

**유도전동기의 편심에 의한 회전자 진동해석**

황 돈하\*, 이 주훈\*, 강 동식\*, 김 용주\*, 최 경호\*\*, 이 진희\*\*

\*한국전기연구원, \*\*경북전문대학, \*\*\*포항산업과학연구원

**Analysis of Rotor Vibration by Eccentric in the Induction Motor**

Don-Ha HWANG\*, Joo-Hoon LEE\*, Dong-Sik Kang\*, 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 and experiment of air-gap flux variation in induction motor when rotor eccentricity vibration conditions occur. An accurate modeling and analysis of rotor vibration in the machine are developed using commercial FE analysis tool, and search coils are used for measuring the actual air-gap flux. In the FE analysis and experiment, the induction motor with 380 [V], 5 [HP], 4P, 1742 [rpm] ratings is used. The simulation and experimental results can be useful for rotor vibration monitoring of the induction motor.

다. 동적 편심의 경우에는 공극의 자속이 주기성을 가지고 계속 변하게 되므로 1개 지점에서만 자속을 검출해도 충분히 그 원인을 분석할 수 있다.

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

**1. 서론**

유도전동기의 운전중에 발생하는 고장의 원인 중에서도 큰 비중을 차지하는 것은 진동에 의한 것이다. 작은 진동으로 인해 주변 구조물의 연속적인 고장으로 이어져 결국 전동기의 소손을 가져오게 된다. 진동의 원인 중에서는 회전자의 불균형에 의한 것이 대부분이다. 회전자 불균형은 전동기의 공극 자속분포의 불균형을 가져오게 되며, 이것은 결국 회전자체의 힘의 불균형으로 인하여 베어링 소손 등의 고장을 초래하게 된다.

본 연구에서는 유도전동기 회전자의 진동에 의한 고장을 미연에 방지할 수 있는 모니터링 시스템을 개발하기 위하여 회전자체의 진동상태를 사전에 알 수 있는 방법을 제안한다. 회전자체의 진동은 공극의 변화를 가져온다는 사실과, 공극의 변화는 자속의 변화를 발생시킨다는 일반적인 사실에 기초하여 공극의 자속변화를 측정함으로써 회전자의 진동을 감시한다. 회전자의 진동에 따른 자속변화를 알기 위해서 우선 유한요소해석을 통해 시뮬레이션 하였고, 진동에 따른 자속변화를 검출하기 위해서 서치코일을 이용하여 자속량을 측정하였다. 해석 및 실험을 위한 전동기는 4극, 380 [V], 5 [HP], 1742 [rpm]의 정격을 갖는 유도전동기를 사용하였다.

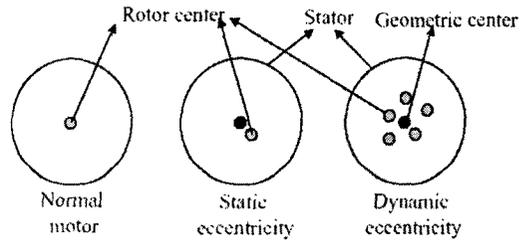


그림 1. 전동기의 편심

**2.1 회전자 편심에 의한 진동해석 모델**

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 진동원인별 공극자속의 변화를 분석하기 위하여 우선적으로 정상상태에서 공극자속의 변화를 비교하였다. 정상상태에서는 공극의 변화가 없으므로 자속을 검출하기 위한 서치코일을 1개 소에만 부착하였으며, 진동상태에서는 진동에 따른 공극의 변화가 발생되므로 최대 공극위치와 최소 공극위치 2개소에 부착하여 각각 검출하였다.

회전자 진동상태의 모델링은 진동시 공극이 변화된다는 사실에 기인하였고, 동적편심은 회전자의 위치에 따라 공극의 변화가 많이 발생되므로 해석시간이 많이 소요되어 본 논문에서는 정적편심일 경우에만 해석하였다. 진동변화에 따른 공극의 변화로 공극에서 자속변화가 발생하는 것을 검출하기 위하여 본 연구에서는 2가지 방법을 제안하였다. 우선 공극에서 자속변화를 검출할 수 있는 서치코일을 자체 개발하였으며, 서치코일은 자속검출과 제작, 조립 등 다양한 면을 고려하여 기판형식으로 제작하였고, 또한 고정자 치와 치 사이에 부착하는 형태와 고정자의 Tooth를 중심으로 양쪽에 코일을 감는 형식의 2가지 형태로 제작하였다. 또한 해석에서는 진동상태의 자속변화와 정상상태의 자속변화를 비교하기 위하여 정상상태, 진동상태를 분리하여 해석하였고, 동일한 조건에서 2개의 서치코일에 대해서 각각 해석하였다.

그림 2는 정상상태에서 등가자속을 구한 것을 보여주고 있으며, 그림 3은 회로해석에 사용하기 위한 서치코

**2. 회전자 편심에 의한 진동**

유도전동기 진동의 가장 큰 요인인 회전자 불균형에 기인한 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 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 한

일의 모델과 자속검출을 위한 외부회로를 나타내고 있다. 서치코일은 20 turn, 18 [Ω]의 값을 가진다.

### 2.2 자속측정을 위한 서치코일

자속을 측정하기 위한 서치코일은 유한요소 해석시와 마찬가지로 2가지 형태로 설계, 제작되었다. 그림 4는 실제 제작된 2종류의 서치코일을 보여주고 있다. 그림 5는 서치코일에 연결된 자속에 의한 전압측정용 기판의 회로를 나타내고 있다.

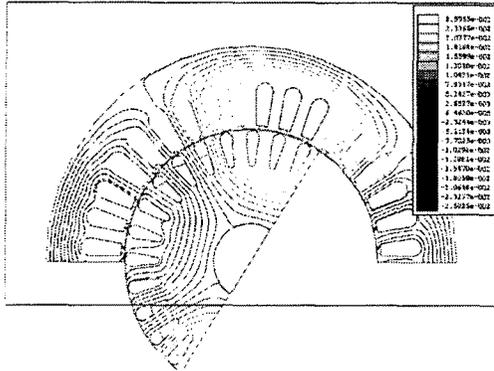


그림 2. 회전자 1742 [rpm]에서 0.15 [sec]에서 쇠교자속

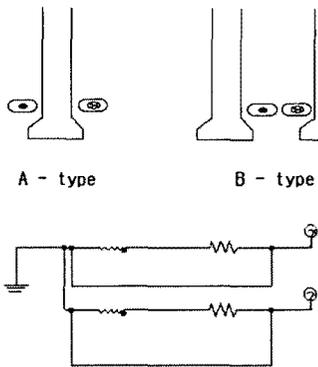


그림 3. 해석에 적용된 서치코일의 형태 및 외부회로도

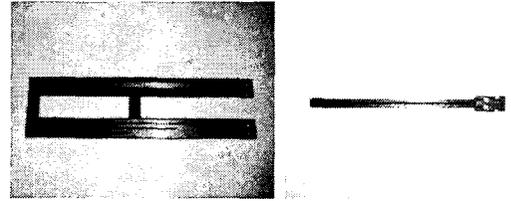
## 3. 해석 및 실험 결과

### 3.1 유한요소 해석결과

해석은 상용 전자기해석 프로그램인 Maxwell 2D를 활용하였으며, 전동기가 안정된 0.5 sec까지 각각의 위치에서 data를 구하여 그래프로 작성하였다. 서치코일은 두 가지 타입에 대해서 해석하였으며, 진동상태에서는 정적편심에 의한 진동을 고려하여 공극이 최대인 지점과 최소인 2개 지점에 서치코일을 부착하여 해석하였다.

그림 6은 A type의 서치코일을 이용하여 정상상태에서 해석한 결과로서, 최대값이 약 2.5 [V]가 됨을 알 수 있다. 그림 7은 B type의 서치코일의 경우에 정상상태에서 서치코일 1개에 유기되는 전압을 나타내고, 최대값이 1.24 [V]가 됨을 볼 수 있다.

그림 8과 그림 9는 편심에 의한 진동상태일 때 해석한 파형으로서 Scoil1은 공극이 0.3 [mm]인 지점에서 구한 값이며, Scoil2는 공극이 0.5 [mm] 부분에서의 유기전압을 나타내고 있다.



A type B type  
그림 5. 서치코일 기판의 실제 사진

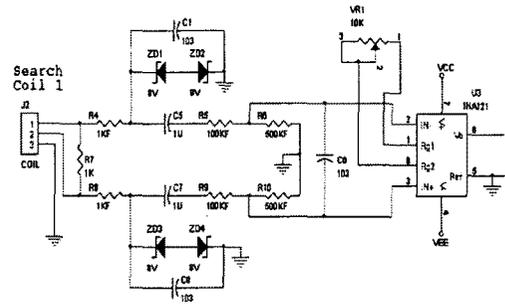


그림 5. 전압측정을 회로도

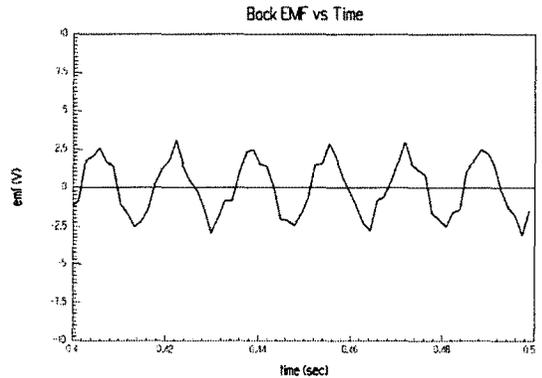


그림 6. 정상상태에서 서치코일의 유기전압 (A type)

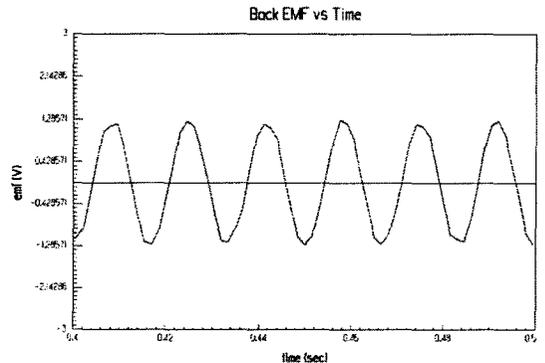


그림 7. 정상상태에서 서치코일의 유기전압 (B type)

그림 8은 A type 서치코일 형태에서 구한 역기전력 파형으로서, Scoil1에서는 최대값이 약 10 [V]정도이며, Scoil2에서는 약 5 [V] 정도가 나타남을 볼 수 있다. 그림 9는 B type의 경우에서 해석한 결과로서 Scoil1에서는 최대값이 약 1.8 [V]의 전압이 유기됨을 볼 수 있고, Scoil2에서는 최대값이 약 0.9 [V]로 나타나는 것을 볼 수 있다.

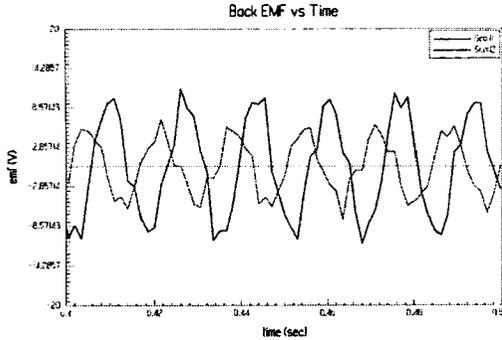


그림 8. 진동상태에서 서치코일의 유기전압 (A type)

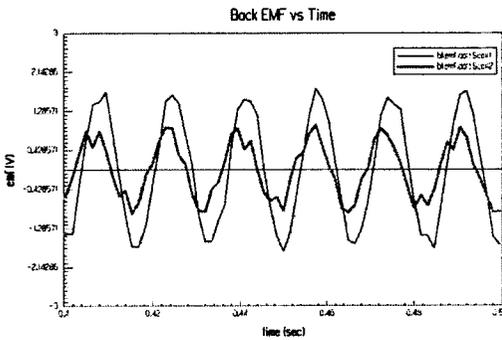


그림 9. 진동상태에서 서치코일의 유기전압 (B type)

### 3.2 실험결과

그림 10과 그림 11은 유도전동기의 진동상태를 측정하기 위한 제작한 여러 가지의 전동기와 실험장치를 보여 주고 있다.

그림 12는 정상상태에서 A type의 서치코일을 전동기에 설치하여 서치코일에 유기되는 전압을 측정된 결과로서, 2개의 서치코일에 유기되는 최대 전압이 약 6~7 [V]로서 거의 같음을 볼 수 있다.

그림 13은 진동상태에서 A type 서치코일에서 측정된 결과로서 공극변화에 따른 서치코일 유기전압이 다소 차이가 남을 알 수 있다.



그림 10. 진동 시험용 유도전동기



그림 11. 진동 측정 및 시험 시스템

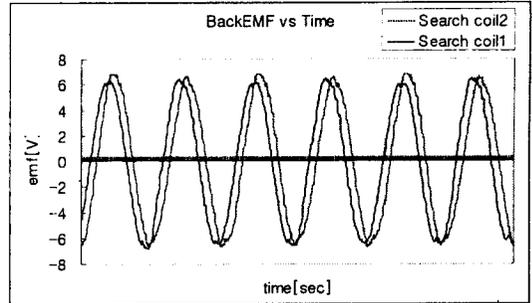


그림 10. 정상상태에서 서치코일 유기전압 측정파형

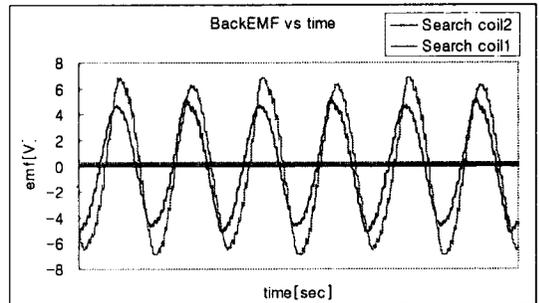


그림 11. 진동상태에서 서치코일 유기전압 측정파형

## 4. 결 론

본 연구에서는 유도전동기의 운전중에 발생할 수 있는 고장원인 중에서 큰 비중을 차지하는 진동현상을 해석하였다. 특히, 회전자 편심에 의한 공극에서의 자속변화를 관찰함으로써 진동감시가 가능함을 확인하기 위하여, 공극에서의 자속측정을 위한 2가지 형태의 서치코일을 적용하여 자속해석 시뮬레이션과 실험결과를 비교 검토하였다. 본 논문에서 제안한 서치코일을 이용한 자속측정 기법은 유도전동기의 회전자 진동감시에 충분히 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

### [참 고 문 헌]

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] D.H. Hwang, et al., "A Method for Dynamic Simulation and Detection of Air-Gap Eccentricity in Induction Motors", Proceedings of the ICPE 2004, Busan, Korea, pp. III-231 ~ III-234, Oct. 18-22, 2004.1