

유도전동기 고장모의 시뮬레이터 개발

황 돈하, 이기창, 강동식, 김병국*, 조원영*, 조운현*
 한국전기연구원 전력설비진단연구그룹, *동아대학교 전기공학과

Development of Fault-Simulated System for Induction Motors

Don-Ha Hwang, Ki-Chang Lee, Dong-Sik Kang, Byong-Kuk Kim*, Won-Young Jo*, Yun-Hyun Cho*
 Korea Electrotechnology Research Institute (KERI), *Dong-A University

Abstract - A down-scaled simulator is developed to simulate typical faults in induction motor such as short-turn stator winding, broken rotor bar, dynamic and static air-gap eccentricity, bearing trouble, and mechanical unbalance.

The simulator is used as an initial builder to develop design algorithm for real-time faults detecting system by processing an abnormal signal and characteristics in each fault.

1. 서 론

철강, 화학, 석유, 시멘트 등의 장치산업에 있어서는 팬, 펌프, 전동기로 대표되는 각종 회전기기가 널리 사용되고 있는데, 특히 제철소, 석유화학 등과 같은 대형 생산설비에서는 1만대가 넘는 곳이 많다. 이러한 회전기기의 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 단선, 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.

전동기가 운전 중에 결함이 발생한 경우, 그 기체 및 설비가 정지하기도 하고 기능의 저하 뿐만 아니라 장기간 정비를 요하는 고장 등 여러 가지 부적합한 상황이 발생하게 된다. 그러므로 고장 발생의 원인을 단기일 내에 추정하고, 전동기 불시고장을 사전에 예방하여 설비 운전 신뢰도를 확보하고, 운전 중 이상상태를 조기에 발견하여 계획적이고 효율적인 정비계획 수립이 가능하도록 하는 대책을 실시할 필요가 있다[1][4].

본 논문에서는 전동기의 신뢰성 있는 감시진단 시스템 개발을 위한 초기단계로서, 실제 산업현장에서 여러 종류의 고장상태에 따른 전동기 데이터 취득의 어려움을 보완하고, 고장판정 기준설정 연구를 위하여 구축한 유도전동기의 고장모의 시뮬레이터를 제안한다. 유도전동기의 전형적인 Fault인 고정자 턴 단락, 회전자 바 소손, 회전자와 고정자의 정적 및 동적 불평형, 베어링 고장 및 기계적인 언밸런스 등에 의한 현상을 모의하기 위한 축소 모델 시뮬레이터를 제작하였고, 각각의 고장상태에 따른 특성과 이상신호 데이터 처리를 통하여 실시간 고장검출 시스템 설계 및 고장판정 알고리즘을 개발하기 위한 시스템으로 사용하고자 한다.

2. 시스템 구성

2.1 고장모의 시뮬레이터 설계

전동기의 고장진단과 감시기법은 일반적으로 신호취득(signal acquisition), 특징추출(feature extraction), 모드인식(mode recognition), 보수결정(repairing decision) 등으로 구성되고, 이 중에서 입력신호로부터 효과적인 특징 추출과 모드인식이 핵심적인 기술이라 할 수 있다. 최근의 데이터 수집 및 분석은 하드웨어 및 소프트웨어의 발달과 더불어 많은 진보를 거듭하고 있으며, 데이터 수집 및 분석도 순간적으로 이루어지고 있는 실정이다. 따라서 시험을 실시하는 현장에서 바로 데이터 취득, 통계적 처리, 분석 등이 가능하여 건전성의 여부를 즉시 판단할 수 있는 시스템의 개발이 필수적이다[2-3].

그러나 산업현장에서의 활용이 가능한 신뢰성 있는 전동기 감시진단 알고리즘의 개발을 위해서는 고장종류, 부하조건, 센서신호 등에 따른 Database가 충분히 구축되어 있어야 한다[4]. 본 연구에서는 현장 데이터 취득이 용이하지 않고, 현장에서 발생하는 고장종류도 제한적인 점을 극복하고자, 유도전동기를 이용한 고장모의 시뮬레이터를 제작하였고, 이를 바탕으로 핵심 진단기술을 현장에서 온라인으로 적용할 수 있는 고장진단 시스템을 구축할 예정이다.

그림 1은 유도전동기 고장모의 시뮬레이터의 시스템 구성도를 나타낸 것으로서, 테스트 전동기와 구동 인버터, 부하 전동기와 구동 인버터 및 2개 전동기를 기계적으로 연결하는 커플링 부분과 토크센서 등으로 구성하였다. 또한, 시뮬레이터는 유도전동기 시스템의 고장시 발생하는 진동을 주변 Noise성 진동과 차단시키기 위하여 테스트 베이스와 바닥면 사이에 방진장치를 설치하였다.

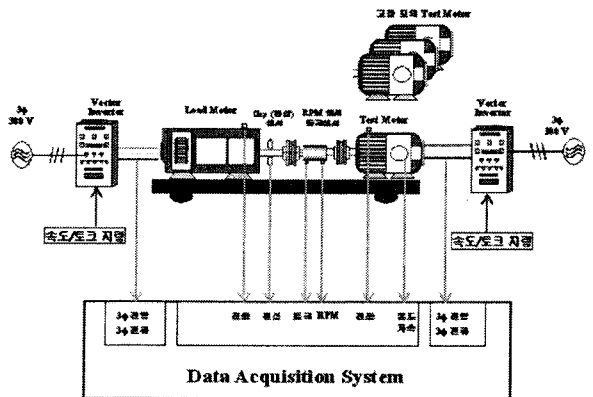


그림 1. 고장모의 시뮬레이터 시스템 구성도

2.2 전동기 제원

유도전동기는 소형에서부터 대형 전동기에 이르기까지 산업현장에서 가장 폭넓게 사용되고 있다. 대부분의 진단 시스템이 대형기 위주로 개발되고 있으나, 본 연구에서는 감시진단 알고리즘 개발을 위한 축소모델 시뮬레이터를 제작하기 위한 고장모의용 전동기로서 7.5 [kW]급 3상 4극 유도전동기를 기본모델로 채용하였고, 여러 가지의 고장을 모의한 전동기를 제작하였고, 신호취득을 위하여 자속측정 센서 및 온도측정 센서(RTD) 등을 전동기의 각상 슬롯 내부에 장착하였다.

유도전동기의 고장모의는 전동기에서 가장 많은 고장이 나타나고 있는 고정자 턴 단락, 회전자 바 소손, 회전자와 고정자의 정적 및 동적인 불평형, 베어링 고장 및 기계적인 언밸런스를 모두 포함시켰고, Data 분석을 위한 고장모의 전동기의 세부적인 제원은 표 1에 나타내었다.

표 1. 유도전동기의 제원

구분	항목	치수
사양	정격 출력 [kW]	7.5
	정격 전압 [V]	220/380
	정격 속도 [rpm]	1760
	정격 토크 [Nm]	40
고정자	슬롯 수	36
	외경 [mm]	220
	내경 [mm]	150
	극 수	4
회전자	공극 [mm]	0.5
	외경 [mm]	149
	적층길이 [mm]	110
	회전자 바 재질	Al

2.3 자속 감지 센서

자속 감지 센서는 전동기 고정자 슬롯 외측에 설치되어 정상 운전 중 회전자의 자속 변화를 측정하게 되며, 센서 삽입 위치는 그림 2와 같다. 자속센서는 서치 코일 형태의 PCB로 제작하여 취부가 간편하고 동일한 위치에 취부함으로써 정밀도를 높일 수 있도록 하였다.

서치 코일에 유기되는 유기전압은 식 (1)과 같은 패러데이(Faraday)의 전자유도 법칙에 의해 권선수와 자속의 함수로 나타난다. 유기전압은 전동기에 고장이 발생하는 경우, 슬롯에서의 채교자속이 차이를 보이므로 건전전동기에 비하여 유기전압의 차이를 가져오게 된다. 본 연구에서는 이와 같은 원리를 이용하여 전동기 이상유무를 감지하여 전동기의 건전성을 분석하고자 한다.

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

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

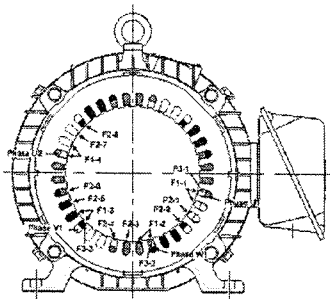
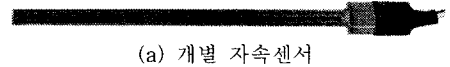


그림 2. 자속 센서 취부 위치

유기되는 전압 파형은 권선 각 슬롯의 누설자속 분포를 나타내며, 회전자 바의 소손, 공극의 불평형, 권선의 열화로 인한 선간 또는 상간 단락에 따라 슬롯에서 유기되는 전압파형의 크기가 다르게 나타나며, 측정된 파형 분석을 통해 고장현상의 원인을 알 수 있게 된다.

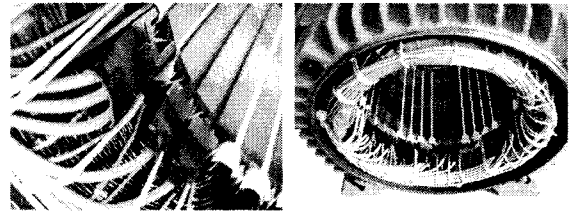
그림 3은 전동기 내부에 삽입된 자속센서를 나타낸다. 자속센서는 2가지 종류로서, (a)는 슬롯에 개별로 삽입되어 자속을 측정하고, (b)는 한 슬롯을 주회하여 자속을 측정한다. 그림 3 (c)는 자속센서가 삽입된 형태를 나타내고 있다. 자속센서는 그림 2에 나타나 있듯이 U, V, W 각상의 최초 입력 슬롯에 삽입하였다. U2는 U의 최초 입력상에서 180도 맞은편 슬롯을 나타낸다.



(a) 개별 자속센서



(b) 주회 자속센서



(c) 자속 센서 취부

그림 3. 자속 감지 센서

2.4 시뮬레이터 구축

그림 4는 고장모의 유도전동기 및 전체 시뮬레이터 구축 시스템을 나타낸다. 전동기의 고장모의는 고정자 턴 단락, 회전자 바 소손, 회전자와 고정자의 정적 및 동적인 불평형, 베어링 고장 및 기계적인 언밸런스를 6가지로 제작하였으며, 본 시뮬레이터에서는 각 고장모의 전동기 내부에서 출력되는 자속신호와 온도신호, 외부에 장착되는 진동센서로부터 출력되는 진동신호, 전동기로 입력되는 전압 및 전류 신호를 실시간으로 측정할 수 있도록 구축되었다.

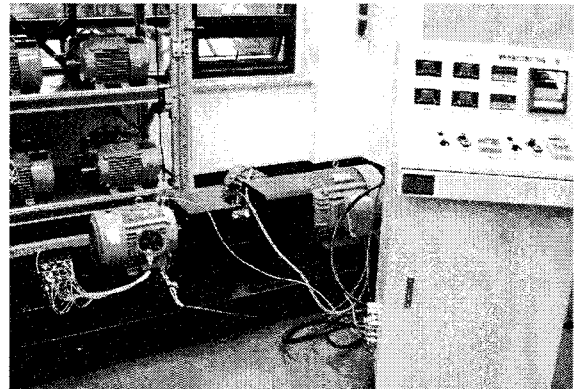


그림 4. 제작된 고장모의 시뮬레이터

3. 특성 해석 및 시험결과

3.1 유도전동기 특성해석

다양한 형태의 고장모의를 위해서는 전동기 자체에 대

한 전자기적 해석이 필수적이다. 따라서 본 논문에서는 테스트 전동기의 전자계 해석과 실험결과를 비교 분석하여 감시진단 알고리즘을 개발함에 있어서 기초자료로 활용하고, 실제 현장적용에서의 신뢰성을 확보할 수 있도록 하였다.

그림 5는 유도전동기의 유한요소 해석을 통한 정상 상태에서의 자속밀도를 나타내고 있고, 이때의 자속선서 출력파형은 그림 6과 같다.

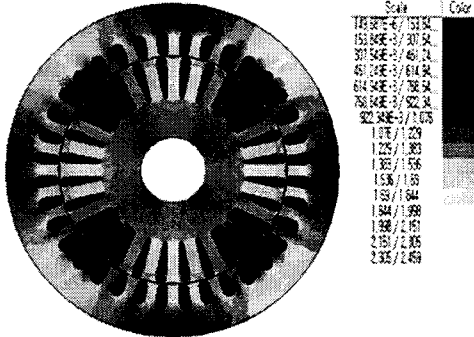


그림 5. 정격 부하시 자속밀도

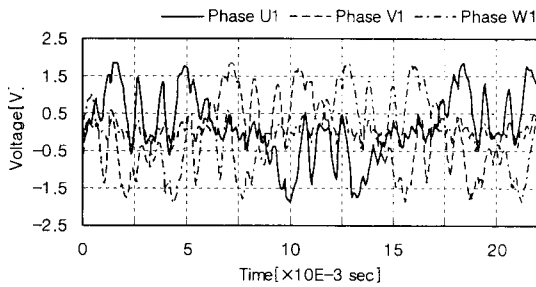


그림 6. 자속선서 출력 해석결과

3.2 전동기 특성시험

시뮬레이터의 동작과 고장모의 전동기 내부의 자속선서 출력파형의 분석을 위해 그림 7과 같이 7.5 [kW] 전부하 상태에서 특성시험을 수행하였다.

그림 8 (a)는 이때의 테스트 전동기 슬롯 내부에 취부된 주회 자속선서의 출력신호를 나타내고, 그림 8 (b)는 개별 자속선서의 출력신호를 나타낸다. 슬롯을 주회한 자속선서의 출력이 개별 자속선서의 출력값 보다 10배 정도 크게 나타남을 알 수 있다.

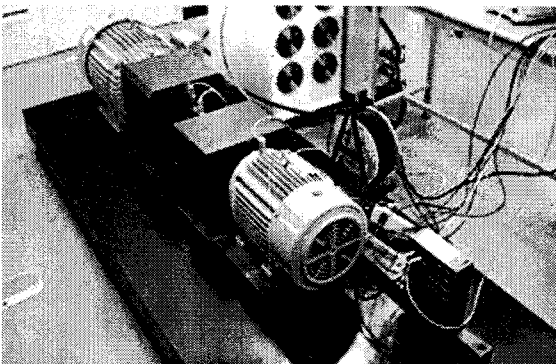
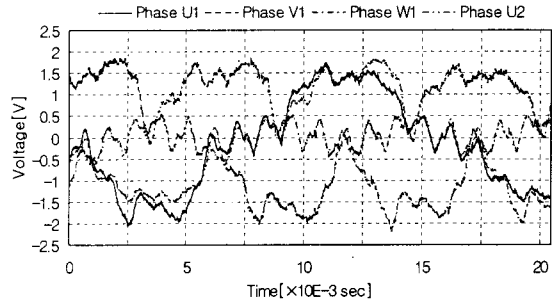
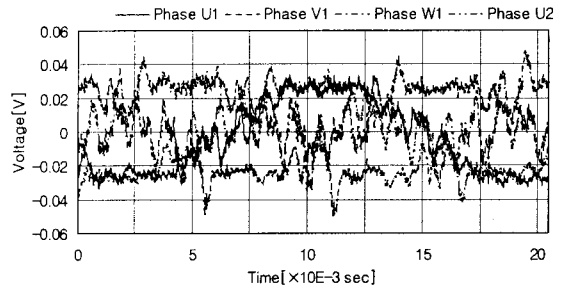


그림 7. 유도전동기 특성시험



(a) 주회 자속선서의 출력 신호



(b) 개별 자속선서의 출력 신호

그림 8. 센서 출력 신호 측정

4. 결 론

본 논문에서는 유도전동기의 전형적인 Fault인 고정자 Turn Short, 회전자 Bar Broken, 회전자와 고정자의 정적 및 동적인 Eccentricity, 베어링 고장과 기계적 불평형(Unbalance) 등에 의한 현상을 모의하기 위한 축소 모델 시뮬레이터를 제작하였다. 7.5 [kW] 3상 유도전동기를 대상으로 각각의 고장상태를 모의하여 제작하였으며, 전동기 시험을 위한 다이내모 시스템을 구축하였다. 본 시뮬레이터는 고장상태별 현상에 따른 전기적, 기계적 특성과 이상신호 Data 처리를 통한 실시간 고장진단 시스템 설계 및 이상관정 알고리즘을 개발하기 위한 초기 구축 시스템으로 사용이 가능할 것이다.

향후, 본 시뮬레이터를 활용하여 유도전동기의 고장별 특징추출, 이상상태 판정 알고리즘 및 감시진단 시스템의 개발을 추진하여 산업현장에 적용함으로써 전동기 고장에 따른 불시정지 및 사고를 미연에 방지할 수 있을 것으로 기대된다.

[참 고 문 헌]

- [1] A.H. Bonnett, "Cause and Analysis of Stator and Rotor Failures in Three-Phase Squirrel-Cage Induction Motors", IEEE Trans. on Industry Applications, Vol. 28, No. 4, pp. 921-936, 1992.
- [2] J.F. Watson, N.C. Paterson, and D.G. Dorrell, "The Use of Finite Element Methods to Improve Techniques for the Early Detection of Faults in 3-phase Induction Motors", IEEE Trans. on Energy Conversion, Vol. 14, No. 3, pp. 655-660, Sep. 1999.
- [3] M. Haji and H.A. Toliyat, "Pattern Recognition - A Technique for Induction Machines Rotor Broken Bar Detection", IEEE Trans. on Energy Conversion, Vol. 16, pp. 312-317, Dec. 2001.
- [4] 황돈하 외, "자속추정에 의한 유도전동기의 회전자 진동감시 기법", 2005년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집 전기설비부분, pp. 48~50, 2005. 7. 18-20.