

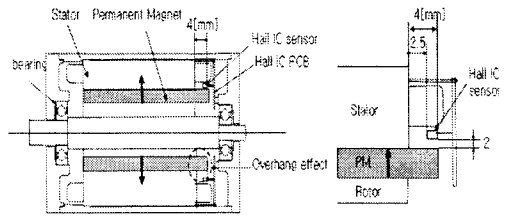
비대칭 영구자석 오버행을 갖는 BLDC Motor의 Z축 추력에 의한 진동특성

안영규\*, 윤병채, 강규홍<sup>1</sup>, 김규택  
모터넷(주)<sup>1</sup>, 창원대학교 전기공학과

The Vibration Characteristics according to Z-axis thrust for BLDC Motor with Asymmetrical Permanent Magnet Overhang Structure

Young-Gyu An\*, Byung-Chae Yun, Gyu-Hong Kang<sup>1</sup>, Gyu-Tak Kim  
Motor-Net Int. CO, LTD<sup>1</sup>, Dept. of Electrical Engineering, Chang-won Univ.

**Abstract** - 본 논문에서는 Brushless DC Motors(이하 BLDC Motor이라 함)의 비대칭 영구자석 오버행 구조에 의한 Z축 방향 추력, 진동 특성을 연구하였다. 무부하인 경우에는 Z축방향 추력이 일정하므로 베어링에 하중으로만 작용하여 진동은 발생하지 않는다. 그러나 코일전류가 증가할 수록 코일전류에 의한 증자, 감자작용으로 인하여 자속에 리플이 발생하며 Z축 방향 추력도 리플은 물론 진동이 발생한다. 따라서, 본 연구에서는 전기자 전류 변화에 따른 자속밀도 및 Z축 방향 추력 특성을 해석하였으며 이를 실험치와 비교하였다.



<그림 1> 해석 모델

1. 서 론

BLDC Motor는 회전자에 영구 자석이 존재 하고 회전자의 위치, 속도를 감지하기 위하여 Sensor를 포함한 Driving circuit을 필요로 한다. Hall IC sensor를 사용해 자속을 감지할 경우 회전자의 위치를 측정하기 위해서 추가적인 영구 자석이 필요하게 되므로 구조가 복잡해진다. 따라서 대부분의 BLDC Motor에서는 회전자에 영구 자석의 비대칭 오버행 구조를 많이 사용한다. 그러나 이 구조에서는 자기적 불평형에 의하여 Z축 방향 추력이 발생한다. 이는 베어링의 손상은 물론 모터에 노이즈와 진동의 유발 원인이 된다[1,2].

무부하인 경우에는 영구자석의 비대칭 오버행 구조로 인한 Z축 방향 추력은 항상 일정하므로 베어링에 하중으로만 작용한다. 즉, 일정한 크기의 힘이 작용하므로 진동은 발생하지 않는다. 그러나, 전기자 전류가 증가하면 전기자 전류에 의한 증자, 감자 작용에 의하여 자속 리플이 생기며, 이 자속 리플에 의해 Z축 방향 힘도 주기적으로 변화하게 되며 진동의 주원인이다.

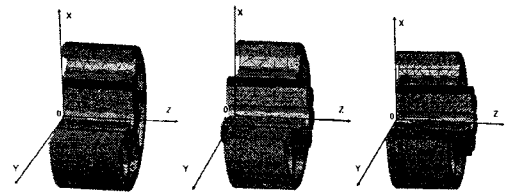
따라서, 본 연구에서는 비대칭 영구 자석의 오버행 효과를 고려, 오버행이 Z축 방향에 미치는 영향력을 계산하기 위하여 3차원 유한요소법(3D FEM)을 사용하였다. 그리고 비대칭 영구 자석 오버행 모델과 대칭 영구 자석 오버행 모델, 오버행이 없는 모델을 비교 하고, 해석 결과와 실험 결과를 비교, 분석 하였다.

2. 본 론

2.1 3차원 유한 요소법을 이용한 특성 해석

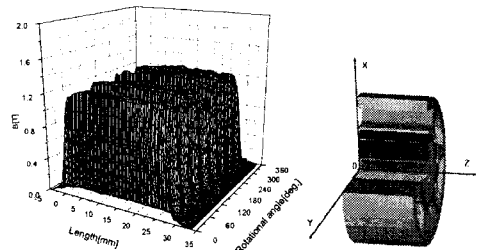
오버행 효과는 유효 자속량의 변화, 발생 토크, 코깅 토크 뿐만 아니라 축 방향 힘 등과 같은 특성의 변화를 일으킬 수 있다. 이와 같이 영구 자석의 오버행 구조를 고려하여 해석을 하기 위해서는 해석 단면의 수직방향으로 구조적 성질이 변하지 않는다는 2차원 해석으로는 해석이 불가능하다. 따라서 오버행 효과를 고려하기 위하여 3차원 해석이 반드시 필요하다.

그림 1은 해석 모델의 구조를 나타낸다. 본 논문에서 적용한 모델은 회전자인 영구 자석의 길이가 고정자 보다 비대칭적으로 한쪽이 4mm 긴 구조이다. .

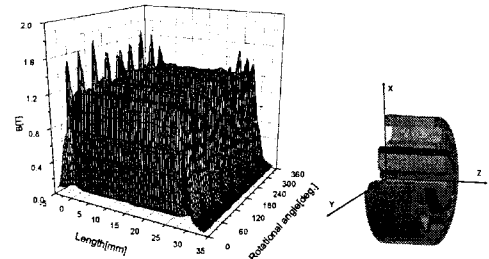


(a)오버행 없는 모델 (b)대칭 오버행 모델 (c)비대칭 오버행 모델  
<그림 2> 해석 모델의 3차원 요소 분할도

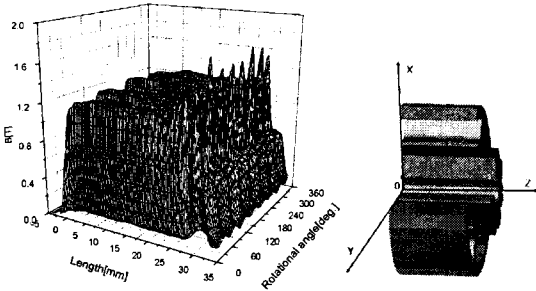
그림 2는 3-D FEM을 위한 각 모델의 요소분할도이다. 그림 3은 무부하인 경우 영구자석만 여자된 모델의 공극 자속 밀도를 나타낸다. 비대칭 오버행 모델의 공극 자속밀도는 철심으로의 자속 소립현상이 발생함은 물론 비대칭적으로 나타나 이것이 Z축 방향 힘을 유발 시킨다.



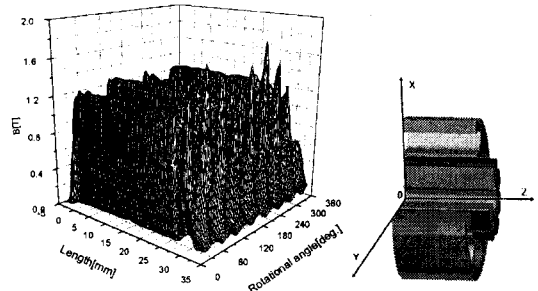
(a) 오버행 없는 모델



(b) 대칭 오버행 모델

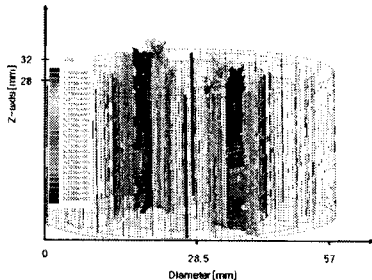


(c) 비대칭 오버행 모델  
 <그림 3> 무부하인 경우 공극 자속밀도

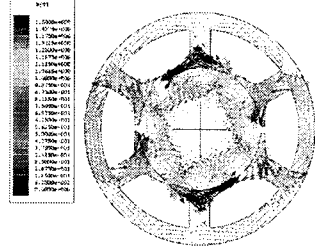


<그림 6> 부하인 경우 비대칭 오버행 모델의 공극 자속밀도

그림 6은 전기자 전류가 증자구간에서 통전하였을 경우 공극 자속밀도를 나타낸 것으로 무부하인 경우의 공극 자속밀도보다 큰 자속이 나타났다.



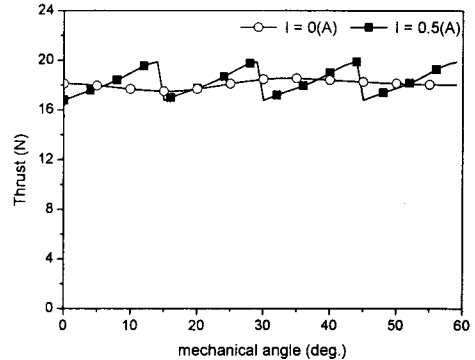
(a) 축 방향에서 자속 밀도 벡터분포도



(b) 축 방향에서 자속 밀도 벡터분포도

<그림 4> 비대칭 오버행 모델의 자속 밀도 벡터분포도

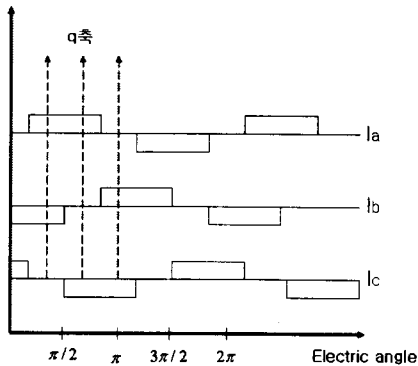
그림 4는 비대칭 오버행 모델의 자속 밀도 벡터분포도를 나타낸다. 28mm에서 오버행에 의하여 자속이 집중된다.



<그림 7> 비대칭 영구자석 오버행 모델의 Z축 방향 추력 리플

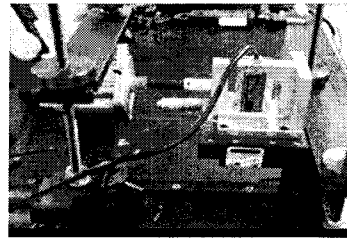
그림7은 전기자 전류에 따른 Z축 방향 추력을 나타낸다. 전기자 전류가 0(A)인 경우에는 Z축 방향 추력이 18.5[N]으로 일정하지만, 전기자 전류가 인가되는 경우 자속이 증가, 감자를 반복하여 통전구간에 자속의 리플이 발생한다. 이러한 자속 리플에 의하여 Z축 방향 추력도 전기각 60°마다 추력의 리플이 발생한다. 이 Z축 방향 추력에 의하여 Z축 방향 진동이 발생하며 전류가 증가할 수록 진동은 더욱 증가하게 된다.

## 2.2 진동 측정 실험



<그림 5> BLDC 모터의 전류 통전도

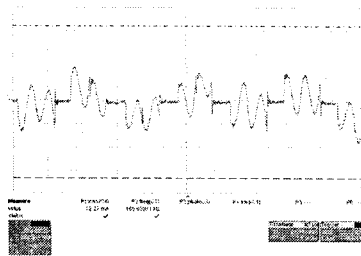
그림 5는 BLDC 모터의 구형과 120° 도통형 전류 통전도이며 60°마다 상 전환을 하며 두상이 통전한다. 전류에 의한 자속의 중심이 회전자의 자극과 자극사이에 있을 경우 q축이라 하면 q축 보다 앞선 30° 위치에서 시작하여 q축 보다 뒤진 30°까지 통전하게 된다. 따라서 q축 보다 앞선 진상인 위치 30° ~ 60°에서는 두상의 전류에 의하여 자속은 감자하고, q축 보다 뒤진 지상인 위치 60° ~ 90°에서는 자속을 증가 시킨다.



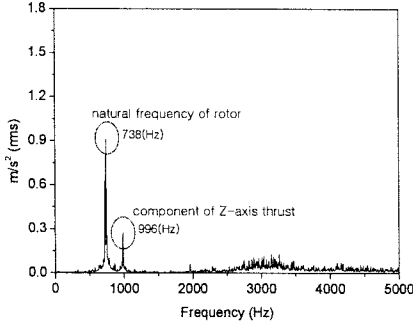
<그림 8> 추력 측정 장치

그림 8은 Z축 방향 추력을 측정하기 위한 시험 장치이며 실험 결과와 3-D FEM 해석 결과를 각각 비교하였다. 실험 결과 Z축 방향 추력은 19.7[N], 해석 결과는 18.5[N]으로 비슷한 결과를 가졌다.

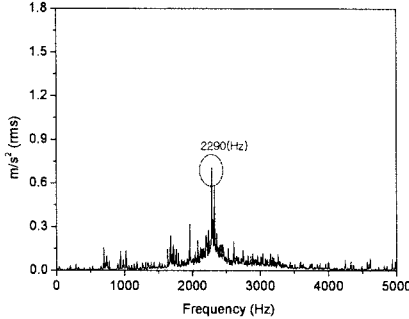
해석 및 실험 결과에 의하여 비대칭 영구자석 오버행 BLDC 전동기의 Z축 방향 추력이 운전 중에 일정한 값을 가지면 베어링에 의해 고정되어 부하로만 작용한다. 그러나 Z축 방향으로의 추력 리플이 발생하여 일정한 주파수를 갖는 Z축 방향의 진동을 발생시킨다. 본 논문에서의 해석결과로는 전기자 전류가 통전되면 운전주파수의 6배수인 진동주파수가 발생한다.



(a) 무부하 전류 특성



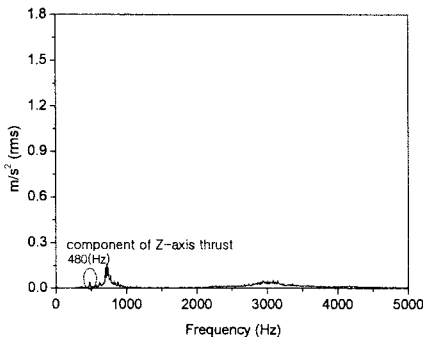
(b) Z-축 방향 진동성분 (2500rpm, 166Hz)



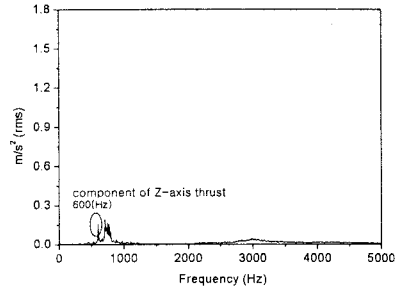
(c) Radial 방향 진동성분 (2500rpm, 166Hz)

<그림 9> 무부하 최대속도에서의 전류 및 진동 특성

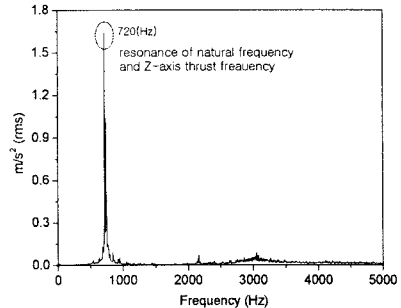
그림 9는 2500(rpm)으로 운전할 때의 전류와 Z축 방향과 Radial 방향 성분의 진동특성을 나타내었다. Z축 방향 성분에서 회전체의 고유진동수는 738(Hz)대역이며 Z축 방향 추력리플에 의해 운전주파수 166(Hz)의 6배인 996(Hz)에서  $0.273(m/s^2)$  진동성분이 발생함을 알 수 있다. Radial 성분의 진동량은 Z축 방향의 진동량에 비해 상대적으로 매우 적은 값을 가지며 회전체의 Z축 방향 고유진동수의 3배인 2290(Hz)대역에서의 진동성분이 Radial 방향 진동량을 주도함을 알 수 있다.



(a) 80Hz (1200rpm)



(b) 100Hz (1500rpm)



(c) 120Hz (1800rpm)

<그림 10> 주파수별 Z-축방향 진동 특성

그림 10은 운전주파수별 Z축 방향 진동특성을 비교하여 나타내었다. Z축 방향 진동의 경우 회전주파수의 6배에 해당하는 주파수로 진동이 발생하며 운전주파수가 증가할수록 전기자 전류도 증가하며 전류가 증가할수록 Z축 방향 추력리플의 증가에 의해 진동도 증가한다. 특히, 운전주파수가 증가할수록 Z-축방향의 진동주파수도 증가하며 120(Hz)로 운전 시에는 Z축 방향 추력리플에 의한 진동성분과 회전체의 고유진동주파수가 공진이 되어 진동량이 급격히 증가함을 알 수 있다. 따라서 영구자석 전동기의 회전자 설계 시 Z축 방향 진동특성을 고려한 설계가 이루어져야함을 알 수 있다.

### 3. 결 론

본 논문에서 비대칭 영구 자석 오버행 BLDC 전동기의 Z축 방향 추력에 의한 진동특성을 연구하였다. 비대칭 오버행 구조에 의해 Z축 방향 추력이 발생하고 구형과 구동에 의해 전기자 전류의 자속과 영구 자석의 자속이 증가, 감자를 반복한다. 따라서 Z축 방향 추력도 전류통전 주파수와 같은 주파수의 리플을 발생한다. Z축 방향 추력 리플에 의하여 BLDC 전동기의 진동을 발생한다.

해석 결과와 실험 결과를 비교, 분석하여 Z축 방향 추력에 의한 진동을 입증하였다. 따라서 비대칭 영구자석 오버행을 갖는 BLDC 전동기에서 영구자석 오버행을 자극위치 검출용 센서 마그네트로 이용하는 경우 Z축 방향의 추력이 부하상태에서 리플을 가지며 이에 따른 전자 진동이 증가하게 되므로 BLDC 전동기 설계 시 Z축 진동을 고려하여 설계해야한다.

### [참 고 문 헌]

- [1] Yoshihiro Kawase, Tadashi Yamaguchi, Shinya Sano, To shiyuki Yano, Masao Igata, Kazuo Ida and Akio Yamagiwa, "Effects of Off-Center of Rotor on Distributions of Electromagnetic Force", *IEEE Trans. Magn.*, vol. 41, no. 5, pp.1944-1947, May. 2005.
- [2] D. Mori and Ishikawa "Force and Vibration Analysis of Induction Motors", *IEEE Trans. J. Magn*, vol. 41, no. 5, pp.1948-1951, May 2005.