

자속측정에 의한 유도전동기의 회전자 진동감시 기법

황 돈 하*, 이 기 창*, 강 동 식*, 김 용 주*, 최 경 호**, 이 진 희***

*한국전기연구원, **경북전문대학, ***포항산업과학연구원

A Method for Rotor Vibration Monitoring of Induction Motor by Flux Measurement

Don-Ha HWANG*, Ki-Chang LEE*, Dong-Sik Kang*, Yong-Joo KIM*, Kyeong-Ho CHOI**, Jin-Hee LEE***
Korea Electrotechnology Research Institute (KERI), Kyungbuk College**, RIST***

Abstract - In this paper, a new approach monitoring rotor vibrations in a squirrel-cage induction motor is proposed. The air-gap flux variation analysis was done using search coils inserted in stator slots when rotor vibration conditions occur. An accurate modelling and analysis of air-gap flux variation in the induction motor are developed using finite-element(FE) software packages, and measuring the flux are made using search coils. In the FE analysis, the three-phase squirrel-gage induction motor with 380 [V], 5 [HP], 4 Poles, 1,742 [rpm] ratings is used. The results of FE analysis can be useful for on-line vibration monitoring of the induction motors.

전동기의 소손에 대한 감시기법으로는 공극의 자속감시나 온도측정, 회전자 속도측정, 진동측정, 전류파형 측정 등에 대한 연구가 활발히 이루어졌다. 그중에서 가장 많은 관심을 보였던 전류파형 감시 시스템은 여러 가지의 부수적인 장치들이 필수적으로 요구된다. 또한, 전동기의 고장감시 시스템은 다양한 형태의 고장으로부터 원인별 대응능력까지 신속하게 진단하여 빠른 시간 내에 교체나 수리가 이루어져야 한다. 이를 위해서 고장원인별 데이터베이스 확보가 필수적이라고 할 수 있다. 최근 들어 마이크로프로세서, 컴퓨터 및 네트워크 기술이 발달됨에 따라 전동기의 고장 원인별 분석이 가능해졌으며, 그에 따른 데이터 축적도 이루어지고 있다. 또한, 산업현장에서는 전동기의 고장감시를 위하여 보다 저렴하고 간편한 방법을 활용하여 전동기의 상시 운전상태나 고장상태를 감시할 수 있도록 연구되고 있다.

1. 서 론

최근, 유도전동기의 고장예측과 적절한 교체시기 선정을 위한 연구가 많이 이루어지고 있고, 대부분의 연구가 전동기의 고장유형에 따른 감시 및 진단 시스템을 구축하여 전동기의 이상 징후를 사전에 예측하는 방법에 관한 것으로서, 고장발생 이전에 적절한 정비 및 교체계획을 수립할 수 있도록 하는 것이 목적이다. 그러나 유도전동기의 이상상태 감시 및 진단기법의 신뢰성을 향상시키기 위해서는 고장유형에 따른 전동기의 특성분석과 함께 실험 및 이론적 데이터베이스가 필수적이다.

본 논문에서는 유도전동기 회전자의 고장에 따른 감시 및 진단 시스템을 구축하기 위해서, 회전자 편심, Broken Bar 등에 의해 발생하는 진동유형 분석기법을 제안한다. 유도전동기 회전자 Bar의 고장에 따른 특성과 편심에 의한 회전자 진동특성을 공극의 자속밀도 변화를 해석함으로써 진동유형을 분석하였다. 해석에 사용된 전동기는 220/380 [V], 5 [HP], 4극, 1742 [rpm] 정격의 3상 농형 유도전동기이며, 공극에서의 자속변화를 분석하기 위하여, 자속센서(서치코일)를 고정자 슬롯에 부착하여 공극에서의 쇄교자속, 공극 자속밀도, 서치코일 유기전압 등을 해석함으로써, 회전자 Bar 고장과 편심 등에 의해 나타나는 전동기의 특성변화를 분석한 결과를 제시하였다.

2. 유도전동기의 진동

산업분야에서 유도전동기에 대한 의존도가 높아지면서 전동기의 소손으로 인한 손실도 증가하고 있다. 과거 몇년 동안 이러한 손실을 줄이기 위하여 많은 연구가 이루어지고 있으나, 아직도 미비한 상태이다. 전동기의 소손은 대부분 회전자의 이상으로 발생하는 경우가 대부분이며, 이것은 설계, 제작상의 오류에 의한 원인과 운전중에 발생하는 베어링 마모나 이상운전이 원인인 경우가 대부분을 차지하고 있다. 전동기의 진동감시 기법은 전동기의 이상에 따른 빠른 대처로 소손을 미연에 방지하여 경제적인 손실을 줄이는 것을 목적으로 하고 있다.

2.1 유도전동기의 진동유형

가. 회전자 편심에 의한 진동

유도전동기 진동의 가장 큰 요인인 회전자 불균형에 의한 회전자의 편심(Eccentricity)은 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, 전동기가 운전 시 공극이 수시로 변화하게 된다.

회전자 편심에 의한 진동 발생 시 공극의 자속변화는, 정적 편심인 경우에는 위치에 따라 공극의 자속이 다르게 나타나므로 2개 이상의 위치에서 자속을 검출해야 한다. 동적 편심의 경우에는 공극의 자속이 주기성을 가지고 계속 변하게 되므로 1개 지점에서만 자속을 검출해도 충분히 그 원인을 분석할 수 있다.

나. 회전자 Broken Bar에 의한 진동

유도전동기 회전자 Bar의 소손은 제작 불량이나 운전 조건에 의한 파손 때문에 발생하며, Bar의 부분적인 소손으로 인하여 균등하게 놓여진 Bar에 흐르는 전류가 불균등하게 됨으로써 공극 자속의 변화를 초래하고, 결국에는 회전자의 진동을 발생시키게 된다.

2.2 자속검출

회전자의 진동은 공극변화를 가져오게 되므로 공극에서의 자속변화가 발생된다. 본 연구에서는 이러한 기본적인 원리를 이용하여 공극에서 자속을 측정하여 진동을 감시하는 방법을 선택하였다. 자속검출을 위해서 서치코일을 자체 제작하였으며, 서치코일은 자속검출과 제작, 조립 등 다양한 측면을 고려하여 기판형식으로 제작하였으며, 또한 고정자 치와 치 사이에 부착하는 형태와 고

정자의 티스(Tooth)를 중심으로 양쪽에 코일을 감는 형식의 두가지 형태로 제작하였다. 서치코일은 20 turn, 18 [Ω]의 값을 가지도록 제작되었다. 그림 1은 서치코일의 부착방법과 외부회로도 보여주고 있다. 외부회로는 해석시 서치코일에 유기되는 전압을 알기 위하여 사용하였다.

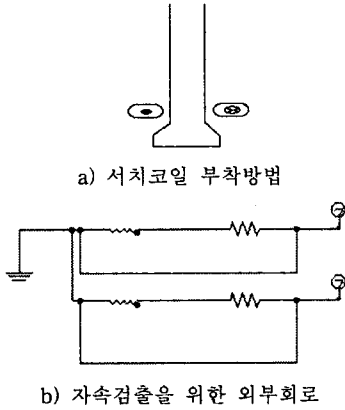


그림 1. 자속검출을 위한 서치코일 및 회로도

3. 진동 해석

3.1 진동해석을 위한 모델링

유도전동기 회전자자의 진동해석은 상용 전자계 해석 프로그램인 Maxwell 2D를 활용하였으며, 회전자자의 진동상태를 공극변화로 전환하기 위해 FEM 시뮬레이터를 이용하여 설계하였다. 서치코일의 부착위치는 고정자의 Tooth 부분에 설치하였으며, 전동기 진동 원인별 공극자속의 변화를 분석하기 위하여 우선적으로 정상상태에서 공극자속의 변화를 비교하였다.

가. 회전자 편심인 경우

본 연구에서는 정적편심인 경우에서 진동해석을 위한 모델링을 하였다. 동적 편심은 공극의 변화가 너무 심하여 상용 프로그램을 활용한 해석 모델링과 계산하는데 어려움이 있다. 정적편심의 경우는 최대공극과 최소공극의 변화가 일정하게 나타나므로 회전체 중심을 기준으로 회전자자의 거리를 다르게 하여 모델링하였다. 또한 최대공극과 최소공극에서 동시에 자속변화를 알 수 있게 하기 위하여 자속검출을 위한 서치코일을 각각의 위치에 설치하였다.

나. 회전자 Broken Bar인 경우

회전자 Bar의 소손은 제작불량이나 운전조건에 의한 파손으로 나타나며 부분적인 소손으로 인하여 균등하게 놓여진 Bar에 흐르는 전류가 불균등 하게 됨으로서 공극의 자속변화를 가져오게 되어 진동을 발생 하는 원인으로 나타나고 있다. Bar의 파손 수량에 따라 일반적으로 다르게 나타나며, FE해석을 모델링에서는 Bar의 재질을 변화시켜 2차 전류의 흐름을 제한하여 모델링 하였다.

3.2 진동유형에 따른 해석결과

해석은 우선 정상상태에서 해석을 수행하여 진동상태에서 일어날 수 있는 전동기 특성이나, 서치코일에 유기되는 전압을 구하였다. 그 다음에 각각의 진동형태에 따른 특성을 해석하여 그 결과를 비교하였다. 그림 2~4는 정상상태, 편심상태, 브로큰바 상태에서의 전류파형을 나타내고 있다.

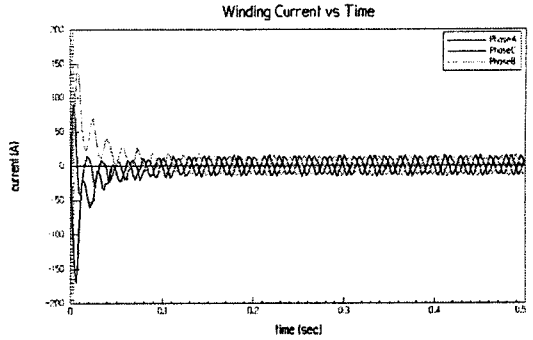


그림 2. 정상상태의 3상 전류파형

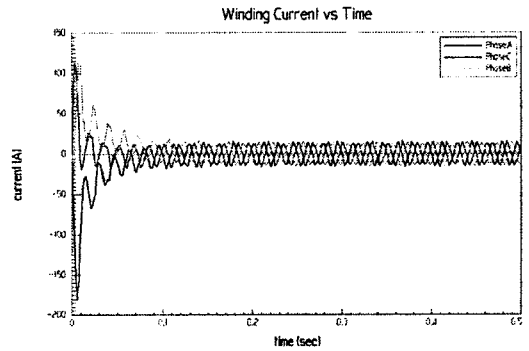


그림 3. 편심에 의한 진동시 3상 전류파형

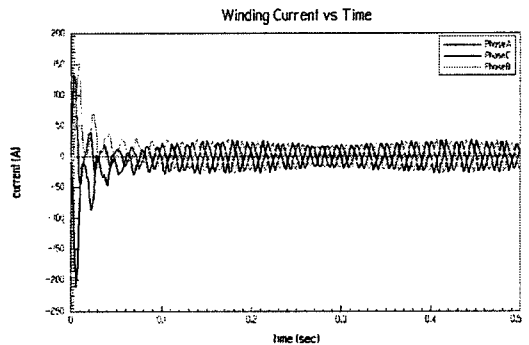


그림 4. Broken Bar에 의한 진동시 3상 전류파형

그림 2~4에서 정상상태인 경우는 3상 전류파형이 변화가 없이 일정하게 나타나는 것을 볼 수 있지만, 편심 및 Broken Bar 상태의 경우에는 주기적으로 전류의 크기가 다르게 나타나는 것을 알 수 있다. 이것은 전동기가 어떤 요인에 의해서 진동이 발생될 경우 전류의 변화가 발생하면서 회전자 힘의 불균형이 발생함과 동시에 생현상으로 인한 베어링이나, 전동기 축에 힘이 다르게 작용하는 것을 알 수 있다.

그림 5~7은 공극에서 자속 측정을 위해서 설치한 서치코일에 유기되는 전압을 측정된 것을 나타낸다. 파형의 찌그러짐 현상은 해석 Step time을 좁게 하지 않은 결과이며, 정상상태에서는 최대값이 약 3 [V]까지 나타남을 알 수 있다. 편심의 경우에는 최대 및 최소 공극에 설치된 서치코일 2개에서 유기되는 전압을 보여주고 있고, 전압이 큰 파형은 공극이 0.3 [mm]인 지점에서 구한 값으로 최대값이 약 10 [V] 정도로 나타났으며, 적은 것은 공극이 0.5 [mm] 부분에서의 값으로 최대값이 약 3 [V]로서 정상상태와 거의 유사하게 나타남을 알 수 있다. Broken Bar에 의한 진동 발생시 서치코일에 유기되

는 전압은 정상상태보다 다소 떨어지면서 파형의 찌그러짐 현상이 발생되는 것을 볼 수 있다.

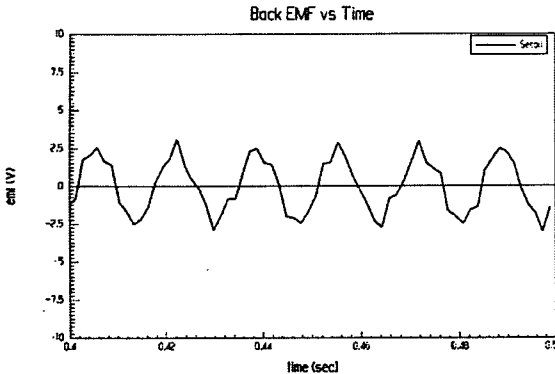


그림 5. 정상상태시 서치코일의 유기전압

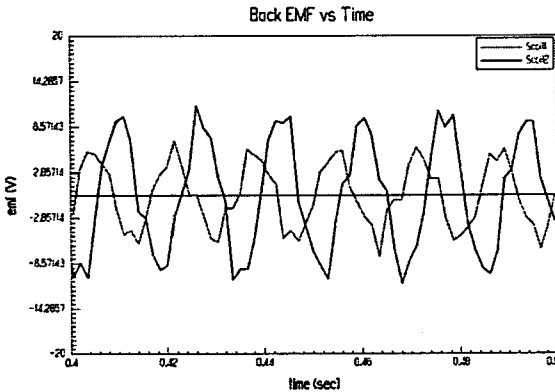


그림 6. 편심에 의한 진동시 서치코일 유기전압

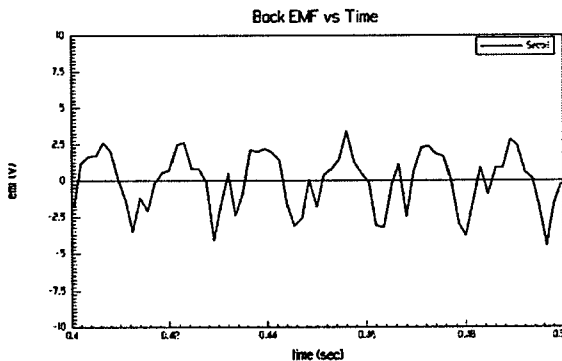


그림 7. Broken Bar에 의한 진동시 서치코일 유기전압

4. 결 론

유도전동기의 진동감시 기법은 전동기의 이상에 따른 파를 대쳐로 손상을 미연에 방지하여 경제적인 손실을 줄이는 것을 목적으로 하고 있다. 전동기의 손상에 대한 감시기법으로는 공극의 자속감시나 온도측정, 회전자 속도측정, 진동측정, 전류파형 측정 등에 대한 연구가 활발히 이루어졌다. 그러나 진동감시를 위한 여러 가지 방법들이 부가적인 장치와 많은 경비가 소유되고, 진동 유형 분석이 충분치 않고, 고장원인별 데이터베이스 확보가 미비한 실정이다.

본 논문에서는 자속측정에 의한 유도전동기 회전자의 운전중 진동감시 기법을 개발하기 위하여, 유한요소 해석을 이용하여 진동유형을 파악하고 진동정도에 따른 공극자속의 특성변화를 분석하였다. 유도전동기 회전자의 편심뿐만 아니라 Broken Bar에 의한 진동원인별로 공극에서의 쇄고자속, 공극 자속밀도, 서치코일 유기전압 등의 공극자속 변화를 해석하여 회전자의 진동유형에 따른 특성을 분석하였다.

본 연구에서 제시한 유도전동기의 Broken Rotor Bar 및 회전자 편심 등에 의해 나타나는 전동기의 진동특성 분석방법을 이용하여 다양한 진동유형 및 진동정도에 따른 데이터를 축적함으로써, 유도전동기의 진동감시 및 이상상태 진단이 가능할 것으로 사료된다.

[참 고 문 헌]

- [1] P.J. Tavner, and J. Penman, *Condition Monitoring of Electrical Machines*, Letchworth, England : Reaearch Press Limited, 1987.
- [2] P. Vas, *Parameter Estimation, Condition Monitoring, and Diagnosis of Electrical Machines*, Oxford : Clarendon Press, 1993.
- [3] H.A. Toliyat, M.S. Arefeen, and A.G. Parlos, "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.
- [4] 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, Aug. 1992.
- [5] 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.
- [6] J.R. Cameron, W.T. Thomson, and A.B. Dow, "Vibration and Current Monitoring for Detecting Air-gap Eccentricity in Large Induction Motors", *IEE Proceedings*, Vol. 133, Pt. B, No. 3, pp. 155-163, May 1986.
- [7] J.F. Bangura, N.A. Demerdash, "Diagnosis and Characterization of Effects of Broken Bars and Connectors in Squirrel-Cage Induction Motors by a Time-Stepping Coupled Finite Element-State Space Modeling Approach", *IEEE Trans. on Energy Conversion*, Vol. 14, No. 4, pp. 1167-1175, Dec. 1999.
- [8] R.F. Walliser, and C.F. Landy, "Determination of Interbar Current Effects in the Detection of Broken Rotor Bars in Squirrel Cage Induction Motors", *IEEE Trans. on Energy Conversion*, Vol. 9, No. 1, pp. 152-158, March 1994.
- [9] 박도영, 황돈하, 강동식, 김용주, 송상욱, "전류와 자속측정에 의한 회전기 진동측정", 2001년도 대한전기학회 전기기기 및 에너지변환시스템부문회 추계 학술대회 회전기관련 국가지정 연구실 Session 논문집, pp. 38-41, 2001. 10.
- [10] 황돈하, 이기창, 이주훈, 김용주, 최경호, 이진희, "유도전동기의 회전자 진동에 따른 공극의 자속변화 해석", 2004년도 대한전기학회 전기기기 및 에너지변환시스템부문회 춘계학술대회 논문집, pp. 62-64, 2004. 4.