

유도 전동기의 동특성 해석 및 시험

장석명, 박병임, 이성호, 이성래, 윤기갑*
 충남대학교 전기공학과, 한국 전력공사 전력 연구원*

Analysis and test of dynamic characteristics of induction motor

S.M Jang, P.I Park, S.H Lee, S.L Lee, K.G Yoon
 Dept. Electrical Engineering of Chungnam Nat'l Univ, KEPRI*

Abstract - To control induction motor we have to know about dynamic characteristics including torque characteristic. Simulation and test were made to get dynamic characteristics using LabVIEW and Matlab. We got experimental results(e.g current, torque, speed etc) from starting to steady state with changing of load.

1. 서 론

유도 전동기의 제어를 위해 과도 특성 파악이 필요하다. 따라서, 본 논문에서는 유도 전동기의 정수를 산정한 후 시뮬레이션을 하고, 특성 실험을 위한 계측 시스템을 구성하여 과도 특성들을 알아보았다.

시험 모터로는 견고하고 비교적 특성이 우수한 3상 농형 유도 전동기를 사용하였다. 무 부하 시험과 구속 시험을 통해 산정한 정수들을 이용하여 기동 시부터 정상상태에 이르는 기간동안의 전류, 토크, 속도 특성을 시뮬레이션하였다. 이 해석치와 실제 실험치의 비교를 위해 측정 시스템을 구성하였다. 토크 계산에 필요한 자속 검출을 위해 고정자에 서치 코일을 감았다. 부하를 주기 위해 와류형 전기 동력계를 사용하였고, 속도 측정 시 엔코더를 이용하였다. 상용전원과 인버터 전원을 모두 사용하여 각 경우의 동 특성 실험을 수행하였다. 실험결과는 실시간 계측 소프트웨어인 LabVIEW를 통해 전류, 토크, 속도를 직접 모니터링하였다.

2. 유도 전동기의 사양 및 개요

표 1은 본 논문에서 다룰 3상 농형 유도 전동기의 사양이다.

고정자 치에 고정자 권선과 같은 분포권으로 서치 코일을 감아 자속을 검출하고 이 자속과 전압을 d, q 변환한다. 변환된 전류와 자속으로 토크가 계산된다.

$$\omega_b = 2\pi f_{rated} \quad (1)$$

고정자 q, d축 쇄교 자속, 회전자의 q, d축 쇄교 자속, 자화 쇄교 자속 성분, 고정자와 회전자 q, d축 전류 성분이 각각 아래 식들과 같다.

$$\Psi_{qs}^s = \omega_b \int [v_{qs}^s + \frac{r_s}{x_{ls}} (\Psi_{mq}^s - \Psi_{qs}^s)] dt \quad (2)$$

$$\Psi_{ds}^s = \omega_b \int [v_{ds}^s + \frac{r_s}{x_{ls}} (\Psi_{md}^s - \Psi_{ds}^s)] dt \quad (3)$$

$$\Psi_{qr}^s = \omega_b \int [v_{qr}^s + w_{r/w_s} \Psi_{dr}^s + \frac{r_r'}{x_{lr}'} (\Psi_{mq}^s - \Psi_{qr}^s)] dt \quad (4)$$

$$\Psi_{dr}^s = \omega_b \int [v_{dr}^s + w_{r/w_s} \Psi_{qr}^s + \frac{r_r'}{x_{lr}'} (\Psi_{md}^s - \Psi_{dr}^s)] dt \quad (5)$$

$$\Psi_{mq}^s = x_m (i_{qs}^s + i_{qr}^s) \quad (6)$$

$$\Psi_{md}^s = x_m (i_{ds}^s + i_{dr}^s) \quad (7)$$

$$i_{qs}^s = \frac{\Psi_{qs}^s - \Psi_{mq}^s}{x_{ls}} \quad (8)$$

$$i_{ds}^s = \frac{\Psi_{ds}^s - \Psi_{md}^s}{x_{ls}} \quad (9)$$

$$i_{qr}^s = \frac{\Psi_{qr}^s - \Psi_{mq}^s}{x_{lr}'} \quad (10)$$

$$i_{dr}^s = \frac{\Psi_{dr}^s - \Psi_{md}^s}{x_{lr}'} \quad (11)$$

$$T_{em} = \frac{3}{2} \frac{P}{2\omega_b} (\Psi_{ds}^s i_{qs}^s - \Psi_{qs}^s i_{ds}^s) Nm \quad (12)$$

3. 유도 전동기의 특성 시뮬레이션

3.1 측정에 의한 파라미터 선정

그림 2는 유도 전동기의 등가회로를 나타낸 것이다. 등가회로 정수는 무 부하 시험과 구속 시험을 통해 얻었다.

표 1 삼상 농형 유도 전동기의 사양

파라미터	값
극 수	2
상 수	3
정격 출력	2.2 [kW]
정격 전압	220/380 [V]
정격 전류	8.5/4.9 [A]
정격 주파수	60 [Hz]
정격 속도	3450 [rpm]
고정자 저항	3.1
회전자 직경	79.6 [mm]
공극 길이	0.4 [mm]

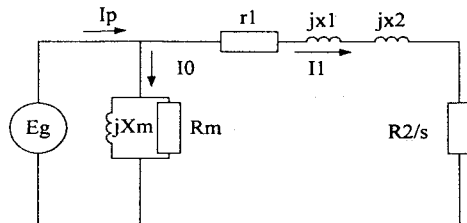


그림 1 유도전동기의 등가회로

표 2 유도 전동기의 산정된 등가회로 정수

산정된 등가회로 정수	
고정자 저항	$r_s = 3.1 \Omega$
고정자 누설 리액턴스	$x_b = 1.53 \Omega$
회전자 누설 리액턴스	$x_{br} = x_b$
자화 리액턴스	$x_m = 81.08 \Omega$
회전자 저항	$r_{pr} = 2.012 \Omega$
관성 모멘트	$J = 0.00396 \text{ kgm}^2$

3.2 시뮬레이션 결과

그림 4~7은 기동 시부터 모터의 전압, 전류, 토크, 속도 시뮬레이션 결과를 각각 나타낸 것이다..

4. 동 특성 시험

4.1 측정 시스템 구성

자속 검출을 위한 서치 코일은 고정자와 같은 분포권으로 감았다(그림 8). 부하를 걸기 위해 와류형 전기 동력계를 모터의 축에 연결하고, 속도와 토크 측정을 위해 엔코더와 로드셀을 사용했다. 그림 9에 토크와 속도 측정을 위한 실험 장치가 있다.

엔코더에서는 한 회전 당 1024개의 펄스를 발생하는데, 펄스 수는 A/D Board의 카운터에 의해 카운트된다. 속도는

$$\text{Speed} [m/s] = \text{Frequency} [Hz] \times 2\pi r$$

그림 10은 전체 실험 구성도를 나타낸 것이다. 실험 결과를 모니터링 하기 위해 실시간 계측 소프트웨어인 LabVIEW를 사용하였다. 실험을 통해 전압, 전류, 유효, 무효 전력, 역률 등의 전기량과 토크, 속도 등의 동 특성을 얻을 수 있다.

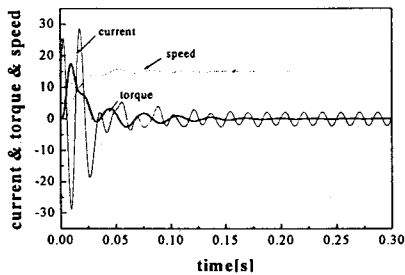


그림 4 시뮬레이션 결과

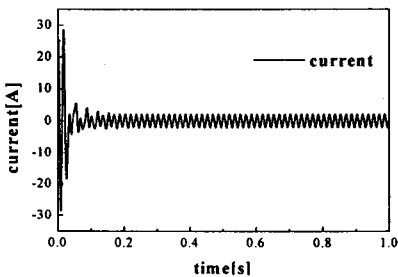


그림 5 전류 파형

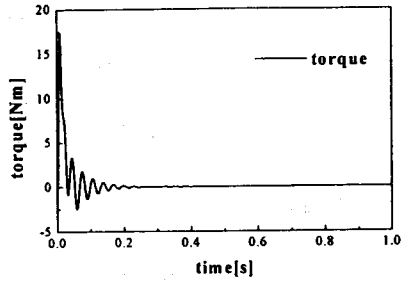


그림 6 토크 파형

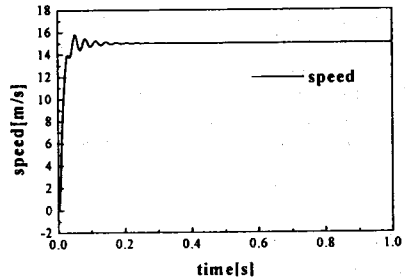


그림 7 속도 파형

4.2 실험 결과

부하를 변화시켜주면서 기동 시부터 1분 간 모터의 d, q축 전류, 토크, 속도 파형을 측정하였다(그림 11).

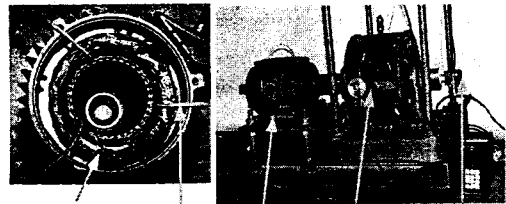


그림 8 유도 전동기 단면도

그림 9 토크와 속도 검출을 위한 실험 장치

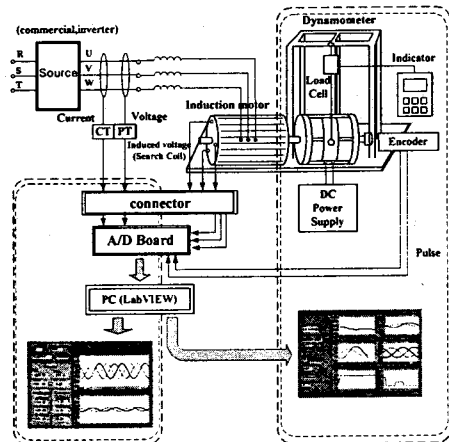


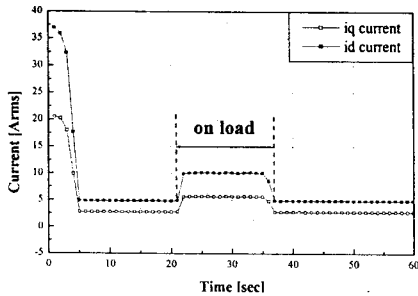
그림 10 성능 측정을 위한 실험 구성도

식 (12)와 같이 d, q축 전류와 자속을 이용해 토크를 계산하였다. 기동 후 20초 후 부하를 걸었을 때 순간적으로 전류와 토크가 증가하고 속도는 감소함을 볼 수 있다. 무 부하 상태로 되돌아오면 일정 값을 유지한다. 그림 11(a)의 d축 전류는 정격전류의 4.4배 정도에 해당한다. 토크 파형도 전류 파형과 동일한 양상을 보이고 동기속도인 3600rpm에 해당하는 15m/s 보다 약간 낮은 속도를 유지한다.

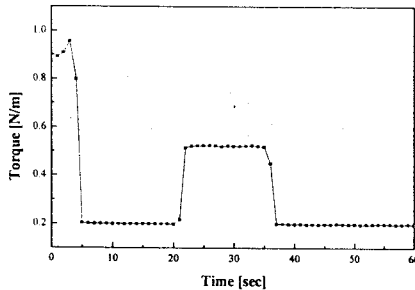
그림 12는 모터를 인버터로 구동했을 경우 전류, 토크, 속도 파형을 나타낸 것이다.

5. 결 론

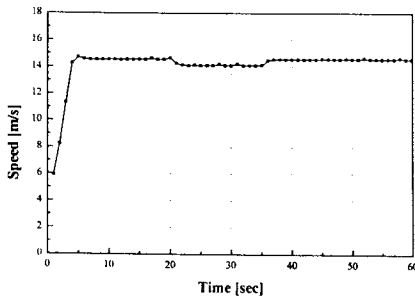
농형 유도전동기의 회로정수를 산정하고 실시간 계측을 위한 시스템을 구성하여 전류, 토크, 속도 특성에 대한 시뮬레이션 및 실험을 수행하였다. 속도는 해석치와 실험치가 거의 일치하나 토크의 경우 기동 시 해석치에 비해 실험치가 매우 낮았다. 이는 짧은 순간 큰 기동 토크를 실측해내지 못한 것으로 보인다. 향후 이에 대해 보완하고자 하며, 동 특성 해석 및 실험을 통해 제어를 위한 기초를 마련하였다.



(a) d, q축 전류 파형

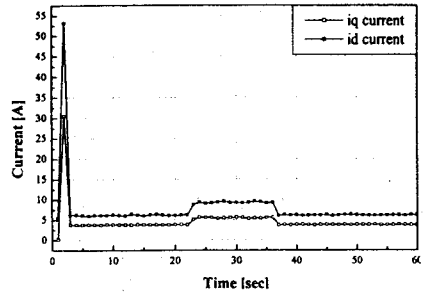


(b) 토크 파형

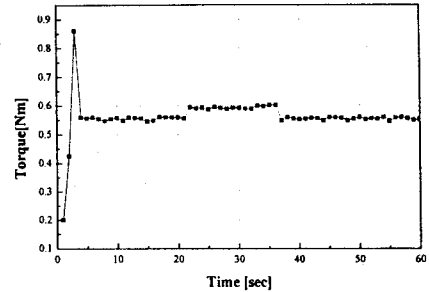


(c) 속도 파형

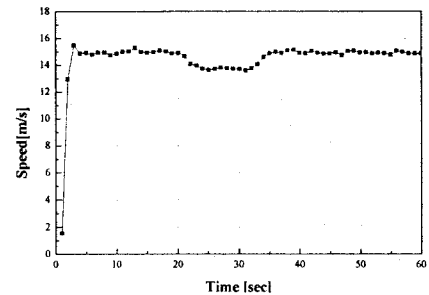
그림 11 상용전원 인가 시 모터의 특성



(a) 전류 파형



(b) 토크 파형



(c) 속도 파형

그림 12 인버터전원 인가 시 모터의 특성

(참 고 문 헌)

- [1] Theodore Wildi, "Electrical machines, drives, and power systems", 310~320, 1991
- [2] Chee-Mun Ong, "Dynamic simulation of electric machinery, 167~243, 1998.