

영구자석을 이용한 비접촉 압전베어링에 관한 연구

A Study on Non-contact Piezoelectric Bearing Using Permanent Magnets

*#박중호¹, 윤동원², 윤소남¹, 함영복¹

*#J. H. Park(jhpark@kimm.re.kr)¹, D. W. Yun², S. N. Yun¹, Y. B. Ham¹

¹ 한국기계연구원 나노기계연구본부, ² 한국기계연구원 지능형생산시스템연구본부

Key words : Magnetic Bearing, Permanent Magnet, Piezoelectric Actuator, Hybrid Bearing, Electromagnetic Field Analysis

1. 서론

최근 일반산업용뿐만 아니라, 항공산업, 바이오산업을 포함한 전 산업분야에 걸쳐서 회전기계에 대한 고속화, 정밀화의 요구가 강조되고 있으며 윤활제를 사용하지 않은 비접촉 베어링 방식에 대한 연구개발이 활발히 이루어지고 있다. 공작기계용 스피들 제어 및 플라이휠 에너지 저장장치 등에 이용되는 비접촉 베어링 방식에는 동역학적/정역학적 유체윤활을 이용하는 공기 베어링과 회전축 지지부에 설치된 전자석의 흡인력/반발력을 이용하는 자기베어링 방식이 주로 사용되고 있으나, 공기베어링은 고하중, 저속운전에 적합하나, 고속 및 진공에서 사용불가라는 한계가 있으며, 자기베어링은 마찰토크가 거의 없으며 진공 중에서도 사용가능하나, 고가이며 소비전력이 크고 설계나 유지, 보수관리가 까다롭다는 단점이 있어 응용분야에 있어서 한계를 가지고 있다.

한편, 기계적 에너지와 전기적 에너지의 상호변환이 가능한 압전소자를 이용한 정밀제어기가 활발히 연구되고 있다. 압전소자 액추에이터로 이루어진 제어기는 감도가 크고, 응답속도가 빠르며, 온도특성, 조작력 및 파워밀도가 우수하며, 저가격이어야 한다는 액추에이터로서의 조건을 갖추고 있는 동시에 슬레노이드 방식에 비교하여 폭발위험성이 없고, 전자기액추에이터에 비해서 저소비전력형이며 고온에서도 사용이 가능하다는 특징을 가지고 있다. 이러한 특성을 가지는 압전 액추에이터를 이용함으로써 고속진동에 의한 스퀴즈필름을 형성하여 공기베어링 및 초음파 베어링 등에 응용한 연구⁽¹⁾⁻⁽⁴⁾가 최근 활발히 이루어지고 있으나, 부양력이 미세하여 회전축과 베어링 등 부상체와 지지부 사이의 간격 조절이 어렵고 초정밀 가공을 필요로 하는 등 추가 연구 필요성이 있다.

본 연구에서는, 회전축뿐만 아니라 회전축을 지지하기 위하여 회전축을 감싸는 하우징에도 영구자석을 이용한 기술로서, 회전축 및 외부하우징에 장착된 영구자석의 자기반발력을 이용하여 비접촉 회전축 지지를 구현하며, 외부하우징 영구자석의 위치를 압전소자에 의해서 정밀 위치제어를 함으로써 회전시스템의 고유진동 및 영구자석의 불균형력을 보정함과 동시에 능동적 진동감쇠를 구현하고자 한다. 본고에서는 제안한 압전베어링의 동작원리 및 타당성을 검토하기 위해서 레이디얼 방향에 타겟을 맞춘 프로토타입의 전자기장 해석을 통한 기본설계를 수행하였다.

2. 구조 및 동작원리

비접촉 베어링을 능동적으로 제어하기 위해서는 베어링 강성 및 진동감쇠에 영향을 미치는 회전축과 이를 지지하는 외부하우징사이의 간격을 고응답/고분해능으로 정밀 제어할 수 있어야 한다. 기존의 전자석을 이용한 자기베어링에서는 회전체 불균형, 축의 형상오차, 모터노이즈에 기인한 런아웃 등에 의한 회전오차 및 불안정성을 개선하고자 하우징에 장착된 상호 대향하는 복수개의 전자석의 자력을 독립적으로 제어하였으나, 코일의 자화에 의해 발생하는 자력으로 회전축을 부상시키기 위해서는 큰 소비전력을 요구하는 점과 제어기의 부가 설치가 필요하다는 문제점이 있었다.

이에 반하여 본 연구에서 제안하고 있는 그림 1에 나타난 바와 같은 영구자석과 압전 액추에이터를 이용한 비접촉 하이브리드 베어링은 기존의 자기베어링에 비해서 소비전력을 획기적

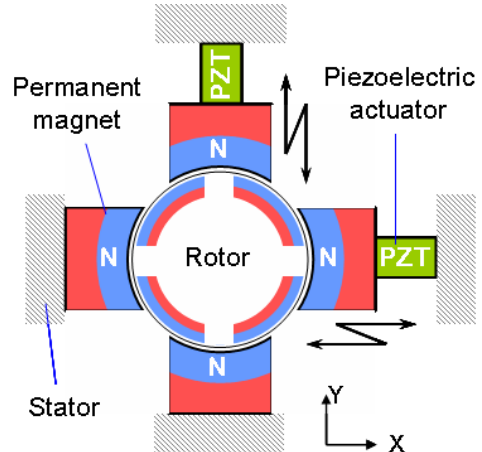
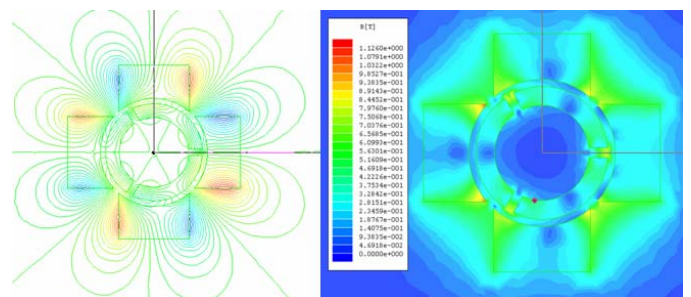


Fig. 1 Schematic of the proposed hybrid bearing

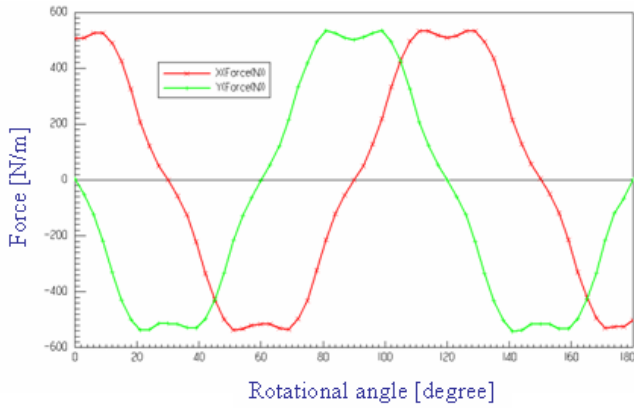
Table 1 Design parameters of piezoelectric bearing

Maximum rotational speed	5,000 RPM
Diameter of axis	30 mm
Gap between axis and housing	0.5 mm
Axis position error	10 μm
Magnet movement	80 μm
Actuator generation force	100 N

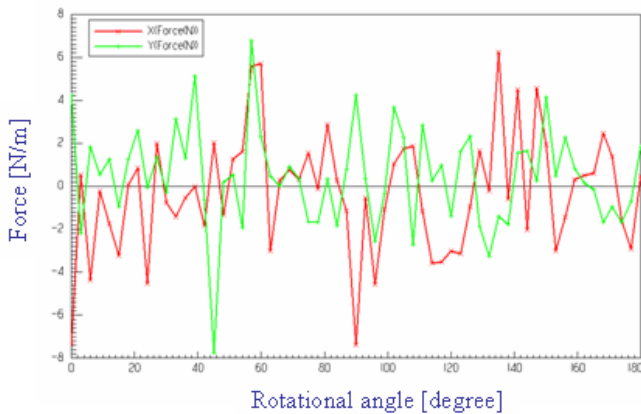
으로 줄일 수 있고 제조 및 유지보수가 용이하다는 장점을 가지며, 압전 액추에이터를 이용한 기존의 공기/초음파베어링에 비해서 부양력을 높이고 회전체 및 하우징 사이의 간격을 넓혀서 안정성을 향상시킬 수 있다. Fig. 1에 나타난 바와 같이 회전체 및 외부하우징에 영구자석을 배치하기 때문에 회전축의 금속재질에 구애받지 않으므로 설계 자유도를 높이고 경량화가 가능하며 각축상의 영구자석 반발력을 한개의 압전 액추에이터로 변화시킬 수 있기 때문에 자기베어링에 대한 배치되었던 기존의 전자석 개수를 줄일 수 있다. Table 1에는 레이디얼 방향의 비접촉 압전베어링의 설계사양을 나타낸다. 축직경 $\phi 30\text{mm}$, 회전수 5,000 RPM 이상, 간극 0.5mm, 회전정밀도 $10\ \mu\text{m}$ 이하이며, 적용분야로써는 전력저장용/위성자세제어용 플라이휠 시스템 및 HDD용 스피들 제어 등을 예상하고 있다.



(a) Flux line (b) Flux density
Fig. 2 Analysis results of the piezoelectric bearing



(a) P.M. arrangement: Rotor 3, Stator 4



(b) P.M. arrangement: Rotor 4, Stator 4

Fig. 3 Electromagnetic analysis results

3. 전자기장 해석 및 설계

회전축 및 하우징에 배치되는 영구자석의 개수 및 구조를 최적으로 설계하기 위해서 상용 유한요소 프로그램인 Maxwell을 이용하여 Fig. 2에 나타난 바와 같은 전자기장 해석을 수행하였다. 영구자석으로써 NdFe30을 사용하였고, 회전축과 하우징 간격은 0.5mm일 때의 압전 베어링 주변의 자속선과 자속밀도를 보여주고 있다. Fig. 3은 회전축을 360도 회전시켰을 때 전자기장 해석결과로부터 얻어진 축방향 단위길이당 영구자석의 불균형력을 나타내고 있다. Fig. 3 (a)는 회전축에 영구자석을 3개, 하우징에 4개 설치한 결과이고, Fig. 3 (b)는 회전축에 영구자석을 4개, 하우징에 4개 설치한 결과이다. 후자의 결과가 100배 가량 감소된 불균형력 특성을 나타내고 있는 것을 알 수 있다. 10N 이하의 불균형력은 압전 액추에이터에 의해서 충분히 제어될 수 있을 것으로 사료된다.

Fig. 4에는 레이디얼 방향의 비접촉 압전베어링을 테스트하기 위한 실험장치의 개념도를 나타낸다. AC 서보모터와 Magnet coupling을 이용하여 축을 회전시키고 상단에는 압전베어링을 장착하고 하단에는 정압베어링을 이용하여 축을 지지한다. 영구자석의 불균형력 및 고속회전시에 발생하는 회전체 불균형과 위험속도 등에 의한 진동을 억제하고자 Photo diode와 변위센서를 이용하여 회전수 및 회전정밀도 즉, 중심으로부터 벗어난 위치를 측정하여 압전액추에이터에 피드백하고 영구자석의 반발력을 제어함으로써 회전축을 안정하게 지지하는 장치이다.

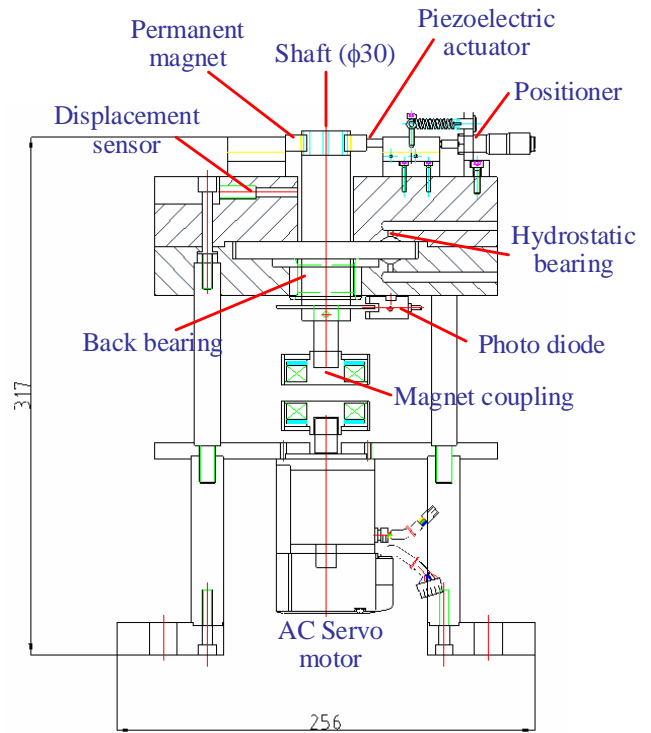


Fig. 4 Schematic of the experimental apparatus

4. 결론

본 연구에서는 영구자석의 자기반발력과 압전 액추에이터에 의한 영구자석의 위치제어를 함으로써 비접촉으로 회전축을 지지하는 새로운 방식의 하이브리드 베어링을 제안하였고, 전자기장 해석을 통한 영구자석의 배치방법 및 불균형력 등에 대해서 검토를 수행하였다. 또한, 레이디얼 방향으로 제어할 수 있는 압전베어링의 프로토타입 및 실험장치에 대해서 기본설계를 수행한 결과에 대해서 보고하였다. 향후, 상세설계 및 시제작을 통한 압전베어링의 제어특성 및 타당성 등에 대해서 연구를 진행할 예정이다.

참고문헌

1. 박상신, 김규하, "원통형 변위센서를 장착한 능동 공기 베어링에 관한 연구", Journal of the KSTLE, Vol.24, No.1, pp. 34-43, 2008
2. T. Ide, J.R. Friend, K. Nakamura, and S. Ueha, "A Low-Profile Design for the Noncontact Ultrasonically Levitated Stage", Jpn. J. Appl. Phys., 44-6B, pp. 4662-4665, 2005
3. T. Oiwa and R. Suzuki, "Linear Rectangular Air Bearing Based on Squeeze Film Generated by Ultrasonic Oscillation", Review of Scientific Instruments, 76-7, pp.1-7, 2005
4. H. Isobe and A. Kyusojin, "Development of Active Squeeze Gas Bearing Driven by Piezoelectric Actuators", Proc. of ICMT2002, pp. 439-444, 2002