

HDD용 스피들모터의 구조 설계에 관한 연구

김상욱\*, 김진환, 이웅근, 김보열, 김영봉  
 인하공업전문대학 전기정보과학과

The Study on Structure Design of Spindle Motors for HDD

Sanguk Kim\*, Jinhwan Kim, Yonggeun Kim, Boyoul Kim, Youngbong Kim  
 Department of Electrical Information and Science, Inha Technical College

**Abstract** - This paper is presented for the development of the brushless DC(BLDC) motor for the spindle motor of hard disk drives. To design the spindle motors for HDD, it is very important to consider the reduction of vibration and noises. To design the each parts and investigate the assemble of a motor, we need to calculate the press force and size variation according to the press force. If we design the each parts without the consideration of the size variation, we can not get good result of assemble and performance with exact size of parts. In this paper, we get the computer simulation results to verify optimal size and assemble.

로피 디스크만이 개인용 컴퓨터에서 사용할 수 있는 저장 장치의 전부였으나, 80년대 초 하드디스크를 장착한 최초의 IBM XT 컴퓨터가 등장하면서 개인이 하드디스크를 소유하는 시대가 열렸다. 당시의 하드디스크 용량은 10MB 내외였지만 현재의 기술의 발전과 소재의 개발로 인해 현재는 MB 시대를 넘어 GB(Gigabytes, 1GB는 1024MB) HDD가 일반화되고 있으며 1979년 최초로 출시된 5.25" 5MB인 ST-506부터 현재까지 약 20년이 동안 디스크 드라이브의 용량은 매년 평균 60%씩 증가하여 왔으며 향후 지속될 것으로 예상된다. 그림 1은 HDD의 구조를 나타내고 있다.

1. 서 론

정보기억장치용 초정밀 회전기기는 나노(nano) 미터 단위의 회전정밀도를 유지하면서 컴퓨터, 음향 및 영상 등의 데이터 저장 매체(HDD, CD, DVD, VCR, Camcoder등)의 구동원으로 사용되는 브러시리스 직류 모터 등을 포함한 회전기기를 말한다. 21세기 정보화사회가 도래함에 따라 정보기억장치 및 프린터용 초정밀 회전기기는 그 사용범위가 더욱 커지고 있다. 특히 고용량, 초소형 정보기억장치 개발 등과 같은 미래산업을 주도하기 위해서는 초정밀 회전기기의 공통 기반 기술 중 초소형화 및 고효율화를 위하여 BLDC 모터의 기술 개발이 가장 주요한 기술 개발의 과제로 떠오르고 있다. 이를 위하여 모터 구조의 기계적인, 전기적인 최적화를 요구하고 있다. 따라서 본 논문에서는 기계적인 최적 구조를 설계하기 위하여 부품의 압입부 해석결과 및 조립순서에 따른 압입력의 산출과 변형결과에 대한 영향 분석을 기술하였다. 이를 통하여 모터의 구조 설계를 위하여 최적의 부품 설계가 이루어졌다 하더라도, 만일 적절한 조립이 이루어지지 않는다면, 부품의 크기 변형 및 잘못된 위치에 조립됨으로서 결과적으로 좋은 성능을 얻지 못하게 된다. 따라서 본 논문에서는 HDD용 스피들모터의 최적 조립을 위한 부품의 압입력 및 이에 따른 가능한 부품 변형 결과를 기술하였다.

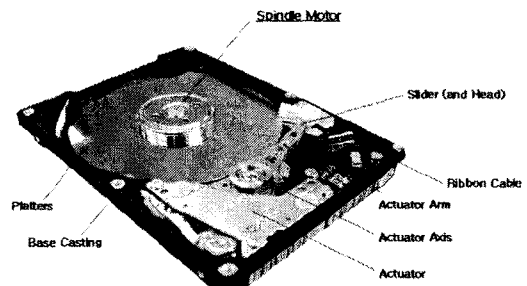


그림 1 HDD의 구조

각각의 부품의 기능은 다음과 같다.

a) Cartridge

각 구성품을 장착하고 외부 공기로부터 헤드와 디스크, 스피들 모터를 보호하는 몸체에 사용한 재질은 대부분 알루미늄 합금으로 캐스팅이나 머시닝에 의해 만들어지며 단순한 몸체로서의 기능뿐만 아니라 스피들 모터와 포지셔닝 부품인 스텝 모터, 보이스 코일, 마그넷과 헤드 스택이 장착되어 있고, 열 방지 및 쿨링 효과와 충격 흡수 기능을 갖고 있다. 뚜껑이나 몸체 바닥부분의 필터에 의해 에어 필터링한다. 하드드라이브는 보통 헤드, 디스크, 스피들 모터가 장착되어 있고, 뚜껑(Top Cover)으로 닫혀져 있는 부분을 HDA(Head Disk Assembly)라 부른다. 카트리지 재질로 알루미늄을 사용하는 이유는 가공하기 쉽고 모터에서 발생한 열을 빠르게 전도하기 때문이다.

b) Head

헤드는 플래터 표면에 코팅된 자성체를 자화/소거하여 정보를 저장/삭제(write/delete)하거나 저장된 정보를 읽는(read) 장치이다. 일반적으로 헤드의 수는 플래터 수의 두 배이다. 한 장의 플래터는 두 개의 면이 있으므로 각 면에 하나씩 2 개의 헤드가 필요한 것이다. 따라서 3 장의 플래터로 구성한 HDD에는 모두 6 개의 헤

2. 본 론

2.1 HDD 및 스피들 모터

1956년 IBM에 의해 개발된 자기 디스크 RAMAC(Random Access Method of Accounting and Control)는 현재보다 훨씬 부피가 컸지만 기억 용량은 5MB 정도에 불과했다. 최초의 개인용 컴퓨터인 애플에서 저장 장치로 (카세트) 테이프 드라이브를 사용하고, 플

드가 있다. 헤드의 면적이 작을수록 보다 많은 정보를 플래터에 저장할 수가 있다. HDD의 헤드는 플래터의 표면과 미세한 간극을 유지한 채 떠있는 상태로 읽기와 쓰기를 한다.

**c) Platters**

플래터는 비자성체인 비금속(알루미늄) 원판(disk) 표면에 자성체인 산화금속 막을 양면에 도장(coating)한 것이다. 산화금속 막을 논리적으로 나누고(partitioning) 위치를 지정(formatting)하면 정보를 저장할 수 있게 된다. 'Hard Disk Drive'란 용어는 이 드라이브가 플로피(floppy, 나풀거리는) 디스크와 달리 금속판의 딱딱한(hard) disk를 사용하기 때문에 붙여진 이름이다. 플래터의 지름은 일반 PC용이 보통 3.5" (실제 지름은 3.75")이며, 이보다 더 큰 것(5.25")과 작은 것(2")도 있다. 3.5" HDD의 경우, 플래터 표면의 실제로 정보를 저장하는 공간은 바깥쪽부터 1"(약 25 mm)까지이며 그 안쪽은 플래터를 스펀들에 고정하기 위하여 사용한다. 각 플래터의 중심부에는 여러 개의 구멍내어 스펀들과 연결한다. 플래터가 여러 장 겹쳐져 디스크 팩을 구성하며, 이것이 하드디스크의 저장 용량이다. 예를 들어, 3.2GB 하드디스크는 1.6GB 플래터가 두 장, 2.5GB는 1.2GB 플래터가 두 장 있는 것이다. 하드디스크의 용량이 어느 정도 비례를 가지는 것은 이 때문이다. 플래터는 실린더, 트랙 그리고 섹터로 나눌 수 있다. 실린더는 디스크 팩에서 같은 직경을 갖는 트랙들의 집합이며, 트랙은 플래터에서 회전축을 중심으로 데이터가 기록되는 동심원을 말한다. 섹터는 데이터가 저장되는 단위로 트랙을 여러 개로 나눈 것이다.

하드용량=(헤드수) \* (실린더수) \* (섹터수) \* (섹터당 기록용량) 보통 섹터당 512KB

(1)

**d) Spindle(회전 축)**

스핀들(spindle)이란 플래터가 회전할 수 있도록 모터와 직접 연결된 축이다. 스펀들은 4 개의 볼트와 1.25" 크기의 고정용 비금속 판을 사용하여 플래터를 축에 단단히 고정한다. 스펀들에 여러 장의 플래터를 설치할 때는 플래터 사이에 지름 1.25" 두께 1/8"의 스페이서(spacer)를 넣어 함께 고정한다.

**e) Spindle Motor(스핀들 모터)**

모터는 플래터를 일정한 속도로 회전시키는 장치이다. HDD용 모터는 스펀들에 직접 연결되어 있기 때문에 '스핀들 모터'라고도 부른다. HDD를 포함한 대부분의 저장 장치들을 드라이브(drive)라고 부르는 것은 디스크를 모터로 구동(drive)하기 때문이다. 모터가 달린 장치의 이름 뒤에는 거의 다 '드라이브'란 명칭이 붙는다. 플로피 디스크 드라이브, CD-ROM 드라이브, Tape 백업 드라이브 모두 모터로 구동하는 장치들이다. HDD는 모델에 따라서 3600, 4500, 5400, 7200, 10,033, 15,000 RPM의 속도로 회전한다.

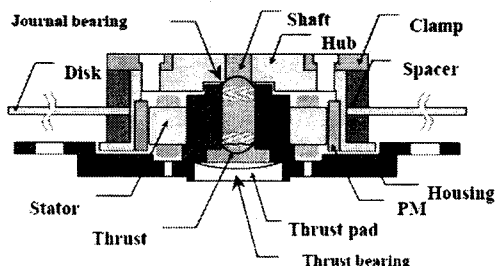


그림 2 스펀들모터의 구조

**f) Stepping Motor**

스핀들 모터가 항상 회전하고 있는데 반해, 스테핑 모터는 헤드를 이동시키기 위해서만 사용된다. 스테핑 모터는 신호가 들어올 때마다 일정한 각도로 회전하도록 설계되어 있기 때문에 신호의 개수를 세어 회전각을 정확하게 제어할 수 있다. 따라서 정확히 원하는 실린더로 이동하기 위해 필수적인 장치이다.

**g) Actuator(헤드 구동 장치)**

Actuator는 헤드를 움직이는 장치이다. HDD 회로 기판으로부터 제어 신호를 받으면 Actuator용 구동장치는 헤드가 부착된 Arm을 지정된 위치까지 이동시킨다. 헤드를 움직이는 구동장치는 Linear Motor(선형 모터)를 사용하는데, 이 모터는 수평으로 선 운동을 한다. 헤드가 부착된 암과 그 반대편의 코일이 감긴 모터 부분은 서로 연결되어 있으며 그 중앙에는 축이 있어 각기 반대 방향으로 움직인다. 선형 모터가 왼쪽으로 움직이면 헤드는 오른쪽으로 이동한다.

**h) 제어회로**

HDD 하부에는 회로기판(PCB)이 달려있다. PCB에는 전원용 커넥터, 신호용 커넥터, 접퍼용 핀(IDE의 single/master/slave 선택 또는 SCSI의 ID 선택에 사용), BIOS, control chip, buffer memory, LED가 있다. 컨트롤러에 의해 스테핑 모터와 헤드를 제어하고, IDE와 통신한다. 컨트롤러는 일반적으로 하드디스크의 뒷면에 붙어 있음. 컨트롤러에는 하드디스크를 마스터로 사용할 것인지 슬레이브로 사용할 것인지 변경할 수 있는 접퍼와 전원을 연결하는 전원 연결 커넥터, 인터페이스 케이블을 연결하는 케이블 커넥터 등이 달려 있다.

**2.2 스펀들모터의 구조 및 조립**

본 논문에서 제안하는 7,200rpm용 스펀들모터의 구조는 다음과 같다.

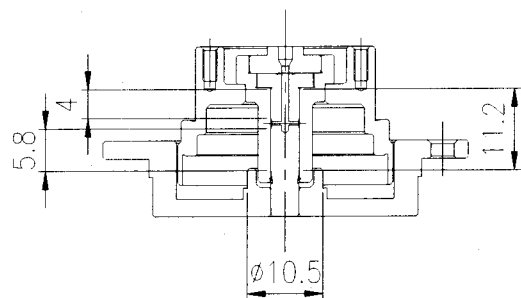


그림 3 제안된 7,200rpm 스펀들 모터의 구조

제안된 스펀들 모터의 베어링은 유체동압베어링(Fluid Dynamic Bearing)으로 구성되어 있으며, 플래터는 4개 까지 부착이 가능하도록 설계되어 있다.

본 스펀들모터의 각 압입 부위의 압입후 치수 변화를 검토하기 위하여, 압입이 이루어 지는 부분은 다음과 같다.

- ① Hub(Fixture)와 Sleeve
- ② Shaft와 Bearing, Cover
- ③ Sleeve와 Base

이중 베어링과 기타 부위의 경우 베어링 관련 기술 자료에서 제시하는 값을 적용하였다. 기타 다른 부위의 압입에 의한 Gap 변경을 집중적으로 검토한다.

### 2.2.1 Constraint & Load

Boundary Condition으로는 부품별로 결과에 영향이 없는 부위의 자유도를 고정시켰다. Load는 압입 부위에서 발생하는 면압력을 구해서 그 부위에 인가하였는데, 다음과 같은 방법으로 면압력을 산출하였다.

- 재질 : SUS

Young's Modulus : 1.93053e11 Pa

Possion's Ratio : 0.3

- 재질 : AL

Young's Modulus : 6.79476e10 Pa

Possion's Ratio : 0.3

- Friction Coefficient : 0.15

Shaft Factor :

$$W_s = D_s((D_s^2 + D_i^2)/(D_h^2 - D_i^2) - PR_s) \quad (2)$$

Holder Factor :

$$W_h = D_h((D_o^2 + D_h^2)/(D_o^2 - D_s^2) + PR_h) \quad (3)$$

면압력 :

$$P_c = D_d/(W_s/E_s + W_h/E_h) \quad (4)$$

이탈력 :

$$F_e = F_c * D_s * P_c * M_d \quad (5)$$

여기서,

Ds : 축 외경

Di : 축 내경

Dh : 하우징 내경

Do : 하우징 외경

PRs : 축 Possion's Ratio

PRh : 하우징 Possion's Ratio

Dd : 간섭량

Md : 압입 깊이 이다.

### 2.2.2 조립 순서

스핀들모터를 최적으로 조립하기 위한 순서는 다음과 같다.

(a) Hub+Sleeve 조립

- 조립방법: 열간압입(150 C)

- 압입부 직경/길이: 14.6mm/3mm

- 최소/최대 겹침량(반경방향): 0mm/0.005mm

- 재질: Hub: AL6061, Sleeve: SUS420J2

- 해석 검토 부위: 압입후 Sleeve내경(Bearing 부)의 변형량 검토

(b) Shaft 삽입후 Cover 압입

- 조립방법: 냉간압입

- 압입부 직경/길이: 10mm/1.9mm

- 최소/최대 겹침량(반경방향): 0mm/0.005mm

- 재질: Cover: SUS420J2

- 해석 검토 부위: 압입후 Bearing부 변형량 검토, 압입력 산출

(c) Base 조립

- 조립방법: 냉간압입

- 압입부 직경/길이: 3.9mm/3.1mm

- 최소/최대 겹침량(반경방향): 0mm/0.005mm

- 재질: Base: AL6061 Shaft: SUS316

- 해석 검토 부위: 압입후 Base내의 Stator 압입부 변형량 검토, 압입력 산출

### 2.2.3 압입부 해석 및 결과

각 스핀들모터의 조립 순서에 따라 압입부 결과는 다음과 같다.

(a) Hub+Sleeve 조립

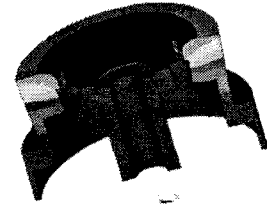


그림 4 반경 방향 변형량

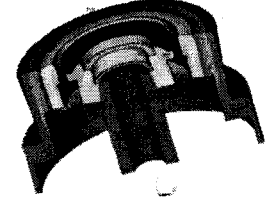


그림 5 높이 방향 변형량

위 그림에서 Hub와 Sleeve 압입후 반경방향과 높이방향 변형량을 보면 모두 1um 이내의 변형량으로서 변형이 Sleeve의 베어링부에는 큰 영향을 미치지 못함을 알 수 있다

(b) Shaft 삽입후 Cover 압입

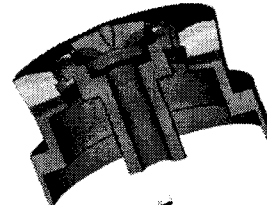


그림 6 반경 방향 변형량

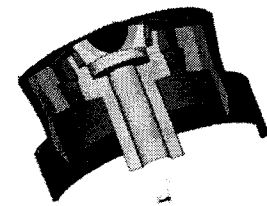


그림 7 높이 방향 변형량

Hub와 Sleeve가 조립된 상태에서 Cover를 압입하게 되며 이 상태에서 해석을 실시한 결과는 위 그림과 같다. 반경방향으로는 1um이내의 변형량으로 이상이 없으나 높이방향 변형에서는 Cover 내측부가 압입결과 위로 솟아오르는 결과를 나타냈다. Sleeve의 변형량까지 고려해서 높이방향으로 벌어지는 양은 약 3um정도이다. 그러나 유체동압에 영향을 미치는 Cover의Groove영역내(4.4이상 되는 부분)에서 높이방향으로 벌어지는 양은 1~2um으로써 크게 영향을 받지 않는 것으로 보인다. 해석에 의해 Contact Force를 산출한 후 마찰계수(0.2)를 적용해 조립시 사용될 압입력을 계산하였다.

(c) Base 조립

반경방향과 높이방향 변형량 모두 1um이내로써 허용 범위 내에서 변형이 발생하는 것을 알 수 있다.

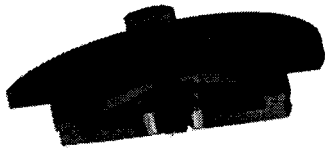


그림 8 반경 방향 변형량

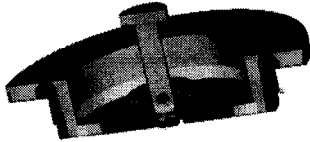


그림 9 높이 방향 변형량

압입해석을 통해 산출된 압입력을 조립순서에 따라 정리하면 아래 표와 같다.

표 1 조립 별 압입력

순서	Holder Part	Press Part	압입력 (kgf)
1	Hub	Sleeve	열간압입
2	Sleeve	Cover	85
3	Base	Shaft	100

위의 압입력은 최대 접침량을 기준으로 산출되었는데 추후 과제는 이러한 해석 압입력과 실제 조립작업에서 얻어진 최종 압입력을 비교/검토하는 작업이다.

각 부품의 압입부 치수를 측정하여 실제 접침량에 따른 압입력과 해석압입력을 비교하여 해석치의 적절성을 판단할 것이다.

조립 Sample별 편차를 줄이고, 각 인자에 대한 정확한 평가가 이루어지기 위해서는 정밀 계측에 의한 sorting이 우선시 되어야 할 것으로 판단된다.

### 3. 결 론

본 논문은 정보기억장치용 초정밀 회전기로서 HDD(Hard Disk Drive)용 스피들모터의 구조를 최적으로 설계하는 것을 목적으로 하였다. 스피들 모터의 설계하기 위해서는 모터의 진동과 소음을 최소화하도록 설계가 이루어져야 하는데, 일반적으로 모터의 부분별 구조를 최적으로 설계하였다 하더라도, 모터의 부품별 조립을 고려하지 않는다면 부품의 실제 크기가 변형되어 특히 베어링의 경우 공극의 크기가 줄어들거나, 늘어나게 되어 원하는 성능을 얻을 수 없다.

따라서, 본 논문에서는 기계적인 최적 구조를 설계하기 위하여 부품의 압입부 해석결과 및 조립순서에 따른 압입력의 산출과 변형결과에 대한 영향분석을 기술하였다. 이를 통하여 최적의 부품 설계를 확보할 수 있었다.

추후, 각 부품의 압입부 치수를 정확히 측정하여 실제 접침량에 따른 압입력과 해석압입력을 비교하여 해석치의 적절성을 판단할 것이다. 또한, 조립 부품별 편차를 줄이고, 각 인자에 대한 정확한 평가가 이루어지기 위해서는 정밀 계측에 의한 sorting이 우선시 되어야 할 조건으로 사료된다.

### [참 고 문 헌]

[1] Hamrock, B. j., 1994, "Fundamentals of Fluid Film Lubrication," McGRAW-HILL series in Mechanical Engineering, International Editions, pp.

218-277

[2] Fuller, D. D., 1984, "Theory and Practice of Lubrication For Engineers," John Wiley & Sons, inc., A Wiley-Interscience Publication," pp. 198-548

[3] Kang, K., Y. Rhim, and K. Sung, 1996 "A Study of the Oil-Lubricated Herringbone Groove Journal Bearing- Part 1: Numerical Analysis ." ASME Journal of Tribology Vol. 118 pp.906-911

[4] Nicole Zirkelback and Luis San Andres, 1998, "Finite Element Analysis of Herringbone Groove Journal Bearings: A Parametric Study." ASME Journal of Tribology Vol. 120. Pp234-240

[5] Jang, G. H., Kim Y. J., "Calculation of dynamic coefficients in a hydrodynamic bearing considering five degrees of freedom for a general rotor-bearing system," 1999, ASME Journal of Tribology, Vol.121, pp. 499-505 N.3

[6] Szeri, A., Tribology: Friction, Lubrication, and Wear, 1980, McGraw-Hill, 1st ed. NY.

[7] Pinkus, O., Sternlicht, B., Theory of Hydrodynamic Lubrication, 1961, McGraw-Hill, NY.

[8] 장건희, 김동균, 한재혁, "컴퓨터 하드디스크드라이브 스피들 모터의 런아웃 측정 및 해석", 대한기계학회논문집, A권 제 22권 제8호 pp.889~898, 1998.