

# 비대칭 Groove를 이용한 FDB 회전축의 기울기 보상 Compensation of Inclined Rotating Axis Using Unsymmetric Groove Patterns

이남훈\* · 구자춘† · 한재혁\*\* · 오동호\*\* · 김철순\*\* · 변용규\*\*  
Nam-Hun Lee\*, J. C. Koo†, Jaehyuk Han\*\*, Dongho Oh\*\*, Chul-Soon Kim\*\*, Yongkyu Byun\*\*

**Key Words** : FDB(유체베어링), HDD(하드디스크드라이브), Unsymmetric Groove(비대칭 그르부), Gram Load(그램 로드)

### ABSTRACT

Most of hard disk drives currently employ fluid dynamic bearing (FDB) for their rotor support. Stiffness of the FDB is affected by many design factors such as bearing clearance, fluid viscosity, and rotational speed. For the high rotating speed HDDs stiffness of the rotor is normally high enough to accomodate load disturbances. However small form factor HDDs that are to be operated in low power consumption are often designed with low stiffness rotors. Although the low stiffness rotor clearly benefits low power operation, it could damage the entire motor structure or head disk interface even by a light mechanical load disturbance such as shock or vibration. In addition, since a single channel HDD does not provide gram load equilibrium in axial direction, the rotor could be tilted and make a hard contact to stator. A non-symmetric groove pattern could successfully compensate the tilted rotor angle during operation.

### 1. 서 론

최근 정보화 사회의 발전에 따라 신속하고 안전한 정보 저장기기의 요구가 증가하고 있다. 이중 하드디스크(HDD)는 경제성이 뛰어난 대표적인 저장기기로 여러 분야에서 널리 이용되고 있으며 하드디스크의 용량을 증가시키기 위해서 디스크 상의 기록 면적을 줄이기 위한 연구가 많이 행해지고 있다. 용량을 증가시키기 위해서는 작은 면적에 많은 Data를 기록해야 한다. 그렇기 위해서 헤드의 자기신호가 감소해야 하며 디스크와 헤드 사이의 간극 역시 줄여야 한다. 또한 기록밀도가 높아짐에 따라 미세한 진동에 의해 트랙을 읽고 쓸 때 발생하는 오동작의 원인인 트랙 비정렬이 자주 발생할 수 있으므로 하드디스크의 트랙밀도를 증가시키기 위해서는 더욱 정밀한 제어가 필요하다. [1][4]

하드디스크는 디지털 데이터를 저장하기 위하여 헤드가 디스크 위에 떠서 데이터를 읽고 쓰는 방식이 주로 사용된다. 이 경우 헤드는 슬라이더 서스펜션에 의해 지지되며, 디스크 위에서 트랙 사이를 이동하게 된다. 헤드는 보통 디스크의 양면을 읽고 쓰기 위해 디스크 당 2개의 헤드가 설치(Two Channels)되나 요구에 따라 디스크의 한쪽 면만을 사

용하기 위해 디스크 당 1개의 헤드가 설치되는 경우(One Channel)도 있다. One Channel의 경우, Gram Load에 의하여 하드디스크의 회전축이 헤드의 작동 부위 쪽으로 기울는 현상이 발생되는데, 이러한 회전축의 기울임은 헤드와 디스크 사이의 간극을 변화시키는 작용을 한다. 이러한 간극의 변화는 오작동의 원인이 될 수 있으며, 정보저장능력 증가의 제한 요소로 작용된다. 따라서 본 논문에서는 유체베어링의 비대칭 Groove를 이용하여 베어링 내의 Pressure Force의 분포 변화를 통해 Gram Load에 의한 회전축의 기울기를 보상하고자 한다.

### 2. 회전축의 기울기 발생 원인

#### 2.1 공기 부상 헤드의 구조

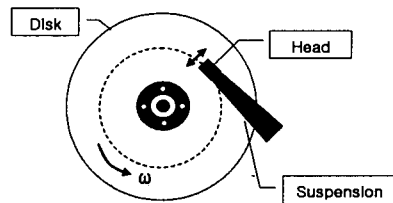


Fig.1 Schematics of HDD

HDD의 개략적인 내부 구조는 Fig.1 과 같으며, 데이터를 저장할 수 있도록 자회충이 형성된 원판 모양의 디스크와 이를 고속으로 회전시키는 스피들 시스템 그리고 디스크에

† 책임저자; 정희원, 성균관대학교 기계공학부

E-mail : jckoo@skku.edu

Tel : (031)290-7454 Fax : (031)290-5349

\* 정희원, 성균관대학교 대학원 기계공학

\*\* 삼성종합기술원

데이터를 읽거나 기록할 수 있는 헤드로 구성되어 있다.

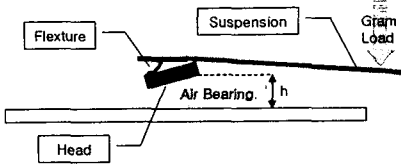


Fig.2 공기 부상 헤드의 구조

공기 부상 헤드의 경우 Fig.2와 같이 공기 유동 압력에 의해 헤드가 부상하게 되며, 헤드의 부상력은 서스펜션의 예압과 평형을 이루면서 헤드와 디스크는 일정한 부상 높이를 유지하게 된다. [1]

## 2.2 불균형력의 발생

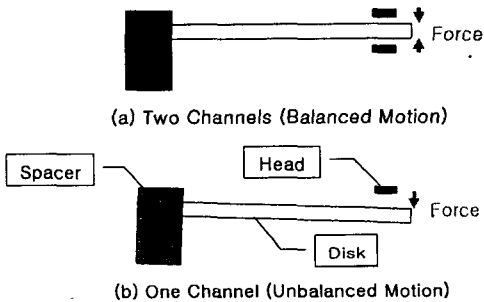


Fig.3 디스크에 작용하는 반작용력

공기 유동 압력은 헤드를 부상시키는 작용력과 디스크를 아래로 누르는 반작용력을 발생시킨다. Fig.3의 (a)와 같이 일반적인 Two Channels의 경우, 디스크의 윗면과 아랫면에서 발생하는 반작용력은 서로 대칭이기 때문에 상쇄된다. 그러나 Fig.3의 (b)와 같이 헤드가 한쪽 면에만 설치된 One Channel의 경우, 반작용력은 회전축의 기울임을 발생시키는 불균형력으로 작용하게 된다.

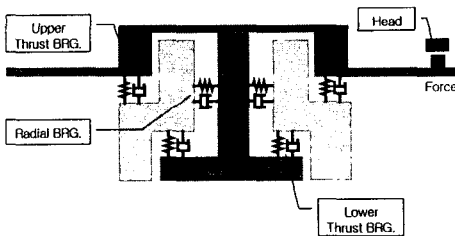


Fig.4 FDB 모델 (Spring-Damper)

불균형력에 의한 회전축의 기울임 양을 조사하기 위해 본 논문에서는 상용 유체 해석 프로그램을 이용하여 FDB 내부의 강성 및 감쇠 계수를 구하였고 이를 이용하여 FDB를 Fig.4와 같이 스프링, 댐퍼 모델로 모델링하였다. 스프링과

댐퍼는 초기의 힘이 가해지지 않은 상태에서 압축되는 방향으로만 작용하도록 하였다. 따라서 스프링의 초기 높이에 대한 좌표로부터 스프링의 압축 시까지의 높이 변화(스프링의 변위)를 통해 회전축의 기울기 정도를 확인할 수 있다.

Table 1 강성 및 감쇠 계수

	Radial BRG.	Upper Thrust	Lower Thrust
$K_{XX}(N/mm)$	4.35E+03	-	-
$K_{XY}(N/mm)$	7.38E+03	-	-
$K_{ZZ}(N/mm)$	-	8.10E+01	2.59E+01
$C_{XX}(Ns/mm)$	8.65E+00	-	-
$C_{XY}(Ns/mm)$	4.93E-02	-	-
$C_{ZZ}(Ns/mm)$	-	2.51E-01	5.19E-02

본 논문에서 적용한 HDD의 FDB 모델은 Fig.5와 같으며 상용 유체 해석 프로그램을 이용하여 구한 강성 및 감쇠 계수는 Table 1과 같다. 이렇게 구한 강성 및 감쇠 계수를 상용 동역학 해석 프로그램에 적용하여 불균형력(Gram Load)에 의한 회전축의 기울어짐을 해석한 결과, Fig.6과 같이 회전축이 헤드가 위치한 쪽으로(Upper\_8, Lower\_4) 기울어짐을 볼 수 있었다. (헤드의 위치 : 중심으로부터 45.25mm)

Table 2 FDB 설계 변수

Rotation Speed(rpm)		15,000
Radius of Shaft(mm)		1.75
Radial	Groove Angle(deg)	46
	Num. of Groove	12
	Groove Ratio	1.0
	Groove Depth(mm)	0.006
	Clearance(mm)	0.0035
	Length(mm)	3.0
Thrust	Groove Angle	20
	Num. of Groove	16
	Groove Ratio	1.0
	Groove Depth(mm)	0.01
	Axial Play(mm)	0.018
	Upper	Inner Radius(mm)
	Outer Radius(mm)	5.2
Lower	Inner Radius(mm)	2.2
	Outer Radius(mm)	2.95

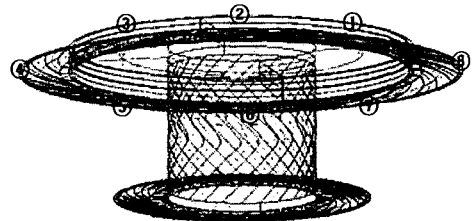
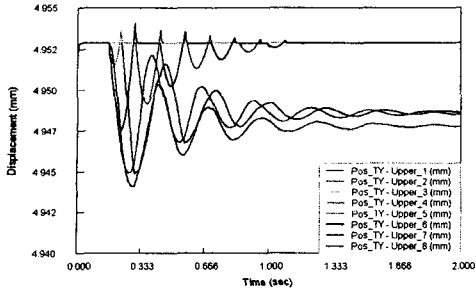
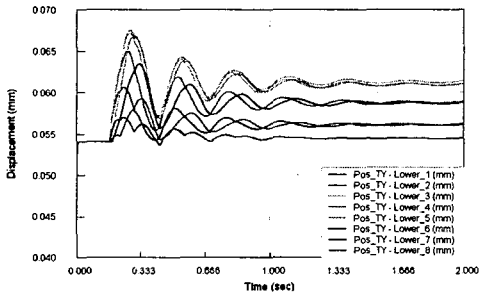


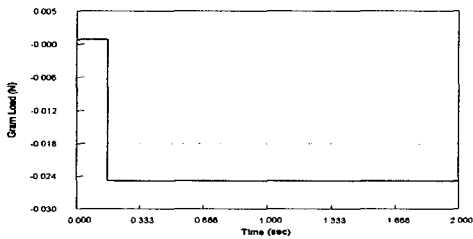
Fig.5 FDB Parameters



(a) 스프링의 변위 (Upper Thrust)



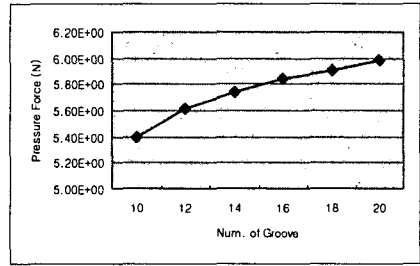
(b) 스프링의 변위 (Lower Thrust)



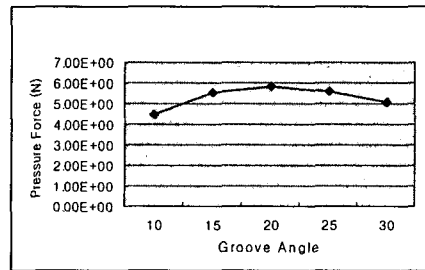
(c) Gram Load

Fig.6 대칭 Groove 이용 시 Gram Load에 의한 회전축의 기울기

위와 같이 베어링 내부의 Pressure Force의 비대칭적인 분포를 통해 Gram Load와 반대 방향의 모멘트를 생성할 수 있으며, 이와 같은 베어링내의 비대칭적인 압력 분포는 베어링의 Groove Angle 또는 Groove 개수의 변화로 생성할 수 있다. Groove Angle의 경우 Fig.8과 같이 20 deg 부분에서 베어링 내 Pressure Force가 가장 크게 나타나며, Groove 개수의 경우 Groove 개수가 많을수록 Pressure Force가 증가함을 볼 수 있다. (Spiral Groove)



(a) Num. of Groove (Upper Thrust BRG.)



(b) Groove Angle (Upper Thrust BRG.)

Fig.8 Groove의 개수 및 각도 변화에 따른 Pressure Force

### 3.2 비대칭 Groove를 이용한 FDB의 동특성

## 3. FDB 회전축의 기울기 보상

### 3.1 회전축의 기울기 보상 방안

회전축의 기울기를 보상하기 위해서는 Gram Load에 의해 발생하는 Moment를 보상해 주어야 한다. 회전축은 유체 베어링 내부의 Pressure Force에 의해 지지되며 Fig.7과 같이 이 베어링 내부의 Pressure Force 변화를 통해 회전축의 기울임을 보상할 수 있다.



Fig.7 베어링 내부의 Pressure Force를 이용한 기울기 보상

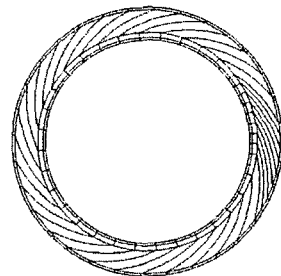
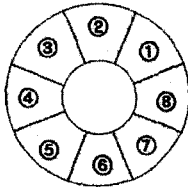


Fig.9 비대칭 Groove를 이용한 Thrust BRG.

본 논문에서 적용한 회전축의 기울기 보상 방안은 Fig.9와 같이 Groove 밀도를 변화시키는 방법이며 이와 같이 비대칭 Groove를 사용했을 때, 베어링 내부에 나타나는 동특성은 Table 3과 같다.

Table.3 Thrust BRG.의 동특성 (비대칭 Groove)

	$K_{ZZ}$ (N/mm)	$C_{ZZ}$ (Ns/mm)
1	1.06E+01	3.05E-02
2	1.19E+01	3.04E-02
3	1.19E+01	3.08E-02
4	1.19E+01	3.00E-02
5	1.19E+01	3.00E-02
6	1.19E+01	3.06E-02
7	1.08E+01	3.27E-02
8	1.80E+01	2.95E-02



Lower Thrust BRG.의 경우 대칭 Groove를 사용하였기 때문에 베어링의 강성 및 감쇠 계수가 일정하게 나타나는 반면 비대칭 Groove를 이용한 Upper Thrust BRG.의 경우는 Groove의 밀도가 높은 ⑧부분에서 가장 높은 강성 및 감쇠 계수 값을 보임을 알 수 있다.

### 3.3 비대칭 Groove의 신뢰성 분석

이상과 같이 비대칭 Groove를 이용할 경우 Groove 밀도가 높은 베어링의 ⑧부분에서 높은 Pressure Force 분포를 보임을 알 수 있었다. 이상의 방법이 실제 Gram Load가 작용할 때 회전축의 기울기를 얼마나 보상할 수 있는 지 알아보기 위해 앞서와 같이 상용 동역학 해석 프로그램을 이용하여 비대칭 Groove 이용 시, 축의 기울기를 Fig.10과 같이 분석해 보았다. Gram Load는 2.5gf로 적용하였으며, 각 스프링 및 댐퍼는 앞서 구한 베어링 내부의 동특성을 적용하였다. 아래 그래프와 같이 비대칭 Groove를 이용할 경우 대칭 Groove를 이용할 때보다 회전축의 기울기를 약 23.4% 정도 줄일 수 있었다.

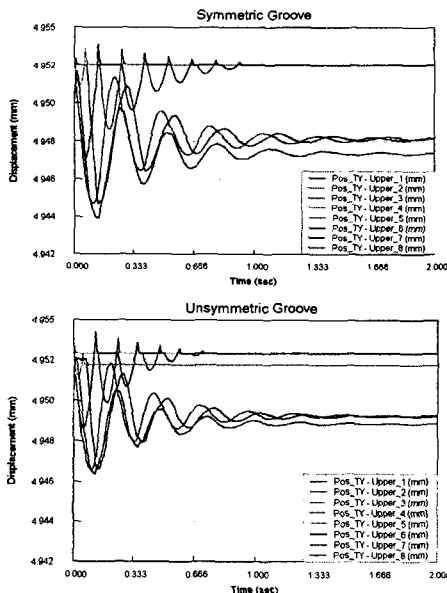


Fig.10 비대칭 Groove이용 시 FDB 회전축의 기울기 보상

헤드는 디스크의 트랙 사이를 이동한다. 헤드가 디스크의 외곽에 위치할 경우 Gram Load에 의한 Moment는 헤드가 디스크의 안쪽에 위치할 때보다 크다. 이와 같이 헤드의 다양한 위치에 따른 회전축의 기울임 보상 정도를 살펴보면 Fig.11과 같이 나타남을 알 수 있다.

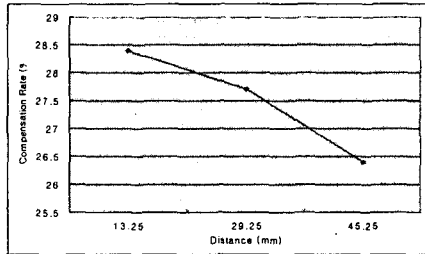


Fig.11 헤드의 위치에 따른 회전축의 기울기 보상

### 4. 결론

One Channel의 Gram Load에 의한 회전축의 기울임을 Simulation하기 위해 유체 베어링을 스프링, 댐퍼 모델로 모델링하였다. 스프링의 강성 및 댐퍼의 감쇠계수를 결정하기 위해 상용유체해석 프로그램을 이용하였으며 회전축의 기울임에 대한 Simulation은 상용동역학해석 프로그램을 이용하여 수행되었다.

Gram Load에 의한 회전축의 기울임은 Thrust Bearing의 Groove 밀도 변화를 통해 보상할 수 있음을 규명하였고, 이를 통해 HDD의 회전축의 기울기의 보상이 가능하였다. 또한 이러한 연구를 바탕으로 앞으로 Gram Load에 대한 회전축의 기울임을 적극적으로 보상하기 위한 Thrust Bearing의 최적설계가 이루어지도록 연구가 계속되어야 한다.

### 참고 문헌

- (1) 홍어진 등, 2003, "초소형 광자기 드라이브용 서스펜션의 동특성 해석", 추계학술발표회 논문집, 한국소음진동공학회, pp.406~411.
- (2) Jose L.Aristegui and Thomas L.Geers, "Shock Analysis of a Disk-drive Assembly", Journal of Information Storage and Processing Systems Vol.2 pp25-31
- (3) C.-P.Roger Ku, 1996,"Dynamic Characteristics of Hard Disk Drive Spindle Motors-Comparison and Between Ball Bearings and Hydrodynamic Bearings,"
- (4) 권정민 등, 2003, "FDB 설계의 신뢰성 평가를 위한 형상 Modeling의 자동화", 추계학술발표회 논문집, 한국소음진동공학회, pp. 1076~1082.