

유도전동기 토크-속도 곡선과 슬립 관계

슬립과 속도 관계

슬립은 동기속도 N_s 와 실제 회전자 속도 N 의 차이를 나타내며 다음과 같이 정의된다:

$$s = \frac{N_s - N}{N_s}, \quad N = (1 - s)N_s.$$

토크 식

유도전동기의 토크는 슬립 s 의 함수로 표현된다:

$$T_m = \frac{3}{\omega_s} \cdot \frac{V_1^2 \cdot (R_r/s)}{(R_s + R_r/s)^2 + (X_{ls} + X_{lr})^2}.$$

이를 정리하면,

$$T_m = \frac{3}{\omega_s} \cdot \frac{V_1^2 R_r s}{(R_s s + R_r)^2 + s^2 (X_{ls} + X_{lr})^2}.$$

작은 슬립 영역 (정상운전)

슬립이 매우 작을 때 ($s \ll 1$), 분모는 거의 R_r^2 로 근사된다:

$$T_m \approx \frac{3}{\omega_s} \cdot \frac{V_1^2}{R_r} s.$$

따라서 토크는 슬립에 **비례**한다. 이 영역은 정상운전 영역이며 안정적이다.

큰 슬립 영역 (기동)

슬립이 큰 경우, 리액턴스 항이 지배적이므로:

$$T_m \approx \frac{3}{\omega_s} \cdot \frac{V_1^2}{(X_{ls} + X_{lr})^2} \cdot \frac{R_r}{s}.$$

따라서 토크는 슬립의 역수에 **반비례**한다. 이 영역은 기동 및 저속 영역이다.

토크-속도 곡선의 기울기

토크-속도 곡선의 기울기는 다음과 같이 해석된다:

$$\frac{dT}{dN} = \frac{dT}{ds} \cdot \frac{ds}{dN} = \frac{dT}{ds} \cdot \left(-\frac{1}{N_s}\right).$$

- 작은 슬립 영역 ($s \ll 1$): $T \propto s \Rightarrow \frac{dT}{ds} > 0 \Rightarrow \frac{dT}{dN} < 0$. 즉, 속도가 증가하면 토크가 감소 → **음의 기울기**.
- 큰 슬립 영역: $T \propto 1/s \Rightarrow \frac{dT}{ds} < 0 \Rightarrow \frac{dT}{dN} > 0$. 즉, 속도가 증가하면 토크가 증가 → **양의 기울기**.

결론

- 큰 슬립(저속): 토크는 $1/s$ 에 반비례 → 그래프 기울기 양수. - 작은 슬립(고속): 토크는 s 에 비례 → 그래프 기울기 음수. - 최대토크 지점에서 기울기가 0이 되며, 안정 운전은 음의 기울기 영역에서 이루어진다.

참고문헌

References

- [1] Stephen J. Chapman, *Electric Machinery Fundamentals*, 5th Edition, McGraw-Hill, 2011.
- [2] A. E. Fitzgerald, Charles Kingsley Jr., Stephen D. Umans, *Electric Machinery*, 7th Edition, McGraw-Hill, 2003.
- [3] 김철홍, *전기기기*, 교학사, 2015.