

Study on the Performance of the Grooves for Fluid Dynamic Bearings

김 응 철* · 성 세 진†
(Yeung-Cheol Kim · Se-Jin Seong)

Abstract - This paper is presented for the performance of the Fluid Dynamic Bearing(FDB) by the groove design and the tooling condition. Recently, spindle motors which require smaller size, lower sound noise, lower vibration, and higher speed of the rotation have been placed in high value-added products including Digital Lightening Processors(DLP), Hard Disk Drives(HDD), and ODDs. The spindle motors using the sintered porous metal bearing have higher vibration and acoustic noise by dry contact and large tolerance of the bearing parts. The Fluid Dynamic Bearing (FDB) with grooves is appropriate for spindle motors adequate in regards to mechanical vibration and acoustic noise. The paper shows the performance comparisons of between sintered porous metal bearing and FDB, and each FDBs according to the tooling deviations of grooves by the Finite Element Analysis(FEA) of the mechanical field. This paper shows the methods to make the grooves, the groove's depth, and the prototype of the motor with the fluid dynamic bearing. The performance characteristics of the grooves with the FDB are verified by the experimental results.

Key Words : Spindle Motor, Fluid Dynamic Bearing, Groove, Finite Element Analysis, DLP, HDD

1. 서 론

초정밀 회전기기는 나노(nano) 미터 단위의 회전정밀도를 유지하면서 컴퓨터, 음향 및 영상 등의 데이터 저장 매체(HDD, CD, DVD 등) 및 데이터 전송(DLP, LBP 등) 등의 구동원으로 사용되는 브러시리스 직류 모터(Brushless DC Motor) 구조를 가진 스피들 모터 등을 포함한 회전기기를 말한다[1]. 21세기 정보화 사회가 도래함에 따라 정보기억장치, DLP(Digital Lightening Processor), 프린터용 초정밀 회전기기는 그 사용범위가 더욱 커지고 있다. 특히 고용량, 초소형, 초고속 장치 개발 등과 같은 미래 산업을 주도하기 위해서는 초정밀 회전기기의 공통 기반 기술 중 초고속, 초소형화 및 저 진동, 저소음화를 위하여 스피들 모터의 기술 개발이 매우 중요한 기술 개발의 과제로 떠오르고 있다. 이러한 스피들 모터의 성능을 확보하기 위해서 모터 구조의 기계적인, 전기적인 최적화 설계를 요구하고 있으며, 이를 극복하기 위한 방법으로 베어링의 기술 개발이 가장 주요한 기술 개발의 과제로 떠오르고 있다.

이를 위하여 소결 다공질 금속 베어링(Sintered Porous Metal Bearing)과 유체 동압 베어링(Fluid Dynamic Bearing, FDB)이 개발되고 있으며, 고성능 스피들모터의 적용을 위해서 점차 그르브(groove)가 있는 유체동압베어링을 널리 사용되고 있으며, 그르브의 가공은 초정밀의 가공이 이루어져야 한다.[2]

본 논문에서는 그르브가 없는 소결 다공질 금속 베어링과 그르브가 있는 유체동압 베어링의 성능을 컴퓨터 모의실험

을 통하여 비교하였으며, 그르브 가공을 위하여 사용하고 있는 방법들을 비교하고, 전해가공 방법에 의한 그르브 가공, 그르브의 가공 과정에서 가공 공차 사양을 벗어났을 때의 베어링 성능 등에 대하여 컴퓨터 모의실험을 통하여 비교 검토 하였다.

본 연구 개발에서는 유체동압베어링 설계 및 베어링의 그르브 가공 성능에 대하여 서술하였으며, 제안된 스피들모터의 성능은 실험을 통하여 타당성을 보였다.

2. 본 론

2.1 유체동압베어링

그림 1은 그르브를 가지고 있지 않는 소결 다공질 금속 베어링과 그르브를 가지고 있는 유체동압베어링을 보여주고 있다. 스피들 모터의 구조에서 베어링은 샤프트(shaft)와 슬리브(sleeve)로 구성되어 있으며, 여기서 슬리브의 형태에 따라 소결 다공질 금속 베어링과 그르브가 있는 유체동압베어링으로 구분될 수 있다. 소결 다공질 금속 베어링은 파우더를 압축 성형하여 제작하는데, 오일에 함침하여 베어링내의 기공에 오일이 스며들게 하고, 이로부터 회전체의 윤활 작용에 도움을 주는 작용을 한다. 이러한 베어링은 DVD, CDR, DLP 모터 등에 사용된다.

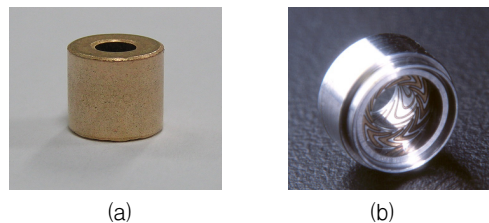


그림 1 소결 다공질 금속 베어링(a)과 유체동압베어링(b)
Fig. 1 Sintered porous metal bearing(a) and fluid dynamic bearing(b)

* 정 회 원 : 국방과학연구소 선임연구원

† 교신저자, 중신회원 : 충남대학교 정보통신공학과 교수 · 공박
E-mail: sjseong@cnu.ac.kr

접수일자 : 2011년 5월 2일

최종완료 : 2011년 5월 16일

유체동압 베어링의 해석은 연속방정식과 Navier-Stokes 방정식으로부터 유도되는 레이놀즈 방정식(Reynolds equation)을 사용한다.[3]

아래는 모의실험을 통해 얻은 결과로서 그림 2와 같이 소결 다공질 금속 베어링에 그르브가 없는 경우 베어링이 회전 시 압력 분포에서 음압이 발생하고, 결과적으로 베어링에서 공기가 발생되어 부하 토크는 줄어드는 단점을 가지고 있다. 따라서 유체 동압 베어링에 그림 3과 같이 그르브를 만든다면, 공기 누수를 줄이고, 압력 분포가 360도 균일하게 분포하며, 베어링에서 가장자리에서만 약간의 음압이 발생하므로 베어링이 회전하는 경우 압력 분포가 상승하고, 이를 통해 모터의 부하 성능을 높일 수 있는 장점을 가지고 있다. 압력 분포를 비교 하였을 때 최대 압력 분포는 유체동압베어링이 $7.83 \times 10^5 [N/m^2]$ 로 소결 다공질 금속 베어링의 $2.8 \times 10^5 [N/m^2]$ 에 비해 약 2.8배 크다. 따라서, 유체 동압 베어링에서 그르브를 사용하고, 이를 통해 성능을 향상 시킬 수 있다.

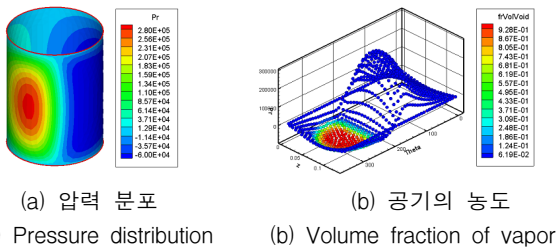


그림 2 그르브가 없는 소결 다공질 금속 베어링
Fig. 2 Sintered porous metal bearing without groove

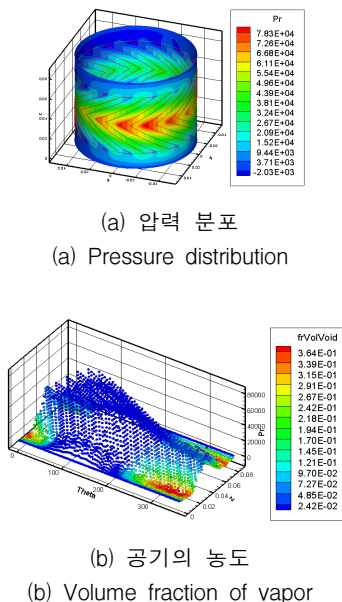


그림 3 그르브가 있는 유체동압베어링
Fig. 3 FDB with groove

2.2 그르브의 가공

일반적으로 유체동압베어링의 그르브를 가공하기 위하여 정밀 CNC 머신을 사용하고 있으나, 생산설비가 매우 고가이고, 가공시간이 길어서 생산 원가가 더 많이 요구된다. 화학적 에칭가공의 경우 생산하는 과정이 복잡하고, 초정밀을 요구하는

곳에는 부적합하며, 전조방식의 경우 전조할 때 양 끝에 흠집이 생겨 베어링이 고속 회전할 때 많은 문제점을 가지고 있다.

따라서, 가공 정밀도가 매우 높고, 가공 시간이 5~10초 정도(소형 스피들 모터에 사용되는 유체동압베어링의 그르브 가공시간)로 매우 짧은 전해가공 방법이 사용되고 있다. 전해 가공은 전기의 용해작용을 이용하여 가공하는 전기화학가공(electrochemical machining) 방법을 말한다[4].

그림 4는 제작된 전해 가공기와 전극 봉(electrolyte)을 보여주고 있으며, 그림 5는 전해가공으로 가공된 유체동압베어링과 진원도 측정기에 의하여 그르브의 형상을 측정한 값을 보여 주고 있다. 그르브의 깊이가 $5[\mu m]$ 로 가공 정밀도가 매우 높음을 볼 수 있다.

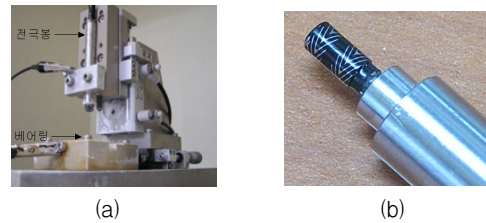


그림 4 전해가공기(a)와 전극봉(b)
Fig. 4 Electrochemical machine(a) and electrolyte(b)

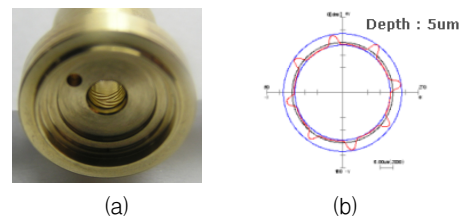


그림 5 FDB(a)와 그르브 깊이(b)
Fig. 5 FDB(a) and grooves depth(b)

2.3 그르브의 가공 공차에 따른 베어링의 성능

그림 6은 설계된 유체동압베어링의 그르브의 깊이가 $5[\mu m]$ 이고, 샤프트와 슬리브간의 공극(clearance)이 $2.5[\mu m]$ 이며, 불균형 질량이 $20[mg-cm]$ 인 경우, 원래의 가공 치수보다 네 개의 그르브가 각각 $0.5[\mu m]$, $1[\mu m]$ 의 가공 오차를 가질 때의 베어링 성능을 각각 분석 하였다. 분석을 한 결과 이심률 효과가 베어링이 $1[\mu m]$ 잘못 가공된 경우가 $0.5[\mu m]$ 경우보다 약 두 배의 성능이 나빠짐을 볼 수 있다. 이것은 유체동압베어링의 그르브의 가공 정밀도가 베어링 및 모터의 성능에 크게 영향을 미칠 수 있음을 볼 수 있다.

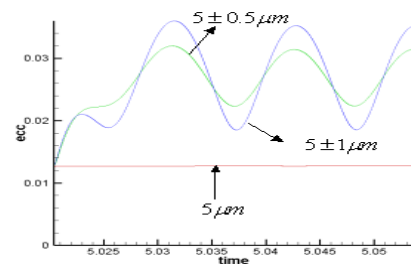


그림 6 베어링에서 그르브 깊이가 잘못 가공된 경우의 이심률
Fig. 6 Eccentricity trajectory in case bearing has groove deviation

2.4 실험 결과

본 논문에서는 그림 7과 같이 유체동압베어링을 가지는 스피들모터(정격속도 : 5,400[rpm], 정격전압 : 5[V], 정격전류 : 74[mA])를 제작하였다. 설계된 그리브의 사양은 아래와 같다.

- 공극 : 2.5 [μm]
- 그리브 깊이 : 5 [μm]
- 그리브 넓이 비율 : 0.5
- 그리브 개수 : 8 [개]
- 그리브 각도 : 20 [도]

스피들모터의 진동을 측정하기 위하여 RRO(Repeatable Run-Out) 및 NRRO(Non-Repeatable Run-Out)의 분석을 위하여 매 시험마다 5,400rpm 구동시 64 회전분의 데이터를 취합하여 평균치를 구하였으며, 이를 통해 계산하였다.

스피들모터의 소음을 측정하기 위하여 모터의 상부 30[cm] 위에서 1/3 Octave Band 형식으로 단품상태의 소음값(25~20[KHz])을 측정하였다.



그림 7 유체동압베어링을 가지는 스피들모터
Fig. 7 Spindle motor with FDB

그림 8에서 녹색선은 압소음을 나타내고 있으며, 검정색은 스피들모터의 소음을 측정한 결과이다. 소음에서 동기성분인 90Hz 성분이 가장 큰데, 1/3 Octave 특성으로 인하여 100Hz 성분이 크게 나타나고 있음을 볼 수 있다. 표 1과 표 2의 실험 결과를 통해서, 진동이 수 [μm]이내이고, 소음이 17.3[dB]로 양호한 성능을 볼 수 있었다.

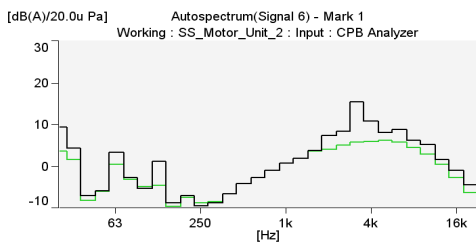


그림 8 스피들모터의 소음
Fig. 8 Acoustic noise of spindle motor

표 1 개발된 스피들모터의 진동 측정치

Table 1 Vibration values of the developed spindle motor

구분	RRO	NRRO
측정값	3.2 [μm]	0.011 [μm]

표 2 개발된 스피들모터의 소음

Table 2 Acoustic noise of the developed spindle motor

압소음 [dBA]	16
스피들모터의 소음 [dBA]	17.3

3. 결 론

본 논문에서는 유한요소 해석을 기초로 하여 베어링 해석으로부터 설계·제작까지의 과정을 수행하였으며, 유체동압 베어링의 그리브를 가공할 때 공차 사양을 벗어났을 때의 베어링 성능과 제작된 스피들모터의 소음 진동 실험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 베어링에 그리브가 있는 유체동압베어링이 소결 다공질 금속 베어링보다 성능이 우수함을 알 수 있었다.
- 그리브의 가공 정밀도는 유체동압베어링 및 모터의 성능에 크게 영향을 미칠 수 있음을 알았다.
- 유체동압베어링을 이용한 스피들모터의 소음 및 진동 특성으로부터 성능이 양호함을 볼 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] J.R. Hendershot Jr and Tje Miller, "Design of Brushless Permanent-Magnet Motors", Clarendon Press, 1994.
- [2] Y. Zang and M. R. Hatch, "Analysis of Coupled Journal and Thrust Hydrodynamic Bearing using Finite Volume Method," ASME AIPSP, Vol.1, pp.71, 1995.
- [3] 十合普, "氣體軸受-設計から製作まで", 共立出版株式会社 昭和59年
- [4] 이용근, "동압베어링의 그리브 가공용 양방향 펄스 파워 전해가공시스템 개발" 전기학회논문지, 제54권 제4호, pp.224-229, 2005. 12.

저 자 소 개



김응철(金應哲)

1972년 11월 1일생. 1994년 인하대 전기공학과 졸업. 1996년 인하대 전기공학과 대학원 졸업(석사). 1996. 1 - 현재 국방과학연구소 선임연구원.

Tel : 042) 821-2920

FAX :042) 823-3400

E-mail :wpimw@naver.com



성세진(成世鎭)

1948년 7월 15일생. 1973년 서울대 공업교육과 졸업. 1975년 서울대 공업교육대학원 졸업(석사). 1988년 동경공업대학 대학원 졸업(박사). 1976. 1 - 현재 충남대학교 정보통신공학과 교수.

Tel : 042) 821-5654

FAX :042) 823-3178

E-mail : sjseong@cnu.ac.kr