

HDD용 스피들 모터의 쓰러스트 힘 해석

서정무¹⁾, 류세현¹⁾, 정인성¹⁾, 성하경¹⁾, 양국현²⁾
¹⁾지능메카트로닉스 연구센터, 전자부품연구원
²⁾기술연구소, 에이테크솔루션(주)

Thrust Force Analysis in Spindle Motor for HDDs

Jung-Moo Seo¹⁾, Se-Hyun Rhyu¹⁾, In-Soung Jung¹⁾, Ha-Gyung Sung¹⁾, Kook-Hyeon Yang²⁾
¹⁾Intelligent Mechatronics Research Center, Korea Electronics Technology Institute
²⁾Research and Development Center, A-TECH SOLUTION CO.,LTD

Abstract - This paper presents spindle motor with fluid dynamic bearing(FDB) for hard disk drives. Thrust bearing of FDB requires appropriate pressure to operate in smooth rotations. In this study, the thrust force between rotor and thrust yoke is analyzed using 3D finite element method and experimental results are compared with the simulated one.

1. 서 론

최근 정보기기의 발달로 데이터 저장장치의 소형화 및 고용량화가 요구되어지고 있다. 이러한 추세에 따라, 데스크탑 PC와 디빅 플레이어, PVR 등에 사용되는 3.5인치 하드 디스크 드라이브(HDDs)는 최근 노트북과 게임기 등의 휴대용 저장장치 및 휴대폰, MP3 등의 기기에 1~2.5인치의 크기로 소형화되어 탑재되고 있다. 스피들 모터는 HDD의 핵심 부품으로서 모터의 동작 특성은 드라이브의 성능에 직접적인 영향을 줄 수 있다. 특히, 스피들 모터의 효율과 동작의 안정성, 소음 등은 HDD의 소형화 및 고용량화, 휴대화 등의 추세에 맞춰 그 중요성이 더욱 커지고 있다. 그림 1은 HDD용 스피들 모터의 구조를 나타내고 있다. 요크와 결합된 영구자석이 회전하는 외전형 타입의 브러시리스 모터로서 유체동압베어링에 의해 샤프트는 지지된다. 기존의 볼베어링을 사용한 스피들 모터의 경우 비반복적 및 반복적 진동성분 등에 의해 정보기억장치의 고용량화와 구조상 소형 박형화에 한계를 가지고 있다. 따라서, 저널 베어링과 쓰러스트 베어링이 결합된 유체동압 베어링을 사용하여 이를 개선할 수 있다[1]. 쓰러스트 베어링의 경우 회전자의 원활한 회전을 위해 샤프트와 쓰러스트 패드 사이의 적절한 압력이 요구되어지며 스피들 모터의 정확한 설계를 위해서는 이와 같은 특성의 고려가 필요하다.

본 논문은 2.5인치 HDD용 스피들 모터에 관한 것으로서, 모터 구동시 유체동압 쓰러스트 베어링의 원활한 동작을 위한 예압의 해석과 이를 통한 모터의 설계에 중점을 두고 있다.

2. 본 론

2.1 설계모델의 기본사양

그림 2는 기본 설계된 HDD 스피들 모터의 단면도를 나타내고 있으며 표 1은 설계모델의 주요 사양을 보이고

있다. 영구자석의 잔류자속 밀도와 최대 에너지적은 각

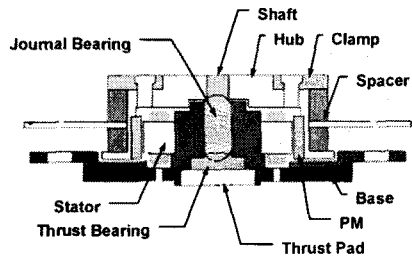


그림 1. 스피들 모터의 개념도

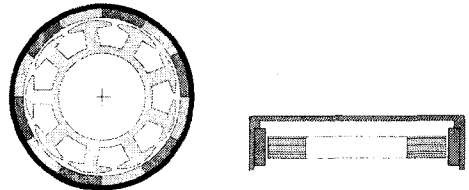


그림 2. HDD 스피들 모터의 단면도

표 1. 기본 설계모델의 주요사양

극수	12	요크 폭[mm]	0.5
슬롯수	9	마그네트 폭[mm]	3.7
고정자 철심 외경[mm]	φ16.5	마그네트 두께[mm]	1
고정자 철심 두께[mm]	2	마그네트 잔류자속밀도[T]	0.7
요크외경[mm]	φ20	기계적 공극[mm]	0.25

각 0.7T와 10MGOe로 정하고, 코깁도의 저감을 위하여 정현파 형태로 착자 조건을 결정하였다. 이와 함께 12극 9슬롯 구조로 반경 방향으로 발생하는 비균형적인 힘을 최소화하였다[2].

그림 3은 유한요소 해석의 일례로서, 기본 설계된 HDD 스피들 모터의 자속선도 및 자속밀도 분포도를 나타내고 있다. 모터의 각도별 주기성을 고려하여 전체의 1/3인 120도 부분만을 해석영역으로 하였으며, 해석 결과를 통해 각 미소 부위별 자속 분포 및 포화 특성 등을 예측함으로써, 설계 모델의 타당성 여부를 확인할 수 있다.

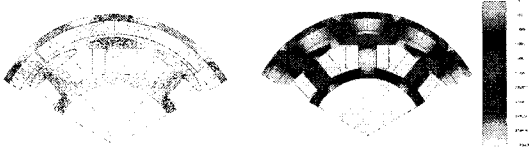


그림 3. 자속 및 자속 밀도 분포도

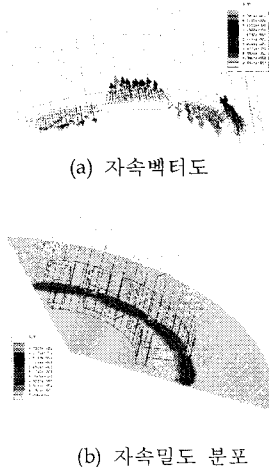
2.2 쓰러스트 요크와 스테이터 코어의 상대 위치에 따른 흡입력 계산

스핀들 모터는 구동시 쓰러스트 베어링부의 원활한 동작을 위하여 적절한 압력이 요구된다. 이를 위해 그림 4와 같이 스프링 모터의 하단부에 쓰러스트 패드(요크)를 추가하거나 영구자석과 스테이터 코어의 상대위치 조절에 의해 해당 추력을 발생시킬 수 있다. 2차원 유한요소 해석으로는 구조 변화에 의한 발생력을 정확하게 해석할 수 없기 때문에 3차원 유한요소 해석을 통해 특성해석을 수행하였으며, 설계변수로는 쓰러스트 요크의 위치 변화를 통한 (1)쓰러스트 요크와 영구자석과의 거리, 스테이터 코어의 위치변화를 통한 (2)스테이터 코어와 마그네트 간의 상대위치(PM-offset)로 하여 해석하였다.



그림 4. 쓰러스트 요크가 추가된 스프링 모터의 단면도

그림 5는 쓰러스트 요크를 고려한 스프링 모터의 3차원 유한요소 해석 결과를 나타낸다. 이러한 해석을 바탕으로 쓰러스트 요크와 스테이터 코어의 상대 위치 변화에 따른 발생력을 계산하여 최종 결과를 그림 6에 나타내었다. 그림에서 보는바와 같이 영구자석과 쓰러스트 요크의 거리가 가까울수록, 영구자석과 스테이터 코어의 상대위치를 나타내는 PM-offset이 증가할수록 발생하는 전자력은 커지는 것을 알 수 있다. 그림 6에서 점선으로 나타낸 부분은 일반적인 2.5인치 스프링 모터의 쓰러스트 베어링 설계시 요구되는 전자력의 범위를 도시한 것이다.



(a) 자속벡터도

(b) 자속밀도 분포

그림 5. 쓰러스트 요크부의 자속벡터 및 자속밀도 분포

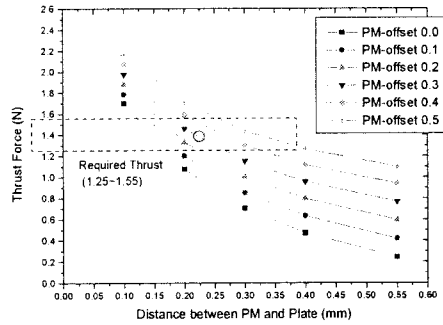
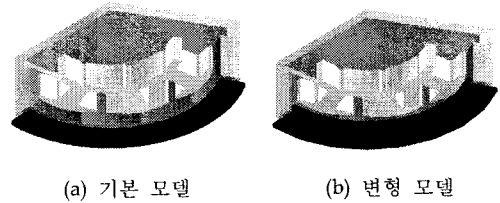


그림 6. 쓰러스트 요크와 스테이터 코어의 위치 변화에 따른 쓰러스트 발생력 해석

2.3 쓰러스트 요크의 형상 변화에 따른 흡입력 계산

쓰러스트 요크와 코어의 위치에 따른 흡입력 해석에 이어, 쓰러스트 요크의 형상 변화에 따른 발생력을 계산하기 위하여 그림 7과 같이 쓰러스트 요크의 형상을 변화시켜 해석하였다. 변화된 쓰러스트 요크는 기본 모델의 형상에 두께 0.25mm, 높이 0.6mm의 링 형상을 추가한 형태이며, 두 모델에 대해 쓰러스트 요크와 마그네트 사이의 간격을 0.33mm, PM-offset을 0mm로 가정하여 해석하였다. 해석 결과 변형 모델의 발생력은 1.68N로, 0.75N의 해석값을 갖는 기본 모델에 비해 2배 이상 증가된 것을 확인할 수 있었다. 이는 별도의 PM-offset 설정 없이도 형상의 변화를 통해 요구되는 흡입력을 얻을 수 있는 방법으로 평가된다.



(a) 기본 모델

(b) 변형 모델

그림 7. 쓰러스트 요크의 형상 변화

2.4 실험 결과 및 고찰

쓰러스트 요크와 스테이터 코어의 상대위치에 따른 전자력의 크기는 쓰러스트 유체동압베어링의 특성에 큰 영향을 미치기 때문에 초기 설계결과가 타당한 것인지에 대한 실험적 검증이 필요하다. 그러나 제작된 모터를 가지고 직접 이 힘을 평가하고, 전자력을 얻기 위하여 이용한 두 가지 설계요소의 영향력이 각각 어느 정도인지를 독립적으로 분석하는 것은 용이하지 않다. 따라서 본 논문에서는 별도의 실험 장치를 만들어 이를 분석하고자 하였다. 실험장치는 그림 8과 같이 로드셀을 이용하여 구성하였으며, 측정이 수백 um 범위에서 이루어지는 관계로 단축 스테이지를 이용하여 로드셀을 상하 변위시키도록 설계하였다. 또한 아래쪽에는 x-y 스테이지를 이용하여 미세조정이 가능하게 함으로써 상부 회전자부와 하부 고정자부의 정렬이 가능하도록 설계하였다.

고정자측은 코어만 부착한 상태, 쓰러스트 요크만 부착한 상태, 이들을 함께 부착한 상태로 각각 만들어서 각 설계요소에 따른 전자력을 개별적으로 분석할 수 있도록 설계하였다.

측정 결과, 쓰러스트 요크에 의한 힘은 어느정도 성공적으로 평가할 수 있었다. 그러나 초기 측정지그 설계시의 예상과는 달리 코어를 부착한 상태에서는 상부와 하부의 얼라인을 맞추는 것이 용이하지 않았으며, 이로 인하여 회전자 마그네트에 코어가 걸려 코어가 훼손되는 현상이 발생하였다. 때문에 최종적으로 완전한 실험을 성공하지는 못하였으며, 향후 상하 정렬을 위한 구조개선을 통하여 쓰러스트 요크에 의한 영향, 코어부의 offset에 의한 영향을 보다 정확하게 평가하는 기술이 요구될 것으로 보인다.

그림 9는 코어 없이 하부에 요크만 존재한 경우의 실험결과와 초기 해석결과와의 비교 그래프이다. 해석결과 중 마그네트와 스테이터 코어의 offset이 0인 경우를 선택하여 실험치와 비교한 결과로서, 쓰러스트 요크와 마그네트의 간격이 작은 경우에는 실험치와 해석치가 매우 잘 일치하고 있는데, 간격이 넓어짐에 따라 실험치가 해석치에 비해 작아지고 있다. 이는 실제 해석상에 오차가 발생한 것일 수도 있으며, 실험 과정에서 힘의 크기에 따라 로드셀의 인장에 의해 실제 변위가 스테이지를 돌려 조정된 거리와 달라져서 발생한 오차일 가능성도 있다고 판단된다. 즉, 거리가 멀어짐에 따라 힘이 줄어들면서 실제 거리는 스테이지에서의 변위보다 더욱 커졌을 가능성도 있다. 실제 상하부 간격이 0.5mm 정도에서 로드셀 및 기구부가 0.1mm 정도 더 줄어들었다면 실험치와 해석치가 맞게 되는 정도의 오차이다. 이러한 결과를 바탕으로, 향후에는 별도의 게이지를 사용하여 보다 정확한 변위 측정을 병행하여야 할 것이다.

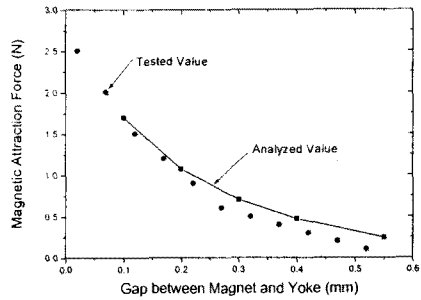


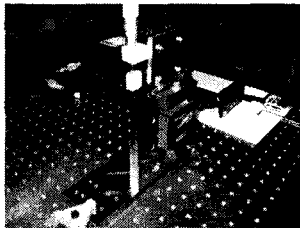
그림 9. 쓰러스트 요크와 마그네트의 흡인력 실험결과

3. 결 론

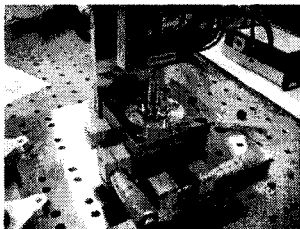
본 논문에서는 HDD용 스피들 모터에 사용되는 유체 동압 베어링의 원활한 동작을 위한 쓰러스트 베어링부의 흡인력에 관하여 기술하였다. 3차원 유한요소해석을 통해 쓰러스트 요크와 스테이터 코어의 위치 변화 및 쓰러스트 요크의 형상 변화에 따른 발생력을 계산하였다. 로드셀과 마이크로 스테이지, 별도 설계된 지그를 이용하여 측정된 결과를 해석값과 비교하였다.

[참 고 문 헌]

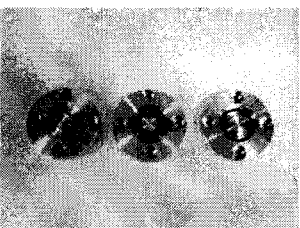
- [1] Takafumi Asada, Hirosaki Saitou, and Daisuke Itou, "Design of Hydrodynamic Bearing for Mobile Hard Disk Drives", IEEE Trans. Magn., vol. 41, No. 2, 2005
- [2] S. X. Chen, T. S. Low, H. Lin, and Z. J. Liu, "Design Trend of Spindle Motors for High Performance Hard Disk Drives", IEEE Trans. Magn., vol. 32, No. 5, 1996



(a) 로드셀 및 상하 변위지그부



(b) 하부 고정자측 변위지그부



(c) 코어 및 요크 부착 지그

그림 8. 회전자의 전자 흡인력 측정 장치 및 코어 및 요크 부착 지그