

유도 전동기의 전력 및 토크 특성 해석

이은웅^{*}, 김일중^{**}, 김종겸^{***}, 박영진^{***}
충남대학^{*}, 호서대학^{**}, 강릉대학^{***}

Analysis for Power and Torque Characteristics of Induction Motor

Lee Eun-Woong^{*}, Kim Il-Jung^{**}, Kim Jong-Gyeum^{***}, Park Young-Jeun^{***}
Chungnam National Univ^{*}, Hoseo Univ^{**}, Kangnung National Univ^{***}

Abstract - This paper presents a analysis on the torque and power characteristics of standard 3-phase induction motor.

An induction motor changes its characteristics parameters under the operation condition with the same capacity.

In this paper, we analyzed that how the power and torque characteristics of induction motor would be changed according to the change of these parameters.

1. 서 론

유도전동기는 산업현장에서 회전력을 얻기 위해 가장 많이 사용되는 전동기 중의 하나이다. 유도전동기는 다른 전동기에 비해 가격이 저렴하고, 유지보수가 쉬워 많이 사용되고 있지만, 기동시 높은 전류의 발생으로 전기품질에 나쁜 요소로 작용할 수도 있다.

부하의 운전정격에 적합한 출력을 낼 수 있는 전동기의 선택도 중요하지만, 기동 및 운전시에 발생하는 전동기의 토크 또는 전력 특성의 해석도 중요하다. 부하의 운전을 위해 적정한 전동기를 선택할 경우 주로 극수와 용량, 운전정격 등 전동기 명판에 표시된 파라미터를 보고 전동기를 선정하는 경우가 일반적이다. 이를 파라미터가 전동기의 운전조건에 따라 설계시의 파라미터가 달라지는 경우가 있다.

유도전동기는 설계시 정격용량에 따라 설계하지만, 실제 운전시는 회전수와 효율 등이 달라지므로 운전상황에 따라 달라지는 변화된 특성 값을 찾아내는 것이 매우 중요하다.

본 논문에서는 일반적으로 사용되고 있는 유도전동기의 명판에 표시된 파라미터를 기본으로 하여 기동 및 운전 시 발생하는 특성을 파악하기 위해 제작사에서 제공한 파라미터와 전용 프로그램으로 구한 파라미터로 같은 조건에서 전력 및 토크의 특성을 비교 분석하였다.

2. 좌표변환 및 전력-토크 특성

2.1 좌표변환 및 전력 특성

p-q 이론은 시간영역에 기초한 것으로서 전압, 전류 패형에 대한 것뿐만 아니라 정상 및 과도상태에 대한 것도 표현할 수 있다[1,2]. p-q 전력성분은 a-β-0 좌표에

서 전압과 전류로 계산할 수 있다.

유도전동기에 공급되는 전압 및 전류는 식 ①과 같이 3상 abc 시스템에서 a-β 좌표축으로 변경할 수 있다. 식 ①에서 X는 전압 또는 전류를 의미한다[1,2].

$$\begin{bmatrix} X_a \\ X_b \\ X_c \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_a \\ X_b \\ X_c \end{bmatrix} \quad (1)$$

a-β 변환에서 d-q 축의 변환을 시행할 경우 식 ②와 같다.

$$\begin{bmatrix} X_d \\ X_q \\ X_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \omega t & \sin \omega t & 0 \\ -\sin \omega t & \cos \omega t & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_a \\ X_b \\ X_c \end{bmatrix} \quad (2)$$

부하의 운전시 나타나는 순간적인 전력의 변화는 전기 시스템의 특성해석에 매우 중요하다. 식 ②에 전압 및 전류성분을 대입할 경우 3상 평형시스템에 대한 유효(P), 무효(Q) 및 피상전력(S)은 식 ③과 같이 d-q 축 좌표로 나타낼 수 있다[1,3].

$$P = V_d I_d + V_q I_q \quad (3)$$

$$Q = V_d I_q - V_q I_d$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

식 (3)에서의 유효전력은 회로의 한 점에서 다른 곳으로 순수한 흐름으로 존재하는 것이라면, 무효전력은 앞뒤로 연속적인 에너지 흐름이므로 반주기동안 한 방향으로 흐르는 에너지의 양이 나머지 반주기에 반대방향으로 흐르는 에너지의 양과 같으므로 한 주기 동안 대해 실질적인 흐름은 없지만 유도전동기의 자화를 위해 필수적인 성분이다. 역률은 식 (3)에서 피상전력에 대한 유효전력 성분으로부터 구할 수 있다.

2.2 유도전동기 토크

식 ③에서 유도전동기에 전달된 유효전력성분에 의해 전개된 토크 방정식은 식 ④와 같다[2,3].

$$T_{em} = \frac{3}{2} \frac{p}{2} (\lambda_{ds} i_{qs} - \lambda_{qs} i_{ds}) \quad (4)$$

유도전동기의 효율은 유효전력성분에 대해 각속도와 토크의 곱으로 식 (5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\eta = \frac{w T_{em}}{P} \quad (5)$$

3. 시뮬레이션 및 결과 분석

유도전동기의 기동 및 정상 운전시의 특성해석을 위해서는 정확한 파라미터의 제시가 중요하다. 그러나 제작사로부터의 파라미터 입수가 어려워 연구자나 사용자가 추정을 통해 파라미터를 구하는 경우가 대부분이다. 본 연구에서는 제작사가 제시한 파라미터와 전용프로그램으로 구한 파라미터를 가지고서 토크 및 전력특성을 해석하였다. 해석에 사용된 3상 유도전동기의 파라미터는 표 1과 같다.

Table 1 모델 유도전동기 특성값

section	data
output	2.2kW
poles	4
rotor type	squirrel cage
starting method	DOL
NEMA design	B
speed(at full load)	1,720rpm
voltage	220/380V
full load current	9.1/5.3A
starting current	59.2/34.5A
full load efficiency	82%
insulation level	F
service factor	1.15
full load pf	77.5%

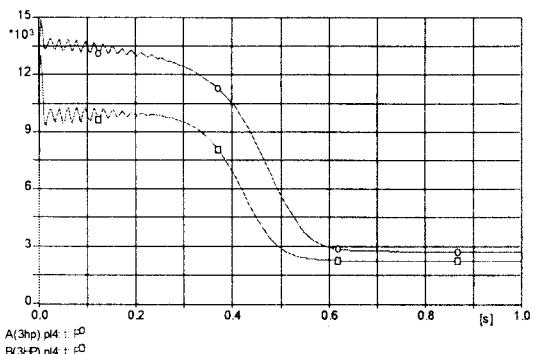
표 2는 표 1의 전동기 세부 파라미터를 나타낸 것으로서 A는 전용프로그램으로 구한 것이고, B는 제작사로부터 구한 것이다.

Table 2 detail parameter of Table 1

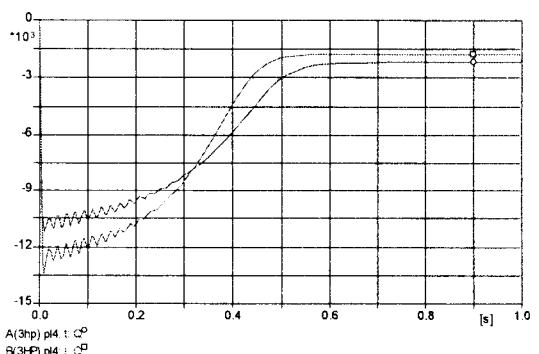
구분	A-data(0)	B-data(1)
stator d-q resistance	4.59878Ω	3.290Ω
rotor d-q resistance	2.10835Ω	2.557Ω
stator d-q inductance	0.000901H	0.000932H
rotor d-q inductance	0.000401H	0.01055H
d-axis magnetization	0.159015H	0.22047H
q-axis magnetization	0.159015H	0.22047H
Inertia moment J	0.0418[kg·m ²]	0.0418[kg·m ²]

표 2에서 구하여진 파라미터를 가지고서 토크 및 전력은 전자계파도해석 프로그램(EMTP)을 이용하였다.

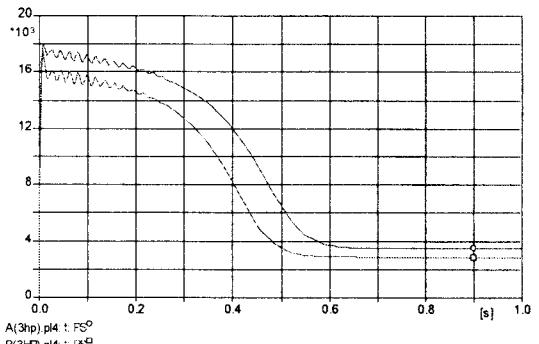
그림 1은 두 종류의 파라미터를 가지고서 기동 및 정상 운전시의 전력 및 역률 특성변화를 나타낸 것이다.



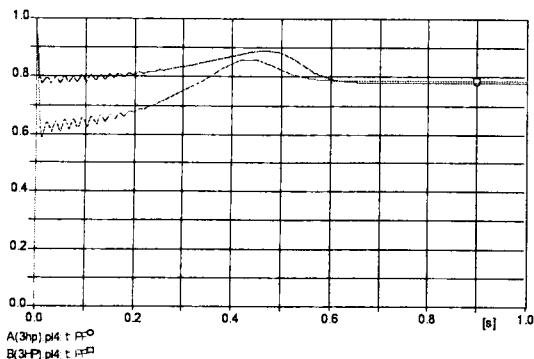
(a) Active power curve



(b) Reactive power curve



(c) Apparent power curve



④ Power factor curve

Fig. 1. Power characteristic curve

그림 1 ④의 유효전력 곡선에서 전용 프로그램으로 구한 파라미터로 계산한 것이 제작사에서 제시한 값보다 기동은 물론 정상운전에서도 높은 값을 유지하고 있다. 그림 1 ④의 무효전력에 대한 특성도 유효전력에서와 같이 제작사에서 제시한 파라미터로 구한 값보다 약간 높게 나타남을 알 수 있다. 한편 기동시에는 정상운전시와 달리 A 와 B의 값이 역전됨을 알 수 있다. 그림 1 ④의 ⑤ 피상전력은 유효와 무효전력의 벡터합 성분으로서 파라미터로 구한 것이 제작사에서 제시한 것으로 구한 것보다 약간 높게 나타났다. 그림 1 ④는 역률 변화를 나타낸 곡선으로서 기동시에는 B 모델이 A 모델보다 약간 낮게 나타난 것은 피상전력에 대한 유효전력의 비율에서 그림 1 ④에서와 같이 기동시 약간의 편차가 정상시에 비해 높아졌기 때문이다. 그러나 정상운전시에는 거의 차이가 없어짐을 확인할 수 있다.

그림 1에서와 같이 정상운전에서는 유효 및 무효전력의 크기는 거의 일정하지만, 기동에서 정상운전까지의 전력분포에는 상당한 차이가 발생함을 확인할 수 있다.

그림 2는 두 종류의 모델에 대한 토크특성곡선을 나타낸 것이다. 이 토크값은 전동기의 효율을 산정하는데 필요하다. 효율은 식 ⑤에서와 같이 구하면 된다.

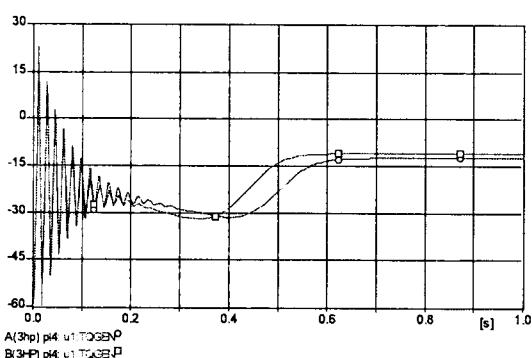


Fig. 2. Torque characteristic curve

표 1에 제시된 특성값에서 출력 용량과 회전수를 가지고 구한 토크는 12.21[Nm]이다. 표 2의 세부파라미터

를 이용하여 식 ⑥로 나타낸 토크 곡선은 그림 1과 같으며, 정상운전시의 토크는 12.35[Nm]로서 파라미터로 구한 결과(A)와 명판에 제시된 출력값과 거의 일치하지만, 두 번째(B)는 다소 낮은 10.93[Nm]가 되었다.

표 3은 유도전동기의 두 가지 파라미터에 대해 정상운전시의 전력, 역률 및 효율을 비교 분석한 것이다.

Table 3 Comparison of power & power factor

구분	유효전력 [W]	무효전력 [VAR]	피상전력 [VA]	역률 (%)	효율 (%)
A model	2717.2	2199.4	3495.8	77.71	82.04
B model	2246.1	1766.7	2857.7	78.95	87.67

표 3에서 나타난 바와 같이 명판에 제시된 값으로 전용프로그램으로 파라미터를 구한 다음 해석한 결과는 손실분이 고려되지 않아 전력값은 다소 높게 나타나지만, 역률이나 효율 등은 거의 일치한 결과를 나타내고, 제작사에서 제시한 파라미터를 가지고서 계산한 결과에서는 유효전력은 정확하게 일치하지만, 역률이나 효율 등은 약간 높게 나타남을 확인할 수 있었다.

4. 결 론

산업현장에서 동력 부하운전용으로 사용되는 유도전동기의 전력 및 토크 특성을 확인하기 위해 제작사에서 제시한 파라미터와 명판에 명시된 것을 전용 프로그램을 이용하여 파라미터를 구한 다음 토크 및 전력특성 변화를 해석하였다.

기동시는 정상운전에 비해 많은 기동전류 때문에 전력이 많이 소비되는 것을 확인할 수 있었고, 전력성분에서 유효전력에 대해 발생된 토크를 효율로 환산하였으며, 피상전력성분에 대하여 유효전력의 변화를 역률로 환산하여 나타내었다.

계산결과 제작사에서 제시한 값은 전용프로그램으로 구한 것에 비해 약간의 오차가 존재함을 확인하였다.

【참 고 문 헌】

- [1] Akagi, H et al., "Instantaneous reactive power compensators comprising switching devices without energy storage components", IEEE Trans on IA, Vol.20, no.3, pp.625-630, 1984
- [2] H.W. Dommer, "Electromagnetic Transients Program. Reference Manual (EMTP Theory Book)", BPA 1986.
- [3] 김종겸 외 3인, "불평형 전압 운전시 유도전동기의 동작특성 해석", 대한전기학회 논문지(B), 제 53권, 제 6호, pp.372-379, 2004. 6
- [4] 정종호 외 4인, "효율 및 슬립 변화에 따른 유도전동기의 전력 및 토크 특성 해석", 대한전기학회 전기기기 및 에너지변환 시스템 학술대회 발표논문, 2007.04, pp.43~45