

유도전동기 공극자속 변화에 따른 진동유형 해석

황돈하*, 이기창*, 이주훈*, 김용주*, 최경호**, 이진희***
*한국전기연구원, **경북전문대학, ***포항산업과학연구원

Analysis of Rotor Vibration Types Caused by Air-gap Flux Variations in Induction Motors

Don-Ha Hwang*, Ki-Chang Lee*, Joo-Hoon Lee*, Yong-Joo Kim*, Kyeong-Ho Choi**, Jin-Hee Lee***
Korea Electrotechnology Research Institute (KERI)*, Kyungbuk College**, RIST***

ABSTRACT

Faults such as broken rotor bars, static and dynamic eccentricity are often reported in induction motors. These faults increase the down-time of equipment, which causes major loss of earnings to the industry.

This paper presents a result of the finite-element(FE) analysis of air-gap flux variation in induction motors when rotor vibration conditions occur. An accurate modelling and analysis of rotor vibration in the machine are developed using FE software packages, and measuring the flux are made using the search coils. In the FE analysis, an induction motor with 380 [V], 5 [HP], 4 Poles, 1742 [rpm] ratings is used. The results of FE analysis can be used for on-line vibration monitoring of the induction motors.

1. 서론

3상 능형 유도전동기는 산업현장에서 동력전달원으로서 가장 많이 활용되고 있으며, 따라서 유도전동기의 안전운전과 신뢰성이 중요시되고 있다. 그러나 예기치 못한 유도전동기의 고장 발생 가능성은 항상 존재하고, 유도전동기의 고장은 직접적으로 생산공정의 중단을 야기시켜 생산량 및 품질 저하를 가져오게 되고, 중요 설비의 동력전달을 불가능하게 하여 심각한 상황을 초래할 수 있다^{[1]-[3]}.

최근에는 유도전동기의 고장예측과 적절한 교체시기 선정을 위한 연구가 많이 이루어지고 있고, 대부분의 연구가 전동기의 고장유형에 따른 감시 및 진단 시스템을 구축하여 전동기의 이상징후를 사전에 예측하는 방법에 관한 것으로서, 고장발생 이전에 적절한 정비 및 교체계획을 수립할 수 있도록

특 하는 것이 목적이다^{[1]-[6]}.

그러나 유도전동기의 이상상태 감시 및 진단기법의 신뢰성을 향상시키기 위해서는 고장유형에 따른 전동기의 특성분석과 함께 실험 및 이론적 데이터 베이스가 필수적이다.

본 논문에서는 유도전동기의 고장유형에 따른 감시 및 진단 시스템을 구축하기 위한 기초적인 연구로서, 베어링 소손, 축 편심, Bar 고장 등의 회전자 고장에 의해 발생하는 진동유형 분석기법을 제안한다. 유도전동기 회전자 Bar의 고장에 따른 특성과 편심에 의한 회전자 진동특성을 공극의 자속밀도 변화를 해석함으로써 진동유형을 분석하였다.

380[V], 5 [HP], 4극, 1742 [rpm] 정격의 3상 능형 유도전동기를 대상으로 하여 향후 모델 변경이나 유사 전동기에 적용이 쉽도록 상용 전자계 해석 프로그램을 사용하여 회전자의 진동유형을 해석하였다. 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 제시한다.

2. 유도전동기의 진동 유형

유도전동기와 같은 회전기에서 미소 진동은 일반적으로 조금씩 발생된다. 설계자는 이러한 것을 고려하여 저 진동으로 설계하고 있으나, 실제 초기의 미소 진동이 기기의 노화나 사용년수에 따라 점차 크게 되어 결국에는 소손의 원인이 된다.

유도전동기의 진동발생 원인은 크게 기계적 요인과 전기(자기)적인 원인으로 나눌 수 있는데, 기계적인 진동원인으로는 회전자의 불균형, 조립시 이상원인, 축의 임계속도에서 운전, 구조물과 공진, 마찰, 잘못된 설치, 열팽창 등이 있다. 전기(자기)

적인 진동은 극 자속의 불균형, 회전자의 Broken Bar 등에 의한 원인이 대부분이다[1]-[3],[7],[8].

회전체 진동에 관한 연구가 활발히 이루어지면서 원인별 대응력도 향상되고 있는데, 특히 상시 감시 진단 시스템을 구축하여 사고징후의 조기 예측 및 조치로 기기의 교체와 수리가 적기에 이루어짐으로서 불시적인 고장으로 인한 심각한 피해를 감소시키고 있다[1]-[5]. 그러나 전동기의 진동은 한가지 원인으로 시작되더라도 고장현상이 복합적으로 나타나는 경우가 많기 때문에, 전동기의 정확한 진동 원인을 분석하기 위해서는 다양한 진동유형에 대한 해석과 분석 자료가 축적되어야만 된다. 그 중에서도 유도전동기 회전자 진동의 대표적인 유형인 회전자 편심과 Broken Bar에 의한 전동기의 진동 상태 분석이 중요하다.

2.1 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^{[3]-[6]}. 정적 편심은 회전자가 회전자 축을 중심으로 회전하지만, 그 축이 고정자 축에서 이탈해 있는 경우로서, 정적 편심에서는 공극의 길이가 위치에 따라 초기에 이미 정해져 운전시에도 변하지 않는다. 동적 편심은 회전자가 고정자 축과 동일한 축을 중심으로 회전하지만, 그 회전축이 회전자의 축과 동일하지 않은 경우이며, 전동기가 운전시 공극이 수시로 변화하게 된다.

회전자 편심에 의한 진동 발생시 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^{[7],[8]}.

본 논문에서는 회전자 편심에 의한 진동 발생시 공극의 자속변화를 분석하기 위하여 유한요소 해석을 수행하였다. 2차원적 해석모델을 설계하였고, 고정자 슬롯에 서치코일을 부착하여 진동에 의해 발생하는 공극 자속변화에 따른 서치코일의 유기전압, 자속밀도 등을 해석하였다.

2.2 회전자 Broken Bar에 의한 진동

유도전동기 회전자 Bar의 소손은 제작 불량이나 운전조건에 의한 파손 때문에 발생되며, Bar의 부분적인 소손으로 인하여 균등하게 놓여진 Bar에 흐르는 전류가 불균등하게 됨으로서 공극 자속의

변화를 초래하고, 결국에는 회전자의 심각한 진동을 발생시키게 된다[9],[10].

회전자 Bar의 파손 수량에 따라 일반적으로 공극의 자속밀도가 다르게 나타나며, 유한요소 해석에서는 Bar의 재질을 변화시켜 2차 전류의 흐름을 제한하여 모델링 하였다.

3. 진동유형에 따른 공극 자속변화 해석

유도전동기 회전자의 진동해석은 상용 전자계 해석 프로그램인 Maxwell 2D를 활용하였으며, 회전자의 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.

그림 1은 정상상태에서 공극의 자속쇄교에 의해서 서치코일에 유기되는 전압을 나타낸 것으로서, 최대값이 1.24 [V]가 됨을 알 수 있다. 그림 2는 회전자 편심에 의한 진동이 발생할 때 서치코일 2개에서 유기되는 전압을 보여주고 있고, 전압이 큰 파형은 공극이 0.3 [mm]인 지점에서 구한 값이며, 적은 것은 공극이 0.5 [mm] 부분에서의 유기전압을 나타내고 있다. 공극이 작게 되면 상대적으로 정상상태보다 값이 크게 나타나서 약 1.8 [V]의 전압이 유기됨을 볼 수 있다.

그림 3은 회전자의 Bar 3개가 Broken 상태일 때 서치코일에 유기되는 전압파형을 나타내고 있다. 부분적인 최대값은 정상상태와 거의 유사하지만, Broken Bar에 의한 영향으로 회전자 위치에 따라서 전압파형의 찌그러짐 현상이 두드러지게 나타나고 있음을 볼 수 있다.

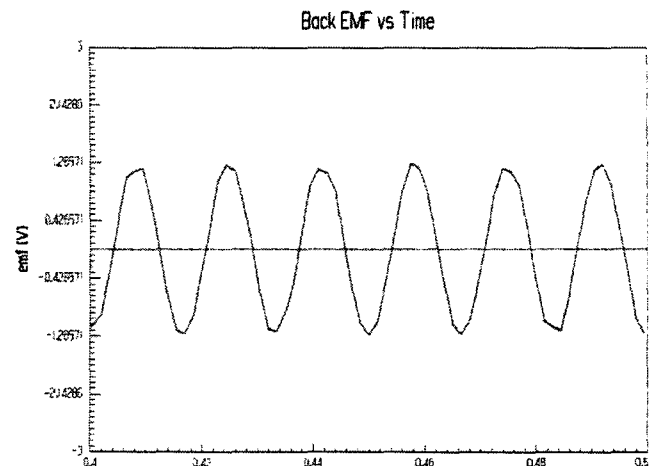


그림 1. 정상상태에서 공극자속에 의한 서치코일 유기전압

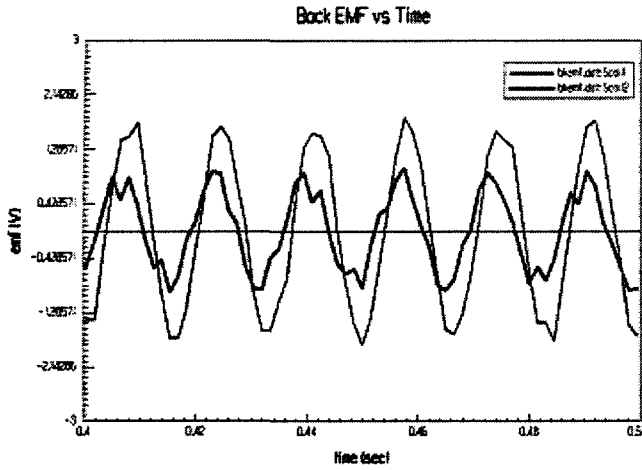


그림 2 회전자 편심시 공극 자속쇄교에 의한 서치코일의 유기전압

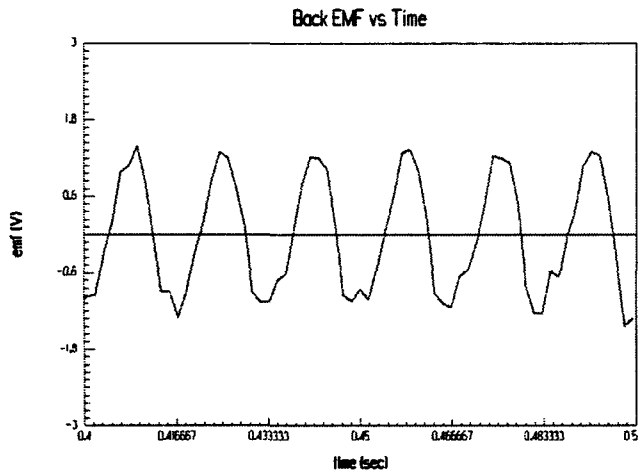


그림 3. 3-Broken Bar인 경우 공극 자속쇄교에 의한 서치코일의 유기전압

그림 4는 정상상태에서 공극의 자속밀도를 나타낸 것으로서, 극에 따른 주기성과 파형이 대칭을 이루는 것을 볼 수 있다. 그림 5는 회전자 편심에 의한 진동 발생시 공극의 자속밀도를 나타내고 있고, 원으로 표시한 2곳은 파형이 서로 다르다는 것을 볼 수 있다. 오른쪽이 공극 0.3 [mm]인 지점에서 구한 파형을 나타내고, 왼쪽이 공극 0.5 [mm] 부분에서의 유기전압을 나타내고 있으며, 공극이 큰 왼쪽이 공극의 자속밀도가 낮음을 볼 수 있다.

그림 6은 회전자 Broken Bar 상태에서의 공극 자속밀도를 나타내는 것으로서, 150~180° 지점에 3개의 Broken Bar가 놓여져 있고, 전체적으로 정상상태 또는 회전자 편심에 의한 자속보다 낮게 나타남을 볼 수 있다.

또한, 대칭성도 보이지 않고, 특히 Broken Bar 부분은 고정자의 Tooth에 의한 자속밀도 변화를 크게 받지 않고, 낮은 값에서 크기도 크게 변하지 않는 것을 알 수 있다.

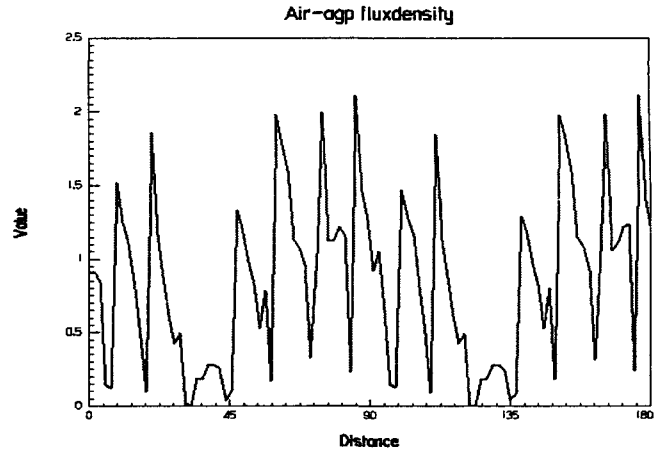


그림 4. 정상상태에서 공극의 자속밀도

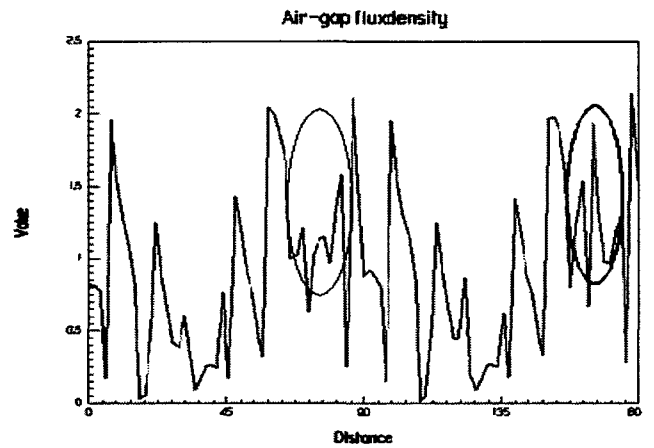


그림 5. 회전자 편심에 의한 공극 자속밀도

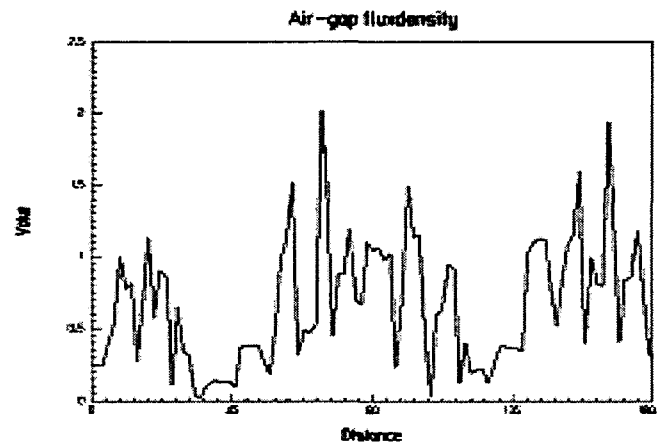


그림 6. 3-Broken Bar 상태에서 공극의 자속밀도

4. 결 론

유도전동기의 운전중에 발생하는 고장원인으로서 축 편심, Bar 소손 등에 의한 회전자 진동이 큰 비중을 차지하고 있다. 진동현상도 다양한 원인에 의해서 나타나고, 전동기의 이상상태 감시기법의 신뢰성 향상을 위해서는 회전자의 진동유형에 따른

전동기의 특성분석과 다양한 경우에 대한 데이터베이스화가 필요하다.

본 논문에서는 자속측정에 의한 유도전동기 회전자운전중 진동감시 기법의 가능성을 확인하기 위하여, 유한요소 해석을 이용하여 진동의 유형을 파악하고 진동유형에 따른 공극자속의 특성분석을 수행하였다. 상용 유한요소 해석 패키지의 시뮬레이터를 이용하여 회전자의 진동을 공극의 변화로 전환시켜 진동현상을 해석할 수 있는 2차원 모델을 제안하였고, 또한 공극의 변화에 따른 진동정도를 알 수 있도록 고정자 슬롯에 서치코일의 채용과 모델링 방법을 제시하였다. 유도전동기 회전자의 편심뿐만 아니라 Broken Bar에 의한 진동원인별로 공극에서의 쇄교자속, 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 : Research 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.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.
- [6] 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.
- [7] 박도영, 황돈하, 강동식, 김용주, 송상욱, "전류와 자속측정에 의한 회전기 진동측정", 2001년도 대한전기학회 전기기기 및 에너지변환시스템부문회 추계 학술대회 회전기관련 국가지정연구실 Session 논문집, pp. 38-41, 2001. 10.
- [8] 황돈하, 이기창, 이주훈, 김용주, 최경호, 이진희, "유도전동기의 회전자 진동에 따른 공극의 자속변화 해석", 2004년도 대한전기학회 전기기기 및 에너지변환시스템부문회 춘계 학술대회 논문집, pp. 62~64, 2004. 4.
- [9] 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.
- [10] 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.