

1" HDD 용 세라믹 공기 동압 베어링 개발

Development of Self Acting Air-Lubricated Ceramic Bearing for 1" HDD

유진규* · 황태연**

Jingyoo Yoo and Tae Yeon Hwang

Key Words : Self Acting Air-Lubricated Bearing (공기동압베어링), 1" HDD (1 인치 하드 디스크 드라이브), Ceramic Bearing(세라믹 베어링)

ABSTRACT

In recent years, the demand of mobile device, such as digital camera, camcorder and PDA, increases remarkably. So, requirements of the mobile information data storage used in the mobile devices increase noticeably also. 1" micro data storage is a kind of mobile storage, which has a CF type II form factor, and the similar structure of the general 3.5" HDD. In this paper, we developed the self acting air-lubricated ceramic bearing for the 1" micro data storage. The self acting air-lubricated ceramic bearing is superior to the fluid bearing and the ball bearing on power consumption.

1. 서론

PSC (Personal & Server Computers)를 기반으로 하는 21 세기 정보화 사회는 고품질 정보통신 기술, 초고속 정보처리 기술, 대용량 정보저장 기술 등을 중심으로 하는 IT (Information Technology) 산업이 Bio 및 환경산업과 함께 핵심 산업을 이룰 것이다. 그 중에서 향후 IT 산업의 핵심은 Mobile 기술로 집약되며, 이에 따라, 휴대용 소형 정보 저장 장치는 각종 휴대용 기기에는 내재화 추세로, MP3 Player 등의 디지털 AV 기기 뿐만 아니라, PDA/Palmtop, 휴대용 컴퓨터, Digital Camera, Camcorder, GPS, Play station, HHP/Mobile Phone 등의 다양한 디지털 미디어 분야에서 사용되고 있다. 또한, 이러한 휴대용 정보저장 장치는 향후 IMT2000, Smart Phone 등의 발전에 따라 언제 어디서나 정보를 얻을 수 있고 오락을 즐길 수 있는 새로운 디지털 기기에 사용될 것으로 예상된다. 휴대용 정보저장 장치는 기존의 일반적인 HDD의 기능에 휴대를 위한 여러 가지 특징이 추가로 요구된다. 특히, 휴대성을 위해 초소형화, 대용량화, Data 전송속도의 고속화, 저가격화, 저전력화 및

높은 내충격성이 요구된다. 이중 초소형화는 휴대용 기기의 보급 확대에 따라 주요한 이슈로 등장하게 되었으며, 기능의 복합화 및 화상 정보의 처리에 따른 저장정보의 대용량화도 빠르게 요구되고 있다. 현재 휴대용 저장기기로 가장 많이 이용되고 있는 것은 CF I 규격을 따르는 Flash Memory로 기록 용량이 1GB에 이르고 있으며, 최근 자기 기록 방식으로 CF II의 규격을 따르는 IBM의 Microdrive가 제품화되었다. 아직 일반 데스크톱 컴퓨터용 자기기록 저장기에 비하여 기억용량 및 자기기록/재생속도에는 뒤지지만, 기존의 Flash Memory와 같은 크기로 소형화하면서 Flash Memory에 비해 단위저장용량 대비 가격이 훨씬 저렴하면서도 큰 저장용량을 구현하여 앞으로 휴대용 기기에 선두주자가 될 가능성을 보이고 있다. 향후 휴대용 자기기록 저장장치는 2003년말 5GB, 2006년 10GB 정도의 기록용량이 예상되며, 부피는 PDA와 같은 개인 휴대기기에 적합하도록 초소형화 될 것으로 전망된다. [1]

한편, 지금까지의 HDD들은 볼 베어링 또는 유체 베어링을 이용하여 스핀들을 지지해왔으나, 볼 베어링의 경우는 볼과 레이스의 기하학적 결함에 따른 스핀들의 런아웃(Runnout)이 운전정밀도를 나쁘게 하여 기록밀도의 향상에 문제가 있으며, 기름을 이용한 유체베어링은 운전정밀도는 볼 베어링에 비해 좋으나 기름의 누설과 마찰에 따른 열발생 및 마찰손실 때문에 사용이 제한된다. 특히 초소형 1" HDD의 경우는 휴대용 장치의 정보

* 삼성종합기술원, Storage Lab.
E-mail : jingyoo@samsung.com
Tel : (031) 280-8229, Fax : (031) 280-6955

** 삼성종합기술원, Storage Lab.

저장기기로 주로 사용되기 때문에, 마찰에 의한 동력 손실 및 열발생 문제가 3.5" 또는 2.5" HDD의 경우보다 심각하다.

2. 공기동압베어링

2.1 공기 베어링의 특징

공기 베어링은 윤활제인 공기의 점성이 기름에 비해 매우 작기 때문에 점성 마찰이 적어 회전축의 고속 회전이 가능하며, 윤활제에 의한 오염 걱정이 없어서 별도의 실링 장치나 윤활계의 회수 장치가 필요치 않다. 또한 공기의 열적인 안정성으로 인해 고온에서 저온까지의 넓은 온도 구간의 환경에서도 사용이 가능하다. 그리고 공기의 압축성에 기인한 평균화 효과로 인해 축과 베어링의 표면 요철이나 형상 오차에 의한 외란을 어느 정도 흡수하여 회전 정밀도가 우수하다. 반면 공기 베어링은 공기막의 점성이 작아 부하 능력이 작고 강성이나 감쇠가 낮다. 따라서 적당한 부하 지지능력을 얻기 위해서는 기름 윤활에 비해 매우 얇은 윤활막을 필요로 하게 되어 가공상의 오차의 영향을 받게 된다.[2]

2.2 1" HDD 에의 적용

3.5" HDD의 경우는 공기 베어링의 작은 부하 능력 및 강성 때문에 10,000rpm 이상의 회전속도를 갖는 Server 급 HDD에 한하여 공기베어링이 채용되어왔다. 그러나 1" HDD의 경우는 작은 회전관성 및 회전질량으로 인하여 4,500 rpm 정도의 운전속도에서도 공기베어링의 채용이 가능할 것으로 판단된다. 1" HDD에 공기베어링을 채용할 경우에 실링 장치가 필요하지 않으므로 소형화가 가능하며, 휴대용 정보저장기기에 있어서 문제가 되는 소비전력문제를 최소화할 수 있을 것으로 생각된다. Fig. 1은 베어링 직경 D=3.4 mm, 베어링 길이 L=1.5 mm, Radial Clearance Cr=1.5 μm 인 Air-Lubricated Journal Bearing 과 D=3 mm, L=1.75mm, Cr=10 μm 인 Oil-Lubricated Journal Bearing의 Friction Loss를 수치해석한 결과이다. 모든 편심률에서 공기 베어링이 유체 베어링에 비하여 약 1/100 정도 작은 마찰특성을 보여준다.

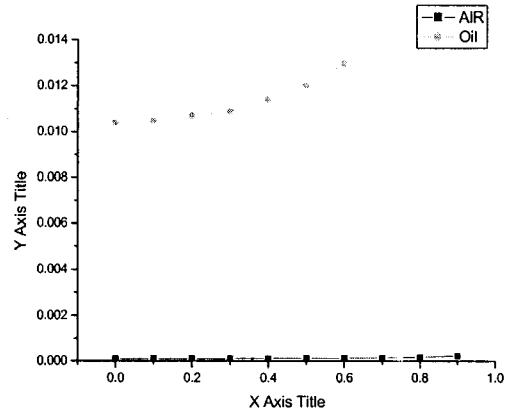


Fig. 1 Friction Loss of Journal Bearings

3. 베어링 재료 선정

일반적으로 베어링 재료는 부하능력에 대응하는 강도는 물론 내충격성, 내마멸성, 내열성 등의 특성을 갖추고 있어야 하며, 1" HDD에 적용할 공기 베어링용 재료는 일반적인 특성은 물론 휴대용 기기에 적합한 경량성, 공기 베어링이 요구하는 높은 가공오차를 손쉽게 달성하기 위한 높은 가공용이성 등의 특성이 부가적으로 요구된다.

Table 1 Pugh concept Selection on Material

	Steel -Brass	Steel -Al	Steel -Ceramic	Ceramic -Ceramic
강도	S	S	+	+
무게	S	+	+	+
내충격성	S	-	-	S
내마모성	S	-	+	+
내열성	S	-	+	+
가공성	S	-	+	+
가격	S	+	-	-
Σ+	0	2	5	5
Σ-	0	4	2	1
Σs	7	1	0	1
Rank	3	4	2	1

이러한 특성들을 인자로 하여 일반적으로 사용되는 Shaft-Sleeve 재료 조합에 대한 Pugh concept selection을 수행한 결과 세라믹-세라믹 조합이 가

상 좋은 결과를 나타냈으며(Table 1), 일반적으로 사용되는 베어링 재료용 세라믹에 대하여 다시 Pugh concept selection 을 수행하여 Zirconia 를 Shaft-sleeve 재료로 선정하였다(Table 2). 그리고 베어링용 세라믹을 선정할 때, 신뢰성 및 정밀도를 확보하기 위하여 Hub 재료인 스테인레스강과 열팽창율이 동일하며 반전도성을 갖는 세라믹재료를 선정하였다. 예를 들어 반전도성인 Zirconia Z21H0 의 Thermal Expansion Coefficient 는 10.8 ppm/°C로 스테인레스강과 거의 같은 값이다.

Table 2 Pugh Concept Selection on Ceramic

	Alumina	SiC	Zirconia
강도	S	S	+
무게	S	S	-
내충격성	S	S	+
내마모성	S	S	S
내열성	S	+	+
가공성	S	S	S
가격	S	-	-
$\Sigma+$	0	1	3
$\Sigma-$	0	1	2
Σs	7	5	2
Rank	2	2	1

4. 베어링 디자인

유체 동압 베어링이 적용된 스핀들 시스템의 경우는 Sleeve 의 내경면이나 축(Shaft)의 외경면에 회전 방향에 따라 홈을 가공하게 되고, 축이 회전하는 경우 Sleeve 가 Bracket 에 고정되고 Hub 가 축(Shaft)에 고정된다. 볼 베어링의 구조에서는 반경 방향 하중과 축방향 하중을 볼 베어링으로 지지하였으나, 유체 베어링(FDB)의 구조에서는 반경 방향 하중을 지지하기 위해 빗살무늬 형태의 홈(Herringbone Groove)을 갖는 저널 베어링(Journal Bearing)과 축방향 하중을 지지하기 위해 나선형의 홈(Spiral Groove)을 갖는 스러스트 베어링(Thrust bearing)을 적용하게 된다.

4.1 저널 베어링

반경 방향 하중을 지지하기 위한 저널 베어링은 Fig. 2 에 나타낸 것과 같은 빗살무늬 중앙부가 연결되지 않은 Partial Herringbone Grooved Journal Bearing(HGJB)을 사용하였으며, 수치해석을 통하여 회전 안정성과 강성을 확보할 수 있는 최적의 베어링 형상 변수를 제시하였다. Fig. 3 는 일정한 형상변수에 대하여 Clearance 변화에 따른 HGJB 의 강성 변화를 나타내고 있다. 그림에서 보여주고 있는 것처럼 HGJB 의 강성은 Clearance 가 작아질수록 커진다. 본 연구에서는 양산성이 확보되는 최소 Clearance 인 1.5 μm 로 Radial Clearance 를 고정하고, 반경방향 강성을 최대로 하는 형상 변수의 최적값을 구하였다. Table 3 은 결정된 설계 변수들이다.

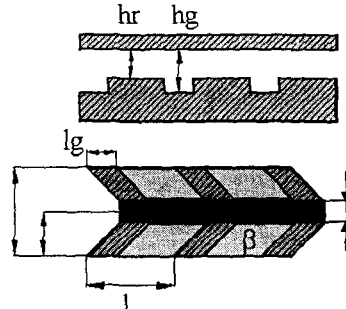


Fig. 2 Herringbone Grooved Journal Bearing

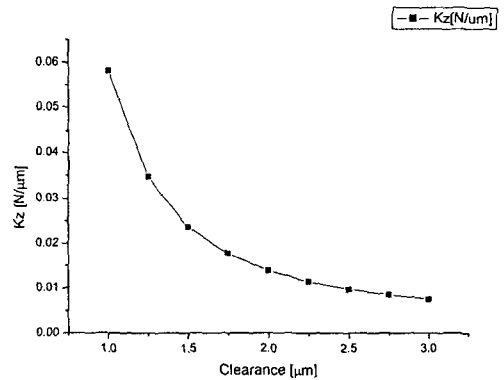


Fig. 3 Radial Stiffness vs. Radial Clearance of HGJB
(L=1.5mm, D=3.4mm, # of G=8, GW ratio=0.4, GD=Cr x 0.93 μm , GA=30°, ECC=0.3 @ 4,500rpm)

Table 3 Design Parameter of HGJB

Parameter	Value
Length of HGJB, L	1.5 mm
Diameter of HGJB, D	3.4 mm
Radial Clearance, Cr	Max. 1.5 μ m
Number of Grooves	8 EA
Groove Width Ratio, Lg/L	0.4
Groove Depth, (hg-hr)	1.4 μ m
Groove Angle, β	30°
Asymmetric ratio, Ls/L	0.5
Center Width Ratio, m/L	1.3

4.2 스러스트 베어링

또한 축방향 하중을 지지하기 위한 Thrust bearing 은 Fig. 4 에 나타낸 것과 같은 Spiral groove Thrust Bearing(SGTB)을 사용하였으며, 수치해석을 통하여 안정된 하중지지 능력과 강성을 확보 할 수 있는 형상변수를 결정하였다. Fig. 5 는 SGTB 의 Clearance 변화에 따른 Axial Load Capacity 의 변화를 나타내고 있다. Table 4 는 결정된 설계 변수들 이다.

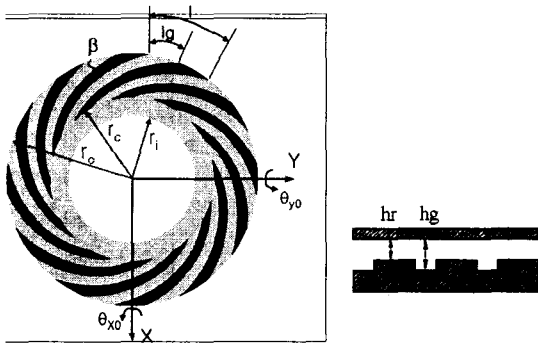


Fig. 4 Spiral Thrust Bearing

Table 4 Design Parameter of Spiral Thrust Bearing

Parameter	Value
Inner Diameter, Di	4.4 mm
Outer Diameter, Do	5.6 mm
Clearance, Cr	Max. 1.5 μ m
Number of Groove	8 EA
Groove Depth, (hg-hr)	1.2 μ m
Groove Width Ratio	0.6
Groove Angle, β	15°

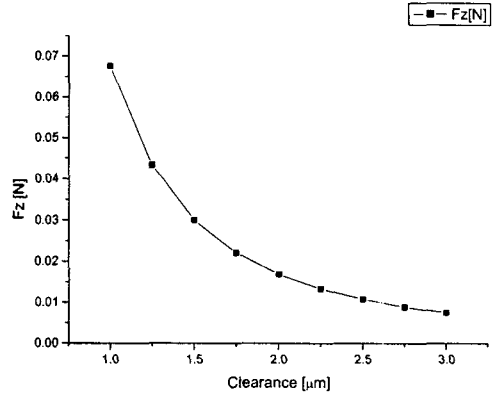


Fig. 5 Axial Load Capacity vs. Clearance of SGTB (Di=4.4mm, Do=5.6mm, # of G=8, GV ratio=0.6, GD=(Cr x 0.8) μ m, GA=15° , @ 4.500rpm)

5. 결론

본 연구에서는 1" HDD 의 마찰손실을 줄이고 내마멸성과 내충격성을 향상시키기 위하여 세라믹 공기 동압 베어링을 개발하였다. Fugh Concept Selectin 을 통하여 1" HDD 에 적합한 베어링 재질을 선정하였고, 수치해석을 통하여 안정된 하중지지 능력과 강성을 확보 할 수 있는 형상변수를 결정하였다. 향후 이와 같은 세라믹 공기 동압 베어링 스피들모터를 채용한 1" HDD 에 대하여 다양한 진동 및 내구성 시험이 수행되어야 할 것이다.

참고문헌

- (1) 한우섭 등, 2002, " 1" HDD 의 진동특성에 관한 연구", 추계학술발표회 논문집, 한국소음진동공학회.
- (2) Hwang,T., Ono,T., 2002, "Analysis and design of hydrodynamic journal air bearings for high performance HDD spindle," *Microsystem Technologies*, Vol.8.