

◎ 研究論文

# 인버터로 구동되는 유도전동기의 정수 및 특성에 관한 연구

전내석\* · 김종윤\* · 오진석\*\* · 김윤식\*\*

## A Study on the Parameters and Characteristics of Induction Motor Driven by Inverter

N-S. Jeon\* · J-Y. Kim\* · J-S. Oh\*\* · Y-S. Kim\*\*

**Key words** : squirrel-cage induction motor(농형 유도전동기), equivalent-circuit(등가회로), the blocked rotor test(구속실험), no load test(무부하 실험), retardation test(감속실험)

### Abstract

In this paper conventional technique will be described, which can be used for the measuring various parameters of induction motor. This is followed by presenting some other, alternative, techniques. The two tests are described which are suitable to obtain the electrical parameters of symmetrical 1hp three-phase squirrel-cage induction motor. These are the blocked rotor test and no load test. By the application of these tests, it is possible to determine the parameters which are presented in the steady-state equivalent-circuit of determining an induction motor.

One conventional method of determining the inertia of an induction motors is obtained by performing retardation tests. The angular rotor speed of the motor is monitored, following its disconnection from the stator supply. Since the inertia torque  $J \frac{dw}{dt}$  contains the inertia coefficient  $J$  and the friction and windage torque  $Bw$  contains the coefficient  $B$ , then  $J$  and  $B$  can be determined by performing retardation tests.

### 기호설명

$V_t$  : Terminal voltage  
 $I_r$  : Rotor current

$R_s$  : Stator winding resistance  
 $R_r$  : Rotor winding resistance  
 $X_s$  : Leakage reactance of stator  
 $X_r$  : Leakage reactance of rotor

\* 한국해양대학교 대학원(원고접수일 : 2000년 5월)  
\*\* 한국해양대학교

- $T$  : Torque
- $T_{start}$  : Starting torque
- $T_{max}$  : Maximum torque
- $T_F$  : Friction torque
- $s$  : Slip
- $sT_{max}$  : Slip at max torque
- $\omega_b$  : Synchronous speed of motor
- $J$  : Moment of inertia
- $B$  : Coefficient of viscous friction
- $G_m$  : Magnetizing conductance
- $B_m$  : Magnetizing susceptance

### 1. 서 론

최근 우리나라 전력소비의 18%가 전동부하인 반면에 60%가 전동기 부하라는 통계에서 전동기의 중요성을 알 수 있다. 이들 전동기가 소비하는 전력의 80% 이상이 유도전동기의 구동에 사용된다. 이와 같이 산업현장에서 사용되고 있는 전동기의 대부분을 유도전동기가 차지하고 있는 주된 이유는 가격이 저렴하고 기계적인 정류기와 브러쉬가 없어서 정기적인 보수가 필요 없기 때문이다<sup>1)</sup>.

농형 유도전동기는 가변속 구동이 손쉬운 전동기가 아니다. 그러나 장점이 많은 이 전동기를 가변속 구동에 응용하기 위해서는 전동기 정수에 대한 정보가 필수적인데 본 논문에서는 이들을 측정 및 추정하고자 한다.

유도전동기의 정수 측정은 일반적인 상용전원에서 널리 이용되고 있는 T형 등가회로를 이용하여 고정자 저항 실험, 무부하 및 구속 실험 등을 통하여 산정하였다<sup>2)~6)</sup>. 회로정수중 분리가 곤란한 누설리액턴스는 분배계수에 의해 분리하는 방법을 사용하였으며<sup>6)</sup>, 무부하 실험에서는 각종 손실을<sup>7)</sup>, 감속 실험에서는 관성 모멘트 및 점성마찰계수를 산정하는 방법을 제안하였다<sup>8)</sup>.

부하변동에 대한 특성을 측정하기 위해 플라이휠( $J=0.044[\text{kg} \cdot \text{m}^2]$ )을 이용하였고, 토크 특성 및 전류 측정은 스트레인 게이지(strain gauge)<sup>9)~10)</sup> 및 홀 센서(hall sensor)를 이용한 전류 검출회로를 이용하였다.

## 2. 이론적 고찰

### 2.1 인버터 구성도

상용전원으로부터 공급된 전력을 입력받아 자체 내에서 전압과 주파수를 가변시켜 전동기에 공급함으로써 전동기 속도를 고효율로 용이하게 제어하는 일련의 장치를 가변전압 가변주파수 인버터(variable voltage variable frequency inverter)라 한다.

전압원 인버터(VSI)는 직류정전압의 전압을 스위칭 작용으로 연속적으로 변화시키는 것에 의해 주파수가 변화되며 교류로 역변환하여 유도전동기에 직입하는 방식이다. 전동기의 회전속도 제어는 인버터의 주파수를 조정함으로써 가능하게 된다. 그러나 인버터의 주파수를 증가시키면 자화 리액턴스의 증가로 자화전류가 감소, 공극의 자속이 줄어들어 토크가 감소하게 된다. 또한, 낮은 주파수 영역에서는 고정자측 저항(임피던스) 손실로 인해 전동기 공극자속 즉,  $\phi$ 가 저하되므로 토크가 감소된다.

Fig. 1은 인버터의 전체구성도를 나타내며 AC 정류부와 스위칭 작용으로 직류를 교류로 바꾸는 인버터부로 구성되어 있다.

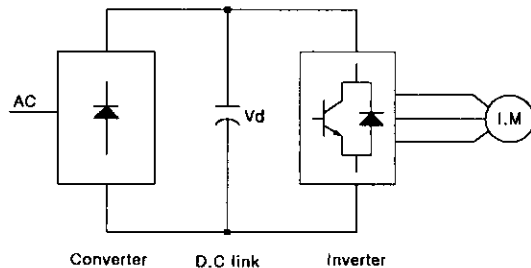


Fig. 1 Block diagram of an inverter

### 2.2 토크(Torque) - 슬립(Slip) 특성

$$T = \frac{V_t^2 R_r}{s \omega_b \left[ \left( R_s + \frac{R_r}{s} \right)^2 + X_{eq}^2 \right]} \quad (1)$$

무부하시( $s=0$ )

$$\frac{R_r}{s} \gg R_s \quad (2)$$

$$\left(\frac{R_r}{s}\right)^2 \gg X_{eq}^2 \quad (3)$$

$$T \cong \frac{V_i^2 R_r}{s \omega_b \left(\frac{R_r}{s}\right)^2} = \frac{V_i^2 s}{\omega_b R_r} \quad (4)$$

기동시( $s=1$ )

$$\left(R_s + \frac{R_r}{s}\right)^2 \ll X_{eq}^2 \quad (5)$$

$$T_{start} = \frac{V_i^2 R_r}{\omega_b (R_s^2 + X_{eq}^2)} \quad (6)$$

$$T \cong \frac{V_i^2 R_r}{s \omega_b X_{eq}^2} \quad (7)$$

$$\frac{\partial T}{\partial s} = 0 \quad (8)$$

$$s T_{max} = \frac{R_r}{\sqrt{R_s^2 + X_{eq}^2}} \quad (9)$$

$$T_{max} = \frac{V_i^2}{2 \omega_b [R_s + \sqrt{R_s^2 + X_{eq}^2}]} \quad (10)$$

### 3. 실험장치의 구성

3상 유도전동기에 전원을 공급하여 이에 대한 특성을 고찰하기 위한 실험장치의 구성은 Fig. 2와 같이 3상 교류전압 조정기(슬라이더스), 인버터, 배선용 차단기, 전자개폐기, 유도전동기, 직류발전기, 제로크로싱 검출회로, 타이머 제어회로, 전류 검출회로, 스트레인 게이지 등으로 구성되어 있다.

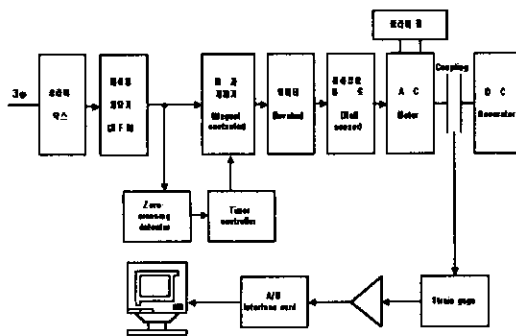


Fig. 2 Block diagram of the measurement system

Table 1. 3 Phase induction motor

프레임 80	출력 1HP(0.75[KW])	제조사 효성중공업
주파수 60[Hz]	극수 4P	회전수 1690[rpm]
전류 3.6/2.1[A]	전압 220/380[V]	효율 72[%]
기동계급 M	절연계급 B	중량 15[kg]

Table 2 Load machine(D.C Generator)

극수 4P	출력 1HP(0.75[KW])	제조사 (주)고산전기
전기자 180[V]/6.0[A]		회전수 1750[rpm]
계자 180[V]/0.71[A]		절연계급 F

실험장치의 구성에 사용된 유도전동기 및 직류발전기의 제원은 아래 표와 같다.

유도전동기의 1차측 전압을 제어하기 위하여 전원과 유도기의 고정자 사이에 제로크로싱 검출회로 및 타이머 제어회로를 설계하였고, 유도기의 입력전류를 측정하기 위해 전류검출회로(hall sensor)를 이용하였으며, 부하 변동에 의한 전동기 특성 변화를 확인하기 위해 플라이휠을 부착하였다. 또한, 토크의 측정을 위해 스트레인 게이지를 연결하여 전동기 기동 순간 축(shaft)의 변화(변형)량을 측정하였다.

### 4. 실험 및 고찰

#### 4.1 고정자 권선 저항 측정

직류 전류가 고정자 권선으로 흘러 들어가면 고정자에 자계가 형성되고 회전자 축을 돌리는 힘이 없다면 고정자의 회전자 회로에 대한 누설 자속은 시불변으로 일정하게 유지된다. 그래서 회전자에 유기되는 전압이 없고 전류가 흐르지 않으므로 토크도 발생하지 않는다<sup>6)</sup>. 또한, 회전자는 고정자에 대해 전기적 회로로서 효과를 나타내지 못하고 기자력이 발생되지 않으므로 직류 권선 저항 측정은 회전자 임피던스에 독립적으로 측정되어 질 수 있다. Fig. 3과 같이 회로를 구성하고 전압과 전류를 측정하여 옴(ohm)의 법칙을 적용하면 식(11)과 같이 계산된다<sup>11)</sup>.

$$R_{dc} = \frac{V_{dc}}{I_{dc}} = \frac{2R_{\Delta} \cdot R_{\Delta}}{R_{\Delta} + 2R_{\Delta}} = \frac{2R_{\Delta}^2}{3R_{\Delta}} = \frac{2}{3} R_{\Delta}$$

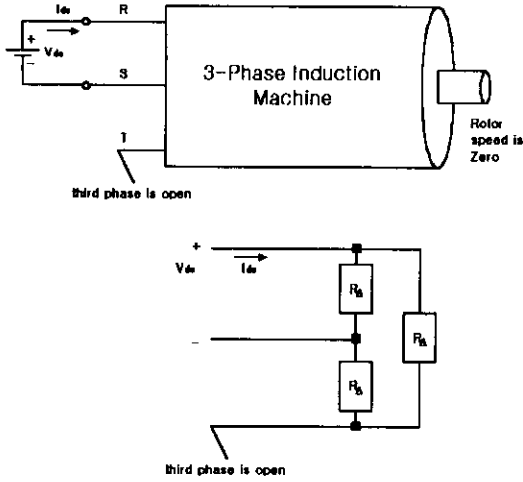


Fig. 3 Direct-current measurement of the stator winding resistance

$$\therefore R_{\Delta} = \frac{3}{2} R_{dc} = R_s \quad (11)$$

측정 저항값은 측정시의 온도로 온도보상을 해주어야 한다. 보상은 IEEE Std 112 규정에 따라 식(12)와 같이 하였다<sup>12)</sup>.

$$R_s = \frac{R_{\Delta}(t_s + k)}{(t_t + k)} = \frac{3}{2} R_{dc} \cdot \frac{t_s + 234.5}{t_t + 234.5} \quad (12)$$

여기서

$t_s$  : 절연계급에 따른 규정값(B급 95°C)

$t_t$  : 측정시 주위 온도(20°C)

$k$  : 동(구리) 도전율(234.5)

$R_{dc}$  : 측정 저항

$R_{\Delta}$  : 환상 결선시 상당 저항

#### 4.2 구속실험(Blocked rotor test)

구속 실험은 변압기의 단락(short circuit)실험에 해당하는 것으로 축이 고정되어 있기 때문에 회전자는 회전하지 못하므로  $\omega_m = 0, s = 1$ 인 상태이다.

이 실험에서 정격 전압 및 주파수를 인가하면 정격 전류의 5~8배 정도의 전류가 흘러 자기포화 현상이 일어나고, 또한 정격 전류가 큰 기기에 부담이 되므로 이 실험시에는 전압을 0[V]에서 서서히 올려 정전압 53[V]를 인가한다. 실험 주파수는 고정자의 정격 주파수와 운전시의 회전자 주파수

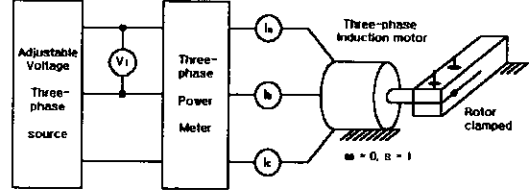


Fig. 4 Connection diagram for the blocked rotor test

를 절충하여 정격 주파수보다 낮은 주파수(15[Hz])를 인가한다<sup>16)</sup>(본 실험에서 15[Hz]를 인가했을 때 인버터의 스위칭 작용에 따른 고조파 성분의 영향으로 계측기의 지침이 심하게 흔들리는 등 계측값의 신뢰도가 저하되어 상용전원 60[Hz]를 인가하였음). 이 실험에서  $s = 1$ 이므로 고정자 및 회전자의 전류는 동일 주파수를 가진다. 그래서 회전자와 고정자의 전류를 계산할 수 있는 것이다. 이 실험 회로에서 회전자의 고정 효과는 자화 어드미턴스 회로를 등가 회로에서 분리하는 효과를 나타내고 한 상에 걸리는 전압은 환상결선( $\Delta$ )에서 선간 및 상전압이 동일하고, 기기의 한 상당 임피던스의 크기는 식(13)과 같이 나타내어진다.

$$|Z_{BR}| = \frac{\sqrt{3} V_{BR}}{I_{BR}} \quad (13)$$

여기서  $I_{BR}$ 은 3상 평균전류이며 거의 정격전류와 같고,  $s = 1$ 이므로  $R_r/s = R_r$ 이고, 인가전압은 정격전압보다 매우 낮아서 여자 어드미턴스를 무시하고 나타낼 수 있다.

구속 실험시 합성저항  $R_{BR}$ 은 식(14)와 같다.

$$R_{BR} = \frac{P_{BR}}{3 \left( \frac{I_{BR}}{\sqrt{3}} \right)^2} = R_s + R_r \quad (14)$$

또는

$$R_{BR} = |Z_{BR}| \cos \theta_{BR}, \cos \theta_{BR} = \frac{P_{BR}}{\sqrt{3} V_{BR} \cdot I_{BR}} \quad (15)$$

$R_s$ 는 고정자 권선 저항 실험에서 구했으므로

$$R_r = R_{BR} - R_s = \frac{P_{BR}}{3 \left( \frac{I_{BR}}{\sqrt{3}} \right)^2} - \frac{3V_{dc}}{2I_{dc}} \quad (16)$$

위 식(15), (16)에 의해  $R_r$ 과  $\cos \theta$ 를 계산하면  $R_r$ 은  $7.54[\Omega]$ 이고  $\cos \theta$ 는  $0.659$ 이다.

농형 유도전동기에서는  $X_{BR}$ 의 얼마가  $X_s$ 이고  $X_r$ 인지 알 수 있는 방법은 없다. 그래서 미국 전기 제품 제조업자협회 표준규격(NEMA : National Electrical Manufactures Association)에서 권고하고 있는 Table 3으로 분할하였다<sup>6)</sup>.

식(17)에서  $X_{BR}=19.89[\Omega]$ 이고 실험에 사용한 전동기는 일반 표준 전동기로 NEMA 분류에서 B급이므로 Design B의 분배비율을 적용하여  $X_s$ ,  $X_r$ 을 구하면 Table 4와 같다.

$$X_{BR} = |Z_{BR}| \cdot \sin \theta = \sqrt{Z_{BR}^2 - R_{BR}^2} = \sqrt{\left(\frac{\sqrt{3}V_{BR}}{I_{BR}}\right)^2 - \left(\frac{P_{BR}}{3\left(\frac{I_{BR}}{\sqrt{3}}\right)^2}\right)^2} \quad (17)$$

구속 실험시 실험 주파수를 내리는 이유는 운전 상태하에서 고정자 주파수가  $60[\text{Hz}]$ 라면 회전자 주파수는 아주 작은 값이고,  $s=1$ 일 때 고정자 주파수는 인가 전압의 주파수와 동일하며 실험 주파수는  $R_r$ 에 의해 결정되기 때문이다. 그래서 IEEE Std 112-1996에서는 실험 주파수를 정격 주파수의 25[%]로 권장하고 있다<sup>12)</sup>. 리액턴스가 주파수에 비례한다는 사실을 고려하여 정격 주파수에서의 누설 리액턴스를 구하여야 할 것이다. 그러나 정격 출력이 20마력보다 작은 전동기에서는 주파수의 영향을 무시할 수 있으며, 따라서 실험기의 구속 실험은 정격 주파수로서 직접 행할 수 있다. 또한,  $R_r$ 은 온도의 함수이기 때문에 측정시 주

위 온도 및 회전자 온도를 고려해 보상을 하여야 한다<sup>12)</sup>.

### 4.3 무부하 실험(No load test)

유도전동기의 무부하 실험은 변압기의 개방회로실험(open circuit test)과 비슷하며 이때 회전자에는 어떠한 기계적 부하도 걸지 않고 운전되며 고정자에는 정격전압이 공급된다.

이 실험을 통하여 자화 콘덕턴스( $G_m$ ), 자화 서셉턴스( $B_m$ ) 및 무부하 손실을 구할 수 있다. 평형 3상 전압이 공급되는 유도기에서 무부하 실험을 할 때에는 부하를 걸지 않으므로 유도기의 속도는 거의 동기속도와 같고 슬립도 아주 작다( $s \approx 0$ ). 따라서 회전자 전류는 없는 것으로 가정한다(회전자동손 무시<sup>16)</sup>). 가변 가능한 입력전압과 정격 주파수에서 고정자 전류와 전력을 기록한다. 무부하 전력은 동손(고정자 저항손실), 마찰손과 풍손 및 철손의 총합과 같다. 철손은 고정자의 철손을 의미한다. 왜냐하면 회전자가 동기속도와 거의 같은 속도로 회전할 때에는 회전자의 주파수는 아주 낮기 때문이다. 그러나 실제로 회전자의 저항손실이 있다는 것

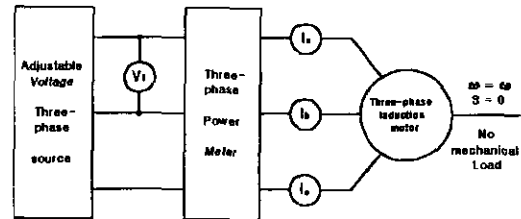


Fig. 5 Connection diagram for no load test

Table 3. Evaluating  $X_s$  and  $X_r$  from the blocked rotor reactance at rated frequency

Rotor	$X_s$ and $X_r$ as fractions of $X_{BR}$
Wound	$X_s = X_r = 0.5X_{BR}$
Design A	$X_s = X_r = 0.5X_{BR}$
Design B	$X_s = 0.4X_{BR}, X_r = 0.6X_{BR}$
Design C	$X_s = 0.3X_{BR}, X_r = 0.7X_{BR}$
Design D	$X_s = X_r = 0.5X_{BR}$

Table 4. Leakage reactance

$X_s$ (stator leakage reactance)	$X_r$ (rotor leakage reactance)
$7.956[\Omega]$	$11.934[\Omega]$

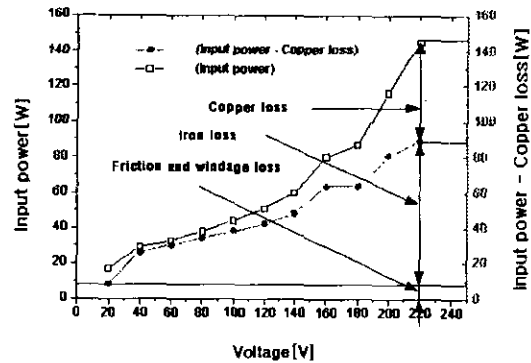


Fig. 6 Variation of input power and no load loss

에 주의해야 하지만 그 값은 아주 적다.

마찰손과 풍손을 구하기 위해 무부하 전력을 인가전압에 대한 그래프로 나타내고, 이 그래프에서 동손분을 제거하면 새로운 전력곡선(무부하 전력-동손)이 구해진다. 여기서 세로축에 외삽법(보간법)을 적용시켜 Fig. 6과 같이 나타내었다<sup>7)</sup>. 입력전력을 입력전압 자속에 대한 곡선으로 표현하면 보다 정확한 결과를 얻을 수 있다.

4.4 관성모멘트 및 점성마찰계수 측정

전동기의 무부하 운전시 전원을 순간적으로 끊어버리자 수초가 지난 후 정지하였다. 이때의 속도 변화 모양은 Fig. 7과 같이 기록되었다.

곡선을 AB와 BC 두 부분으로 나누어 생각한다. 처음 A에서 B까지는 속도가 빠르므로 점성 마찰 저항과 전성마찰 저항으로 감속되다가 속도가 감소함에 따라 점성마찰 저항은 소멸되고 속도와는 관계없는 전성마찰만 남게되어 일정한 감속가속도로 되는 부분이 BC이다. 전동기의 무부하 운전시 회전력의 평형식은 다음과 같다<sup>8)</sup>.

$$T - T_F = J \frac{d\omega}{dt} \tag{18}$$

무부하 정상상태에서는  $d\omega/dt=0$ ,  $T=T_F$  이므로 전동기의 전원을 순간적으로 끊어버리면 식 (19)와 같이 성립한다.

$$-J \frac{d\omega}{dt} = -J\alpha_2 = T_F \tag{19}$$

잠시후 감속되어 점성 저항을 무시할 수 있는 속도(Fig. 7에서 BC 영역)에 도달하면

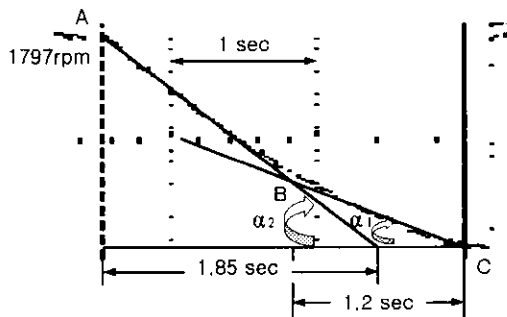


Fig. 7 Decelerating curve of the motor speed

$$-J \frac{d\omega}{dt} = -J\alpha_1 = T_F \tag{20}$$

이 성립하게 된다.

Fig. 7에서 감속곡선의 측정된 초기순간 감속가속도  $\alpha_2$ 는

$$\alpha_2 = \frac{\Delta\omega}{\Delta t} = \frac{\frac{2\pi}{60} \times 1800}{1.85} = -101.89[\text{rad/sec}^2] \tag{21}$$

전동기를 220[V] 무부하 속도로 회전시 유효전력을 측정하니 145[W]였다. 이것을 [N-m]로 환산하면 145[N-m/sec]이다.

여기서 토크 T는

$$T = \frac{P_{NL}}{\omega} = \frac{145}{\frac{2\pi}{60} \times 1800} = \frac{145}{60\pi} \left[ \frac{\text{N-m/sec}}{1/\text{sec}} \right] \tag{22}$$

토크 T는 전동기 내부 마찰 토크  $T_F$ 와 평형이 된다.

$$\frac{145}{60\pi} = T_F = -J\alpha_2 \tag{23}$$

따라서 구하고자 하는 관성 모멘트 J는

$$J = \frac{-1}{\alpha_2} \cdot \frac{145}{60\pi} = \frac{-1}{-101.89} \cdot \frac{145}{60\pi} = 0.0075[\text{kg} \cdot \text{m}^2] \tag{24}$$

Fig. 7의 감속곡선을 AB( $\alpha_2$ )와 BC( $\alpha_1$ ) 두 부분으로 나누어 생각할 때 전동기의 회전력에는 평형이 성립되고 있다.

$$-T_F = J \frac{d\omega}{dt} \tag{25}$$

$$-T_F = B\omega \tag{26}$$

$$J \frac{d\omega}{dt} = B(\omega_2 - \omega_1) \tag{27}$$

여기서

$\omega_2$ : 각가속도  $\alpha_2$ 에서의 초기 속도

$\omega_1$ : 각가속도  $\alpha_1$ 에서의 초기 속도

따라서 구하고자 하는 점성마찰계수 B는

$$\begin{aligned}
 B &= \frac{J \frac{d\omega}{dt}}{\omega_2 - \omega_1} = \frac{J(\alpha_2 - \alpha_1)}{\omega_2 - \omega_1} \\
 &= \frac{0.0075(101.89 - 52.36) \text{ [kg} \cdot \text{m}^2 \text{] [rad/sec}^2\text{]}}{188.5 - 62.8 \text{ [rad/sec]}} \\
 &= 0.0029 \text{ [kg} \cdot \text{m}^2 \text{/sec]} \quad (28)
 \end{aligned}$$

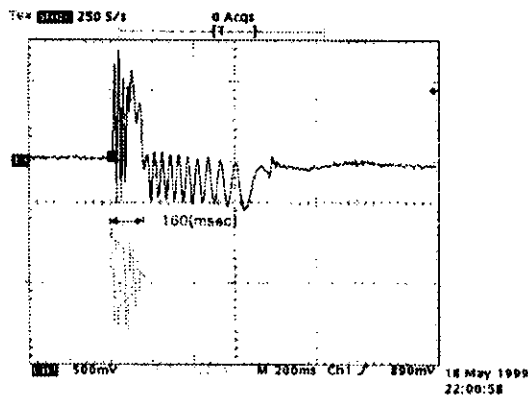
### 5. 실험결과 및 검토

농형 유도전동기의 권선 저항 측정, 구속 및 무부하 실험 결과 공장 설계값[105°C]과 실험 측정값[20°C]이 아주 유사함을 확인하였다. 설계값과 측정값의 차이는 측정시의 온도에서 유래한다.

Fig. 8은 상용전원을 인가하였을 때의 기동시 토크 및 전류 파형이다. 토크 측정은 스트레인 게이지(strain gauge)의 출력전압을 오실로스코프 파형으로 나타낸 것으로 이 파형에는 전동기 토크 변형과 탄성체의 진동 변형을 함께 포함하고 있다. 전류 측정은 전류검출회로(hall sensor)의 출력전압을 측정된 것으로 기동시 최대 전류는 약 16~

Table 5. Parameters of the induction motor

기호	공장설계값[105°C]	실험측정값[20°C]
$R_s$	13.48[Ω]	9.9[Ω]
$R_r$	10.5[Ω]	7.54[Ω]
$X_s$	8.61[Ω]	7.956[Ω]
$X_r$	11.79[Ω]	11.934[Ω]
$G_m$	0.00033[MHO]	0.00184[MHO]
$B_m$	0.00611[MHO]	0.0106[MHO]



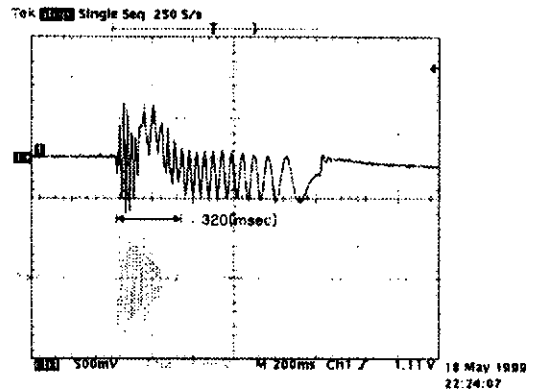
Ch 1 : torque(1.5N.m/div), Ch 2 : current(10A/div)  
 Fig. 8 Starting characteristics of the motor

17[A]를 나타내고 있으며 정상상태에서는 전류의 변화가 감소하였다. Fig. 9는 인버터에 의해 운전할 경우의 기동시 토크 및 전류 파형이다. Fig. 8과 비교하면 인버터를 사용했을 때의 기동시 토크 및 전류의 전체적인 크기가 감소하고 상당히 높은 주파수 성분의 리플(맥동)이 발생함을 확인하였고 약 2배의 기동시간이 소요되었다. 단, 탄성 커플링의 구조 및 탄성계수 등에 대한 토크의 출력값 변화가 예상되나 여기서는 고려하지 않았다.

가변속 구동설비인 인버터의 사용은 원하는 속도조절을 얻을 수 있지만 스위칭에 따른 전압 고조파는 손실의 증가를 가져오고 전동기 특성에도 나쁜 결과를 초래하여 전체적인 밴드 폭의 감소로 나타났다.

### 6. 결 론

본 논문에서는 권선 저항 측정, 구속 및 무부하 실험 결과로부터 농형 유도전동기의 등가회로 정수를 산정 하였으며 공장 설계값의 결과와 비교 검토한 결과 다소의 오차는 있었으나 대체로 만족할 만한 결과를 얻었다. 즉, 고정밀도의 고가 장비 없이 간단한 측정장비 및 실험을 통하여도 정밀도가 높은 회로정수를 산정할 수 있었다. 또한, 유도전동기의 과도상태 특성을 통하여 시간영역에서의 토크 및 전류 변화를 확인할 수 있었으며 인버터



Ch 1 : torque(1.5N.m/div), Ch 2 : current(10A/div)  
 Fig. 9 Starting characteristics of the motor driven by a commercial voltage driven by the inverter

운전시 고조파에 의한 전력손실 및 높은 주파수 성분의 리플을 확인하였다. 따라서 본 논문 결과는 농형 유도전동기의 기동특성 개선과 인버터용 전동기의 용도 및 용량에 따라 적합한 설계를 할 수 있는 좋은 자료가 될 것으로 사료되며 실험을 통해 본 논문에서 얻은 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 본 논문에서 제시한 권선 저항 측정, 구속 및 무부하 실험 기법으로 농형 유도 전동기의 정수값을 측정한 결과, 제시한 바와 같이 실용적인 측정 결과를 얻을 수 있었다.
- (2) 기동시 순시 토크의 측정을 단성 커플링과 스트레인 게이지를 이용하여 시도하였으며, 기동시의 정량적인 토크의 변화를 파악하였다.
- (3) 감속곡선을 통하여 관성 모멘트(J) 및 점성 마찰계수(B)를 구할 수 있었고 측정 오차가 아주 적음을 확인하였다.
- (4) 정현파 전압원(상용전원) 기동에 비해 인버터 전원 사용시 약 2배의 기동시간이 소요되고 토크 및 전류크기가 감소함을 확인하였다.

가변속 전동기로 구동되는 유도전동기는 엄격한 환경하에서 사용되고, 설치조건에 제한이 있고, 효율이 높으면서, 동시에 저속영역에서 높은 토크, 광범위한 속도로 정출력 특성이 필요로 하는 등, 설계상(정수 · 토크 등)의 지속적인 연구가 필요하며, 앞으로 측정장비의 디지털화 및 고속화가 이루어지면 더욱더 정밀한 해석이 가능하리라 사료된다.

### 참고문헌

- [1] 김규식, "유도전동기의 동특성 및 효율 향상을 위한 연구동향", 전자공학회논문지, 제20권, 제3호, pp. 331~338, 1993.
- [2] S. A Nasar, Handbook Of Electric Machines, McGraw-Hill Book Company, 1987.
- [3] Paresh C. Sen, Principles Of Electric Machines And Power Electronics, John Wiley And Sons, Inc, 1997.
- [4] John G. Kassakian, Principles Of Power Electronics, Addison-Wesley Publishing Co., 1991
- [5] Peter F. Ryff, Electric Machiney, Prentice Hall, 1994.
- [6] George Mcherson And Robert D.Laramore, An Introduction To Electrical Machines And Transformers, John Wiley And Sons, Inc. 1990.
- [7] Peter Vas, Parameter Estimation Condition Monitoring And Diagnosis Of Electrical Machines, Oxford Science Publications, 1993.
- [8] 노창주, "다이젤 발전기의 속도 제어 특성에 관한 연구", 한국해양대학, 박사학위 논문, pp. 37-39, 1976.
- [9] The Measurement Group, Strain Gauge 2100 System Operation Manual, 1995
- [10] <http://www.straindaq.com/tutorial.htm> (submitted by The Measurement Group)
- [11] <http://www.eece.ksu.edu/~starret/581/ind.mach.tests.html>(submitted by Shelli Starrett, University Of Kansas)
- [12] IEEE Standard Test Procedure For Polyphase Induction Motors And Generators, 1996.
- [13] <http://www.ee.washington.edu/class/351/ee351a.html>(submitted by Electrical Engineering University Of Washington)
- [14] Paul C. Krause, Analsys Of Electric Machinery, McGraw-Hill Book Company, 1986.
- [15] Andrzej M. Trzynadlowski, The Field Orientation Principle in Control Of Induction Motors, Kluwep Academic Publishers. 1994
- [16] Arthur W. Keley, John M. Wilson, Jason P. Rhode, And Mesut Baran, "On-Line Wideband Measurement of Induction Motor Impedance", 0-7803-3008-0/95 IEEE, pp. 647~654, 1995.
- [17] 宮入庄太, 電氣・機械エネルギー變換工學, 丸善株式會社, 昭和51年
- [18] 김규탁 외 3인, "구속시험에 의한 선형 유도전동기의 등가회로 정수산정 및 특성 계산", 전기학회 논문지, 제43권, 제4호, pp. 580~585, 1994.
- [19] 박민호, 유도기기, 동명사, 1975
- [20] 이용길 외 3인, 최신 전기기기, 도서 출판 광명, 1998.



## 저 자 소 개



### 전내석(全乃奭)

1972년 3월생. 1994년 2월 부경대학교 제어계측공학과 졸업. 1999년 8월 한국해양대학교 기관공학과 졸업(석사). 2000년~현재 동 대학원 전기공학과 박사과정



### 김종윤(金鍾閔)

1971년 5월생. 1994년 2월 한국해양대학교 기관공학과 졸업. 1998년 8월 동 대학원 기관공학과 졸업(석사). 1999년~현재 동 대학원 기관공학과 박사과정



### 오진석(吳珍錫)

1960년 3월. 1983년~1986년 영국 ZODIAC 선박회사 엔지니어. 1989~1992년 국방과학연구소 연구원. 1992년~1996년 양산대학 전임강사, 조교수, 학과장. 1995년~1996년 대한산업안전학회 전기안전 초청강사. 1996년~현재 산업안전공단 전기안전 전문위원. 1996년~현재 한국해양대학교 전임강사, 조교수



### 김윤식(金潤植)

1955년 4월생. 1977년 한국해양대학교 기관학과 졸업. 1979년 동 대학원 졸업(석사). 1986년 동경공업대학 대학원 졸업(석사). 1989년 동 대학원 졸업(박사). 현재 한국해양대학교 전기공학과 교수