

### 3차원 유한요소법을 이용한 BLDC 모터의 영구 자석 오버행에 의한 소음 및 진동 특성

안 영 규\*, 강 규 홍<sup>1</sup>, 김 규 탁  
 모터넷 (주)<sup>1</sup>, 창원대학교 전기공학과

#### ANALYSIS OF PERMANENT MAGNET OVERHANG EFFECT BY USING 3D FEM IN THE POINT OF NOISE AND VIBRATION

Young-Gyu An\*, 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 영구 자석의 오버행에 따른 진동, 소음 특성에 대하여 다루었다. 비대칭 오버행 구조에서는 Z축 방향 힘이 발생한다. 이는 베어링에 손상을 입힐 뿐 아니라 큰 노이즈와 진동을 유발시킨다. 따라서 진동과 소음의 감소를 위한 자석 오버행 효과 해석이 필수적이다. 본 논문에서는 비대칭 영구 자석 오버행 효과를 해석하고 BLDC Motor에서 발생하는 소음과 진동을 분석하였고 비대칭 영구 자석 오버행 효과를 고려하여 Z축 방향의 영향력을 계산하기 위하여 3차원 유한요소법(3D FEM)을 사용하였다.

#### 1. 서 론

Brushless DC Motor 는 광범위한 속도, 토크 제어로 로봇 시스템에서 compressor, actuator등으로 사용되고 있다. BLDC Motor는 회전자에 영구 자석이 존재 하고 회전자의 위치, 속도를 감지하기 위하여 Sensor를 포함한 Driving circuit을 필요로 한다. Hall IC sensor를 사용해서 자속을 감지할 경우 회전자의 위치를 측정하기 위해서 추가적인 영구 자석이 필요하게 된다. 이 경우 구조가 복잡해지고 추가적인 자석의 비용이 든다. 따라서 대부분의 BLDC Motor에서는 회전자에 영구자석의 비대칭 오버행 구조를 사용한다. 그러나 이 구조에서는 Z축 방향 힘이 발생한다. 이는 베어링에 손상을 입힐 뿐 아니라 큰 노이즈와 진동을 유발한다.[1][2] 따라서 진동과 소음의 감소를 위한 자석 오버행 효과 해석이 필수적이다. 본 논문에서는 비대칭 영구 자석 오버행 효과를 해석하고 BLDC Motor에서 발생하는 소음과 진동을 분석하였다.

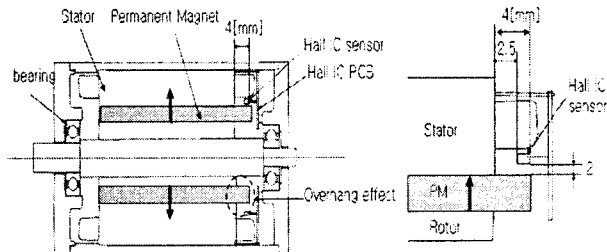
비대칭 영구 자석 오버행 효과를 고려하여 Z축 방향의 영향력을 계산하기 위하여 3차원 유한요소법(3D FEM)을 사용하였다. 그리고 3차원 해석의 Z축 방향 힘을 실험 결과 및 2차원 결과와 비교하였다. 비대칭 자석 오버행의 소음, 진동 효과는 대칭 자석 오버행 모델의 특성결과와 비교, 검토하였다.

#### 2. 본 론

##### 2.1 3 차원 유한 요소법을 이용한 특성 해석

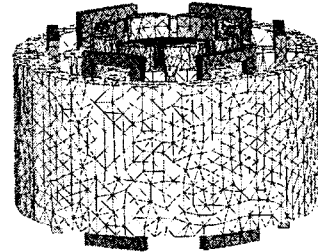
본 논문은 BLDC 모터의 비대칭 영구 자석 오버행 효과를 분석하기 위하여 3-D FEM을 이용하였다.

그림 1은 해석 모델의 구조를 나타낸다. 회전자의 영구 자석의 길이가 고정자 보다 비대칭적으로 한쪽이 4mm 길다. 그림 2는 3D FEM 해석을 위한 모델이다.

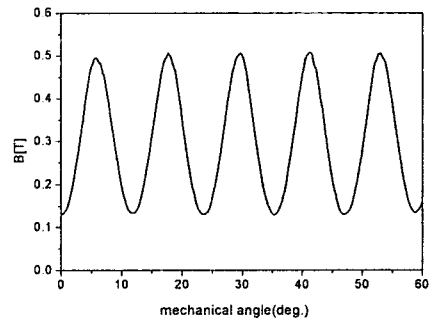


〈그림 1〉 해석 모델

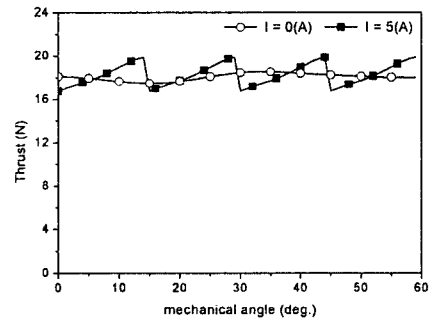
그림 3에서 비대칭 영구 자석 오버행 모델의 hall sensor에서의 자속 밀도를 나타낸다. Hall sensor에서 최소 자속 밀도는 0.12[T]이고, 쇄교 자속은 90[G]이다. 최대 자속 밀도는 0.5[T], 쇄교 자속은 375[G]이다. 본 모델에 사용된 hall sensor의 최소 동작 자속은 30[G] 이므로 충분히 센서가 동작할 수 있는 자속을 얻을 수 있다.



〈그림 2〉 3차원 유한요소법 모델



〈그림 3〉 비대칭 모델의 hall sensor에서의 자속 밀도

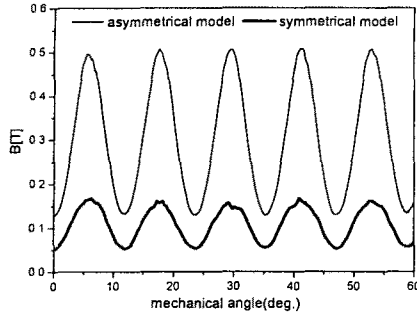


〈그림 4〉 비대칭 모델의 z축 방향 힘

그림 4는 3D FEM을 이용한 비대칭 오버행 모델의 z축 방향 힘이다. 전류를 인가하지 않았을 경우 z축 방향 힘은 18.05[N]이고, 전류를 인가하였을 경우 z축 방향 힘은 최대 19.9[N]최소 16.7[N]인 리플을 갖는다. 전류를 인가하였을 경우 리플을 갖는 것은 전기자의 엔드 코일의 자속 밀도의 변화 때문이다.

비대칭 영구 자석 오버행 모델의 특성과 비교하기 위하여 대칭 영구 자석 오버행 모델 특성도 해석하였다. 대칭 영구 자석 오버행 모델은 영구 자석이 양쪽으로 2mm가 고정자 보다 길다.

그림 5는 대칭 영구 자석 오버행 모델과 비대칭 영구 자석 오버행 모델의 hall sensor에서의 자속 밀도를 나타낸다. 대칭 영구 자석 오버행 모델에서 최소 자속 밀도는 0.0532[T]이고, 쇄교 자속은 40[G]이다. 최대 자속 밀도는 0.157[T], 쇄교 자속은 118[G]이다.

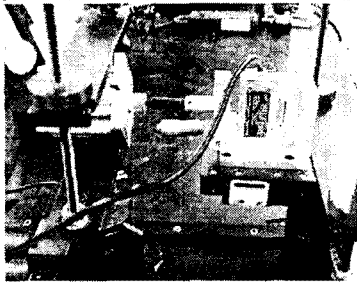


〈그림 5〉 비대칭 모델의 hall sensor에서의 자속 밀도

## 2.2 유한요소법과 실험 결과 비교

비대칭 영구 자석 오버행 모델의 특성을 분석하기 위하여 유한요소법과 실험 결과를 비교 검토 하였다.

그림 6은 비대칭 모델의 z축 방향 힘을 측정하기 위한 실험 장치이다.



〈그림6〉 비대칭 모델의 z축 방향 힘 측정을 위한 실험 장치

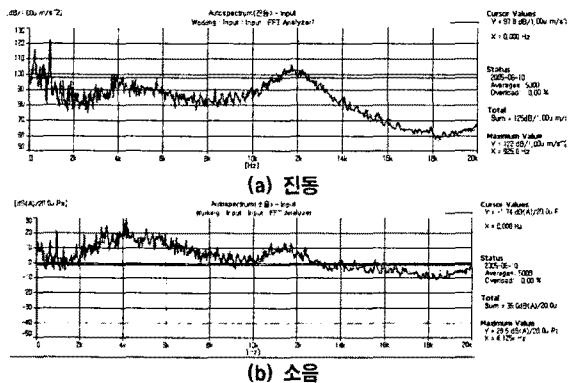
〈표 1〉 해석 및 실험 결과

		Asymmetrical magnet overhang model			Symmetrical magnet overhang model	
		2-D FEM	3-D FEM	Experiment	2-D FEM	3-D FEM
Z-axis thrust		23 (N)	18.05 (N)	19.7 (N)	2.84 (N)	0.0077(N)
Flux linkage at hall IC sensor	Minimum	-	90 (G)	-	-	40(G)
	Maximum	-	375 (G)	-	-	117.8 (G)
Average		205 (G)	232 (G)	-	103.5 (G)	79 (G)

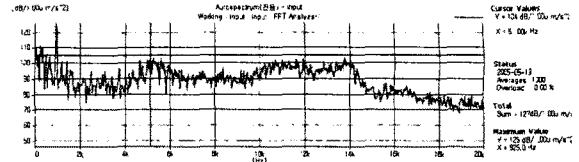
표 1은 유한요소법과 실험 결과를 나타낸다. 영구자석 비대칭 오버행 모델에서 2차원 유한요소해석은 실험 결과와 다소 차이가 있다. 3차원 유한요소해석은 오버행 효과를 고려할 수 있다. 해석 결과는 18.05[N]으로 실험 결과와 대등소이하다. 비대칭 오버행 모델에서 Z축 방향 힘이 실험, 해석 결과와 같이 대단히 큰 값을 가진다. 이 힘은 큰 노이즈와 진동을 유발한다. 대칭 오버행 모델의 3차원 유한요소해석 결과 값은 0.0077[N]으로 계산되었다.

## 2.3 진동과 소음 측정

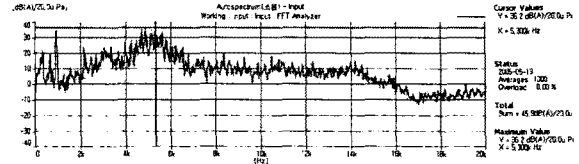
그림 7과 8은 무 부하 4000[rpm]에서 비대칭 영구 자석 오버행 모델과 대칭 영구 자석 오버행 모델에 따른 진동, 소음을 나타낸 실험 결과이다. 비대칭 모델이 대칭 모델의 진동, 소음이 크게 나타남을 알 수 있다,



〈그림 7〉 대칭 영구 자석 오버행 모델의 진동 소음

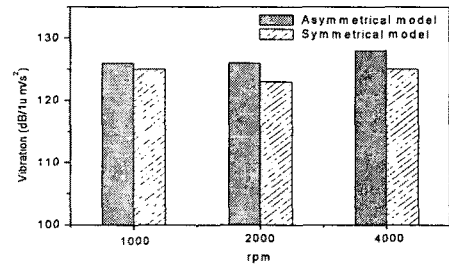


〈b〉 진동

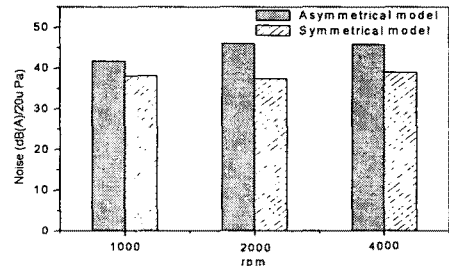


〈b〉 소음

〈그림 8〉 비대칭 영구 자석 오버행 모델의 진동 소음



〈a〉 진동



〈b〉 소음

〈그림 9〉 속도에 따른 진동, 소음

그림 9는 속도에 따른 비대칭 영구 자석 모델과 대칭 영구 자석 모델의 진동, 소음을 나타낸 것이다.

비대칭 영구 자석 오버행 모델의 진동은 대칭 영구 자석 오버행 모델의 진동 보다 3 [dB/1u m/s<sup>2</sup>] 크다. 그리고 소음은 비대칭 영구 자석 오버행 모델이 6 [dB(A)/20u Pa] 크다. 따라서 진동과 소음은 코깅 토크 뿐만 아니라 비대칭 영구 자석 오버행의 z축 방향 힘의 영향을 받았기 때문이다.

## 3. 결 론

본 논문은 BLDC Motor의 비대칭 영구자석 오버행 효과에 따른 진동, 소음 특성 해석을 수행하였다. 오버행 효과를 고려하기 위하여 3차원 유한요소법을 적용하였고, 비대칭 영구자석 오버행 모델의 소음, 진동 효과는 대칭 자석 오버행 모델의 특성결과와 비교, 검토 하였다. 비대칭 영구자석 오버행 모델이 Z축 방향 힘이 크게 작용 하여, 큰 진동과 소음이 발생함을 검증하였다.

본 연구는 산업자원부 지방기술혁신사업(RTI04-01-03) 지원으로 수행되었습니다

## [참 고 문 헌]

- [1] Yoshihiro Kawase, Tadashi Yamaguchi, Shinya Sano, Toshiyuki 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.