

베어링 강성 측정

김상욱, 김진환, 이용근, 김보열, 김영봉
인하공업전문대학 전기정보과

The Measurement of the Bearing Stiffness

Sanguk Kim, Jinhwan Kim, Yonggeun Kim, Boyoul Kim, Youngbong Kim
Department of Electrical Information, Inha Technical College

Abstract - This paper is presented for the measurement of the bearing stiffness for the spindle motors. BLDC Spindle Motors for the Hard Disk Drive are used by several kinds of the bearings, such as ball bearing, fluid dynamic bearing, and aero dynamic bearing. The spindle motors are attached the platters to read and write the data. Because the platter rotates at high end speed with the load and can be shocked from a suddenly moving, the bearing needs the rated stiffness with the pressure. By the way, it has not been realized to measure the real stiffness for each bearing types. In this paper, we proposed the method of measuring the stiffness for the bearings by using the magnet force. Experimental results show the performance to measure the bearing stiffness of the BLDC spindle motors for an HDD.

1. 서 론

21세기 정보화 사회가 도래함에 따라 정보기억장치 및 프린터용 초정밀 회전기기는 그 사용범위가 더욱 커지고 있다. 특히 고용량, 초소형 정보기억장치 개발 등과 같은 미래 산업을 주도하기 위해서는 초정밀 회전기기의 공통 기반 기술 중 진동 및 소음 저감을 위하여 베어링의 기술 개발이 가장 주요한 기술 개발의 과제로 떠오르고 있다. 이를 위하여 공기 동압(Aero Dynamic) 베어링 및 유체 동압(Fluid Dynamic) 베어링이 개발되고 있으나, 베어링의 성능을 평가하기 위하여 베어링 강성을 정확하게 측정하는 방법에 대하여 아직 제안되고 있지 않는 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 마그네트 Force를 이용하여 스텝으로 힘을 가한 후 그 후 베어링의 강성을 측정하는 방법에 대하여 제안하고자 한다.

일반적으로 기존의 볼 베어링으로 구성된 일반적인 형태의 것과는 달리, 논문에서 비교된 베어링 방식은 두 가지 베어링의 조합으로 이루어져 있다. Stationary부분과 Rotary부분 사이에 위치한 유체의 압력에 의해 지지되는 것을 특징으로 하기 때문에, 기존 볼 베어링만으로 구성된 것과는 달리 일반적인 방법으로는 강성측정이 쉽지 않다. 그러나 스피들 모터의 적정부하 산출이나 외부 충격, Gyro Force를 견딜 수 있는 능력 등 기본적인 모터의 성능을 알기 위해서는 반드시 측정해야 할 항목이

다. 이를 설계과정에서 자료를 얻어 최적성능의 모터를 재설계, 생산하기 위하여 베어링 강성을 측정하는 것은 필수적으로 요구된다. 본 연구개발에서는 베어링 강성을 측정하는 Jig를 설계, 제작 및 볼베어링, 유체동압베어링, 공기동압베어링 뿐만 아니라, 이들 간의 조합으로 이루어진 하이브리드 모터의 강성을 측정할 수 있는 시스템을 제안하였다.

2. 본 론

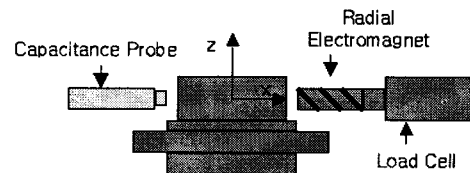


Fig. 1 Front View
그림 1 측정 정면

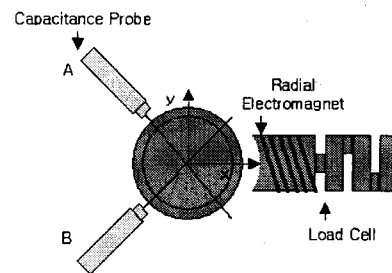


Fig. 2 Plain View
그림 2 측정 평면

모터의 강성 즉 베어링의 강성을 측정하기 위하여, 스피들 모터의 허브의 재질이 중요하다. 허브가 자성체인 경우와 비자성체인 경우에 있어서 비자성체인 경우에만 모터 허브에 자성체 재질의 부품을 추가하며, 이를 통하여, 마그네트 Force를 이용하여 스텝으로 힘을 가한 후 진동 변위를 측정하여, 측정된 값으로부터 베어링의 강성을 측정한다. 이를 실험하기 위한 방법은 다음과 같다.

- 1) 고속 회전하는 베어링의 성능측정 시 외력을 가하는 방법과 변위를 측정하는 방법은 비접촉식으로 한다.
- 2) 모터의 고정자는 비자성체로 회전자는 자성체로 제작

하여 전자적으로 외력 및 충격 인가한다.

3) 외력측정 시 전자석 연속운전을 수행한다.

(단위: N, m)

4) 충격량측정 시 자력 인가 시간은 약5msec 길이의 구형파 형태로 인가한다.(단위: N-S, m)

5) 변위측정은 Capacitance Probe이용한다.

6) Rotor의 정확한 궤적 및 변위를 구하기 위하여 Probe는 직각상태로 고정한다.

7) 전자석은 모터의 회전자 운동에 큰 영향을 주지 않도록 일정 거리 이상에 설치한다.

8) Radial 방향 강성만 측정한다.

위의 조건을 만족하는 측정 지그의 개념도는 그림 1에서 그림 3과 같다.

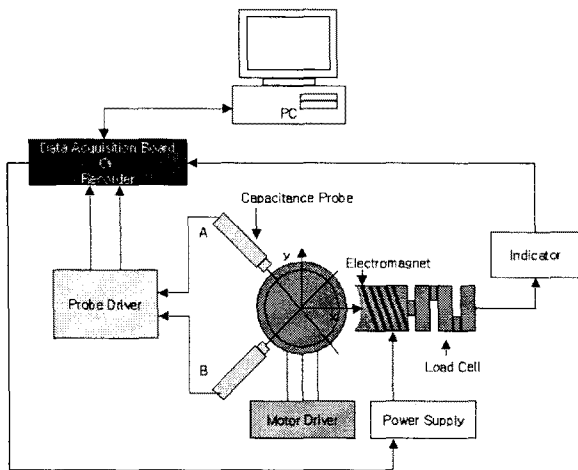


Fig. 3 System Block Diagram

그림 3 시스템 블록 다이어그램

설계된 시스템을 통하여 제작된 측정지그는 아래 그림과 같다.

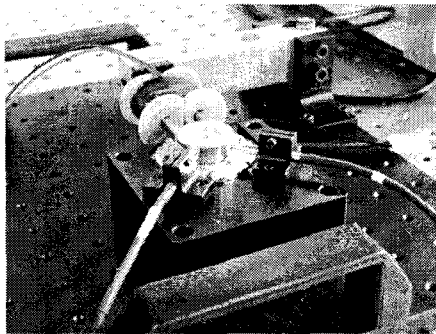


Fig 4. Motor, Load Cell, Capacitance Probe jig

그림 4 모터, 로드셀, 커패시턴스 프로브 고정 지그

2.1 Stiffness 측정

베어링의 강성을 측정하기 위하여 시험대상은 아래와 같이 Nidec사의 볼베어링, Seagate사의 유체동압베어링, Minebea사의 유체동압베어링, G&W사의 하이브리드 베

어링을 측정 비교하였다.

- Nidec사 : Ball Bearing, 5400rpm, 8Poles, Y Connection

- Seagate사 : FDB, 15000rpm, 6Poles, Delta Connection

- Minebea사 : FDB, 7200rpm, 8Poles, Y Connection

- G&W사 : Hybrid Dynamic Bearing, 13,000rpm, 8Poles, Y Connection

2.1.1 전자석 제작

전자석은 U자형태의 연철을 Core로 하여 모터의 반경 방향으로 최대한 근접시킬 수 있는 구조를 가질 수 있게 설계되어있고, 각각의 Bobbin에는 0.3 굵기의 권선을 1300Turn씩 감아서 충분한 자기력을 발생하도록 제작하였다.

전원 공급장치는 일반적인 DC Power Supply를 이용하여 전원을 공급하였다. 시험 중 권선에서 발생하는 많은 양의 열로 인해 단시간 동안 Force 측정 후 권선을 자연 냉각해야 할 필요가 있으며, 장시간 구동이 필요할 경우 별도의 냉각방식을 구비해야 한다.

- 최대 발생가능 Force: 3kgf (29.4N)

- 시험가능 범위: 0~1.6kgf (15.68N)

2.1.2 Load Cell 및 Indicator

Load-Cell은 전자석의 힘을 측정할 수 있는 적절한 범위내의 것을 기준으로 선정하였다. 측정하고자 하는 베어링의 강성이 104~107N/m정도 범위의 차수를 갖기 때문에 이보다 큰 힘을 측정할 수 있는 Load Cell 이 필요하며, 따라서 약 100N/m (10kgf/m) 정도를 측정할 수 있는 Load Cell로 선정하였다.

또한 Indicator의 최소 분해능은 1/10,000 이상을 측정할 수 있는 제품으로 선정하여, 최소 강성을 측정하는데 무리가 따르지 않도록 하였다.

- 측정 가능 범위: 0~6kgf (58.8N)

- 최대측정 Force: 100N/m = 108N/m

- 최소분해능: 104N/m

2.1.3 Electromagnet 및 전원 공급 장치

측정하고자 하는 베어링의 강성이 104~107N/m정도 범위의 차수를 갖기 때문에, 전자석과 자성체로 이루어진 허브 사이의 Air gap을 이기고 이정도 힘을 낼 수 있는 경량의 전자석을 제작하였으며, 이를 실험에 필요한 다양한 크기의 힘으로 조절할 수 있게 전자석 Coil에 흐르는 전류를 미세하게 제어할 수 있는 전원 공급장치를 확보 하였다. 또한, 전원 공급장치는 연속운전 시험뿐만 아니라 충격 시험을 수행할 수 있도록 적절한 힘으로 짧은 시간 (약5ms) 동안 펄스형태의 자력을 모터에 인가 해 줄 수 있게 제작되었다. 전원 공급장치의 출력 지령이

PC로부터 직접 제어가 가능하도록 하였다.

2.1.4 Data Acquisition Board

측정해야 할 정보는 우선 두개의 변위센서에서 출력되는 10V의 x, y축의 변위정보와 Load Cell에서 출력되는 Digital Data를 받아들일 수 있는 RS232C Serial Port 또는 Analogue Data(0~2V이상)를 받아 들여야 한다. 따라서 입력포트는 최소 3개와 1개의 Serial Port가 필요하다.

Load Cell에 걸리는 힘을 Feedback하여 설정된 힘을 지속적, 또는 순시적으로 허브에 가할 수 있도록 전자석 전원 공급장치의 전류제어 지령치를 조절할 수 있는 1개의 출력포트가 필요하다.

상기의 모든 입출력 정보는 Data Acquisition Board를 통해 PC에 저장 되거나 Recorder에 저장되며 프로그램에 의해 가공되어 원하는 형태의 Data를 출력하게 된다.

2.1.5 변위환산

반경방향의 센서에서 읽어 들인 Capacitance Probe Ch1과 Ch2의 변위 데이터를 각각 i1, i2라고 하면 X, Y 축으로의 좌표변환은 아래의 식(1), (2)로 구해진다.

$$X = -(i1+i2)/\sqrt{2} \quad (1)$$

$$Y = -(i1-i2)/\sqrt{2} \quad (2)$$

2.2 실험결과

본 실험에서는 Nidec, Seagate, Minebea, G&W사의 베어링의 강성을 제안된 시스템을 통하여 각 모터의 정격 속도 및 여러 속도 범위에서 측정하였다.

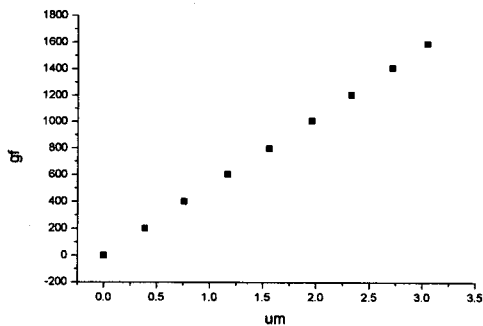


Fig. 5 Stiffness (Nidec, Ball Bearing, @5400) 5.06N/m
그림 5 강성 (Nidec, Ball Bearing, @5400) 5.06N/m

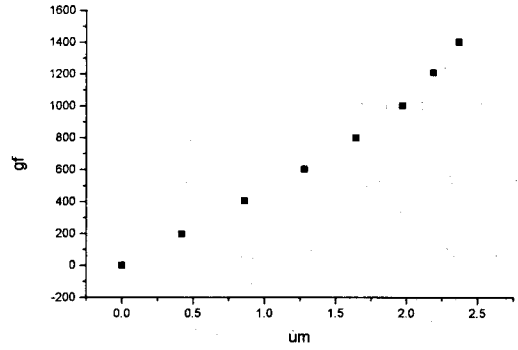


Fig. 6 Stiffness (Seagate, FDB, @15000) 4.76N/m
그림 6 강성 (Seagate, FDB, @15000) 4.76N/m

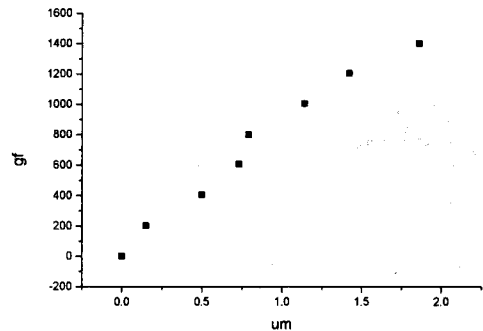


Fig. 7 Stiffness (Minebea, FDB, @7200) 8.29N/m
그림 7 강성 (Minebea, FDB, @7200) 8.29N/m

그림 5는 제안된 시스템에 의하여 베어링의 이동 변위 (um) 및 인가되는 마그넷 Force(gf)를 보여 주고 있으며, 식 (1), (2)를 통하여 니텍사의 볼베어링의 강성을 측정된 결과 약 5.06N/m 였다.

그림 6은 Seagate사의 유체동압베어링(FDB)의 강성을 측정된 결과 약 4.76N/m 였다.

그림 7은 Minebia사의 유체동압베어링(FDB)의 강성을 측정된 결과 약 8.29N/m 였다.

표 1은 각 사의 베어링의 강성을 측정된 결과를 보여 주고 있다.

Table 1 Stiffness measurement

표 1 강성측정

분 류	운전속도 (rpm)	Bearing Type	Stiffness (N/m)
Nidec	5400	Ball	5.06
Seagate	15000	FDB	4.76
Minebea	7200	FDB	8.29

아래 실험에서는 G&W사의 베어링의 강성을 제안된 시스템을 통하여 여러 속도 범위에서 측정하였다. 그림 8~12는 속도 변화에 따른 베어링의 이동 변위(μm) 및 인가되는 마그넷 Force(gf)를 보여 주고 있으며, 각 속도 별 강성을 보여주고 있다.

표 2는 G&W사의 속도 변화에 따른 베어링의 강성을 보여주고 있다.

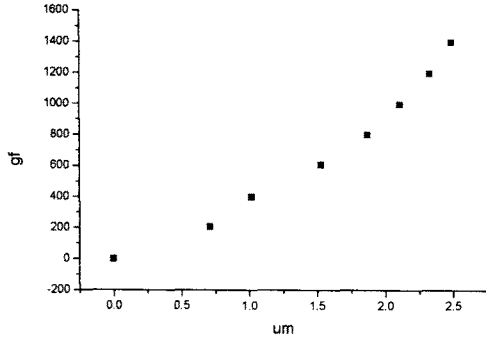


Fig. 8 Stiffness (G&W, Hybrid, @5400rpm)
그림 8 강성 (G&W, Hybrid, @5400rpm)

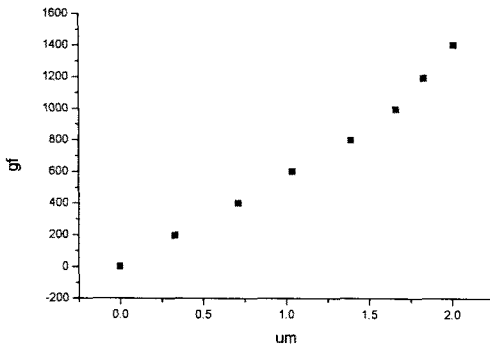


Fig 9. Stiffness (G&W, Hybrid, @7200rpm)
그림 9 강성 (G&W, Hybrid, @7200rpm)

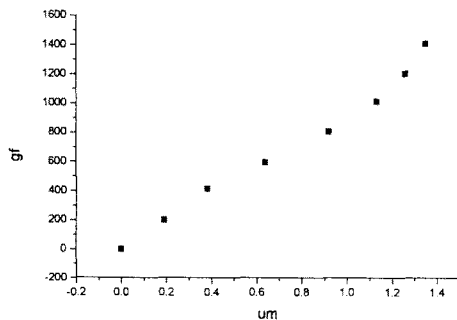


Fig. 10 Stiffness (G&W, Hybrid, @10000rpm)
그림 10 강성 (G&W, Hybrid, @10000rpm)

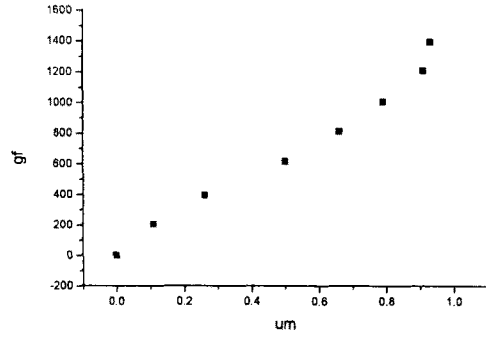


Fig. 11 Stiffness (G&W, Hybrid, @13000rpm)
그림 11 강성 (G&W, Hybrid, @13000rpm)

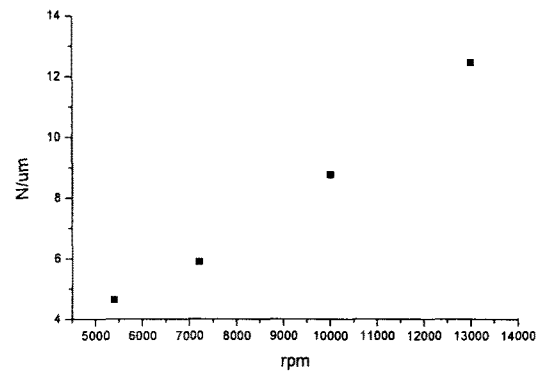


Fig. 12 Stiffness for the speed variation
(G&W, Hybrid Dynamic Bearing)
그림 12 속도 변화에 따른 강성의 변화
(G&W, Hybrid Dynamic Bearing)

Table 15 Stiffness for the speed variation
(G&W, Hybrid Dynamic Bearing)

표 15 속도 변화에 따른 강성의 변화
(G&W, Hybrid Dynamic Bearing)

속도(rpm)	강성(N/m)
5,400	4.63
7,200	5.89
10,000	8.77
13,000	12.47

3. 결 론

본 연구에서는 초소형 정보기억장치 개발 등 미래 산업을 주도하는 초정밀 회전기에 사용되는 스피들모터의 개발에 있어서, 특히 베어링의 성능을 좌우하는 강성을 측정하는 방법에 대하여 제안하였다. 측정된 베어링은 볼베어링, 유체 동압(Fluid Dynamic) 베어링, 하이브

리드 동압베어링이며, 각 제조사의 스피들모터를 이용하여 측정하였다.

강성측정 시험을 통하여 FDB의 특성상 구동속도의 증가에 따라 강성이 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 이는 G&W사의 하이브리드 동압베어링을 채택한 스피들모터에서 높은 강성을 유지하며 회전 하는 것이 가능하다는 것을 뒷받침하고 있으며, 복합적인 형태를 가진 Motor의 강성을 직접 측정할 수 있는 효과적인 방법을 확보했다는 것을 의미한다.

이번 연구결과에서 Ball Bearing Motor의 강성이 일반적으로 알려진 것보다 낮게 측정되었으며, 전자석의 세기를 현재보다 높게 인가하여 비선형 구간의 특성 확인 및 충격량 측정 시험을 추후 과제로서 진행할 예정이다.

[참 고 문 헌]

- [1] J.R. Hendershot Jr and Tje Miller, "Design of Brushless Permanent-Magnet Motors", Clarendon Press, 1994.
- [2] "Motor Application Note", Ansoft, 2000.
- [3] Hamrock, B. j., 1994, "Fundamentals of Fluid Film Lubrication, "McGRAW -HILL series in Mechanical Engineering, International Editions, pp. 218-277
- [4] Fuller. D. D., 1984, "Theory and Practice of Lubrication For Engineers," John Wiley & Sons, inc., A Wiley-Interscience Publication," pp. 198-548
- [5] 강경필, 1997, "오일윤활 빗살무늬 저널 베어링에 대한 정특성 및 안정성 해석", 연세대학교 기계공학과 박사학위논문
- [6] Shin, D. W., 1999, "A Study on the Characteristics of the Oil-Lubricated Herringbone Groove Journal Bearing Using Finite Element Method," M. Eng. Thesis, Yonsei University.
- [7] 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," ASME Journal of Tribology, Vol.121, pp. 499-505, 1999