● Compressor ● Plunger Pump
D	- GD^2 이 B, C 보다 큰 부하로 운전시간이 단시간 단속적으로써 사용하는 부하 - 평상시에는 경부하로 운전하고 때때로 피크 부하가 걸리는 경우	● Crane ● Hoist ● Punch Press

3. Torque 의 계산 공식 요약

1) 정격 토오크 (T_n)

$$T_n = \frac{P_{on}}{1.027\ n_n}\ (kg\ f\ m),$$

여기서 P_{on} : 정격출력 [W]

n_n : 정격회전속도 [rpm]

2) 최대 토오크

$$T_{MAX} = \frac{3V_1^2 P}{8\pi f \{r_1 + \sqrt{[r_1^2 + (x_2 + x_1)^2]}\}}$$

$$s_{MAX} = \frac{r_2}{\sqrt{[r_1^2 + (x_2 + x_1)^2]}}$$

여기서 r_1 : 1 차저항
x_1 : 1 차 누설 리액턴스
r_2 : 2 차 저항
x_2 : 2 차 누설 리액턴스
V_1 : 1 차 전압
P : 극수
s : 슬립
s_{MAX} : 최대토크시 슬립

3) 최대토크와 정격토크의 관계

$$T = T_{MAX} \frac{2}{(s_{MAX} / s) + (s / s_{MAX})}$$

4) 기동 토오크

$$T_S = \frac{3V_1^2 r_2 P}{4\pi f \{(r_2 + r_1)^2 + (x_2 + x_1)^2\}}$$

5) 기동시간

Slip s_1 에서 s_2 까지 가속하는데 드는 시간

$$t = \frac{GD^2}{38.2} \cdot \frac{n_S}{2\ T_m} \left(\frac{s_1^2 - s_2^2}{2s_m} + s_m \ln \frac{s_1}{s_2} \right)$$

n_S : 동기속도 (rpm), T_m : 최대 토크, s_m : 최대 토크시 슬립

4. Motor 의 용량 산정

전동기의 용량은 먼저 부하 기계의 소요 동력을 산정한 후 여유율, 효율을 고려하여 적절한 용량으로 선정한다. 여기서는 Pump 와 Blower 부하를 위한 전동기 용량 산정 방법을 설명하도록 한다.

1) Pump 의 전동기 용량 산정

Process 의 요구에 따라 필요한 토출량(Rated Capacity)과 전양정(Head or △P)이 결정되면 먼저 Pump 의 축동력(BHP : Break Horse Power)을 계산하고, 여기에 여유율을 곱하여 전동기 출력을 얻는다.

$$P = K \frac{9.8QH\gamma}{\eta} \quad [kW]$$

여기서 P : 소요 동력 K : 여유율(1.15) Q : 전양정 [m^3/s]
H : 총양정 [m] r : Specific Gravity η : Pump 효율

2) Blower 의 전동기 용량 산정

기체를 임펠러의 회전운동에 의해 압송하기 위한 기계를 총칭하여 송풍기라 하고, 이중 압력비 1.1 미만, 토출압 1 mAq 미만은 Fan, 압력비 1.1 ~ 2.0, 토출압 1 mAq 이상 1Kgf/cm2 미만을 Blower 라 한다.

Blower 에 필요한 소요 동력은 다음 식으로 산정할 수 있다.

$$P = K \frac{Qs\ H}{6120\ \eta f\ \eta t} \quad [kW]$$

여기서 P : 소요 동력 K : 여유율(1.1) Qs : 풍량 [m^3/min]
H : 압력 [mmAq] ηf : Pump 효율 ηt : 전달효율

전달 방식에 따른 전달효율

전달방식	효율 (ηt)	전달방식	효율 (ηt)
평벨트	0.9 ~ 0.93	유체이음	0.95 ~ 0.97
V 벨트	0.95	치차 변속	0.95 ~ 0.98
Coupling 직결	1.0		