

유도전동기의 회전자 진동에 따른 공극의 자속변화 해석

황 동 하*, 이 기 창*, 이 주 훈*, 김 용 주*, 최 경 호**, 이 진 희***
 *한국전기기연구원, **경북전문대학, ***포항산업과학연구원

Analysis of Air-gap Flux Variations by Rotor Vibration in the Induction Motor

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

1. 서 론

산업현장의 동력원으로 가장 많이 사용되는 유도전동기의 고장원인으로서 진동을 수반하는 베어링 소손이나 회전자 고장이 대부분을 차지하고 있으며, 이러한 현상은 또한 Air-gap의 편심에 의한 진동으로 고장과 직결되고 있다. 따라서 연속적이고 안정된 동력원을 공급하기 위해서는 진동현상 발생시 초기에 판별하고 대처할 수 있는 신속하고 신뢰성이 높은 진동감시 시스템의 개발이 이루어 져야하며, 시스템 개발에 앞서 선행되어야 될 연구로서 진동현상에 따른 전동기의 특성변화를 분석하는 것이 필요하다[1-3].

본 연구에서는 유도전동기 운전중 전동기의 진동에 의해 발생하는 전동기의 특성변화를 얻기 위한 해석모델을 FEM 시뮬레이터로 모델링 하였으며, 공극에서 회전자 자속에 의한 전압파형의 왜곡을 분석하여 진동정도를 판별할 수 있는 기법을 제안한다. 해석을 위한 유도전동기는 5 [HP], 4P, 1742 [rpm]의 정격을 갖는 유도전동기를 사용하였다.

2. 회전기의 진동

회전기계의 주 고장원인으로는 그림 1에 나타낸 바와 같이 회전체 진동으로 인한 베어링 마모, 단자간의 고전압으로 인한 고정자 절연파괴, 권선의 열화 또는 단락으로 인한 고정자 및 회전자 소손 등이 있지만, 베어링 마모 등에 의해 발생하는 Air-gap의 편심이 진동을 유발시킴으로서 생기는 고장이 가장 많은 것으로 IEEE 전동기 연구그룹 조사 등에서 보고되고 있다[1-2].

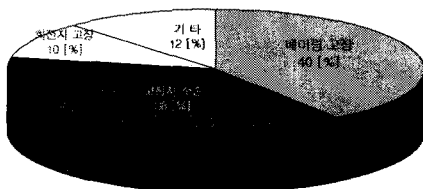


그림 1. 전동기의 고장원인

회전기기는 Rotor를 회전하였을 때 발생하는 원심력이 회전축에 대하여 대칭으로 분포하지 않아 회전자에 진동을 야기하며, 그 원인으로는 표 1과 같이 나타난다.

표 1. 진동의 기계적인 요인

진동원인	비율 [%]
회전자의 불균형	41
기초 또는 설치 불량	13
왕복기판의 관성력 불균일	10
축수부의 유격 또는 마모	9
마찰에 의한 자동진동	9
치차의 결합불량 및 마모	8
공기, 물 등의 맥동과 Surging	4
작업상의 충격, 외부진동 등 기타	6

그 중에서도 진동의 가장 큰 요인이 되는 회전자 불균형에 의한 회전자의 편심(Eccentricity)은 정적 편심(Static eccentricity)과 동적 편심 (Dynamic eccentricity)으로 나눌 수 있다. 그림 2에 나타낸 바와 같이 정적 편심은 회전자가 회전자 축을 중심으로 회전하지만, 그 축이 고정자 축에서 이탈해 있는 경우를 말한다. 한편, 동적 편심은 회전자가 고정자 축과 동일한 축을 중심으로 회전하지만, 그 회전축이 회전자의 축과 동일하지 않은 경우이다. 이러한 편심의 원인으로는 조립중 부정확한 베어링 설치, 베어링의 마모, 회전자 샤프트의 휨 등 아주 다양하다. 2가지 편심 모두 회전기에 과도한 스트레스를 가하게 되며, 특히 베어링을 쉽게 마모시키는 결과를 초래한다[3-8].

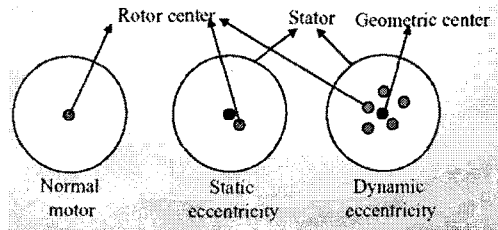


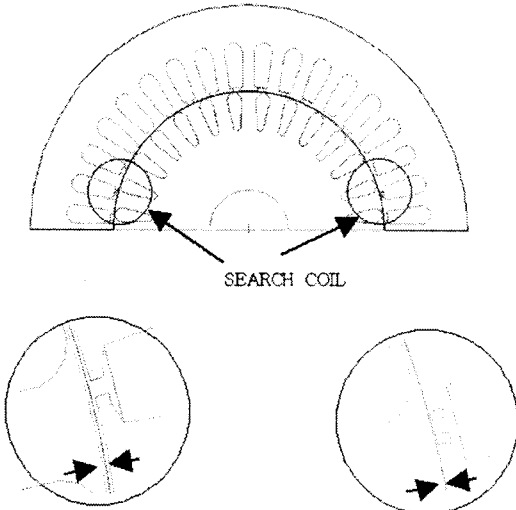
그림 2. 전동기의 편심

3. 유도전동기의 진동해석

3.1 진동해석을 위한 모델링

본 논문에서는 진동상태를 공극의 변화를 이용하여 측정하기 때문에 해석을 위한 모델링은 전동기의 편심에 따라 그 모델링을 다르게 하여야 한다.

유도전동기의 해석모델은 FEM 시뮬레이터를 이용하여 2차원으로 설계하였으며, 해석은 그림 3과 같이 2가지 모델로 각각 수행하였다. 우선 정상상태에서 자속센서를 고정자 Tooth 부분에 설치하여 자속센서에서 유기되는 전압을 해석하여 분석시의 기준값으로 하였으며, 두번째는 자속센서를 고정자 Tooth의 2부분에 각각 설치하여 정적편심에 의해 발생하는 진동현상을 해석하였다. 해석값은 공극의 자속변화에 의해서 센서코일에 유기되는 유기전압, 공극 자속밀도, 공극에서 벡터의 값들을 구하여 분석에 이용하였다. 그림 4는 유한요소 해석을 위한 서치코일의 외부회로 연결을 나타내고, 서치코일은 20 turns, 18 [Ω]의 값을 가진다.



a. 정상상태 공극 b. 진동상태 공극
그림 3. 서치코일 부착시의 진동해석 모델

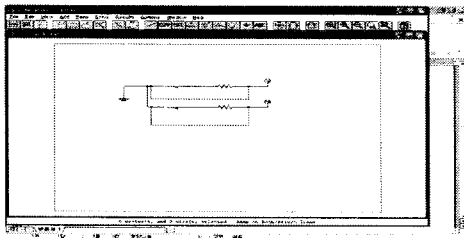


그림 4. 서치코일의 외부회로도

3.2 유한요소(FE) 해석

해석은 상용 전자계해석 프로그램인 Maxwell 2D를 활용하였으며, 회전자의 진동상태를 공극변화로 전환하기 위하여 FEM 시뮬레이터를 이용하여 설계하였다. 서치코일의 부착위치는 고정자의 Tooth 부분에 설치하였으며, 정상상태에서는 공극의 변화가 일어나지 않는 것을 고려하여 1개소에 부착하였고, 진동상태에서는 정적편심에 의한 진동을 고려하여 공극이 최대인 지점과 최소인 2개 지점에 서치코일을 부착하여 해석하였다. 그림 5는 정상상태에서 서치코일에 유기되는 전압을 나타내고, 최대값이 1.24 [V]가 됨을 알 수 있다. 그림 6은 정상상태에서 공극에서 서치코일과 쇄교하는 자속을 보여주고, 그림 7은 공극에서의 자속밀도를 나타낸 것으로 극에 따른 주기성을 보여주고 있다.

그림 8은 회전자 진동시 두 곳에 설치된 서치코일에서 유기되는 전압을 보여준다. 그림 8에 나타낸 Scoil1은

공극이 0.3 [mm]인 지점에서 구한 값이며, Scoil2는 공극이 0.5 [mm] 부분에서의 유기전압을 나타내고 있다. Scoil2에 의해 구해진 값은 정상상태와 유사한 값을 나타내지만, Scoil1에서는 약 1.8 [V]의 전압이 유기됨을 볼 수 있다.

그림 9는 진동상태에서 공극에서 서치코일에 쇄교되는 자속 파형을 나타낸 것이고, 그림 10은 공극에서의 자속 밀도를 보여주고 있다. 특히, 그림 10의 원으로 표시된 부분은 공극이 0.3 [mm]인 지점으로서 자속밀도의 변화가 심하게 나타나는 것을 볼 수 있다.

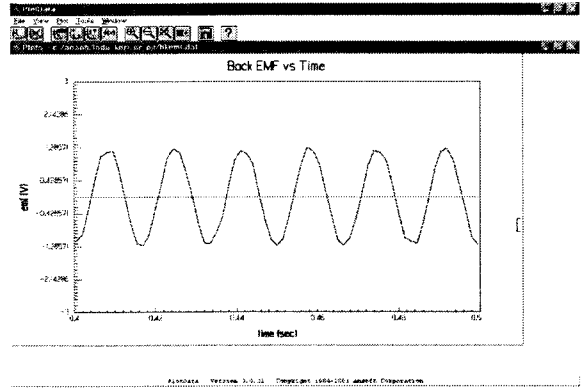


그림 5. 정상상태에서 서치코일의 유기전압

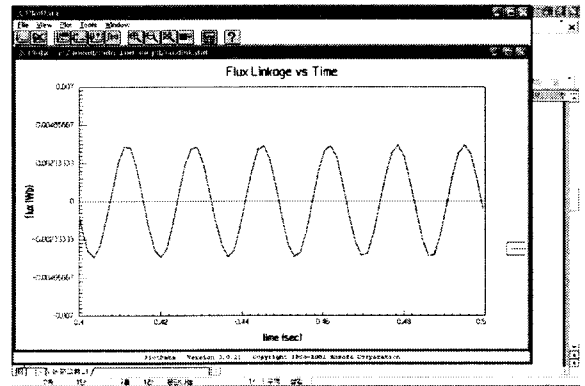


그림 6. 정상상태에서 서치코일의 쇄교자속

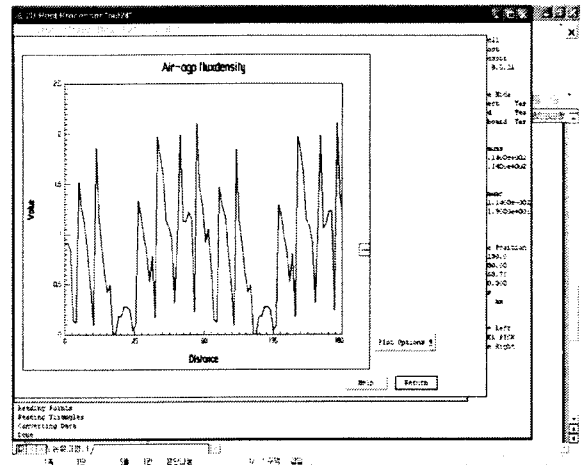


그림 7. 정상상태에서 공극의 자속밀도

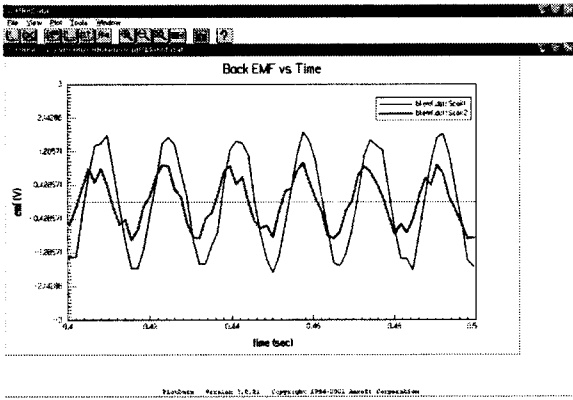


그림 8. 진동상태에서 서치코일의 유기전압

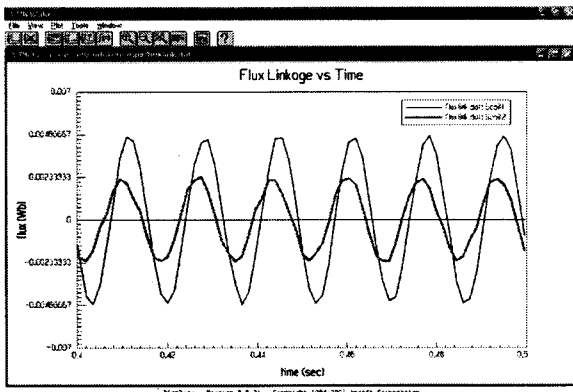


그림 9. 진동상태에서 서치코일의 쇄고자속

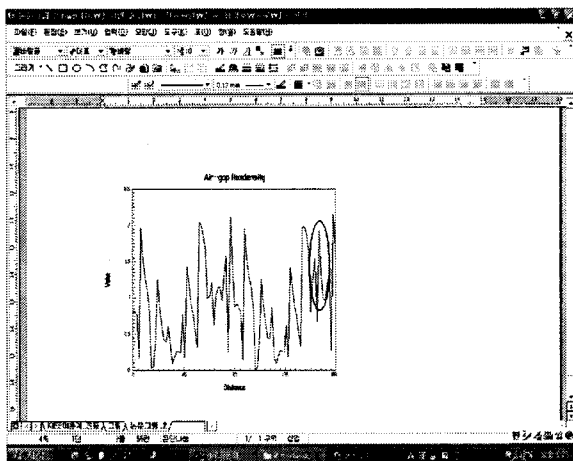


그림 10. 진동상태에서 공극의 자속밀도

3.3 FE 해석결과 고찰

유도전동기의 진동을 FEM 기법으로 해석하기 위하여 진동현상을 공극의 변화로 전환시켜 전동기의 정상상태와 진동상태에서 해석하였다. 정상상태 모델의 경우 공극이 일정하므로 서치코일에 유기되는 전압도 일정한 주기로 나타났으며, 진동상태의 경우는 동적편심에 의한 진동과 달리 정적편심에 의한 진동인 경우 서치코일의 부극부위에 따른 전압의 크기가 다르게 나타났다.

따라서 진동현상을 하나의 센서만으로는 알 수 없고, 위치별 센서가 필요함을 알 수 있다. 그림 10과 같이 공극에서 자속밀도는 정상상태와 비교하여 파형이 크게 왜곡되었으며, 주기성을 가지는 것으로 나타났다. 이러한 현상은 전동기의 조립 불량이나 베어링의 부분 파손 등에 기인한 결과로서, 해석과 실험을 통해서 충분히 진동현상을 진단할 수 있을 것으로 판단된다.

4. 결론

유도전동기의 운전중에 발생하는 고장의 원인 중에서 큰 비중을 차지하는 것은 진동에 의한 것이다. 진동현상도 다양한 원인에 의해서 나타나고, 이러한 진동현상을 미연에 방지하기 위한 연구도 활발히 진행되고 있다.

본 논문에는 진동현상을 유한요소 해석을 이용하여 그 유형을 파악하고 향후 진동 감시 시스템에의 적용가능성을 검토하였다. 우선 FEM 시뮬레이터를 이용하여 진동현상을 공극변화로 전환시켜 진동현상을 해석하는 2차원 모델을 제안하였으며, 또한 서치코일을 이용하여 공극변화에 따른 진동현상을 알 수 있도록 하였다. 특히, 정적편심에 의한 진동의 경우 고정자의 중심과 회전자 중심의 변화가 되지 않으면서 진동을 발생시켜 회전자의 고장의 원인이 되기 때문에 이러한 현상들은 본 논문에서 제안된 2개의 서치코일을 이용한 유기전력을 측정함으로써 전동기의 진동 감시 및 진단 기능에 충분히 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

[참 고 문 헌]

- [1] 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.
- [2] J.R. Cameron, W.T. Thomson, and A.B. Dow, "Vibration and Current Monitoring for Detecting Air-gap Eccentricity in Large Induction Motors", Proceedings IEE, Vol. 133., Pt. B., No. 3, May 1986.
- [3] W.T. Thomson, et al., "On-line Current Monitoring to Diagnose Air-gap Eccentricity in Large Three-Phase Induction Motors", IEEE Trans. on Energy Conversion, Vol. 14, No. 4, pp. 1372-1377, 1999.
- [4] D.G. Dorrell, et al., "Analysis of Air-gap Flux, Current, and Vibration Signals as a Function of the Combination of Static and Dynamic Air-gap Eccentricity in 3-Phase Induction Motors", IEEE Trans. on Industry Applications, Vol. 33, No. 1, pp. 24-34, 1997.
- [5] 박도영, 황돈하, 강동식, 김용주, 송상욱, "전류와 자속측정에 의한 회전자 진동측정", 대한전기학회 전기기기 및 에너지변환시스템학회 2001년도 추계 학술대회 회전자관련 국가지정연구 Session 논문집, pp. 38-41, 2001. 10.
- [6] 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.
- [7] J. Penman, et al., "Detection and Location of Interturn Short Circuits in the Stator Windings of Operating Motors", IEEE Trans. on Energy Conversion, Vol. 9, No. 4, pp. 652-658, 1994.
- [8] D.R. Rankin, "The Industrial Application of Phase Current Analysis to Detect Rotor Winding Faults in Squirrel Cage Induction Motors", Power Engineering Journal, pp. 77-84, April 1995.