

인버터 구동 유도전동기의 고정자 권선 단락 시 자속센서를 이용한 고장진단

손동혁¹, 김도선¹, 황돈하², 조운현¹

¹동아대학교 전기공학과, ²한국전기연구원 전력설비진단연구그룹

Diagnosis of stator fault using flux sensor in induction motor drive

Dong-Hyeok Son¹, Do-Sun Kim¹, Don-Ha Hwang², Yun-Hyun Cho¹

¹Dong-A University, ²Korea Electrotechnology Research Institute

ABSTRACT

본 논문에서는 유도전동기에서 발생하는 고장들 중에서 고정자 권선 단락 고장 특성 해석과 고장 판별에 대한 방법을 제시한다. 고정자 권선 단락을 판별하기 위해서 단락상태의 고정자를 모델링하여 3상 전류 불평형과 공극자속밀도에 대한 유한요소해석을 수행하였다. 유한요소해석으로 얻어진 결과의 타당성을 입증하기 위해 실험을 통하여 전류와 공극자속에 대한 유기기전력 측정값을 비교하였다. 공극자속의 유기기전력을 측정하기 위해 고정자 슬롯에 자속센서를 취부하였다. 고정자 권선 단락 시 3상 전류는 불평형을 이루고 공극자속밀도가 감소되어 유도전동기의 고정자 고장을 판별하는 기초자료가 된다.

1. 서 론

회전기기의 결함 진단에 대한 연구는 전기계 시스템의 측정 및 진단시스템 기술과 신뢰성을 확보하기 위한 예측 보전 기술 개발로 발전되어 왔다. 회전기기의 고장은 커다란 생산저하와 막대한 경제적 손실을 가져오기 때문에 정기적인 점검과 예방 정비 등의 보수비용이 증가하고 있다. 따라서 설비의 상태를 정량적으로 파악하고, 이상 및 고장의 영향을 예지, 예측하는 실시간 진단 기술이 중요해 지고 있다.

유도전동기의 고장은 크게 3가지로 나뉜다. 고정자 권선, 회전자, 베어링 부분에 대한 고장이다. 고장유형 중 고정자 권선 고장은 유도전동기 고장의 37%에 해당한다^[1]. 고정자 권선에 대한 단락은 과부하에 의하여 전동기의 온도가 높아져 권선의 절연이 파괴, 절연의 취약 또는 열화로 인하여 발생하는 층간 단락, 권선의 열화나 절연이 취약하여 선간 교차부분이 서로 단락되는 선간단락, 권선의 취약부분에서 전동기 전체에 누설 전류가 흘러서 생기는 권선지락, 순간 유입되는 과전압이 권선의 내전압을 초과하여 생기는 소손등의 원인으로 고정자 권선에서 고장이 발생한다^[2].

본 논문에서는 유도전동기의 고정자 권선 고장을 운전 중에 검출할 수 있는 방법을 제안한다. 축방향 쇄교자속을 측정하면 부임피던스나 전류 그리고 역상 성분의 값을 얻을 수 있다. 고정자 턴 단락 고장이 발생하면 고정자 권선 턴 수가 없어지는 것과 같다. 이것은 공극자속밀도 영향이 줄어들어 기자력이 감소된다. 뿐만 아니라, 단락된 권선으로 흐르는 전류는 역방향 기자력을 발생시킨다. 전동기 내부에 생기는 기자력의 흐름을 측정하기 위해 고정자 슬롯 내에 자속센서를 취부하고 공극자

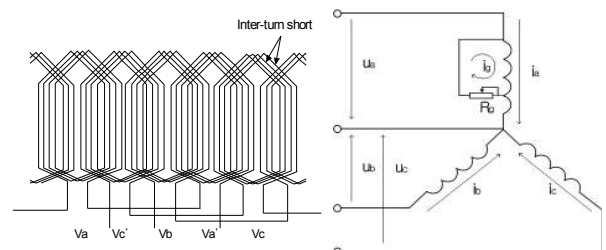
속밀도를 측정하여 고정자 권선 고장에 대한 상태를 감지할 수 있다. 이에 앞서 유도전동기의 고정자 권선 단락에 대한 전자 기적 특성을 유한요소 해석을 통해 시뮬레이션 하고, 정상 모델과 고장 모델의 공극자속밀도 변화에 대한 특성을 분석한다^{[3][4]}. 또한, 실험을 통하여 자속센서 출력파형을 해석과 비교하여 해석의 정확성과 제안된 실험방법의 타당성을 검증하였다.

2. 본 론

2.1 고정자 턴 단락에 따른 특성

표 1. 유도전동기 제원

Power	7.5[kW]	Air gap	0.5[mm]	
Voltage	380[V]	Lamination	110[mm]	
Frequency	60[Hz]	Pole	4	
Speed	1768[rpm]	Stator	Outer	220[mm]
			Inner	150[mm]
			Slot	35
Torque	40[N·m]	Rotor	Outer	149[mm]
			Inner	43[mm]



(a) 고정자 권선도 (b) 고정자 권선 단락 회로
그림 1 유도전동기 고정자 권선 단락

유도전동기 고정자 권선 단락은 고정자 권선의 열화나 절연이 취약하여 발생되며, 소손된 고정자 상은 권선단락으로 인하여 상 임피던스가 줄어들기 때문에 3상 임피던스는 불균형을 이루고 그로인해 3상 전류 불균형이 발생된다. 고정자 권선 단락에 따른 전자계 현상을 연구하기 위해 B상의 권선을 정상적인 턴수 보다 각각 5턴, 10턴 단락하여 해석하였다. 권선 단락에 따른 자속의 변화를 검출하기 위하여 각 상의 첫 번째 슬롯에 자속센서를 장착하여 유기기전력의 변화를 측정한다.

2.2 고정자 자속 측정 센서

자속 센서는 유도전동기의 슬롯과 치에 설치되어 공극자속의 변화를 측정한다. 그림 2는 유도전동기 고정자에 설치된 자속 센서를 보여준다. 이 자속센서는 페러데이의 전자유도법칙을 이용하였다.

$$e = -N \frac{d\phi}{dt} [V]$$

(1)

센서 중앙으로 쇠교자속이 지나가면 유기기전력이 발생되고 이 유기기전력을 측정하여 공극자속의 양을 측정할 수 있게 된다. 자속 센서의 유기 전압은 층간단락이 발생하는 경우 슬롯에서의 턴 수가 감소하여 쇠교 자속이 변하게 되어 자속센서에 유기되는 전압이 다르게 나타난다. 자속센서에 유기되는 전압 파형은 계자 권선 각 슬롯의 누설 자속 분포를 나타낸다. 자속 센서의 위치를 각 상의 슬롯에 설치하여 3상 중 하나의 상이 단락되었을 경우, 자속센서들의 출력 전압의 파형 분석을 통해 층간 단락이 발생한 상과 위치를 알 수 있다.

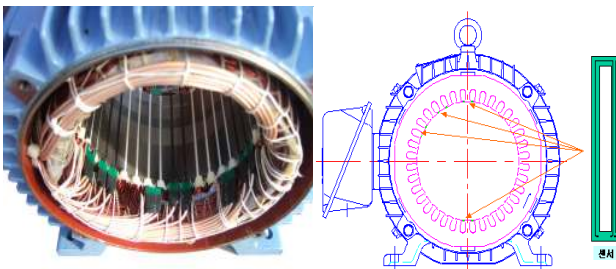


그림 2 유도전동기 고정자 내부 자속 센서 장착 및 위치

2.3 특성 해석 및 고찰

2.3.1 고정자 권선 단락 전류

그림 3은 정격 속도에서의 고정자 전류 해석 파형을 나타낸다. B상에서 내부 권선 10턴 단락 되었을 때 전류 파형으로 내부 권선이 단락됨에 따라 전류의 비대칭성이 일어난다.

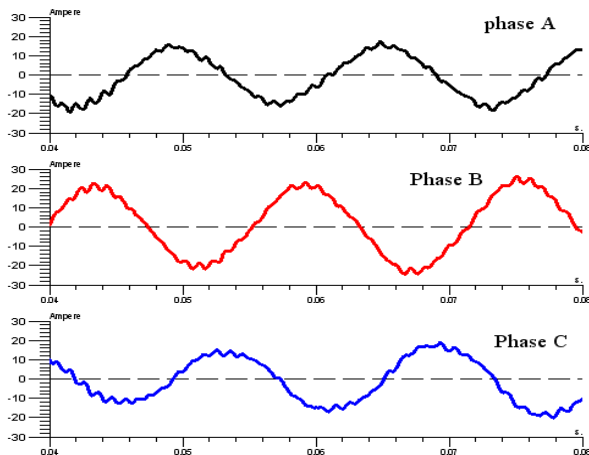
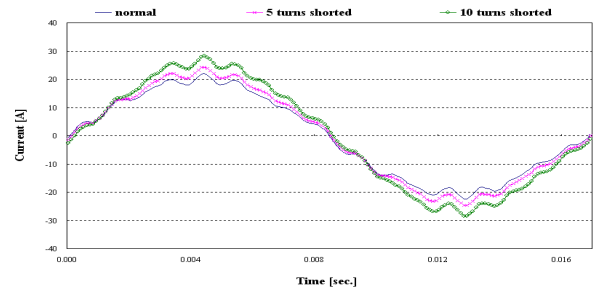


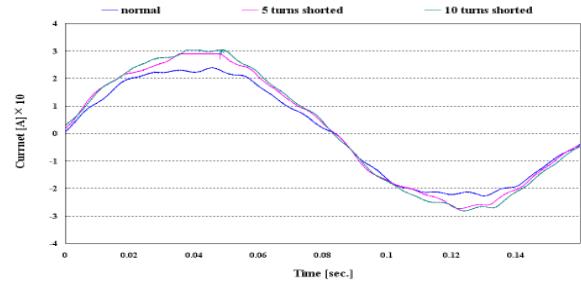
그림 3 유도전동기 B상 고정자 10턴 단락

그림 4는 유도전동기 고정자 턴 단락에 따른 B상 전류를 나

타낸다. 그림 4(a)에서 전류 피크값이 10턴 단락에서 가장 크며 정상상태가 가장 낮게 나타났다. 단락되는 턴 수가 증가함에 따라 이에 비례하여 권선 저항도 낮아져 전류가 증가하게 된다고 볼 수 있다. 그림 4(b)는 실험 전류 파형으로 해석과 마찬가지로 단락된 턴 수가 증가할수록 전류의 피크값은 높아진다. 그림 4(a)에서 회전자 바 스쿠는 고려되지 않았다.



(a) 고정자 권선 고장 해석



(b) 고정자 권선 고장 실험

그림 4 유도전동기 B상 전류 파형

2.3.2 유기기전력

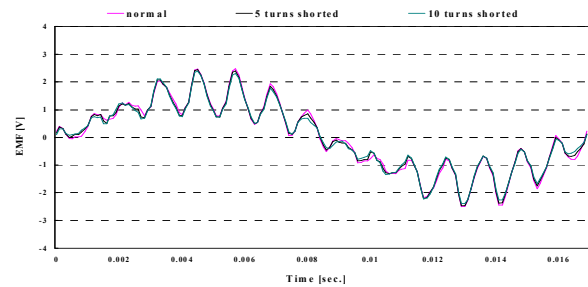
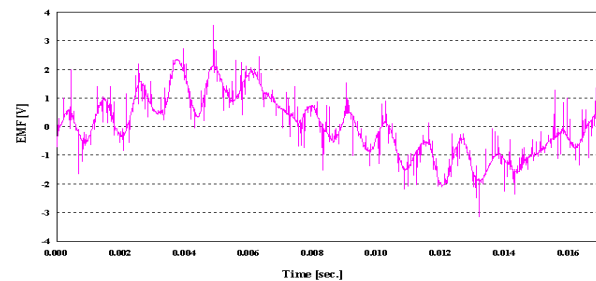
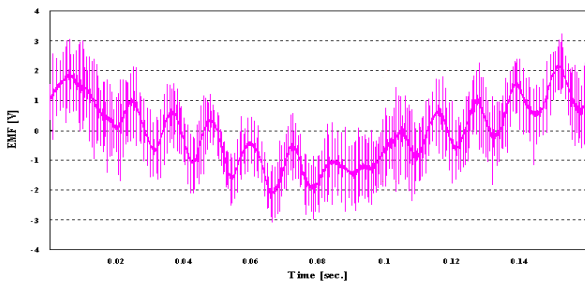


그림 5 자속센서의 유기기전력 (해석)

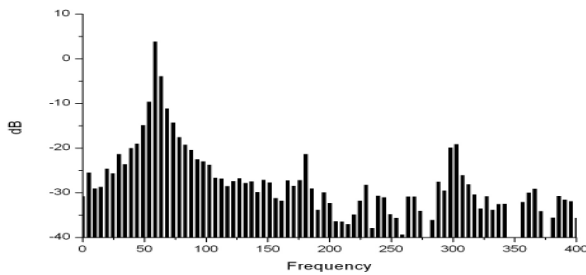


(a) 정상상태

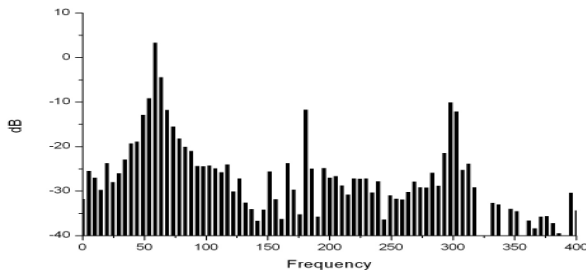


(b) 10턴 단락상태
그림 6 자속센서의 유기기전력(실험)

그림 6은 자속센서에 유기된 기전력 파형을 나타낸다. 실험 결과 유기기전력의 피크 대 피크 값은 정상 모델에서 4.5[V], 10턴 단락 모델에서 4.14[V]로 나타내었다. 이 결과로 볼 때 정상인 경우에 비하여 턴 단락이 발생하였을 때 자속센서의 유기 기전력이 감소되고 턴 단락 수가 증가할수록 그 차이는 더 커짐을 알 수 있다.



(a) 정상상태



(b) 10턴 단락상태
그림 7 자속센서 유기기전력의 FFT 분석

그림 7은 정상상태와 고정자 단락 상태의 전동기에 취부된 자속센서 유기기전력을 FFT 분석을 비교한 것이다. 기본주파수는 60hz이다. 고정자 권선단락 전동기에서 정상상태의 전동기 보다 제 3고조파와 제 5고조파의 크기가 더 크게 나타난다. 고정자 권선 고장 시 제 3고조파와 5고조파의 크기가 증가됨을 알 수 있다.

3. 결 론

본 논문에서는 3상 농형 유도전동기의 고정자 권선 단락이 발생하였을 때 3상 고정자 전류와 자속센서를 이용하여 공극자속의 특성 변화를 연구하였다. 또한 해석결과와 실험결과를 비교하여 해석의 타당성을 검증하였다. 고정자 권선 단락으로 인하여 3상 전류 불평형이 생기고 권선 단락이 많이 될수록 전류의 피크값은 커진다는 것을 확인하였다. 유도전동기 슬롯 내부

에 서치 코일 형태의 자속 센서를 삽입하여 정상모델과 고정자 권선 고장 모델의 유기기전력을 비교하여 고정자 권선 고장의 여부와 상태를 확인 하였다. 차후 고정자 권선 고장시 제 3고조파와 제 5고조파에 대한 데이터를 수집하여 이에 대한 분석을 실시하고 다른 유형의 고장 발생 시 고조파에 대한 분석 및 비교를 실시할 것이다. 고정자 권선 단락의 특성연구를 기초로 하여 고장진단 시스템을 위한 알고리즘 개발로 진행할 계획이다.

본 연구는 교육과학기술부와 한국산업기술재단의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과임

참 고 문 헌

- [1] Motor Reliability Working Group, "Report of Large Reliability Survey of Industrial and Commercial Installations, Part I and II", Transaction on Industrial Applications, IEEE, Vol. IA-21, No. 4, July/August 1985
- [2] S. Nandi, H.A Toliyat, "Condition Monitoring and Fault Diagnosis of Electrical Machines-A Review", Industry Application Conference, 1999, Thirty-Fourth IAS Annual Meeting Conference Record of the 1999 IEEE, Volume 1, 3-7 Oct. 1999
- [3] 황돈하 외, "유도전동기 고장모의 시뮬레이터 개발", 2006년도 대한전기학회 EMECS부분회 춘계학술대회 논문집, pp. 182~184, 2005. 4.20~22
- [4] Mi-Jung Kim, "Analysis of Inverter-Fed Squirrel-Cage Induction Motor During Eccentric Rotor Motion Using FEM", IEEE Transaction on Magnetics, Vol. 44, No 6, June 2008