

잔류자기와 I 결선에 의한 3상유도전동기 고정자 권선의 극성판별법에 대한 연구

A Study on the Polarity Discrimination Method of the Stator Windings for 3 Phase Induction Motors based on the Residual Magnetism and I Winding Connection

최 순 만*
(Soon-Man Choi)

Abstract - When connecting 6 lead wires from stator windings to the terminals of 3 phase induction motors for Y or Δ connection, it is feared that the polarities of windings could be reversed each other if the wire tags are lost or erased, resulting in inadmissibly high current to motors in case of starting. To protect motors against such situations, some test procedures are necessary during wire connection which need to be easy ways to electricians without particular tools except a general multi-tester and with less time-consuming in the field. This study focuses on a test measure to satisfy these requirements which is able to provide them a convenient procedure for winding polarity discrimination considering the field condition. Here, the proposed measure utilizes the residual magnetism of the rotor and checks the indication of voltage or current at windings which are induced by the residual flux of rotor when rotating it by hands with 3 stator windings connected in the form of I connection. Principle characteristics and experiment results for this method are analyzed in the view of the effectiveness and applicability for the winding polarity discrimination.

Key Words : 3 Phase Induction Motor, Stator Winding Polarity, Polarity Discrimination, Residual Magnetism, I Connection

1. 서 론

3상유도전동기에서 Y 혹은 Δ 결선을 위해 고정자 권선을 서로 연결하는 경우 6개 리드선의 단자 표시 기호가 훼손되거나 불분명하면 극성 연결에 오류가 있게 되고 이러한 상태로 전원을 투입하게 되면 기동 실패는 물론 큰 전류의 흐름으로 전동기가 손상될 염려가 있다. 이를 방지하려면 결선 시 권선의 극성을 미리 확인하는 점검 과정이 필요하고 여기에는 외부 여자전류 공급에 의한 극성판별법과 유도전동기 회전자에 잔류자기를 이용하는 극성판별법이 가능하다. 여자전류 공급에 의한 방법은 3상 권선 중 하나에 전류를 흘릴 때 발생하는 자속이 나머지 권선에 일으키는 상호유도 기전력 특성을 기초로 판별하는 것으로서 직류여자와 교류여자 방식이 있으나 이 경우 여자에 필요한 별도의 전원 공급이 필요하다는 점에서 현장에서 사용하기에는 번거로운 단점이 있다. 이에 대해 3상유도전동기의 회전자에 남아있는 잔류자기를 이용하는 방법은 판별을 위한 테스트용 전원이 없이 일반 멀티테스터만으로도 극성 확인이 가능하므로 간편하다. 3상유도전동기의 잔류자기에 대한 연구는 주로 SEIG(Self Excited Induction Generator)와 관련된 것이 대부분으로 회전자의 잔류

자기를 이용하여 외진 곳의 풍력발전에 유도전동기를 발전기로 활용하기 위한 발전시스템에서의 특성이 주로 다루어져 왔다 [1-4]. 한편, 유도전동기에 대한 고장진단과 관련해서는 다양한 형태의 많은 연구들이 있으나 기동 후의 운전상태를 감시하는 방식이 대부분이고 유도전동기 권선의 극성판별을 위해 잔류자기를 이용하는 것에 대한 연구사례는 아직 찾아보기 어렵다[4-10].

본 연구는 현장에서 권선의 극성을 간단히 확인하는 수단으로서 전동기 권선을 I 결선한 상태에서 회전자 축을 수동으로 돌릴 때 잔류자기에 의해 I 결선 양 단자에 나타나는 합성 기전력과 합성전류를 측정하는 방법을 제시하고 있다. 이와 관련하여 I 결선에서의 전압 전류 크기를 해석하고 실험함으로써 극성 연결의 정상여부에 따라 달라지는 합성전압과 전류의 특성 관계를 살펴 보고 이러한 결과가 극성 판별에 적합한지를 알아보기로 한다.

2. 삼상 I 결선에서의 전압과 전류

2.1 삼상 권선의 I 결선 구성

3상유도전동기에서 U, V, W 3상 권선의 6개 리드선이 기동반에 접속될 때는 단자대에서 $\langle U1-V1-W1-U2-V2-W2 \rangle$ 또는 $\langle U, V, W, X, Y, Z \rangle$ 의 순서로 표시되는 것이 일반적이다. 잔류자기에 의해 극성연결의 이상여부를 판단하기 위한 임시적인 결선은 작업자의 입장에서 보다 간편해야 하므로 여기서는 그림 1과 같이

* Korea Institute of Maritime and Fisheries Technology, Korea
E-mail : panamo@hanmail.net
Received : November 18, 2014; Accepted : December 29, 2014

기동반 단자대인 T에서 좌측의 U1, V1, W1과 우측의 U2, V2, W2를 서로 단락시켜서 2 군데의 단락 지점 사이에 발생하는 합성 전압을 멀티미터 M으로 측정하여 극성을 판별하는 방법이 제시되고 있다. 따라서 3개의 권선은 이로 인해 서로 병렬 연결 상태가 되며 이를 3상 권선의 Y, Δ 결선과 구분하여 여기에서는 I결선으로 지칭하기로 한다.

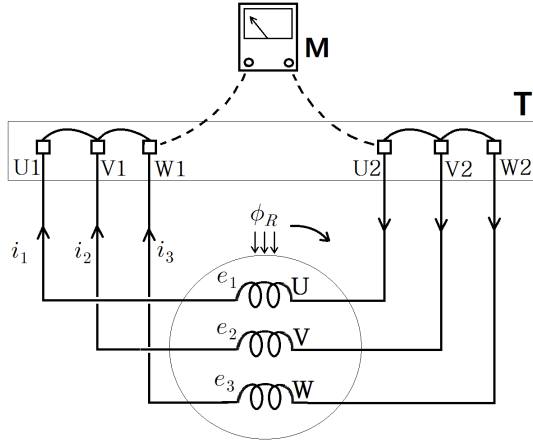


그림 1 삼상 I 결선에서의 출력전압 측정 회로
Fig. 1 Schematic diagram to measure the output voltage at I connection of windings

그림 1에서 e_1, e_2, e_3 와 i_1, i_2, i_3 는 각 상의 상전압과 상전류이다. 회전자에 잔류자기가 고정자 권선에 미치는 최대 쇄교 자속이 Φ_R [Wb]일 때 손으로 천천히 회전자를 각속도 ω [rad/s]로 회전시킨다면 권선에 주어지는 자속 변화 ϕ_R 는 $\phi_R = \Phi_R \cos \omega t$ 로 나타낼 수 있다. 여기서 권선수가 n 이고 상호유도작용의 영향을 무시하는 경우 고정자 권선에 유도되는 전압 e_1, e_2, e_3 는 다음과 같아진다.

$$e_1 = -n\Phi_R \frac{d}{dt}(\cos \omega t) = n\omega\Phi_R \sin \omega t \quad (1)$$

$$e_2 = -n\Phi_R \frac{d}{dt} \cos(\omega t - \frac{2\pi}{3}) = n\omega\Phi_R \sin(\omega t - \frac{2\pi}{3}) \quad (2)$$

$$e_3 = -n\Phi_R \frac{d}{dt} \cos(\omega t - \frac{4\pi}{3}) = n\omega\Phi_R \sin(\omega t - \frac{4\pi}{3}) \quad (3)$$

또한, 극수가 P 인 전동기에서는 회전자를 1회전시킬 때마다 잔류자기에 의한 권선에서의 유도전압은 $P/2$ 배의 사이클로 측정되므로 ω 와 회전자의 분당회전수 N [rpm]의 관계는 $\omega = \frac{\pi PN}{60}$ 가 되고 정현파의 최대치 전압 E_m 은 $E_m = n\omega\Phi_R$ 이다.

2.2 합성전압의 특성

고정자 권선의 인덕턴스와 저항이 L_s 와 r_s 이고 전압계 M의

내부저항이 매우 크다고 가정하면 각속도가 일정한 상태에서 그림 1은 그림 2의 등가회로로 나타낼 수 있으며 이로부터 각 권선에 3상 기전력이 발생할 때 I 결선에 나타나는 합성전압 e_M 을 구하도록 한다.

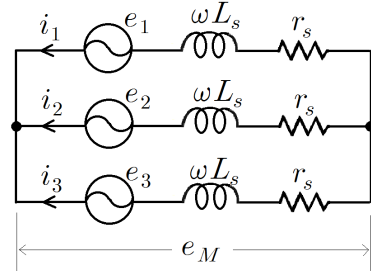


그림 2 삼상 I 결선의 전압 등가회로
Fig. 2 Equivalent diagram of I connection circuit

전압 e_M 은 U 상 권선의 양단 전압이기도 하므로 U권선 양단에 흐르는 합성 전류가 i_1 이면 페이저 \dot{E}_M 은 식(4)와 같아진다.

$$\dot{E}_M = \dot{E}_1 - (r + j\omega L_s) \dot{I}_1 \quad (4)$$

그림 2의 회로에서 U 권선의 전류 i_1 는 흐름의 방향 및 중점의 정리에 의해 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_{11} - \dot{I}_{21} - \dot{I}_{31} \quad (5)$$

식(5)에서 \dot{I}_{11} 은 \dot{E}_2, \dot{E}_3 를 제외하고 \dot{E}_1 만이 회로에 작용할 때의 U상 권선에 흐르는 전류를 나타낸다. 음의 부호를 갖고 있는 $\dot{I}_{21}, \dot{I}_{31}$ 은 \dot{E}_2 및 \dot{E}_3 의 기전력이 단독으로 작용할 때 각각 U상 권선에 흐르는 전류 부분이며 회로의 관계로부터 $\dot{I}_{11}, \dot{I}_{21}, \dot{I}_{31}$ 은 다음 식이 된다.

$$\dot{I}_{11} = \frac{2\dot{E}_1}{3(r + j\omega L_s)} \quad (6)$$

$$\dot{I}_{21} = \frac{\dot{E}_2}{3(r + j\omega L_s)} = \frac{1}{2} \dot{I}_{11} e^{-j\frac{2\pi}{3}} \quad (7)$$

$$\dot{I}_{31} = \frac{\dot{E}_3}{3(r + j\omega L_s)} = \frac{1}{2} \dot{I}_{11} e^{-j\frac{4\pi}{3}} \quad (8)$$

따라서 식(6), (7), (8)을 (5)에 대입하여 식(4)를 다시 나타내면

$$\dot{E}_M = \frac{1}{3} (\dot{E}_1 + \dot{E}_2 + \dot{E}_3) \quad (9)$$

이 되므로 이로부터 U1, V1, V1 및 U2, V2, W2의 단자가 정상

적인 극성으로 서로 연결될 때의 합성전압 \dot{E}_M 은 0이 된다. 그러나 극성이 일치하지 않고 어느 권선이 역상으로 연결되는 경우라면 식(9)의 $\dot{E}_1, \dot{E}_2, \dot{E}_3$ 에서 해당 전압의 부호는 원래와 반대가 되므로 전압 \dot{E}_M 은 식(9)로부터 상전압 크기의 2/3배로 된다. 식(9)에서 $\pm \dot{E}_1, \pm \dot{E}_2, \pm \dot{E}_3$ 로 작용 가능한 극성 연결의 경우는 모두 6가지이고 각각에서의 크기와 위상차를 그림으로 나타내면 그림 3과 같다.

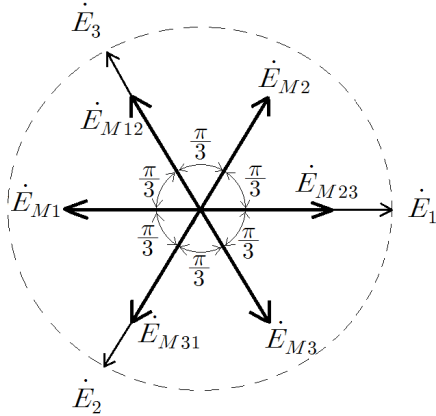


그림 3 연결의 각 경우에 대한 출력전압 페이저 관계
 Fig. 3 Phasor diagram of measuring voltages according to connection cases

$\dot{E}_1, \dot{E}_2, \dot{E}_3$ 중 역상으로 작용할 때의 합성전압 \dot{E}_M 은 구별을 위해 아래 첨자 M 다음에 역상 상태인 기전력의 번호를 삽입하여 그림 3에서 나타내었다. 극성이 서로 일치하면 크기가 없으므로 중앙의 원점이 되고 그림에서 점선의 원이 나타내는 반경은 상전압 크기에 해당한다.

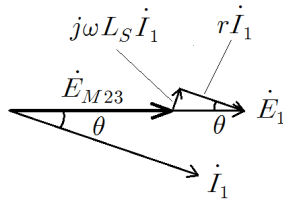


그림 4 E_{M23} 인 경우 \dot{E}_1 및 \dot{I}_1 의 페이저 관계
 Fig. 4 Phasor diagram of E_{M23} with \dot{E}_1 and \dot{I}_1

여기서 \dot{E}_2, \dot{E}_3 이 역상으로 연결되는 경우인 합성전압 E_{M23} 를 U상 전류 \dot{I}_1 과 함께 페이저로 나타낸다면 그림 4와 같아진다. 그림 4의 두 부분에서 표시되고 있는 위상각 $\theta = \tan^{-1} \frac{\omega L_S}{r_S}$ 로 서로 동일하므로 E_{M23} 은 상전압 \dot{E}_1 과 서로 동일 위상 관계에 있게 된다. 이를 통해 극성이 불일치한 경우의 각각은 상대적인 위상차가 서로 있을 뿐 합성전압의 크기는 상전

압의 2/3로 항상 일치한다는 것을 알 수 있다.

2.3 합성전류의 특성

그림 1의 M이 전압계 대신 전류계를 연결하는 경우 측정 전류계의 내부 임피던스를 0으로 가정하면 I 결선 양 단자는 단락된 상태이므로 측정기로 흐르는 전류 i_M 은

$$i_M = \pm i_{10} \pm i_{20} \pm i_{30} \tag{10}$$

의 합성으로 나타낼 수 있다. 식에서 극성 연결이 정상인 상태에서는 해당 권선의 전류 부호는 (+)로 작용하는 한편 역상 연결이면 (-) 부호가 된다. 여기서 i_{10}, i_{20}, i_{30} 은 기전력 $\dot{E}_1, \dot{E}_2, \dot{E}_3$ 이 단독으로 회로에 작용하는 조건에서 각각의 단일 기전력이 전류계로 흐리는 전류 부분이며 다음과 같아진다.

$$i_{10} = \frac{E_m}{\sqrt{r_s^2 + (\omega L_S)^2}} \sin(\omega t - \theta) = I_m \sin(\omega t - \theta) \tag{11}$$

$$i_{20} = I_m \sin(\omega t - \theta - \frac{2\pi}{3}) \tag{12}$$

$$i_{30} = I_m \sin(\omega t - \theta - \frac{4\pi}{3}) \tag{13}$$

위 식에서 전압과 전류 간 위상차 θ 는 $\theta = \tan^{-1} \frac{\omega L_S}{r_S}$ 이고 식(10)의 각 부호 경우에 대한 합성전류를 구하면 다음 식이 된다.

$$i_M = i_{10} + i_{20} + i_{30} = 0 \tag{14}$$

$$i_M = -i_{10} + i_{20} + i_{30} = -2I_m \sin(\omega t - \theta) \tag{15}$$

$$i_M = i_{10} - i_{20} + i_{30} = 2I_m \sin(\omega t - \theta + \frac{\pi}{3}) \tag{16}$$

$$i_M = i_{10} + i_{20} - i_{30} = 2I_m \sin(\omega t - \theta - \frac{\pi}{3}) \tag{17}$$

$$i_M = -i_{10} - i_{20} + i_{30} = -2I_m \sin(\omega t - \theta - \frac{\pi}{3}) \tag{18}$$

$$i_M = i_{10} - i_{20} - i_{30} = 2I_m \sin(\omega t - \theta) \tag{19}$$

$$i_M = -i_{10} + i_{20} - i_{30} = -2I_m \sin(\omega t - \theta + \frac{\pi}{3}) \tag{20}$$

$$i_M = -i_{10} - i_{20} - i_{30} = 0 \tag{21}$$

식(14), (21)과 같이 극성이 서로 일치할 때의 합성전류는 0을 가리키는 반면 불일치로 연결될 때의 전류 크기는 상전류의 2배가 되는 값을 모두 나타내고 위상 관계만 서로 차이가 있을 뿐이다. 따라서 이러한 전류값의 차이를 측정을 통해 비교함으로써 극성 연결의 이상 여부를 판별하는 것이 가능해진다.

2.4 극성판별의 절차

3상유도전동기에서 회전자를 수동으로 회전시킬 때 잔류자기

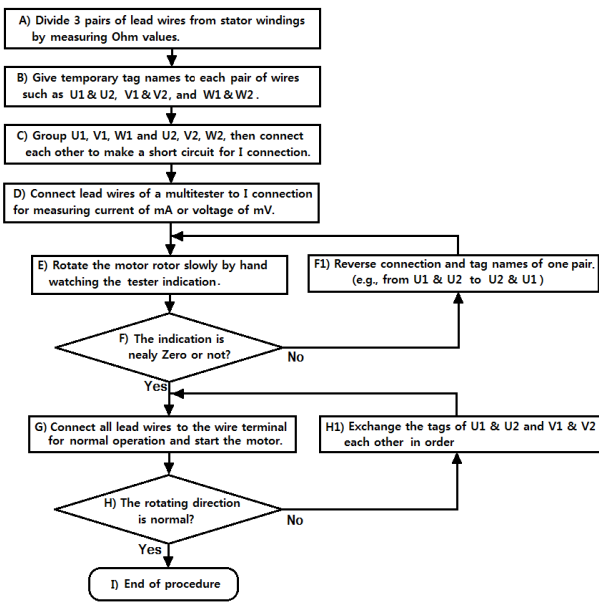


그림 3 극성판별 과정의 흐름도
Fig. 3 Flow Chart of proposed procedure

에 의해 발생하는 I 결선에서의 전압이나 전류를 측정함으로써 극성 연결의 이상 여부를 판단하는 방법에 대한 일반적인 절차는 그림 5의 흐름도와 같다. 흐름도의 첫 번째인 A단계는 권선의 양단 리드선을 찾는 과정이며 저항 측정이나 또는 전동기 회전자를 수동으로 돌릴 때 기전력이 검출되는지 여부에 의해 해당 권선의 양쪽 단자를 구별할 수 있다. F 단계에서 I 결선의 측정값이 0이 아닌 경우에 되돌려지는 F1 단계는 극성 오류를 수정하기 위한 것이므로 최대 2회 과정이 반복된다. 권선 간 극성이 모두 서로 일치한다는 것이 확인된 G단계에서는 I결선을 해제하고 Y 혹은 Δ결선으로 다시 단자대를 연결하여 전동기를 정상 기동시키는 상태이다. H1 단계는 기동 후 회전방향이 반대로 확인되면 역전 상황을 수정하기 위한 것이므로 1회의 과정이 필요하다.

3. 실험과 분석

3상유도전동기에서 고정자 권선의 극성 연결 형태에 따라 달라지는 I 결선 상의 합성 전압과 전류의 관계를 0.4kW와 3.7kW의 4극 농형 3상유도전동기에서 실험으로 확인하였으며 각 전동기는 60Hz 정격에 Y, Δ 결선으로 220V와 380V의 양 전압이 선택적으로 사용되기 위한 6개의 리드선을 갖고 있다. 회전자는 손으로 돌리기에 적합한 수준인 분당 2회전의 속도로 구동하였으며 그림 6은 0.4kW 전동기에서 발생한 기전력들의 측정 결과로서 3개의 곡선을 함께 나타내어 상대적인 크기의 관계를 비교하였다. 발생한 기전력은 모두 약 4Hz의 정현파 형태이고 곡선 A는 잔류자기와 회전자의 구동에 의해 권선 하나에서 나타나는 상전압 변화이다. 이에 대해 곡선 B는 역극성의 권선이 포함된 I 결선에서의 합성전압을 측정한 것으로서 상전압인 A 곡선에 대해 2/3배 정도의 진폭을 나타내고 있다. 또한, 곡선 C는 극성 연

결에 이상이 없이 3상 기전력이 정상적으로 평행이 된 상태에서 I 결선 양단에 나타난 합성전압이며 상대적으로 매우 작은 크기를 보이고 있으므로 극성 연결에 오류가 있을 때와 확연히 구별된다.

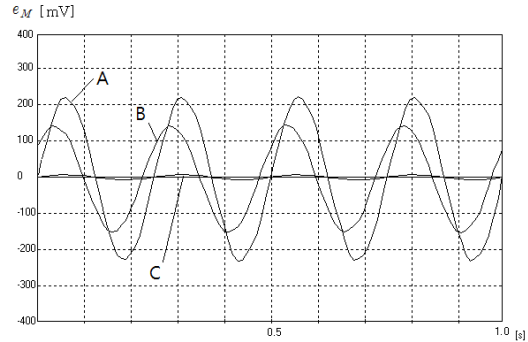


그림 6 0.4kW 전동기에서의 전압 출력 비교
Fig. 6 Comparison of voltage outputs at 0.4kW of induction motor

그림 7은 3.7kW 전동기에서 동일한 방식으로 전압 크기를 비교한 것이다. 곡선 A는 한 상의 권선에 나타난 상전압의 변화이며 앞의 0.4kW 전동기에 비해 상대적으로 큰 진폭을 나타내는 것은 잔류자기의 자속이 용량이 클수록 증가하기 때문으로 보인다. 곡선 B는 극성 연결에 역상이 포함된 경우의 합성전압이며 상전압인 A 곡선과 비교할 때 2/3배 정도인 진폭을 나타내고 있다. 이에 대해 곡선 C는 극성 연결에 오류가 없을 때 I 결선 양단에서 측정된 합성전압이며 역상 포함인 경우에 비해 진폭은 매우 작게 나타나고 있다.

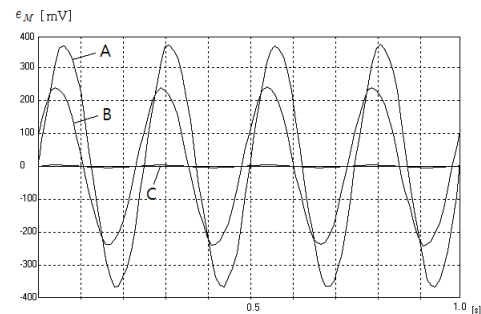


그림 7 0.4kW 전동기에서의 전압 출력 비교
Fig. 7 Comparison of voltage outputs at 3.7kW of induction motor

그림 8은 동일한 구동 속도일 때 3.7kW 전동기에서 발생하는 I 결선에서의 전류 측정 결과를 비교한 것이다. 여기에서 곡선 A는 잔류자기와 회전자의 구동으로 한 상 권선에서 발생하는 상전류 변화이며 한 개 권선의 양단에 전류계를 연결할 때의 전류 변화로서 최대치가 약 10.7mA이다. 이에 대해 곡선 B의 측정 결과는 역상 극성이 포함된 때의 I 결선 양단에 흐르는 합성전류로

서 최대치가 약 18.4mA이므로 한 개 권선의 상전류보다 상대적으로 더 큰 전류가 되고 있다. 한편, 측정장치의 내부임피던스를 0으로 가정 한 해석에서는 합성전류가 식(15)-(20)에서와 같이 상전류의 2배 크기가 되는 관계로 계산이 되었으나 실험에서의 전류비가 대략 1.7배 정도로 다소 작게 나타나는 것은 실험에서의 실제 전류계가 갖고 있는 내부 임피던스 영향으로 보아진다. 한편, 곡선 C는 극성 연결에 오류가 없이 평형3상인 상태에서 I 결선 양단 사이에 흐르는 합성전류로서 상대적으로 매우 작은 전류 크기를 나타내고 있다.

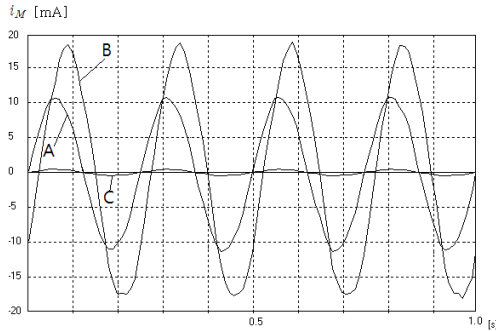


그림 8 0.4kW 전동기에서의 전류 출력 비교
Fig. 8 Comparison of voltage outputs at 0.4kW of induction motor

각 경우의 결과를 통해 극성 연결의 정상 여부에 의해 평형 혹은 불평형 3상 기전력인지의 여부에 따라 잔류자기가 만들어내는 I 결선에서의 전압과 전류의 측정치 모두 큰 차이를 나타낸다는 것을 알 수 있으며 이러한 결과는 회전자를 손으로 돌릴 때의 속도에 관계없이 극성의 정상 여부에 따라 멀티테스터의 지시치는 확연한 차이를 보인다는 것이 확인된다. 또한, 극성 연결인 정상인 때에도 전동기의 베어링에 의한 축의 편심 및 고정자 권선에서의 이상 등에 의한 자기적인 불평형 특성이 더 큰 경우에는 I 결선의 양 단자 간 측정값은 0에서 벗어난 정도가 상대적으로 더 커진다는 것이 유추될 수 있었다.

4. 결 론

3상유도전동기를 기동반과 연결할 때 발생할 수 있는 고정자 권선의 극성 연결 오류를 방지하기 위한 방법으로 서 유도전동기의 회전자에 존재하는 잔류자기와 회전자의 수동구동으로 유도되는 기전력이 I 결선의 양 단자에 나타내는 전압과 전류의 크기 차이를 측정하는 방식에 의해 고정자 권선의 극성판별법을 제시하였다. 또한, 이와 관련하여 I 결선이 나타내는 전압과 전류의 특성을 해석하였으며 이 결과 전압 측정인 경우 정상 극성 연결에서는 측정 전압이 거의 0을 가리키는 반면 극성에 오류가 있는 경우는 단일 권선의 상전압에 대해 2/3배가 되는 전압이 측정되었으며 이러한 측정치의 차이를 이용하여 극성 연결의 오류가 간편하게 판별될 수 있었다. 또한, I 결선에서의 전류 특성에서도 이러한 차이를 확인한 결과 역상 연결이 없이 평행된 3상

기전력 하에서는 전류의 측정치가 거의 0을 가리키는 것에 대해 극성 연결에 오류가 있는 불평형 상태에서의 전류변화는 상전류의 2배 가까운 전류가 측정되었으며 이러한 측정값 크기의 확연한 차이를 통해 연결 상태의 오류 여부를 판별할 수 있었다. 또한, 제시된 판별법의 경우 특별한 장치를 필요로 하지 않고 멀티테스터의 측정만으로도 이러한 차이가 구별된다는 점에서 현장에서의 활용성이 크다는 것을 확인하였다.

References

- [1] Li Wang, Chaing-Huei Lee, "A novel analysis on the performance of an isolated self excited induction generators", IEEE Transactions on Energy conversion, vol. 12, No.2, pp. 109-117, 1997.
- [2] Al-Bahrani A.H. and Malik N.H., "Steady state analysis and performance characteristics of a three phase induction generator self-excited with a single capacitor", IEEE Trans. on Energy Conversion, vol 4, no.4, pp.725-732, 1990.
- [3] T. F. Chan, "Capacitance requirements of self-excited induction generators", IEEE Transactions on Energy Conversion, vol. 8, No.2, pp.304-311, 1993.
- [4] Seyoum D, Grantham C and Rahman M. F, "The dynamic characteristics of an isolated self-excited induction generator driven by a wind turbine", IEEE Transactions on Energy conversion, vol.39, No.4, pp.939-944, 2003.
- [5] M. E. H. Bendouid, "A review of induction motors signature analysis as a medium for faults detection", IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 47, pp. 984-993, 2000.
- [6] H. Nejari and M.E.H. Benbouid, "Condition Monitoring and Diagnosis of Induction Motors Electrical Faults Using a Park's Vector Pattern Learning Approach", IEEE Trans. on Industrial Application, vol.36, no.3, pp.730-735, 2000.
- [7] N. Mehala and R. Dahiya, Rotor, "Fault Detection in Induction Motor by Wavelet Analysis", International Journal of Engineering, Science and Technology, vol.1, no.3, pp. 90-99, 2008
- [8] A. J. Marques Cardoso, S. M. A. Cruz, D. S. B. Fonseca, "Inter-Turn Stator Winding Fault Diagnosis in Three-Phase Induction Motors, by Park's Vector Approach", IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 14, No.3, pp.595-598, 1999.
- [9] N. Mehala and R. Dahiya, Rotor, "Fault Detection in Induction Motor by Wavelet Analysis", International Journal of Engineering, Science and Technology, vol.1,

no.3, pp. 90-99, 2008

- [10] W.T. Thomson and M. Fenger, "Current signature analysis to detect induction motor faults", IEEE Ind. Applications Magazine, vol. 7, pp.26-34, 2001.

저 자 소 개



최 순 만(Soon-Man Choi)

1955년 3월 30일생. 1977년 한국해양대학교 기관학과 졸업. 1990년 동 대학원석사, 1995년 동 대학원 박사, 현재 한국해양수산연수원 교수