

농형 유도전동기의 회전자 바 손상에 따른 특성 해석

김병국, 김미정, 조운현, *임성환, 황돈하**, 강동식**
 동아대학교 전기공학과, *브이지엠, **한국전기연구원 전력설비진단연구그룹

Characteristics Analysis of Squirrel Cage Induction Motors with Rotor Bar Broken

Byong-Kuk Kim, Mi-Jung Kim, Yun-Hyun Cho, Seong-Hwan Lim*, Don-Ha Hwang**, Dong-Sik Kang**
 Dong-A University, *VGM, **Korea Electrotechnology Research Institute (KERI)

Abstract - This paper describes the effects of rotor-bar broken in induction machines. The analysis has been made on 7.5kW, 4P, 1,768 [rpm], three-phase induction motors in a healthy and broken-rotor bars fault conditions at rated loading conditions. The effects of the rotor-bar broken, magnetic force are investigated by finite element method (FEM) and experiment. The results can be useful for real-time on-line monitoring of an induction motor.

1. 서 론

철강, 화학, 석유, 시멘트 등의 장치산업에 있어서는 팬, 펌프, 전동기로 대표되는 각종 회전기가 널리 사용되고 있는데, 특히 제철소, 석유화학 등과 같은 대형 생산설비에서는 1만대가 넘는 곳이 많다. 이러한 회전기의 고장은 커다란 생산저하와 막대한 경제적 손실을 가져오기 때문에 정기적인 점검과 예방정비 등의 보수비용이 증가하고 있다. 따라서 설비의 상태를 정량적으로 파악하고, 이상 및 장애의 영향을 예지, 예측하는 실시간 설비진단 기술이 더욱 중요해지고 있다[1-4].

전동기는 사용 중에 베어링이 파손하기도 하고, 마모로 인한 동적 및 정적 언밸런스, 회전자 바의 손상, 권선의 열화로 인한 단락현상 등 다양한 결함을 일으키게 된다. 일반적으로 전동기의 주요소, 즉 고정자, 회전자, 베어링의 3개 부분이 전동기 고장의 80 [%]를 차지하고 있으며, 고장 상태감시 기법의 대부분은 이 세 가지 구성요소들의 고장을 검출하는 것으로 이루어진다. 다양한 전동기의 고장 중에서 회전자바의 손상은 Thermal, Magnetic, Residual, Dynamic, Environment, Mechanical stress 등이 주요 원인이 된다.

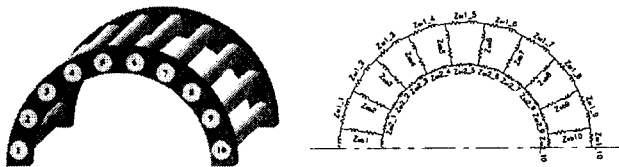
본 논문에서는 3상 7.5 [kW], 4P, 1,768 [rpm]의 정격을 갖는 농형 유도전동기의 회전자 바 손상에 따른 전자기적 특성을 유한요소 해석을 통해 시뮬레이션 하고, 정상 모델과 회전자 바 손상 모델의 전동기 특성을 분석한다. 또한 본 해석 결과를 토대로 대형 전동기의 실시간 고장 진단 알고리즘 개발을 위한 기초 자료로 활용한다.

2. 본 론

2.1 유도전동기 제원

유도전동기에 있어 회전자 바의 손상은 과부하 및 불평형, 스파크나 과도한 손실로 인한 과열로 인해 발생하는 열적 스트레스, 전자기력에 의해 발생하는 자기 스트레스, 샤프트에 걸리는 부하 토크와 원심력에 의해 발생하는 관류 스트레스, 화학적 작용 및 습기에 의한 회전자 재료의 마모나 오염에 의해 발생하는 환경 스트레스, 적층이 느슨하거나, 국부적 피로, 베어링의 손상으로 발생하는 기계적 스트레스로 인하여 발생하게 된다.

그림 1은 간략화 된 회전자 바의 등가회로를 나타낸다. 회전자 바의 저항과 리액턴스, 엔드링 부분의 저항과 리액턴스가 상호 결합된 형태로 나타낼 수 있다.



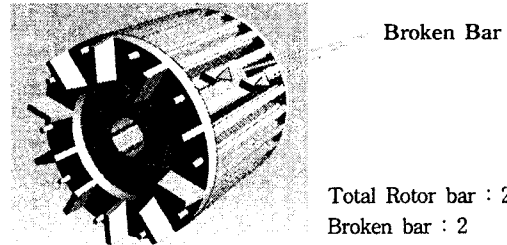
〈그림 1〉 회전자의 등가회로

표 1은 본 논문에서 해석 및 고장 모의를 위한 농형 유도전동기의 제원을 나타낸다. 제작의 편의를 위하여 3상 7.5KW의 상용 유도전동기를 사용하였으며 회전자는 농형, 알루미늄 다이캐스팅 구조로 적층길이는 110mm, 슬롯수는 28개 이다.

그림 2는 본 논문에서 다루어질 해석 모델 유도전동기의 회전자 구조 및 유한요소해석과 고장 모의를 위한 회전자 바 손상 위치를 나타낸다. 회전자 바의 손상은 이웃되는 두 개의 바를 단절시켜 전기적 연결을 차단하도록 구성하여 유한요소해석 및 고장 모의를 수행하도록 한다.

〈표 1〉 유도전동기 제원

구 분	항 목	치 수
사 양	정격 출력 [kW]	7.5
	정격 전압 [V]	220/380
	정격 속도 [rpm]	1760
	정격 토크 [Nm]	40
고정자	슬롯 수	36
	외 경 [mm]	220
	내 경 [mm]	150
	극 수	4
회전자	공 극 [mm]	0.5
	외 경 [mm]	149
	적층길이 [mm]	110
	슬롯 수	28
	바 재질	Al



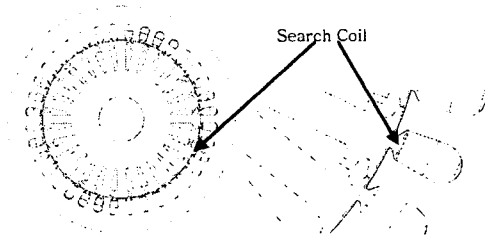
〈그림 2〉 유도전동기 회전자 구조

2.2 공극 자속 측정용 센서

서치 코일에 유기되는 유기 전압은 식 (1)과 같은 패러데이 (Faraday)의 전자유도법칙에 의해 권선수와 자속의 함수로 나타난다. 유기 전압은 전동기에 문제가 발생하는 경우 슬롯에서의 쇄자속이 차이를 보임으로서 건전한 전동기에 비하여 유기전압의 차이를 가져오게 된다. 따라서 본 논문에서는 이와 같은 원리를 이용하여 전동기 이상 유무를 감지하여 전동기의 건전성을 분석한다[5].

$$e = -N \frac{d\Phi}{dt} [V] \quad (1)$$

여기서, e=자속센서의 유기기전력, N=센서의 코일 턴수, Φ=자속, t=시간을 나타낸다.

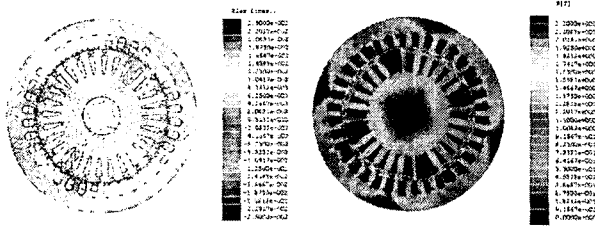


〈그림 3〉 자속센서의 취부 위치

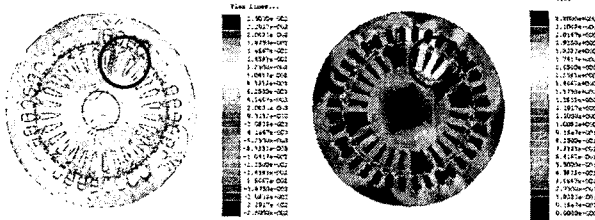
2.3 유한요소 해석

해석 모델의 전자기적 특성을 알아보기 위하여 유도전동기의 설계 제원을 바탕으로 유한요소해석을 수행하였다. 실 모델의 경우 회전자의 스류 (skew)를 주어 제작되었으나 본 해석에서는 2차원 모델로 해석을 수행하므로 스류에 의한 영향은 고려되지 않았다.

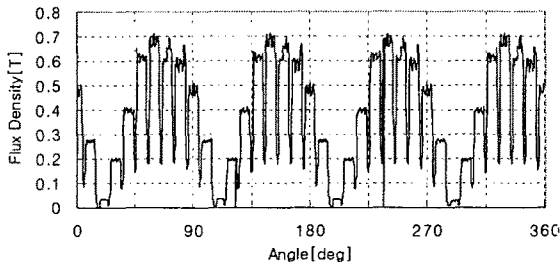
그림 4는 유한요소 해석을 통한 자속선도 및 자속밀도, 그림 5는 공극자속밀도, 그림 6은 센서 출력 파형을 나타낸다. 그림 7은 각 모델의 과도특성을 나타낸다.



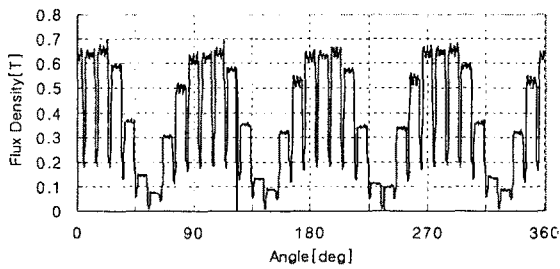
(a) 정상 모델



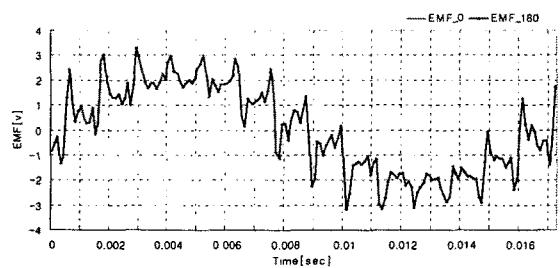
(b) Broken bar 모델
 <그림 4> 정격부하에서의 자속선도 및 자속밀도



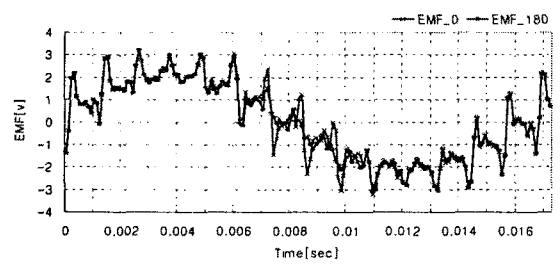
(a) 정상 모델



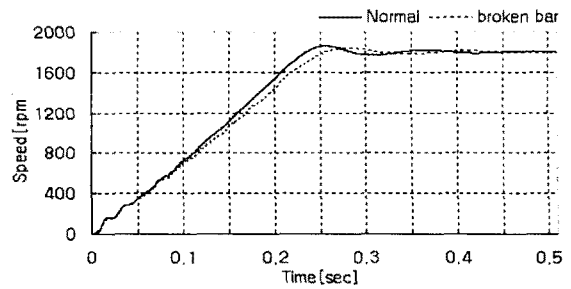
(b) Broken bar 모델
 <그림 5> 공극자속밀도



(a) 정상 모델



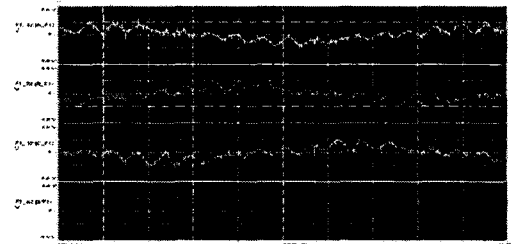
(b) Broken bar 모델
 <그림 6> 자속센서의 출력 전압



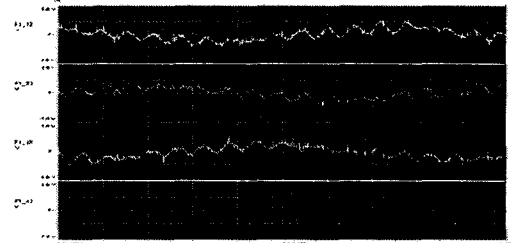
<그림 7> 정상 모델 및 Broken bar 모델의 속도 특성

2.3 실험 및 특성 고찰

그림 8은 유도전동기의 고장모의 시뮬레이터를 이용하여 정상 모델 및 Broken bar 모델의 각 상의 자속 센서의 출력 파형을 측정하였다[5]. 여기서 유한요소 해석에서의 결과에서와 마찬가지로 회전자 바 손상으로 인한 공극자속밀도의 불균형으로 인하여 자속 센서의 유효 기전력이 상이한 값을 보임을 알 수 있다.



(a) 정상 모델



(b) Broken bar 모델
 <그림 8> 자속센서 출력 파형

3. 결 론

본 논문에서는 유한요소해석을 이용하여 3상 농형 유도전동기의 회전자 바 손상으로 인한 전자기적 현상 및 특성변화를 연구하였다. 또한 해석 결과와 고장 모의 실험 결과의 비교를 통해 해석의 타당성을 검증하였다. 회전자 바 손상으로 인한 공극 자속밀도의 변화를 검출하기 위해 슬롯 내부에 PCB로 제작된 서치 코일 형태의 자속 센서를 삽입하였다. 정상 모델과 고장 모의 모델의 자속 센서의 출력 전압을 비교함으로써 회전자 바 손상 여부와 상태를 정확히 확인할 수 있었다. 차후 본 논문에서 논의된 회전자 바 손상이 전동기의 진동에 미치는 영향을 실험을 통하여 측정하고 FFT분석을 통하여 검증 할 예정이다. 본 논문에서 제시한 연구 결과는 차후 대형 회전기의 실시간 고장감시 시스템의 고장진단 알고리즘 개발을 위한 기초자료로 활용될 것이다.

본 논문은 한국전기연구원 기본연구사업의 위탁연구로 수행된 연구결과임.

[참 고 문 헌]

- [1] P. Vas, Parameter Estimation, Condition Monitoring, and Diagnosis of Electrical Machines, Oxford: Clarendon Press, 1993. pp. 307-323.
- [2] H.A. Toliyat, M.S. Arefeen, and A.G. Parlos, "A Method for Dynamic Simulation and Detection of Air-Gap Eccentricity in Induction Machines", Trans. Industry Applications, Vol. 32, No. 4, pp. 910-918, Jul./Aug. 1996.
- [3] C. Yung and A.H. Bonnett, "Repair and Replace ? - A Decision Model for Industrial Electric Motors", IEEE Industry Applications Magazine, Vol. 10, No. 5, pp. 48-58, Sept.-Oct. 2004.
- [4] A.H. Bonnett, "Cause and Analysis of Stator and Rotor Failures in Three-Phase Squirrel-Cage Induction Motors", IEEE Trans. Industry Applications, Vol. 28, No. 4, pp. 921-936, 1992.
- [5] 황준하 외, "유도전동기 고장모의 시뮬레이터 개발", 2006년도 대한전기학회 EMECS부문의 춘계학술대회 논문집, pp. 182~184, 2005. 4. 20-22.