

유도형 모터의 회전자 편심과 운전상태를 고려한 공극 자속 밀도의 해석과 특성시험

장석영, 이성래, 이성호, 박윤식*
충남대학교 전기공학과, KAIST 기계공학과*

Analysis of air gap flux density and Test of characteristics of the induction motor considering mechanical unbalance of a rotor and driving condition

S.M.Jang, S.L.Lee, S.H.Lee, Y.S.Park*
Chungnam Nat'l Univ, KAIST*

Abstract - Noise and vibration are one of the most unpleasant hazards of driving motors. Therefore, it is important to reduce noise and vibration. To do so, we need to analysis cause of those. This paper presents one of the process that search for the cause.

해석에 사용된 모터는 콘덴서 기동형 4극 단상 유도모터로서 사양은 표 1과 같다.

표 1 모터의 사양

정격 출력	0.75kW	공극	0.9mm
정격 전압	220V	고정자슬롯수	36
정격 전류	7.5A	회전자슬롯수	44
상수	단상	Winding	집중권
극수	4극	코일 피치	8
고정자 외경	80.5mm	고정자 슬롯깊이	16mm
고정자 내경	48mm	회전자 슬롯깊이	10mm
회전자 외경	47.1mm	고정자 슬롯개방폭	2.5mm
주파수	60Hz	회전자 슬롯개방폭	0mm

1. 서론

최근 모터의 설계 및 제작기술의 발달로 인하여 모터 자체가 갖는 소음, 진동문제가 많이 개선되었다. 그러나 주위 환경의 쾌적성이나 안락성이 과거에 비하여 훨씬 좋아졌기 때문에 모터의 소음, 진동문제는 상대적으로 매우 중요하게 되었다.

실제로 진동 및 소음은 기기가 기형상태로 있음을 의미하기 때문에 기기의 질, 임계속도의 저하는 물론 모터의 수명을 단축시키게 되는 결과를 가져온다. 따라서 진동, 소음을 저감화 시켜 쾌적한 모터로 만드는 연구개발은 매우 중요한 과제가 되었다.

지금까지 파악되고 있는 전자기적 진동, 소음의 원인은 회전자의 편심, 자성체의 자기포화에 의한 자기왜형, 슬롯팅의 영향, 스류각도등이 있다. 따라서 이들이 모터의 소음과 진동에 미치는 영향을 정확하게 분석하여 검토하는 것이 저감방안을 마련하는 필수적인 과정이 된다.

본 논문에서는 모터의 운전상태에 따라서 공극내에 존재하는 자속밀도의 특성을 분석하였으며, 소음과 진동을 유발시키는 여러 가지 요인들 중에서 회전자가 기계적으로 편심되었을 경우 유한요소법에 의한 해석으로 공극에서의 자속분포를 계산하고, 실제측정에 의한 자속검출 방법을 이용하여 공극에서의 전자기력을 측정하여 두 방법의 결과치를 가지고 그 특성을 분석하고자 하였다.

2 이론적 해석

2.1 해석에 사용된 모델

그림1은 공극자속밀도 해석에 사용된 고정자의 실모델을 나타낸다.

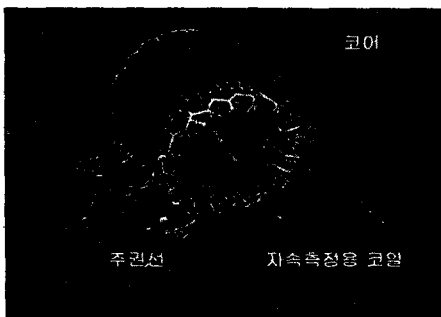


그림 1 서치코일을 설치한 고정자

2.2 회전자 편심에 따른 공극 자속 밀도 및 수직력 분포

(1) 회전자 편심 모델

그림2는 모터의 회전자가 기계적으로 편심된 경우를 보여주는 모델이다.

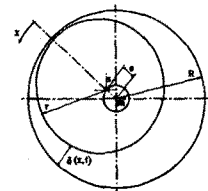


그림 2 회전자의 편심모델

여기서

R : 고정자의 반지름 r : 회전자의 반지름

e : 편심의 크기 m : 고정자의 중심

s : 회전자의 중심

편심에 따른 공극의 폭은 그림1의 모델에서 축방향으로 펼친다고 볼 때에 그 크기가 불균일하게 되는데 다음과 같이 나타낼 수 있다. 단 x방향으로 전개한다고 본다.

$$\delta(x, t) = \delta_m [1 - \epsilon \cos(x - \omega_e t - \phi_e)] \quad (1)$$

여기서, δ_m : 최대공극

$$\epsilon = \frac{e}{\delta_m} = \frac{e}{R-r} : \text{편심율}$$

$$\omega_e = (1-s)\omega_o$$

$$\omega_o : \text{슬립 1에서의 진동}$$

(2) 편심 위치에 따른 공극자속밀도 분포

공극내에 존재하는 자속밀도를 해석하는 방법으로 유한요소법을 이용하여 회전자가 기계적으로 편심되었을

경우에 대하여 각각의 특성을 분석하였다. 이를 위하여 고정자의 N, S극 중간 위치에서 회전자가 편심된 경우를 0°로 취하고 기계각으로 11.25°, 전기각으로 22.5°씩 반시계방향으로 회전시켜가며 특성을 분석하였다. 그림3은 그러한 과정을 모델화 한 것이다.

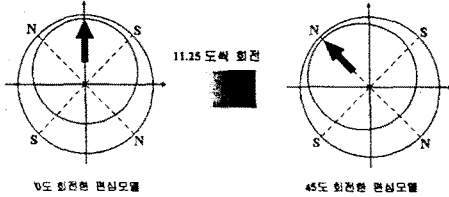


그림 3 회전자 편심위치의 변화 모델

그림 3으로부터 편심의 위치에 따른 공극자속밀도를 다음과 같이 얻을 수 있었다.

그림 4는 회전자 편심의 위치에 따른 공극자속밀도 분포를 해석한 결과이다. 이 때, 관측선의 위치는 고정자 중심으로부터 47.85mm인 지점에 위치한다.

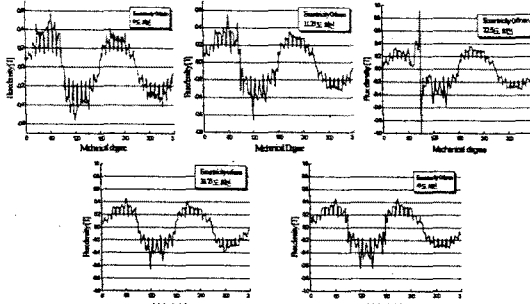


그림 4 회전위치에 따른 공극자속밀도 분포

그림 5는 0.6mm 편심된 상태에서 반시계방향으로 11.25도씩 회전시켜가며 해석한 결과로, 자속밀도의 계급에 비례한 수직력 분포를 표현한 그림이다.

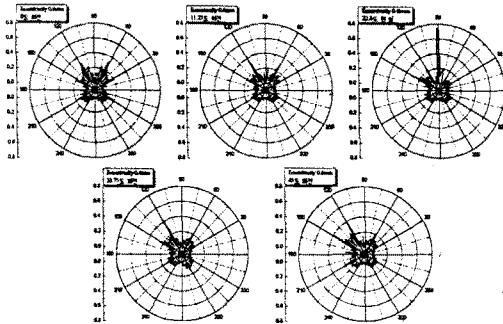


그림 5 회전 위치에 따른 수직력 분포

그림 6은 편심에 따른 공극자속밀도에 포함된 고조파 성분을 분석한 결과이다. 회전자의 위치가 22.5°만큼 회전되었을 경우에 자속의 파형이 가장 심하게 왜곡됨을 알 수 있다.

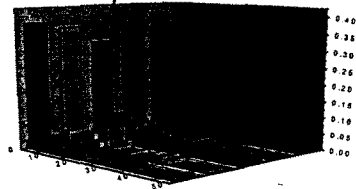


그림 6 편심에 위치에 따른 자속밀도의 고조파분포

2.3 부하 상태에 따른 공극자속밀도 및 수직력분포
회전자가 대칭분포 된 상태이지 만, 부하상태가 각각 다를 경우의 특성을 해석하기로 한다. 즉 모터의 부하 상태가 무부하(0.0kW, 1800rpm), 반부하(0.37kW, 1765rpm), 전부하(0.75kW, 1720rpm)인 경우로 나누어 그 특성을 비교하였다.

그림 7은 부하상태에 따른 공극자속밀도의 분포를 나타낸다. 부하가 증가 할수록 공극내의 자속밀도가 현저하게 작아짐을 알 수 있다.

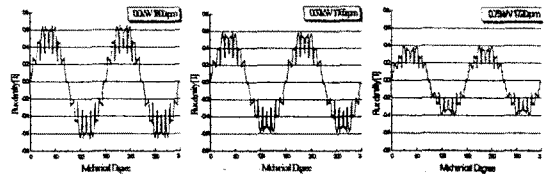


그림 7 운전상태에 따른 공극자속밀도 분포

또한 그림 8은 부하의 상태에 따른 수직력의 분포를 나타낸 그림이다.

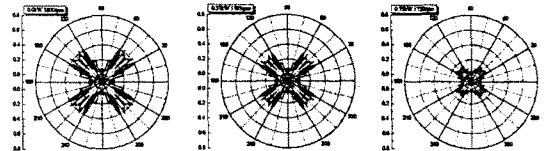


그림 8 수직력 분포

표 2와 그림 9는 그림 7의 고조파 분석 결과이다.

표 2 자속밀도에 포함된 고조파 함유율

부하상태	기분파	고조파차수				
		3고조파	7고조파	19고조파	35고조파	37고조파
무부하	자속밀도의 크기	0.036	0.098	0.037	0.044	0.031
	기본파에 대한 백분율	6.1%	16.6%	6.3%	7.5%	5.3%
반부하	자속밀도의 크기	0.034	0.087	0.032	0.038	0.029
	기본파에 대한 백분율	6.4%	16.5%	6.1%	7.2%	5.5%
전부하	자속밀도의 크기	0.035	0.057	0.019	0.023	0.02
	기본파에 대한 백분율	10%	16.3%	5.4%	6.6%	5.7%

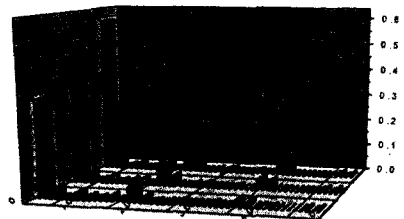


그림 9 자속밀도에 포함된 고조파 분석스펙트럼

3. 공극자속밀도 측정

3.1 Search Coil에 의한 측정

(1) Search coil

전동기의 전자기력은 고정자와 회전자 사이의 공극을 지나는 자속에 의하여 발생되는 맥스웰 응력이다. 따라서 공극에서의 자속을 직접 측정하여 이 힘을 계산하는 방법으로 공극에서의 전자기력을 구할 수 있다. 그러나, 논문에서 사용된 전동기는 소형 단상 유도전동기로 공극의 길이가 0.9mm로 작아서 직접적인 자속의 측정이 불가능하다. 따라서 이를 간접적인 방법을 통하여 구해야 한다.

공극에 분포하는 자속을 측정하기 위해 사용되는 간접적인 방법으로 첫째, 고정자 치 주위에 그림 1과 같이 Search coil을 설치하고 운전시 각 치를 통과하는 자속의 변화율을 측정하여 전자기력을 계산하는 방법과 둘째, 고정자에 흐르는 전류를 측정하여 공극에 분포하는 자속을 계산하는 방법 등이 사용된다. 본 시험에서는 첫 번째 방법을 택하여 시험하였다.

그러나 이 방법을 적용하여 공극에서의 전자기력을 측정하는 과정에는 몇가지 문제가 발생하게 된다. 첫째, 고정자 치의 모서리 부분이 매우 날카로워서 측정코일을 설치하는 과정에서 코일의 손상을 피하기가 어렵게 된다. 따라서 코일이 단락되게 되므로 정확한 측정결과를 도출해 낼 수 없게 된다. 둘째, 제작이 완료된 모터를 분해하여 측정코일을 설치 할 경우 분해과정과 조립과정에서 생기는 기계적, 전기적인 변형을 피할 수 없게 된다. 셋째, 코일을 채교하지 않는 누설 자속은 검출할 수 없다.

그림 10은 고정자 치에 설치한 측정코일을 나타낸다. 이때 코일의 턴수는 10으로 하였다.

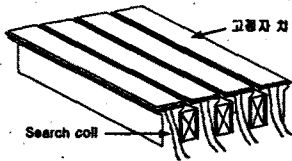


그림 10 치에 설치한 Search coil

(2) 자속 및 전자기력 계산

각 치에서의 자속을 계산하기 위하여 자속 측정용 코일에 유기되는 기전력의 변화를 측정한다. k번째 치에서 유기되는 기전력은

$$e_k(t) = N \frac{d\phi_k(t)}{dt} \quad (2)$$

여기서 N은 Search coil의 턴수이다. 따라서 이식으로부터 자속은

$$\phi_k(t) = \int e_k(t) dt \quad (3)$$

와 같고

$$B_k(t) = \frac{\phi_k(t)}{A} \quad (4)$$

를 통하여 자속밀도를 계산할 수 있다.

여기서 A는 k번째 고정자 치의 단면적이다. 따라서, 고정자의 치에서 발생하는 자속에 의한 맥스웰 응력은

$$f_k(t) = \frac{[B_k(t)]^2}{2\mu_0} = \frac{[\int e_k(t) dt]^2}{2\mu_0 A^2} \quad (5)$$

$$f_k(t) \propto [B_k(t)]^2 \quad (6)$$

여기서, μ_0 는 공기중의 투자율이다.

따라서 k 번째 고정자 치에서 발생하는 맥스웰 응력은 시간의 변화에 따른 함수이며 자속밀도의 제곱과 비례함을 알 수 있다.

그림 11은 이 과정을 간략히 표현한 그림이다.

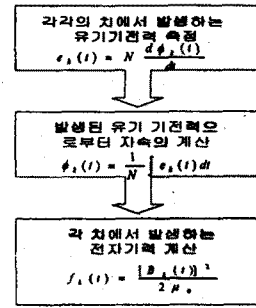


그림 11 계측을 위한 흐름도

3.2 계측 구성도

그림 12는 그림 1의 Search coil에서 발생된 유기기전력을 통하여 자속밀도를 측정하여 전자기력을 구해내는 과정을 나타내는 구성도이다. 코일에서 발생한 유기기전력을 AD Board를 통하여 신호처리화하여 상용프로그램인(LabVIEW)을 통하여 계산하고 값을 구할 수 있다.

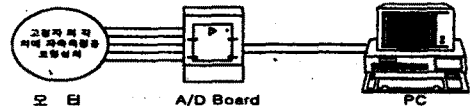


그림 12 자속 측정을 위한 계측구성도

5. 결론

콘덴서 기동형 4극 단상 유도전동기의 소음과 진동 특성을 해석하기 위하여 운전상태에 따른 특성과 회전자 편심되었을 경우에 대하여 각각의 특성을 유한요소법에 의하여 살펴 보았다. 또한 이를 근거로하여 고정자의 치에 Search coil을 설치하여 각각의 치에서 발생하는 자속을 측정하여 이론적으로 구한 값과 비교하고자 하였다.

모터의 운전상태가 다를 경우 공극에 존재하는 자속은 슬롯팅의 영향에 의한 파형의 왜형은 심하였으나 불평등하게 분포하는 자속은 볼수 없었다. 그러나 회전자가 편심 되었을 경우, 파형의 왜곡 뿐만 아니라 편심된 방향으로의 불평등한 자속이 분포함을 알 수 있었다. 이를 근거로 하여 공극에는 회전자를 일정방향으로 이끄는 불평등한 자기력이 존재함도 알 수 있었다. 이를 토대로 실제 측정치와의 비교를 통해 소음진동을 최소화 하기 위한 대책을 마련하는데 필요한 자료를 얻을 수 있었다.

[참고 문헌]

- [1] BELMANS, R., GEYSEN, W., JORDAN, H., and VANDENPUT, A. : 'Unbalanced magnetic pull in three phase two pole induction motors with eccentric rotors'. IEE conf. publ. 213, 1982 pp.65-69
- [2] P.L.Timar et al' 'Noise and Vibration of Electrical Machines' Elsevier Book Co. 1989
- [3] F.Kako , T.Tsuruta ,K.Nagaishi, H.Kohimo "EXPERIMENTAL STUDY ON MAGNETIC NOISE OF LARGE INDUCTION MOTORS". IEEE Transactions on PAS, Vol. PAS-102, No.8, August 1983.