

송풍 팬을 위한 외전형 유도전동기의 회전자 슬롯형상의 최적화

김경수, 차현록, 윤철호, 정태욱
전남대학교 전기공학과, 한국생산기술연구원 부품소재팀

The Optimization Design of Rotor Slot shape In Outer-Rotor Type Induction Motor For Fan Blowers

Kyung Su Kim, Hyun Rok Cha, Cheol Ho Yun, Tae Uk Jung
Depts.Electrical Eng. Chonnam National University, Korea Institute of Industrial Technology

Abstract - 외전형 모터는 내전형 모터에 비해 소형화 및 경량화 시킬 수 있는 특징을 가진다. 그러나 회전자와 고정자간의 공극사이에 이심률이 있을 때, 불균형 모멘트로 인한 토크 리플이 내전형보다 더 크게 일어나는 단점이 있다. 이전의 연구들은 회전자 슬롯 형상의 변화에 따른 모터의 변화를 유한요소해석법을 통해 알아보았다. 우리는 이러한 유한요소해석법을 통한 시뮬레이션을 통해 외전형 모터에서 이심률이 발생 및 증가함에 따라 나타나는 토크 리플을 줄일 수 있는 최적화된 슬롯형태를 찾아보았다.

1. 서 론

현재 유도 전동기 모터는 간단한 구조성과 신뢰할 수 있는 성능을 제공하기 때문에 많은 산업 분야에서 널리 사용되고 있다. 그 중 외전형 모터는 내전형 모터에 비해 회전하는 회전자부분이 외부에 존재하는 특징을 가지고 있다. 이러한 특징은 적은 토크에도 많은 출력을 얻을 수 있을 뿐만 아니라 모터의 크기를 줄일 수 있는 장점을 가지기 때문에, 외전형 모터는 팬형 모터나 환풍기용 모터로 주로 사용된다.

그러나 외전형 모터는 내전형 모터에 비해 회전자 직경이 커지기 때문에, 모터 조립 과정 중 공극사이에 회전자와 고정자 간의 이심률이 존재할 때 더 많은 불균형 모멘트를 가지게 된다. 이러한 불균형 모멘트는 모터의 정속적인 운전을 방해하는 토크-리플을 발생시켜 결국 모터의 효율을 떨어뜨리는 현상뿐만 아니라 모터의 진동으로 인한 소음의 가져온다.

외전형 모터에서 이러한 문제를 줄이기 위해선, 설계의 변경이 어려운 고정자 보다 변경이 쉬운 회전자 부분을 재설계 하는 방법이 있다. 우리는 회전자설계의 여러 가지 방법 중에서 이심률이 존재시 발생하는 토크 리플 및 소음을 최소화 할 수 있는 최적화된 회전자 슬롯 형상을 찾아보았다.

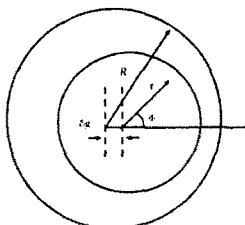
2. 본 론

2.1 외전형 모터의 이심률과 불균형 모멘트

2.1.1 이심률

이심률이란 고정자와 회전자의 조립과정에서 나타나는 문제로, 고정자와 회전자 간에 동심도가 맞지 않을 때, 둘 사이에 존재하는 공극에 나타나는 현상이다. 이러한 현상은 모터의 정지 시에 존재하는 고정적인 이심률과 회전자의 회전 시에 나타나는 동적인 이심률로 존재한다. 이러한 현상은 제조 과정에서 나타나는 현상 중에 하나로서 보통 이심률이 5-10%이내에 존재한다[1]. 하지만 조립과정 중에 문제가 있거나, 조립과정을 수행하는 기계의 정밀도가 떨어진다면 최대 40%까지 이심률이 나타날 수 있다[2]. 또한 베어링 조립, 회전자 또는 고정자의 동작이나 모터 동작시 발생하는 열팽창 또한 공극사이의 이심률 증가에 영향을 미친다. 고정적인 이심률의 증가는 불균형 모멘트와 불균형 자속밀도를 만들어 동적인 이심률 또한 증가시켜서, 토크-리플 및 소음을 유발할 뿐만 아니라, 심할 경우 모터의 고장을 초래하기도 한다[3]. 이 논문에서는 정적인 이심률을 줄일 수 있는 방법을 찾아보았다. 이심률에 대한 이해를 돕기 위해 그림 1. 과 같은 이심률이 공극 사이에 존재한다고 가정하였다[4]. 그림2. 에서 고정자와 회전자 사이에 수평방향으로 존재하는 이심률을 δg 로 표기하였다. 이심률이 존재하지 않을 때의 공극 반경을 g_0 라 하면 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$g(\phi) = g_0 - \delta g \cos\phi \tag{1}$$



<그림 1> 공극에 이심률이 존재할 때

2.1.2 불균형 모멘트

불균형 모멘트는 모터의 회전축이 정확히 중심에 맞지 않을 때 나타난다. 이러한 현상은 이심률이 존재할 때 더 크게 나타나게 되며 이와 같은 현상은 힘의 오른손 법칙을 따른다.[4]

이심률 ϵ 에 의해 발생하는 불균형 힘은(Fu)

$$F_u = m\epsilon\omega^2 = U\Omega^2 \tag{2}$$

(여기서 m = 회전자의 질량, Ω =각속도 이다.)

로 나타낼 수 있다. 또한 힘의 오른손 법칙에 의한 원심력(Mu)은

$$M_u = (R_d - R_p)\tau\Omega^2 = U_M\Omega^2 \tag{3}$$

(여기서 R_d = 회전자의 반경, R_p = 회전자의 높이, τ =각속도 변위량 U_M =불균형 모멘트 이다.)

으로 나타낼 수 있다.

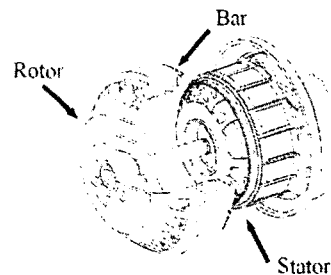
외전형 모터는 회전자의 반경이 내전형에 비해 더 크기 때문에 공극에 이심률이 존재시 더 많은 불균형 모멘트가 발생하게 된다. 이러한 특징은 곧 내전형 모터에 비해 외전형 모터가 공극에 이심률에 따른 영향이 더 크다는 사실을 보여준다.

2.2 회전자 슬롯 형상 변화를 통한 이심률의 증가에 따른 토크 리플 및 출력 토크 비교

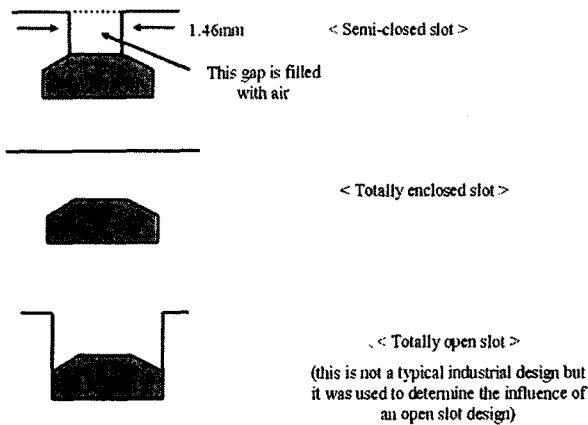
2.2.1 회전자 슬롯 형상

우리는 이심률의 증가에 따른 모터의 효율상 및 진동을 최대한 줄일 수 있는 회전자 슬롯 형상을 찾기 위해, 그림3. 에서 보듯 전폐형(Totally Closed), 반폐형(Semi-Closed), 개구형(Totally Open) 등 세 가지 형태의 회전자 슬롯 형상을 조사하기로 하였다. 이러한 세 가지 회전자 슬롯 형상을 가지는 외전형 모터를 유한요소법을 사용한 시뮬레이션을 통해 나타나는 토크 곡선을 통해 이심률에 따른 토크 리플 및 출력토크를 비교, 분석하기로 하였다[5].

전폐형 슬롯은 슬롯 윗부분을 1.46mm정도 개방하여 공기층을 만들어 주었다. 바의 재질에 따라 모터의 특성이 달라질 수 있기 때문에, 우리는 바의 재질을 알루미늄으로 하여 시뮬레이션을 하였다. 시뮬레이션 할 때 이심률은 0%부터 40%까지 각 10%씩 증가시키며 토크 리플 및 출력 토크를 비교하였다. 시뮬레이션 한 모터는 다음과 같은 특징을 따랐다: 커패시터 기동형 단상 유도 전동기, 입력전압 230V, 주파수 60Hz, 4극, 1700rpm으로 회전, 입력전류 0.51A, 고정자 슬롯갯수 16개, 회전자 슬롯갯수 22개.



<그림 2> 시뮬레이션 한 외전형 모터



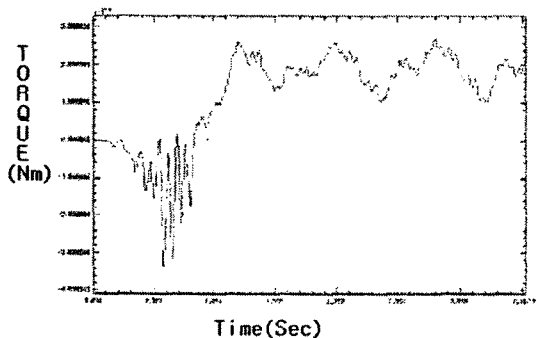
<그림 3> 회전자 스롯 형상 고찰

2.2.2 이심률의 증가에 따른 출력 토크 및 특성

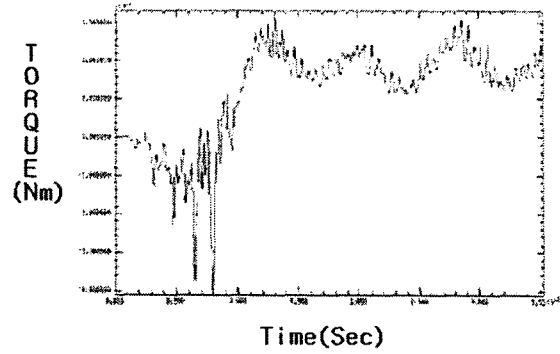
먼저 이심률이 0%일 때, 세 가지 회전자 형상에 따른 출력토크를 비교해 보았다. 이러한 결과는 단순히 슬롯형태에 따른 출력토크의 영향을 보여주는 것으로서, 슬롯의 형태가 출력토크에 영향을 미친다는 사실을 보여준다. 전폐형과 반폐형의 출력토크 차이는 0.008 Nm로 거의 차이가 없었으나, 전폐형과 개구형에서는 약 0.04 Nm로 상대적으로 많은 차이가 나타나는 걸 볼 수 있었다. 이후 이심률을 증가함에 따라 나타나는 출력토크를 표 1.에 정리하였다. 이심률이 증가함에 따라 반폐형은 전폐형보다 감소폭이 더 크게 나타나는 현상을 볼 수 있었는데, 이는 곧 반폐형이 전폐형보다 이심률에 따른 변화에 더 취약하다는 사실을 보여준다. 전폐형 또한 출력토크가 줄어들지만, 반폐형 보다는 변화의 폭이 적어서 반폐형보다는 이심률 변화에 더 좋은 슬롯형태라는 것을 확인할 수 있다. 개구형은 출력토크의 변화는 거의 없지만, 그림 4.에서 보여주는 토크 리플 곡선의 변화가 심하게 나타난다. 이와 같은 토크-리플 곡선의 심한 변화는 곧 모터의 진동이 더 크다는 것을 의미하며 이러한 모터의 진동은 소음발생 및 고장의 요인이 될 수 있다. 반폐형 또한 토크 리플 곡선의 변화가 나타나는 현상을 역시 그래프를 통해 확인할 수 있다. 반면에 전폐형의 토크 리플 곡선의 변화는 다른 슬롯 형태보다 상대적으로 적게 나타나는 걸 알 수 있다. 결국 출력 토크 및 토크 리플 곡선을 비교 분석한 결과 세 가지 슬롯 형태 중 전폐형 슬롯형태가 이심률 존재 시에 가장 좋은 슬롯형태라는 걸 확인할 수 있었다.

<표 1> 회전자 슬롯 형상 변화 후 이심률의 증가에 따른 출력 토크 비교

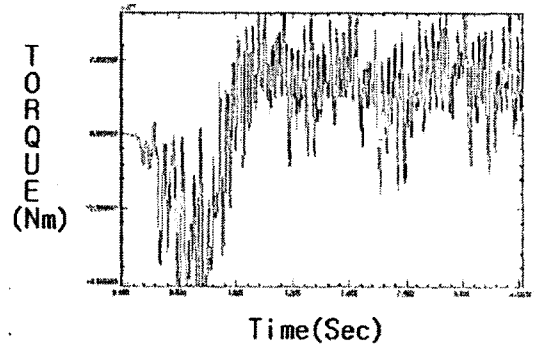
이심률 토크(Nm)	0%	10%	20%	30%	40%
전폐형 (비율)	0.1938 (100%)	0.1917 (98.8%)	0.1906 (98.3%)	0.1897 (97.85%)	0.1882 (97%)
반폐형 (비율)	0.1853 (100%)	0.1793 (96.8%)	0.1757 (94.97%)	0.174 (93.95%)	0.172 (92.85%)
개구형 (비율)	0.1452 (100%)	0.1449 (99.8%)	0.1443 (99.4%)	0.1441 (99.26%)	0.143 (98.5%)



(a)



(b)



(c)

<그림 4> 이심률이 40%인 경우, 슬롯형상에 따른 토크 리플 특성
(a) 전폐형 (b)반폐형 (c)개구형

3. 결 론

지금까지 회전자 슬롯 형상 변화를 통한 이심률 증가에 따른 출력 토크 및 토크 리플 곡선을 비교 분석해 보았다. 이심률이 증가함에 따라 슬롯형태에 따라 차이는 있지만 출력토크가 줄어드는 것을 볼 수 있었다. 이는 이심률이 증가함에 따라 불균형 모멘트 또한 증가하여 결국 출력토크를 줄이는 현상을 가져온다고 볼 수 있다. 한편 이심률이 증가함에 따라 나타나는 출력토크의 변화량은 반폐형에서 가장 크고, 개구형이 가장 작음을 알 수 있었다. 이는 반폐형이 출력토크 면에서 이심률에 가장 취약하다는 사실 또한 보여준다. 전폐형은 출력토크의 변화는 적었지만 토크 리플은 다른 두 가지 형태의 슬롯보다 더 많이 나타나 결국 모터 진동 및 소음이 더 크다는 사실을 알 수 있게 하였다. 결국 이심률이 증가하여도 출력토크의 변화가 적고, 토크 리플도 적게 발생하는 전폐형 슬롯이 이심률에 가장 효과적인 슬롯형태라고 볼 수 있다. 이러한 전폐형 슬롯은 내전형보다 이심률의 영향을 더 많이 받는 외전형 모터에서 더 큰 효과를 볼 수 있을 거라 생각된다. 외전형 모터를 설계할 때, 전폐형 슬롯이 이심률 발생 시 가장 최적화된 슬롯형태라고 볼 수 있을 것이다.

[참 고 문 헌]

- [1] Austin H. Bonnett and Timothy Albers, "Squirrel-Cage Rotor Options for AC Induction Motors," *IEEE Trans. Industrial Applications*, vol. 37, no. 4, July/August 2001, pp. 1197-1209
- [2] R. L. Nailen, "Are electric motor aluminium bar rotors here to stay?," *Elect. App.*, Dec. 1980
- [3] H. A. Toliyat and M.S. Arefeen and A.G. Parlos, "A method for dynamic simulation and detection of air-gap eccentricity in induction machines", *IEEE trans.* 1995
- [4] Erwin Kramer, *Dynamics of Rotors and Foundations*, Springer-Verlag, NY: 1990, p.38-76
- [5] A. Barbour and W. T. Thomson, "Finite element study of rotor slot designs with respect to current monitoring for detecting static air-gap eccentricity in squirrel-cage induction motors", *IEEE industrial Applications Society Annual Meeting New Orleans, Louisiana*, October 5-8, 1997 pp.112-119