

스핀들 모터용 유체베어링의 마찰 및 마멸 특성

정성훈, 박동신, 이영제* 정광섭**, 정대현**

성균관대학교 기계공학부 대학원, *성균관대학교 기계공학부

**삼성전기(주) 정보디바이스 사업부

Friction and Wear Characteristics of Fluid Bearing for Spindle Motors

Sung-Hoon Jeong, Dong-Shin Park and Young-Ze Lee

Graduate School of Mechanical Engineering, SungKyunKwan University

School of Mechanical Engineering, SungKyunKwan University

Optical & Information Device Division, SAMSUNG electronics

Abstracts - Recently, fluid bearing have been studied to apply to spindle motors for hard disk drive, printer and others. Since fluid bearing have excellent stiffness and good load carrying capacity, the bearing proved to be suitable for those devices related to computer industry. In this paper, the friction and wear characteristics of the bearing were studied. The bearing appears good performance at a high temperature and high wear resistance.

Key words - Fluid Bearing, Spindle motor, Seizure.

1. 서론

정보저장 및 처리기기의 고성능에 대한 요구와 더불어 소형 스핀들 모터도 고속화와 높은 정밀도를 필요로 하게 되었다. 이를 만족시키기 위해서는 모터 내의 회전체를 지지하고 있는 베어링의 성능 개선이 우선되어야

한다. 최근에는 유체베어링을 레이저 프린터, 하드디스크 등의 스핀들 모터용으로 사용하고자 많은 연구들이 수행되고 있다. 특히 하드디스크 업계에서는 볼베어링을 유체베어링으로 대체하고자 많은 시도를 하고 있으며 몇 업체는 제품을 내놓고 있다. 유체베어링의 하중지지능력과 강성 등의 특성은 이미

그 우수성이 입증되어 있으며 따라서 본 연구에서는 설계·제작된 유체베어링의 온도에 따른 마찰특성과 마멸특성에 관해서 살펴볼 것이다.

2. 실험

2.1 유체베어링

유체베어링은 미끄럼베어링의 한 종류로 유체동압을 발생시키도록 축이나 슬리브 표면에 빗살모양의 홈을 가지고 있다. 회전체가 회전함에 따라 홈의 펌핑 작용으로 생긴 압력으로 하중을 지지한다[1]. 또 빗살무늬 유체동압 베어링은 홈이 윤활 유체를 홈 안쪽으로 가압함으로써 오일의 누설이 매우 적은 특성을 가지고 있다[2]. 실험 베어링의 형상은 Table 1과 같다.

2.2 베어링의 마찰력·접촉전압 측정 방법

본 연구에서 사용한 시험기는 Fig. 2와 같이 구성되어 있으며 하중은 베어링의 반경방향으로 가하였다. 로드셀을 통해서 측정된 마찰력은 A/D보드를 통해 컴퓨터에 저장되며, 베어링과 축의 접촉정도를 나타내는 접촉전압도 전기회로를 통하여 측정되고 저장된다. 축과 베어링이 금속접촉이 없는 완전한 유막을 형성하면 3V의 전압이 측정되고, 유막 형성이 부족하면 3V에서 떨어진 전압이 측정된다.

2.3 온도변화실험방법

베어링의 실제 사용조건은 밀폐된 공간에서 사용되기 때문에 보통 60°C 이상의 고온환경이며 베어링의 하중지지능력과 강성이 유지되어야 한다. 그래서 주위의 온도를 60°C 이상 유지한 환경 하에서 베어링 표면의 온도가 40°C에 도달한 이후부터 온도를 측정하

면서 마찰력과 접촉신호를 살펴보았다. 하중의 변화는 0.05N부터 3N까지이나 불안정한 경우에는 2N까지 변화를 주었다.

Table 1 Bearing parameters

Bearing Parameters	Herringbone-grooved hydrodynamic bearing
Number of groove	12
Radial Clearance	5 μ m, 7 μ m
Groove Depth	6 μ m (a)
Groove/ridge Ratio	1:1 (b: c)
Groove Angle	25° (d)
Shaft Diameter	3mm
Oil viscosity at 40°C	8cSt, 12cSt

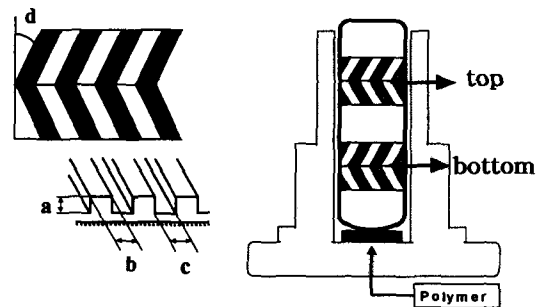


Fig. 1 Geometry of herringbone-grooved hydrodynamic bearing.

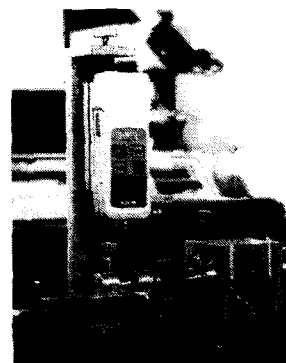


Fig. 2 Configuration of bearing tester.

베어링의 재료가 황동이기 때문에 열전도도가 매우 커서 베어링 표면의 온도와 축과 베어링의 접촉부의 온도가 거의 같다고 볼 수 있다. 또한 베어링의 여러 부위의 온도를 측정해 본 결과 온도들의 차이가 1~3°C 정도 밖에 나지 않았다. 열전대는 3개를 사용하여 베어링의 외부 표면 두 부분과 실온을 측정하였다. 주변의 영향을 덜 받도록 열전대를 짧게 하였으며 실험 중 주변의 환경과 차단 되도록 밀봉케이스를 제작하여 덮어 씌었다.

2.3 마멸실험

마멸 실험을 수행한 베어링의 재료와 형상은 Table 2와 같으며 축과 베어링의 접촉을 일으키는 임계하중을 찾기 위하여 하중을 점차 증가시킨다. 이때 하중은 베어링의 한 쪽에 치우쳐 있다. 이유는 베어링을 모터에 적용했을 경우 베어링의 상부에 더욱 많은 마멸이 일어나기 때문에 이를 평가하기 위한 것이다. 그 결과 임계하중은 3N으로 결정하였다. 임계하중 하에서 약 1시간 동안 마멸 실험을 수행한 후 마멸량을 측정하기 위해서 진원도 측정기를 이용했다. 마멸량이 너무 적기 때문에 무게변화로 마멸을 평가할 수 없어서 진원도 측정기를 통해서 나온 베어링의 내면 형상을 마멸실험 전후를 비교하여 마멸량을 측정하였다.

Table 2 Bearing parameter for wear test

Bearing Number	material	Clearance	Groove depth
#1	Phosphor Bronze	7 μ m	7.95 μ m
#2	Brass	7 μ m	6.39 μ m
#3, #4	Brass	8.75 μ m	2.58 μ m

3. 실험결과

3.1 온도변화 실험 결과

실은 실험 시 베어링 표면 온도 증가는 Table 3과 같으며 28,000rpm의 회전속도에서 베어링 표면의 온도증가 정도를 열전대를 이용하여 10분 동안 측정하였다. 온도는 약 4분 후에 정상상태에 도달하여 그 이후에는 변화가 없었다. 베어링의 clearance가 작을수록 오일의 점도가 높을수록 온도의 증가가 컸다.

고온에서 베어링 표면 온도증가는 Table 4와 같으며 대기 온도 60°C 이상의 고온 챔버 내에서 측정되었다. 온도의 차이는 미미하나 실온의 경우와 마찬가지로 60°C 이상의 고온 환경 하에서도 clearance가 작을수록 점도가 클수록 온도의 증가가 컸으며 베어링 표면의 온도가 70°C 가까이 올라간다는 것도 알 수 있었다.

Table 3 Temperature variation of bearing surface at room temperature

Brass	Temperature	
	5 μ m	7 μ m
8cSt	29~51°C(+22)	29~47°C(+18)
12cSt	29~53°C(+24)	29~49°C(+20)

Table 4 Temperature variation of bearing surface at high temperature

Brass	Temperature	
	5 μ m	7 μ m
8cSt	40~69°C(+29)	40~68°C(+28)
12cSt	40~70°C(+30)	40~69°C(+29)

Table 5 Friction forces of herringbone-groove hydrodynamic bearing due to load variation at 28,000rpm(0.05N ~ 1N)

RT=Room Temperature
HT=High Temperature

Brass	Friction force, N			
	5 μ m		7 μ m	
Radial clearance				
Viscosity	RT1	HT2	RT3	HT4
8cSt	0.165	0.083	0.107	0.04
	0.178	0.083	0.125	0.058
	0.197	0.1	0.146	0.078
	0.209	0.107	0.166	0.088
12cSt	0.181	0.078	0.146	0.066
	0.199	0.079	0.147	0.072
	0.199	0.117	0.152	0.073
	0.207	0.154	0.165	0.096

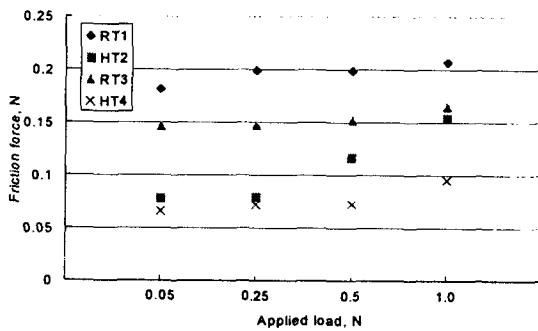


Fig. 3 Friction forces of fluid bearing at various conditions (8cSt).

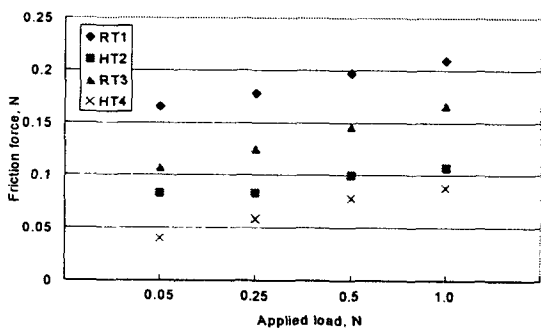


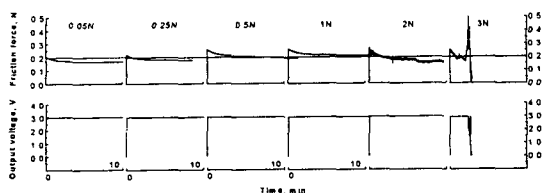
Fig. 4 Friction forces of fluid bearing at various conditions (12cSt).

또 오일의 온도도 베어링 표면의 온도만큼 상승할 것으로 예상된다. 위의 두 실험을 종합하여 실온 환경과 고온 환경 하에서 베어링의 마찰특성을 살펴보면 Table 5에서와 같이 고온일 경우의 마찰력이 크게 작아짐을 알 수 있다. 이는 점도가 온도의 증가로 인해 감소했기 때문인데 Fig. 3(점도 8cSt)과 Fig. 4(점도 12cSt)는 마찰력의 크기를 비교하고 있다. Fig. 5와 6을 살펴보면 실온·고온 실험 대부분의 경우 반경방향하중이 1N 정도일 때까지 모두 안정적인 마찰력과 접촉신호를 나타내고 있다. 따라서 온도와 압력의 변화는 점도의 변화를 일으켜 베어링의 성능에 중요한 영향을 미치며 이러한 변화는 설계 시 고려되어야 한다.

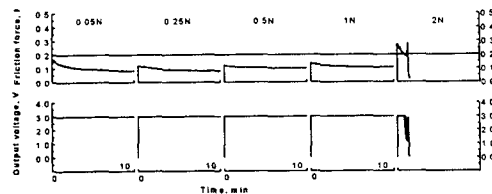
3.2 마멸실험 결과

Table 6에는 실험 베어링 간의 상대적인 마멸량이 나타나 있으며, 접촉신호 3V이하의 지속시간에 따라 마멸량에 차이가 발생하였다. #1·#2베어링의 경우 접촉신호가 안정하게 나오는 경우에는 마멸량이 작게 나왔다. 또한 베어링의 top쪽에 하중을 치우쳐 가했기 때문에 양쪽의 마멸량의 차이가 발생하였다. Fig. 7에는 마멸실험 동안의 마찰력과 접촉신호의 변화가 나타나 있다. #3·#4베어링의 접촉신호의 변화가 가장 뚜렷하였으며, 이는 홈깊이가 상대적으로 너무 작아 동압 발생이 용이하지 않았기 때문인 것으로 판단된다. 특히, #4베어링의 경우 Fig. 7(d)에서 보듯이 12cSt의 오일을 가지고 한 실험의 경우 5분 정도 이내에서 베어링과 축의 갑작스런 시저(seizure)로 인해 심한 마찰력의 변화와 접촉신호의 변화를 나타내었다.

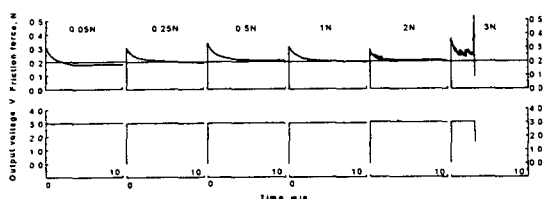
4. 결론



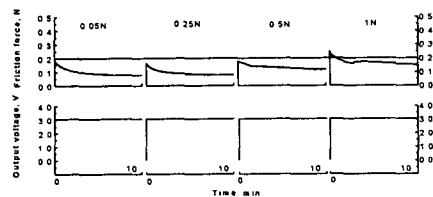
(a) Radial clearance $5\mu\text{m}$, Viscosity 8cSt



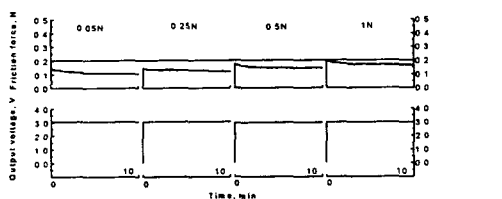
(a) Radial clearance $5\mu\text{m}$, Viscosity 8cSt



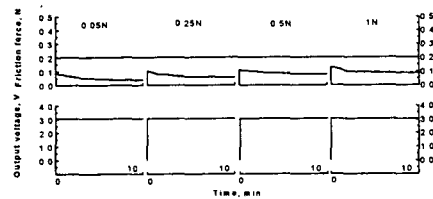
(b) Radial clearance $5\mu\text{m}$, Viscosity 12cSt



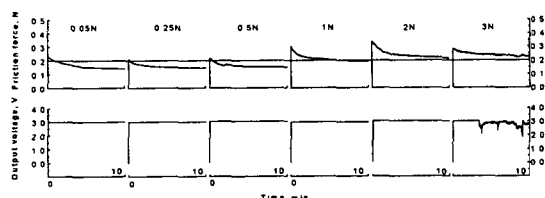
(b) Radial clearance $5\mu\text{m}$, Viscosity 12cSt



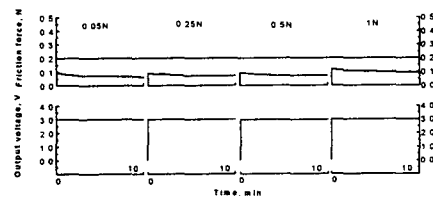
(c) Radial clearance $7\mu\text{m}$, Viscosity 8cSt



(c) Radial clearance $7\mu\text{m}$, Viscosity 8cSt



(d) Radial clearance $7\mu\text{m}$, Viscosity 12cSt



(d) Radial clearance $7\mu\text{m}$, Viscosity 12cSt

Fig. 5 Friction force and contact voltage of fluid bearing due to load variation at 28,000rpm. (Room Temperature, 29°C)

(1) 유체베어링을 고온 환경에서 마찰력과 접촉신호를 측정된 결과 1N정도 혹은 그 이상의 하중에서도 우수한 하중지지능력과 강성을 발휘하였다.

Fig. 6 Friction force and contact voltage of fluid bearing due to load variation at 28,000rpm. (High Temperature, 60°C)

(2) 고온 환경에서의 마찰력은 거의 반으로 줄어들었는데 이는 온도의 증가에 의한 점도의 감소 때문이다.
 (3) 베어링의 마멸량은 10^{-7}g 의 차수를 가지므로 우수한 마모 저항성을 가지고 있다.

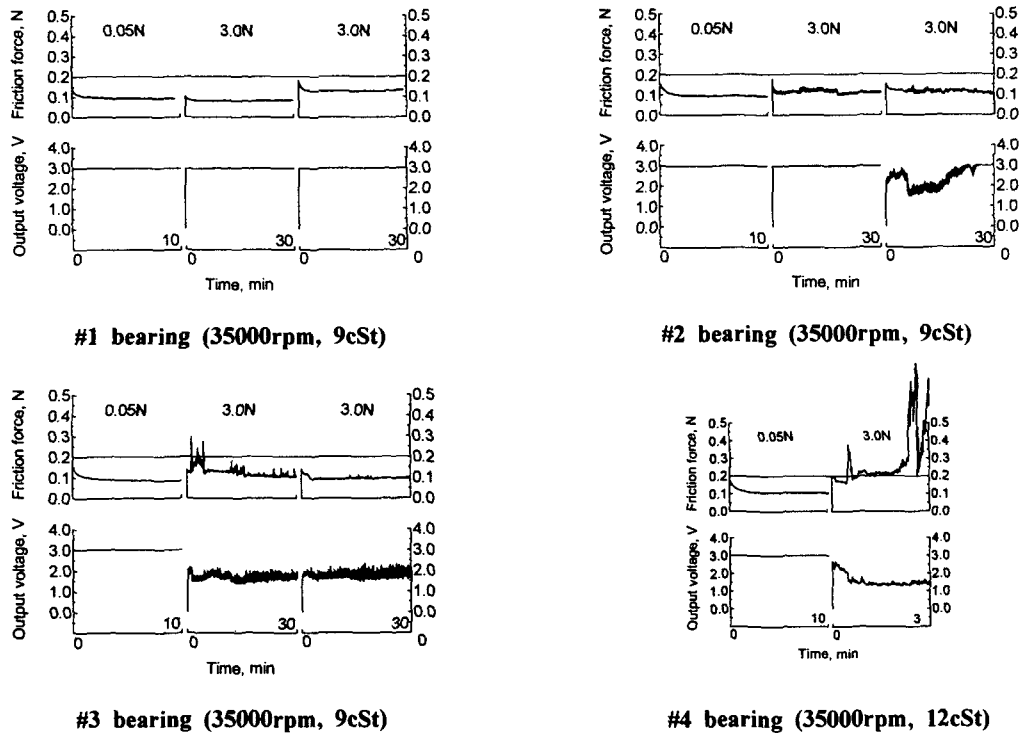


Fig. 7 Friction force and output voltage of electric contacts of fluid bearing due to load variation at 3N load.

Table 6 Wear quantity

Bearing Number (oil, rpm)	wear($\times 10^{-7}$ g)	
	top	bottom
#1(9Cst, 35000rpm)	3.4	2.6
#2(9Cst, 35000rpm)	8.5	7.6
#3(9Cst, 35000rpm)	16.3	9.1
#4(12Cst, 35000rpm)	8.2	4.4

5. 참고문헌

(1) Kinouchi, K. and Tanaka, K., 1990, "Performance Characteristics of Herringbone-grooved

Journal Bearings Using a Finite Element Method," *Proc. Japan International Tribology Conference*, Nagoya, Japan, pp. 935~940.

(2) Bootsma, J. and Tieleman, L. P. M., 1977, "Conditions of Leakage-free Operation of Herringbone-grooved Journal Bearings," *Journal of Lubrication Technology*, Vol. 99, pp.215~223.

(3) Kucinski, B., Fillon, M., 1999, "An Experimental Study of Transient Thermal Effects in a Plain Journal Bearing," *Journal of Tribology*, Vol. 121, pp. 327~332.

(4) Tanaka, K. and Muraki, H., 1991, "Performance of Air-lubricated Hydrodynamic Bearing Spindles for Laser Scanners," *Journal of Tribology*, Vol. 113, pp. 609~614.