

유도기 설비의 휴대용 회전자 진단 시스템 연구

A Study on the Potable Rotor Diagnosis System for Induction Machines

현 두 수* · 윤 민 한*
(Doosoo Hyun · Min-han Yoon)

Abstract - Rotor bar faults in induction machines, which are a part of main distribution of power system, can even stop the entire system by causing contact between a stator and a rotor. There are two methods of diagnosing rotor bar faults in induction motors, online and offline tests, and existing diagnosis methods have many limitations which can lead to misdiagnosis. This paper proposes a potable rotor bar faults diagnosis system based on single phase rotation test, one of offline test methods, which detects rotor bar faults through impedance interpretation by exciting AC current in a stator winding. The test was conducted on a motor of 0.4kW in the laboratory and a motor of 1500kW in industry field.

Key Words : Induction machines, Rotor bar faults, Potable diagnosis system

1. 서 론

계통의 주요 배전 설비인 유도 전동기는 다양한 원인으로 고장이 나게 되는데, 일반적으로 열적, 전기적, 기계적인 스트레스 및 열화나 극심한 외부 환경에 의해 고장이 발생된다. 전동기의 고장은 고정자, 회전자 및 다양한 위치에서 발생되며, 주로 고정자 결함은 권선의 절연파괴를, 회전자 결함은 권선이나 바의 파괴를 의미한다. 이외에도 고정자 및 회전자의 철심의 결함과 중심 회전축의 편심도 유도 전동기의 고장 요소 중 하나이다.

특히 유도 전동기의 회전자 바가 부러진 경우, 회전자 회로에 불평형을 일으켜 진동 및 소음이 증가하게 된다. 이를 수리하지 않거나 고장을 빨리 인식하지 못하면, 심할 경우 회전자 바가 바깥으로 튀어나와 고정자 권선의 절연 파괴나 철심에 큰 손상을 일으키고, 단락시켜 대형 사고로 진행되어 전체 계통에 나쁜 영향을 미칠 수 있다.

유도 전동기의 회전자에서 발생한 결함을 진단하는 방법으로는 크게 운전 중에 진단하는 것과 정지된 상태에서 진단하는 것으로 나눌 수 있다. 운전 중 진단법과 정지 중 진단법은 각각 장단점이 있어 진단 대상과 그 필요에 따라 각 방법을 적용한다. 운전 중 진단법은 전동기가 운전 중일 때, 진동, 온도, 자속, 전류를 실시간으로 취득하여 분석하는 방법으로 전동기를 멈추지 않아도 시험을 진행할 수 있어 빈번한 시험이 가능하다는 장점을 가지나, 결함이 운전에 미치는 영향을 간접적으로 관찰하여 진단

하는 방법이므로 정지 중 시험법에 비해 부정확한 결과를 초래하기도 한다. 이에 반해 정지 중 진단법은 전동기를 정지한 상태에서 결함을 직접 관측할 수 있어 보다 정확한 고장 판별이 가능하다는 장점이 있으나, 시험을 위해 전동기를 멈추거나 특별히 분해해야하기 때문에 빈번히 시험을 할 수 없어 번거롭다.

최근에는 배전반의 MCC(motor control center)에서 전류 센서를 이용해 운전 중에 고정자 권선의 전류를 취득하고 이를 스펙트럼 분석하는 전류스펙트럼분석(MCSA)의 진단법이 널리 사용되고 있다[1-2]. 하지만 산업현장에 적용된 MCSA진단법은 정상인 전동기를 회전자 결함이 있는 것으로 잘못 진단하는 위양성 진단 사례가 빈번히 발생하고 있으며, 오진단에 따라 불필요한 점검비용이 추가로 발생하기도 한다. 또한 결함이 있는 전동기를 정상으로 잘못 판정하는 위음성 진단 사례의 경우, 예고 없이 운전 중에 전동기가 고장을 일으켜 단순히 전동기 하나의 문제가 아니라 전동기 시스템 및 전체 공정 정지가 발생하는 등의 계통에 문제로 귀결되기도 한다[3].

이를 극복하기 위해 전동기 운전 중 MCSA진단을 수행한 후 정지 중 진단법을 추가로 시험하는 복합적인 진단기법이 새로 지어지는 발전소 및 산업 공장 플랜트에 적용되고 있다. 회전자 고장을 진단하는 정지 중 시험법으로 가장 신뢰성이 높고 오래 지속되어온 단상회전시험법(SPRT)은 전동기 그림 1과 같이 유도 전동기 고정자 3상의 권선 중 2개의 상에 단상의 60Hz의 교류 신호를 인가하며 회전자의 위치를 일정한 간격으로 회전시켜 전류 계측기로 전류 크기 응답의 변화를 관측하여 고장을 판단한다. 이 때 고정자 권선에 흐르는 전류는 정격 전류의 1/8-1/4가 되도록 단상 교류 전압을 인가한다. 이 진단법은 보통 전동기 제작 후에 품질검사를 위해 시행하는 것으로 신뢰성이 높은 방법이나 단상 교류 신호를 얻기 위한 변압기가 필요하고 아날로그 전류 계측기의 눈금을 시험자의 눈으로만 확인하는 것으로 정밀한

† Corresponding Author : Dept. of Electrical Engineering, Dongyang Mirae University, Korea.

E-mail : dshyun@dongyang.ac.kr

* Dept. of Electrical Engineering, Tongmyong University, Korea.

Received : September 29, 2017; Accepted : October 13, 2017

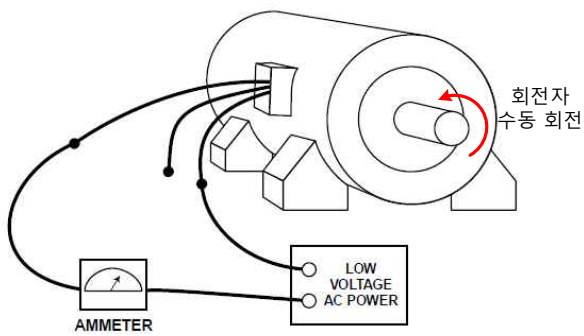


그림 1 단상교류회전시험의 개략도 [4, 5]
 Fig. 1 Diagram for single phase rotation test (SPRT)

고장 판별은 불가능하다[4-5].

본 논문에서는 유도 전동기의 회전자 고장을 검출하기 위해 정지 중 진단법의 하나인 단상회전시험법을 응용하여, 크고 무거운 변압기 대신에 휴대가 가능한 인버터를 사용하였다. 이를 통해 보다 다양한 교류 신호를 전동기에 시험하여 회전자 결함의 진단 인자를 도출하였고, 간단한 구성으로 진단 시스템을 구축하여 산업현장에서 직접 사용할 수 있도록 하였다. 이를 검증하기 위해 연구실 환경에서 모의 회전자 바 고장 저압 유도 전동기 (0.4kW)와 실제 산업 현장의 고압 유도 전동기(1500kW)에 대해 각각 실험 결과를 나타내었다.

2. 유도 전동기의 회전자 고장 진단

본 논문에서 제안하는 방법은 단권변압기 대신에 인버터를 사용하여 고정자 권선에 교류 전압을 인가하고, 전류를 검출하여 유도 전동기의 회전자 고장을 진단하는 것이다. 단상교류회전시험의 경우와 마찬가지로 회전자의 한 위치에서 측정된 전류를 기록하고 회전자를 다음 위치로 일정하게 회전시키며 시험을 반복한다. 이 때 이동되는 회전자의 위치는 기계적으로 1회전하게 된다. 그림 2에 인버터를 이용한 제안법의 개념도를 나타내었으며, 이해하기 쉬운 해석을 위해 2극 유도 전동기로 표현하였다.

기존에 연구된 인버터를 사용한 유도 전동기 회전자 고장 진단 기술은 회전자를 회전하는 대신에 고정자 권선에 인가된 교번자계의 위치를 변화시켜 진단을 수행하였다[6]. 하지만 이 방법은 유도 전동기의 고정자 권선의 대칭적이지 않은 특성 때문에 고장 진단 결과가 명확하지 않은 단점이 있다. 본 논문에서 제안하는 방법은 회전자를 회전하여 고정자 권선의 비대칭성에는 영향을 받지 않는 장점이 있다.

제안하는 방법과 기존의 단상회전시험의 차이점은 단상 교류 신호를 인버터로 주입하는 것이며, 그 목적은 실제 산업현장에 응용될 수 있도록 휴대형 장치로 시스템을 설계하는 것이다. 이는 적용 대상 전동기에 따라 주입 신호의 크기 및 주파수를 쉽게 변환할 수 있어 진단의 민감도를 높일 수 있으며, 인가하는 전압과 전류의 응답을 분석하여 고장과의 관계를 명확히 할 수 있는 장점을 가진다.

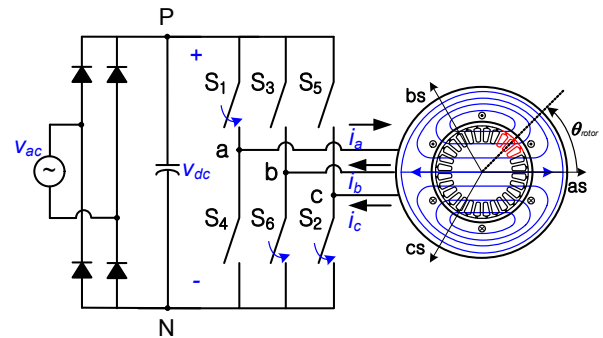


그림 2 제안하는 회전자 진단 시스템의 개념도
 Fig. 2 Concept of proposed detecting method

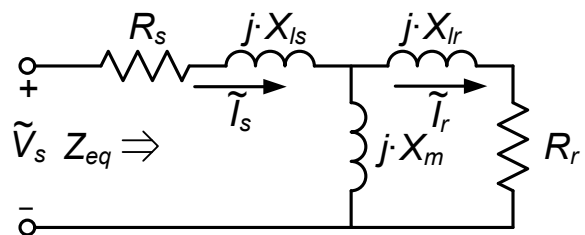


그림 3 정지된 상태의 유도 전동기 등가회로
 Fig. 3 Equivalent circuit of induction motor ($s = 1$)

2.1 정지한 유도 전동기의 등가회로 해석

인버터를 사용하여 Y-결선된 유도 전동기의 3상 고정자 권선에 그림 2와 같이 단상 교류가 인가되면, 직류 전압이 인버터 스위치 S_1 을 통해 a상 권선으로 흐르고 중성점을 지나 b상, c상의 권선 및 스위치 S_6, S_2 의 인버터로 인가된다. 즉, a-bc 상 순서로 유도 전동기에 전류가 흐르게 된다. 또한 인버터의 S_3, S_5, S_4 스위칭을 통해 반대로 전압을 인가하고 전류를 bc-a 상 순서로 흘러 교류 신호를 인가할 수 있다. 그리고 PWM 스위칭을 행하여 적절한 정현파 교류 신호를 전동기에 공급할 수 있다. 이 교류 신호는 그림 2와 같이 고정자에서 위치가 고정된 교번하는 자계를 생성하게 된다.

제안하는 방법은 정지된 상태의 유도 전동기에 단상의 교류 신호를 인가하는 것이므로, 정지되었을 때의 유도 전동기의 등가회로를 해석하여 그림 3과 같이 나타내었다. 유도 전동기가 정지한 상태에서의 회전 속도는 없으므로 슬립 s 는 1과 같이 그림 3의 등가회로 내 회전자 저항이 R_r 로 표현된다. 또한 전동기에 단상 전압, 전류가 인가되므로 단상 유도기의 특성과 같이 토크는 발생하지 않아 회전자는 계속 정지 상태에 이른다. 따라서 유도 전동기의 구속 시험과 같이 인가된 단상의 교류 신호는 전류 응답을 통하여 고정자와 회전자의 저항과 리액턴스 성분을 취득할 수 있다. 제안한 인버터를 삼각과 비교를 통해 PWM 스위칭 하여 발생시킨 정현파 교류 신호는 다음의 수식과 같이 표현된다.

$$v_s^*(\omega t) = V \cos(\omega t) \tag{1}$$

$$i_s(\omega t) = \frac{V}{Z_{eq}} \cos(\omega t) \tag{2}$$

$$Z_{eq} = R_{eq} + jX_{eq} \approx (R_s + R_r) + j(X_{ls} + X_{lr}) \tag{3}$$

v_s^* 는 인버터 지령 전압 값으로 크기와 주파수를 지정하는 값이며, i_s 는 전류 응답을 의미한다. 상용 인버터에 부착되어 있는 전류 센서 및 ADC 변환을 통해 취득이 가능하며, 전류의 크기 $|i_s|$ 를 기록할 수 있다. 또한 지령 전압과 취득한 전류로 등가 임피던스 Z_{eq} 를 얻을 수 있다. 정지된 상태의 전동기는, 고정자 자속이 회전자 내부로 깊숙하게 침투하기 매우 어렵기 때문에, 자화 리액턴스는 상대적으로 매우 크다. 즉, $X_m \gg |R_r + X_{lr}|$ 와 같이 되어 등가 임피던스 Z_{eq} 는 수식 (3)에서와 같이 R_{eq} 와 X_{eq} 로 구분할 수 있다. 이 때 등가 저항 R_{eq} 는 고정자 저항 R_s 와 회전자 저항 R_r 로 구성되었으며, 등가 리액턴스 X_{eq} 는 고정자 누설 리액턴스 X_{ls} 와 회전자 누설 리액턴스 X_{lr} 의 합으로 이루어진다.

2.2 회전자 바 고장의 파라미터 해석

제안한 방법을 시행했을 때 회전자 바가 고장 난 경우에 대하여 2.1절에서 언급한 등가회로의 파라미터 변화를 살펴보면 다음과 같다. 회전자 바가 고장 나지 않은 정상인 유도 전동기는 회전자의 위치가 어느 곳에 있어도 $|i_s|$, Z_{eq} , R_{eq} , X_{eq} 의 값은 변화하지 않는다. 이는 회전자에 평형상태이므로 인가한 교류 신호로 회전자에 유기된 전압이 회전자 회로를 통해 그 전류가 항상 일정할 것이기 때문이다.

반면에 회전자 바에 결함이 발생한 경우에는 현재 회전자의 위치에 따라 그 결과가 다르며 이에 따라 파라미터가 변하게 된다. 그림 4의 (a)와 같이 회전자 결함의 위치가 $\theta = 0^\circ$ 일 때, 회전자에 파괴된 곳에는 전압이 유기되지 않는다. 이는 시간에 따라 교번하는 자속이 회전자 결함이 있는 곳에 거의 영향을 미치지 않기 때문이다. 따라서 현재 인가되는 교류 신호는 교번하는 자계를 만들고 이는 모두 정상인 회전자 바에 전압을 유기해 회전자 전류를 흐르게 한다. 즉, 등가회로의 파라미터 $|i_s|$, Z_{eq} , R_{eq} , X_{eq} 의 값은 변화하지 않는다.

하지만 그림 4의 (b)와 같은 경우, 교번하는 자계에 의해 전압이 최대로 유기되는 지점에 부러진 회전자 바가 위치하게 된다. 그러면 그림 4의 (a)와 비교하여 회전자 전류가 흐를 수 있는 회전자 바의 개수가 상대적으로 줄어들게 되고 전류의 크기 $|i_s|$ 는 줄어들게 된다. 이는 곧 등가회로 상의 임피던스 Z_{eq} 가 증가하는 것으로 생각할 수 있다. 이 중 R_{eq} 가 증가하는 이유는 회전자 회로가 끊어지기 때문이며, X_{eq} 가 증가하는 이유는 부러진 회전자 바에 의해 누설되는 자속이 더욱 증가하기 때문이다.

제안한 방법을 통해 회전자의 위치를 기계적으로 1회전 하게 되면 그림 4에서는 회전자 각도가 $0 \leq \theta_{rotor} \leq 2\pi$ 와 같이 변화한다. 이렇게 회전자 위치가 1회전할 때, 각 파라미터의 변화를 예상하면 그림 5-6과 같이 나타난다. 그림 4에서와 같이 전동기의

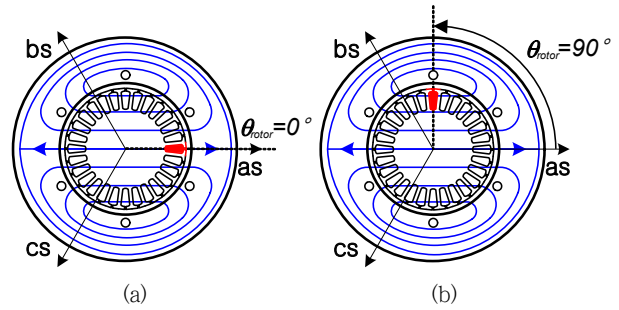


그림 4 (a) 회전자 결함이 $\theta = 0^\circ$ 에 위치한 경우
(b) 회전자 결함이 $\theta = 90^\circ$ 에 위치한 경우

Fig. 4 (a) Rotor fault located at $\theta = 0^\circ$
(b) Rotor fault located at $\theta = 90^\circ$

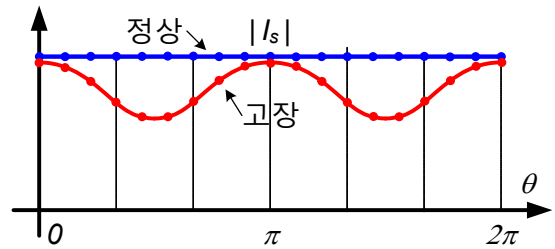


그림 5 회전자 결함에 따른 전류 크기의 변화
Fig 5 Pattern of $|i_s|$ vs. θ_{rotor} for faulty motor

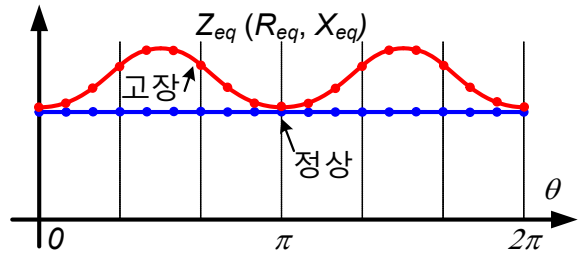


그림 6 회전자 결함에 따른 임피던스의 변화
Fig. 6 Pattern of Z_{eq} vs θ_{rotor} for faulty motor

극수는 2극이므로, 그림 5-6에서는 각 파라미터의 변화가 2번 반복하는 성분을 가진다. 이를 P극기에 대해 일반화 하면, 제안하는 방법을 시행했을 때 회전자 기계각으로 2π 만큼 1회전하면 파라미터는 P번만큼 반복하는 결과를 가질 것이다.

본 논문에서는 각 파라미터를 회전자 바 결함의 진단 인자로 결정하고 회전자를 기계각으로 2π 까지 1회전시켜 유도 전동기의 회전자 바 고장 진단을 수행하여 그 결과를 분석하였다.

3. 진단 시스템 설계와 실험

제안한 방법인 정지한 전동기에 원하는 교류 신호를 입력하는 진단 시스템을 구현하기 위해 상용 220[V]전원을 공급받는 3상



그림 7 회전자 고장 진단 시스템의 구성
Fig. 7 System for detecting rotor bar faults

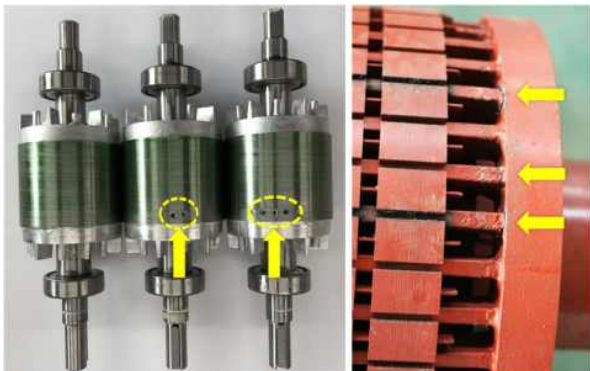


그림 8 (a) 저압 유도전동기의 고장 (정상, 2개, 3개 고장)
 (b) 고압 유도전동기의 고장 (3개의 크랙 발생)
Fig. 8 (a) Broken rotor bar with 0.4kW motor
 (b) 3 cracked rotor bar with 1500kW motor

인버터를 사용하였고, 이를 제어하는 프로그램과 하드웨어는 NI사의 LabVIEW와 myRIO를 사용하였다. 이 때 인버터의 3상 출력단에 포함되어있는 전류 센서의 출력 값을 제어부에서 읽어 그 값을 저장하였고, 지령 전압과 비교하여 진단 시스템의 고장 인자인 $|i_s|$, Z_{eq} , R_{eq} , X_{eq} 를 도출하였다. 그림 7에서는 제안한 방법을 수행하기 위한 고장 진단 시스템을 나타내었다. 좌측은 실험실에서 사용한 저압 유도 전동기로 모의 고장을 설계, 중앙은 시험 신호를 인가하는 3상 인버터, 그리고 우측은 인버터를 제어할 임베디드 시스템으로 구성되었다.

모의 고장 실험을 진행하기 위해 실험실 환경에서 4극, 0.4[kW], 380[V]/1.2[A], 알루미늄 다이 캐스팅된 32개의 도체 바를 가지는 저압 농형 유도전동기를 사용하여, 3개의 회전자에 대해 각각 2개, 3개의 회전자 바를 부러뜨려 고장을 설계하였고 이를 정상 회전자와 비교하였다. 이는 그림 8의 (a)와 같이 알루미늄 도체 바에 드릴로 구멍을 내어 진행하였다.

또한 산업 현장에서 운용되었던 고압 유도전동기에 대해서 같은 실험을 진행하였다. 전동기 수리업체에 의뢰된 회전자 바에

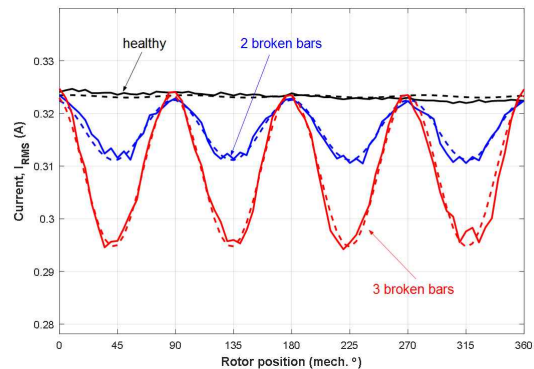


그림 9 저압유도기 회전자 고장의 전류 크기 결과
Fig. 9 Current magnitude of broken rotor bars

크랙이 발생한 전동기를 고장 전과 후에 시험을 반복하였다. 이 때 사용된 고압 유도전동기의 사양은 4극, 1500 [kW], 6[kV]/270[A]이며, 36개의 회전자 바 중 그림 8의 (b)와 같이 3개의 도체에 크랙이 발생한 전동기이다.

3.1 실험 결과 및 분석

실험실 환경에서 사용된 모의 회전자 고장용 저압 유도전동기는 60[Hz] 교류 주파수 운전 시 정격 전류가 1.2[A]만큼 흐른다. 앞서 살펴본 단상교류회전시험법을 응용하면, 제안 방법을 시행했을 때 정격 전류의 약 1/8-1/4의 여자 신호가 필요하다. 이에 따라 반복 실험을 통해 정격 전류의 1/4값인 0.3[A]가 고정자 권선에 흐르도록 설계하였다. 이때의 인가 교류 전압의 크기는 25[V] 이었다.

그림 8의 (a)와 같이 실험실에서 사용한 저압 유도전동기의 회전자 바가 정상인 상태, 2개 부러진 상태 및 3개 부러진 상태에 대해 전류 값의 크기를 그림 9에 나타내었다. 이는 그림 5에서 등가회로로 예상한 바와 같이 인가한 교류 전류에 의한 자계가 고장이 발생한 회전자 바에 최대로 유기하는 위치일 때 그 전류의 크기가 작아지는 것을 확인할 수 있다.

시험한 전동기는 4극기이므로 회전자의 기계각인 2π 까지의 전류 크기가 작아지는 구간이 4번 발생한다. 이를 통해 P극기인 경우에는 회전자가 기계적으로 1회전하는 동안 P번 반복되는 정현파 신호를 검출할 수 있다. 취득한 결과 파형에 대해 푸리에 변환을 실시하여 직류 및 기본파 성분만으로 점선으로 표기하였다. 기본파 성분으로 계산한 평균값대비 최대, 최소의 변동률은 정상인 경우 0.14[%], 2개 부러졌을 때 3.62[%], 3개 부러졌을 때 9.32[%]로 나타나 정상 전동기와 데이터 비교 없이 전류 크기의 변동률만으로 고장 검출이 가능함을 알 수 있었다. 이 때 사용한 고장 검출을 위한 변동률의 식은 다음과 같다.

$$\text{변동률} = \frac{\text{최대값} - \text{최소값}}{\text{평균값}} \times 100 [\%] \quad (4)$$

그림 10에서는 실험실 저압 유도전동기의 회전자 고장에 대해 임피던스 값의 크기를 나타내었다. 이는 그림 6에서 예상한 바와

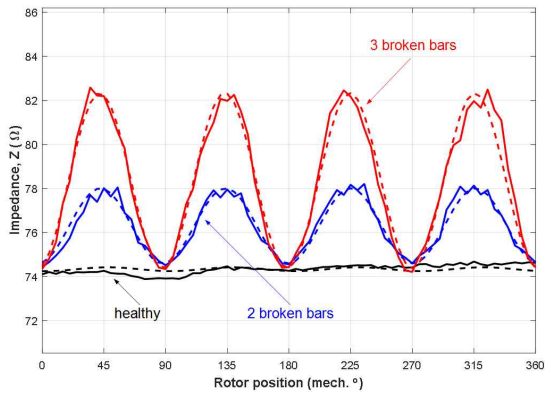


그림 10 저압유도기 회전자 고장의 임피던스 결과
Fig. 10 Impedance of broken rotor bars

표 1 고장 검출을 위한 저압유도기의 파라미터 변동률
Table 1 Parameter regulation for detecting faults

고장 검출용 변동률[%]	정상 회전자	2개 부러진 회전자	3개 부러진 회전자
전류 크기	0.14	3.62	9.32
임피던스 크기	0.23	4.47	10.15

같이 회전자 바가 부러진 위치에 대해 임피던스의 값이 커지는 것을 확인할 수 있다. 또한 각 임피던스를 퓨리에 변환하여 기본파 성분과 분석해보면, 그 변동률은 정상인 경우 0.23[%], 2개 부러졌을 때 4.47[%], 3개 부러졌을 때 10.15[%]와 같이 나타나 고장 검출이 가능함을 보인다. 그림 9-10의 고장 검출을 위한 전류 크기 및 임피던스 크기의 변동률 해석 결과를 표 1과 같이 정리하였다.

한편 산업 현장의 고압 유도 전동기에 대해서도 제안 방법을 검증하였다. 그림 8의 (b)와 같이 전동기 수리업체에 의뢰된 전동기는 산업 현장에서 실제로 운용되는 것으로 회전자 바에 크랙이 3개가 발생하였다. 실험은 3개의 크랙이 발생한 전동기에 제안 방법을 실행한 후 수리가 완성되어 정상의 회전자가 다시 조립된 상태에서 시험을 반복하였다. 이 전동기는 정격 전류가 270[A]로 시험을 수행하기 위한 전류는 정격의 1/8인 34[A] 이상의 전류가 여자 되어야 한다. 하지만, 휴대용 회전자 진단 시스템의 한계상 큰 전류를 여자할 수 없어 5[A]의 전류를 흘려 시험을 진행하였다. 이 때 인가한 전압의 크기는 12[V], 주파수는 60[Hz]이다.

그림 11에서는 크랙이 발생한 고압 유도 전동기에 실험을 하여 얻은 등가 임피던스를 각각 저항 성분과 리액턴스 성분으로 나누어 도시하였다. 시험한 전동기의 극수는 4개이므로 회전자를 기계적으로 1회전 하였을 때 4번 반복하는 성분이 관측되어야 한다. 즉, 회전자를 1/2회전한다면 고장이 발생했을 때 반복하는 임피던스의 성분은 2[Hz]의 정현파가 발생하게 된다. 본 논문에서는 현장 시험의 여건 상 회전자를 기계각 π 까지 취득하여 결과를 나타내었다.

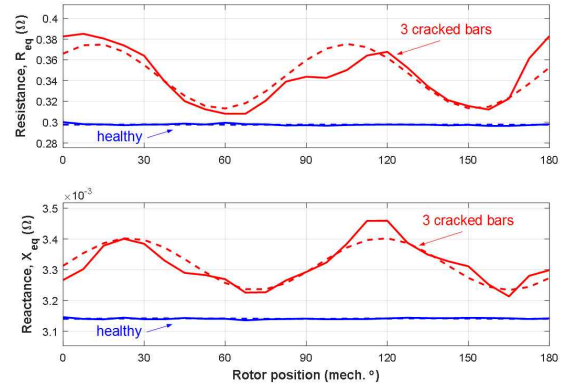


그림 11 고압유도기의 수리 전과 후의 임피던스 비교
Fig. 11 Impedance at before and after repair motor

표 2 수리 전후의 고압유도기의 임피던스 변동률
Table 2 Impedance regulation at before/after repair

고장 검출용 변동률[%]	수리 전 (3개 끊어진 회전자)	수리 후 (정상 회전자)
저항 크기	18.08	0.05
리액턴스 크기	5.06	0.05

회전자 바에 크랙이 생겨 회전자 회로가 끊어지게 되면 교류 신호가 인가됐을 때, 회전자 회로에 유기된 전압으로 인한 전류가 흐를 회로의 등가 저항 성분이 더 커지게 된다. 또한 고정자에서 회전자 회로로 전달되지 못하는 자속의 양도 커지게 되어 누설 인덕턴스가 늘어나고 이는 곧 등가 리액턴스 성분으로 나타나게 된다. 실험실 전동기의 임피던스 결과와 마찬가지로 등가 저항과 등가 리액턴스는 고장이 발생한 전동기에 대해 그 값이 증가하는 것을 확인할 수 있다. 그림 11의 결과를 표 2와 같이 기본파에 대해 고장 검출을 위한 변동률을 나타내었다. 이는 회전자 고장이 발생했을 때 임피던스 성분 중 저항 성분을 관측하는 것이 더 민감한 것을 알 수 있다.

주목해야할 점은 정격전류 대비 약 1.8[%]의 전류를 인가하여 실험하여도 결과는 명확하게 관측된 사실이다. 이는 여자 되는 자속의 양은 인가된 전류 크기에 비례하고 주파수에 반비례하는 특성을 갖기 때문에, 60[Hz]의 전류는 회전자 고장을 진단하기에는 충분한 자속을 생성하였다고 판단된다. 만약 인가 주파수를 높이면 여자 하는 자속이 적어져 각 파라미터의 기본파 변동률이 줄어들고 회전자 고장을 진단하기에는 어려울 것이다.

4. 결 론

본 논문에서는 인버터를 사용하여 유도 전동기의 회전자 상태를 진단할 수 있는 정지 중 시험을 제시하였다. 시험 방법이 간단할 뿐만 아니라 크기가 작은 시스템으로 이루어져 휴대용으로 산업현장에서 적용이 가능하도록 구성되었다. 그리고 진단 결

과도 실험실 저압 유도기 및 산업체 고압 전동기에 적용했을 때 명확하게 관측되었다. 또한 정지 중 인버터로 입력되는 교류 신호에 대해 고장이 발생한 경우 회전자 위치에 따른 파라미터 결과도 등가회로를 통해 해석하였다.

산업 현장의 고압 유도 전동기에 대해서는 전류를 충분히 흘릴 수 없는 한계가 있어 낮은 전류를 흘렸으나 회전자 회로의 고장 여부를 확인하기에는 충분한 자속이 발생한 것으로 나타났다. 하지만 제시된 전동기와는 달리 유도 전동기의 회전자 슬롯 구조가 개방되지 않은 경우에는 회전자 회로가 끊어진 것을 확인하기 위해 더 큰 여자 전류가 필요하게 될 것이다. 따라서 전동기의 회전자 형태에 따른 인가전압 및 전류에 대한 연구가 향후 진행되어야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 2016년도 동양미래대학교의 학술연구비 지원에 의하여 이루어진 연구로서, 관계부처에 감사드립니다.

References

- [1] L.-K. Kim and J.-H. Lim, "Online Fault Diagnosis of Motor Using Electric Signatures," The trans. of the KIEE, Vol. 59, No. 10, pp. 1882-1888, 2010. 10.
- [2] A. Kucuker and M. Bayrak, "Detection of Mechanical Imbalances of Induction Motors with Instantaneous Power Signature Analysis," Journal of Elec. Eng. & Tech., Vol. 8, No. 5, pp. 1116-1121, 2013. 09.
- [3] S. Lee, J. Hong, S. B. Lee, E. J. Wiedenbrug, M. Teska, H. Kim, "Evaluation of the Influence of Rotor Axial Air Ducts on Condition Monitoring of Induction Motors," IEEE Trans. on Ind. App., vol. 49, No. 5, pp. 2024-2033, Sept. 2013.
- [4] Testing of squirrel cage rotors, Electrical Apparatus Service Association, EASA Tech. Note 23, 2003.
- [5] D. Hyun, S. Lee, J. Hong, S. B. Lee, S. Nandi, "Detection of Airgap Eccentricity for Induction Motors Using the Single-Phase Rotation Test," IEEE Trans. on Energy Conv., vol. 27, no. 3, pp. 689-696, September 2012.
- [6] B. Kim, K. Lee, J. Yang, S. B. Lee, E. J. Wiedenbrug, M. R. Shah, "Automated Detection of Rotor Faults for Inverter-Fed Induction Machines Under Standstill Conditions," IEEE Trans. on Ind. App., vol. 47, No. 1, pp. 2024-2033, January 2013.

저 자 소 개



현 두 수 (Doosoo Hyun)

1983년 10월 21일생. 2009년 고려대학교 전기전자전파공학부 졸업(공학사). 2011년 동대학원 전기전자전파공학과 졸업(공학석사). 2016년 동 대학원 전기전자전파공학과 졸업(공학박사). 2016년~현재 동양미래대학교 전기공학과 조교수.

Tel : 02-2610-1793

E-mail : dshyun@dongyang.ac.kr



윤 민 한 (Min-han Yoon)

1984년 8월 16일생. 2009년 고려대학교 전기전자전파공학부 졸업(공학사). 2015년 동대학원 전기전자전파공학과 졸업(공학박사). 2015~2017년 한국전기연구원 선임연구원. 2017년~현재 동명대학교 전기공학과 조교수.

Tel : 051-629-1313

E-mail : minhan.yoon@gmail.com