

IGBT 인버터구동 유도전동기의 회전자 편심 특성 해석

김미정, 김병국, 문지우, 조윤현, 황돈하*, 강동식*
 동아대학교 전기공학과, *한국전기연구원 전력설비진단연구그룹

Analysis of IGBT Inverter controlled Squirrel Cage Induction Motor during Eccentricity Rotor Motion

Mi-Jung Kim, Byong-Kuk Kim, Ji-Woo Moon, Yun-Hyun Cho, Don-Ha Hwang*, Dong-Sik Kang*
 Dong-A University, *Korea Electrotechnology Research Institute (KERI)

Abstract - Asymmetric electro-magnetic force caused by the frictional worn bearing, rotor misalignment and unbalanced rotor etc. generates an asymmetrical operation, vibration and electro-magnetic noise. The need for detection of these rotor eccentricities has pushed the development of monitoring methods with increasing sensitivity and noise immunity. This paper is proposed the analysis method of the squirrel-cage induction motor driven by IGBT inverter using finite element method (FEM) and subroutine. The effect of the unbalanced magnetic pull in the inverter-fed induction motor which is in asymmetrical whirling motion is presented. The analysis results of rotor eccentricity could compare with motors which have been made normal air-gap motor and irregular air-gap motor and verify reliability. The simulation and experiment results can be useful for on-line faults detection monitoring system of induction motors.

1. 서 론

유도전동기는 구조가 간단하고 보수가 용이하며 가격이 저렴하여 산업 전반에 널리 사용되고 있다. 생산 현장의 주된 동력원인 유도 전동기의 고장이 발생할 경우, 전동기의 수명 단축 및 생산 공정에서 생산성의 저하를 초래할 뿐만 아니라 시스템의 신뢰도 저하 및 유지 보수를 위한 인력, 재정, 및 시간의 손실이 추가적으로 발생하므로 고장의 검출 및 진단은 매우 중요하다. 유도전동기의 상태를 감시하기 위해 상업적으로 유용한 장치와 기법들이 많이 발표되었지만, 여전히 예기치 않은 시스템 고장과 그로 인한 전동기 수명 감소라는 문제에 직면해 있다. 전동기 수명을 단축시키는 원인으로는 환경적인 요인, 작업량, 제작 및 설치 문제 등이 있다[1].

최근 들어 벡터 제어(vector control)등과 같은 제어 기법의 발전에 따라 유도전동기의 제어 성능이 향상됨에 따라 기존에 직류전동기가 사용되던 고정밀, 고성능 산업용 기기 등보다 정밀한 동작을 요구하는 시스템 등으로 점차 그 활용 범위가 넓어지고 있다. 그러나 제어가 포함된 유도전동기는 고정자 전류가 제어기와 인버터(inverter)의 영향을 받므로, 원래 가지고 있던 시스템 상태에 관한 정보를 잃어버리게 되므로 고장 검출 및 분류가 어렵게 된다. 그러므로 인버터 구동 유도전동기의 결함을 정확히 진단하는 것은 매우 중요하다[2].

본 논문에서는 IGBT 인버터 구동용 유도전동기의 회전자 편심 발생에 따른 전자계 특성을 고찰하였으며 이 결과를 이용하여 고장 검출 및 진단 알고리즘의 기반을 제시한다. 또한 모의 고장 전동기 실험 테스트를 통한 측정치와 비교, 검토하여 해석을 통한 결과 값의 신뢰성을 검증한다.

2. 본 론

2.1 회전자 편심

유도전동기에 있어 회전자 편심은 진동 발생의 가장 큰 원인으로 작용하며, 크게 정적 편심(static eccentricity)과 동적 편심(dynamic eccentricity)으로 나눌 수 있다. 정적 편심은 회전자가 회전자 축을 중심으로 회전하지만, 그 축이 고정자 축에서 이탈해 있는 경우로서, 정적 편심에서는 공극의 길이가 위치에 따라 초기에 이미 정해져 운전 시에도 변하지 않는다. 동적 편심은 회전자가 고정자 축과 동일한 축을 중심으로 회전하지만, 그 회전축이 회전자의 축과 동일하지 않은 경우이며, 운전 시 공극이 수시로 변하게 된다[7]. 그림 1은 유도전동기의 회전자 편심을 나타내고 있다. (a)는 정상적인 경우이며 (b)는 정적 편심, (c)는 동적 편심을 나타낸다[3].

편심에 의한 전자계 특성은 유한요소법을 이용하여 계산하였으며, PWM 스위칭 파형은 서브루틴을 사용한 외부회로도를 연결하여 생성하였다.

<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
	회전자 바	Al

회전자의 편심은 공극에서 Unbalanced Magnetic Pull (UMP)를 조장하게 되어 휘돌림 진동을 야기한다. UMP는 맥스웰 응력법(Maxwell stress tensor)에 의해 식 1과 같이 구할 수 있다.

$$F = \int_s \sigma ds = \int_s \left[\frac{1}{\mu_0} b_n b_t e_t + \frac{1}{2\mu_0} (b^2 - b_t^2) e_n \right] r d\alpha \quad (1)$$

여기서, b 는 공극자속밀도, b_n , b_t 는 자속밀도의 반경성분 및 접선성분, e_n, e_t 는 반경 및 접선 방향의 기초 벡터, r 은 회전자 반경, α 는 원주 방향의 각 좌표를 나타낸다. 자속밀도의 접선성분 b_t 를 무시하면, 맥스웰 응력 텐서는 식 2와 같다.

$$\sigma = \frac{1}{2\mu_0} b_n^2 \quad [N/m^2] \quad (2)$$

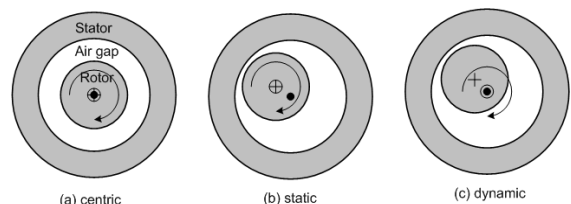
불평형 전자기력은 슬립에 전류주파수의 2배 성분을 곱한 값으로 맥동한다. 이 순 불평형력은 회전 주파수로 회전하고, 회전 주파수 성분의 진동을 일으킨다.

2.2 FEM 의한 해석

유한요소 해석에 사용되는 자계 방정식은 2차원 좌표계에서 자기 벡터 포텐셜(magnetic vector potential)을 식 3과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{1}{\mu} \frac{\partial A_z}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{1}{\mu} \frac{\partial A_z}{\partial y} \right) = -J_{ext} + \sigma \left(\frac{\partial A_z}{\partial x} - \vec{v} \times \vec{B} - \nabla \phi \right) \quad (3)$$

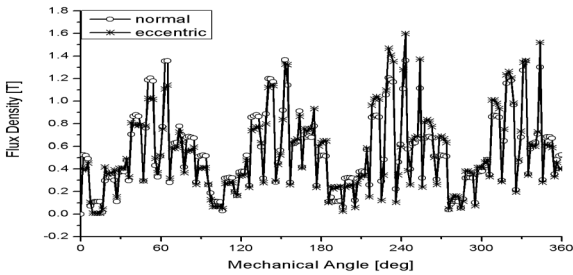
여기서, A_z 는 z축 방향 자기 벡터 포텐셜, J_{ext} 는 입력전류 밀도, \vec{v} 는 회전자 속도, ϕ 는 전기 스칼라 포텐셜, σ 는 회전자 바의 전도율을 나타낸다.



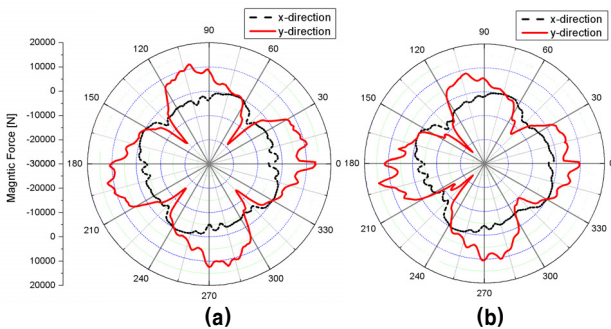
<그림 1> 회전자 편심

2.3 특성해석 및 실험고찰

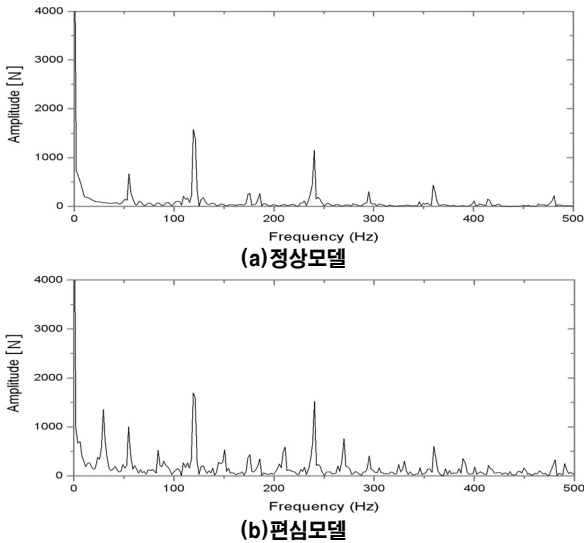
본 연구에서는 유한요소해석 프로그램인 Flux 2D를 이용하여 유도전동기를 삼각형 요소, 시간 스텝으로 모델링 하였으며 회전자 편심을 고려하기 위하여 공극은 3개의 층으로 분할하였다. 실제 테스트에 사용된 유도전동기는 샤프트의 굽힘 현상에 의한 동적 편심을 가지고 있으며, 외부에서 프레스 압력을 가해 샤프트에 0.3mm의 편심을 주었다.



〈그림 2〉 정격속도 운전 시 공극자속밀도



〈그림 3〉 정격속도 운전 시 자기력 (a)정상모델 (b)편심모델



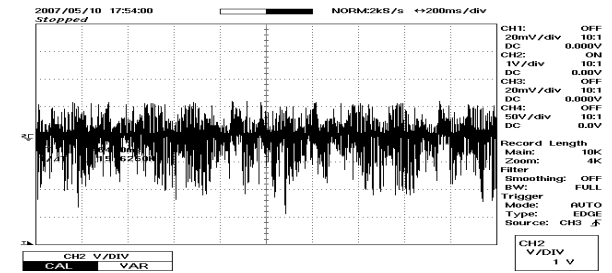
〈그림 4〉 자기력의 주파수 스펙트럼

공극 편심으로 인하여 자속 밀도는 비대칭 구조를 가지게 된다. 그림 2는 정격속도로 운전할 때 공극 자속밀도를 나타낸다. 정상모델의 공극 자속은 일정한 최대값을 가지지만, 편심이 일어난 모델은 최소 공극점과 최대 공극점에서 최대 자속밀도의 차이가 남을 알 수 있다. 이는 곧 UMP의 원인이 된다. 그림 3은 정격속도 운전 시 공극에서의 자기력을 나타낸다. 편심이 발생 할 시 최소 공극점에서의 자기력이 정상 상태 시 자기력보다 큰 값을 가지며, 최대 공극점에서는 정상 상태 자기력보다 편심 상태 자기력이 감소함을 알 수 있다.

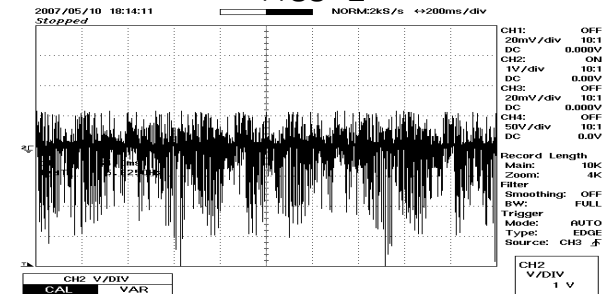
그림 3은 자기력의 주파수 스펙트럼을 구한 것이다. 전원 주파수가 60Hz 이고 2개의 극 쌍 수를 가지므로 120[Hz] 및 2배수 240[Hz], 3배수 360[Hz] 성분들이 발생하고 있다. 편심이 야기됐을 시 고조파성분이 많이 증가함을 볼 수 있다. 특히 2배수 성분이 크게 증가하고 있으며 이는 편심에 기인한다.

그림 5는 모의 고장 전동기 중심부문에 진동센서를 장착하여 회전자 편심 발생 시 진동현상을 측정한 그림이다. 불평형 자기력에 의해 편심 전동기의 진동 리플이 정상 전동기보다 더 심화됨을 볼 수 있다.

그림 6은 전동기 특성 측정을 위한 시스템을 나타낸다.

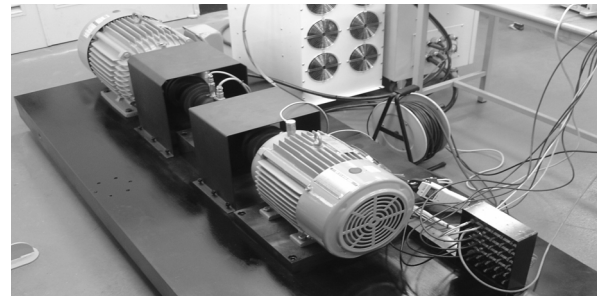


(a)정상모델



(b)편심모델

〈그림 5〉 진동 측정



〈그림 6〉 유도전동기 특성 시스템

3. 결 론

본 논문에서는 유한요소해석을 이용하여 IGBT 인버터 구동 3상 농형 유도전동기에 있어서 회전자 동적 편심에 따른 특성 고찰 및 진단 시 물레이터 개발을 위하여 전자적 현상을 연구하였다. 편심으로 인하여 공극 자속밀도의 분포 차이가 발생함에 따라 자속밀도의 불균형, 불평형 자기력이 발생하며, 이로 인해 유도전동기의 회전자 진동을 유발함을 고장모의 유도기의 실험을 통하여 알 수 있었다. 본 논문에서 제시한 해석 결과를 통하여 회전자 고장감시 알고리즘 개발의 기반이 될 것으로 기대된다.

본 논문은 산업자원부의 지역혁신인력양성사업 주관과 한국전기연구원 기본연구사업의 위탁으로 수행된 연구결과임.

[참 고 문 헌]

- [1] 황돈하 外, “유도전동기의 회전자 진동에 따른 공극의 자속변화 해석”, 2004 대한전기학회 전기기기 및 에너지변환시스템분회 춘계학술대회 논문집, pp. 62~64, 2004.
- [2] J. Wang and S. McNerny, “Insulation Fault Detection in a PWM Controlled Induction Motor-Experimental Design and Preliminary Results”, Harmonics and Quality of Power, Ninth International Conference, 2:487-492
- [3] D.H. Hwang, et al., “Analysis of a Three Phase Induction Motor under Eccentricity Condition”, IEEE IECON 2005, North Carolina, USA, pp. 2609~2613, Nov. 6-10, 2005.
- [4] H.A. Toliyat, et al., “A Method for Dynamic Simulation and Detection of Air-Gap Eccentricity in Induction Machines”, IEEE Trans. on Industry Applications, Vol. 32, No. 4, pp. 910-918, Jul./Aug. 1996.