

영구자석과 압전소자를 이용한 비접촉 베어링 Non-contact Bearing Using Permanent Magnets and Piezoelectric Elements

*#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, Piezoelectric Element, Permanent Magnet, Non-contact, Hybrid Bearing

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. 압전 액추에이터로 이루어진 제어기기는 감도가 크고, 응답속도가 빠르며, 온도특성, 조작성 및 파워밀도가 우수하며, 저가격이어야 한다는 액추에이터로서의 조건을 갖추고 있는 동시에 솔레노이드 방식에 비교하여 폭발위험성이 없고, 전자기 액추에이터에 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 비접촉 베어링 기술로서, 회전축 및 외부하우징에 장착된 영구자석의 자기반발력을 이용하여 비접촉 방식으로 회전축 지지를 구현하며, 외부하우징 영구자석의 위치를 압전소자에 의해서 정밀 위치제어를 함으로써 회전시스템의 고유진동 및 영구자석의 불균형력을 보정함과 동시에 능동적 진동감쇠를 구현하고자 한다. 본고에서는 제안한 비접촉 압전베어링⁽⁵⁾의 동작원리 및 타당성을 검토하기 위해서 전자기장 해석을 수행하고 레이디얼 방향에 타겟을 맞춘 프로토타입 및 실험장치를 제작하였다.

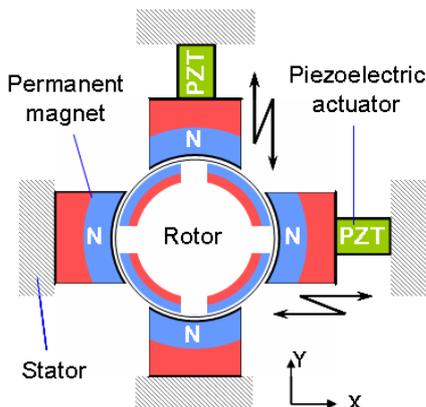


Fig. 1 Schematic of the proposed piezoelectric bearing

Table 1 Design parameters of the proposed 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

2. 구조 및 동작원리

비접촉 베어링을 능동적으로 제어하기 위해서는 베어링 강성 및 진동감쇠에 영향을 미치는 회전축과 이를 지지하는 외부하우징 사이의 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 복수 개의 전자석의 자력을 독립적으로 제어하였으나, 코일의 자화에 의해 발생하는 자력으로 회전축을 부상시키기 위해서는 큰 소비전력을 요구하는 점과 유지 및 보수관리가 까다롭다는 단점이 있었다.

이에 반하여 본 연구에서 제안한 Fig. 1에 나타낸 바와 같은 영구자석과 압전 액추에이터를 이용한 비접촉 하이브리드 베어링은 기존의 자기베어링에 비해서 소비전력을 획기적으로 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 나타낸 바와 같이 회전체 및 외부하우징에 영구자석을 배치하기 때문에 회전축의 금속재질에 구애받지 않음으로써 설계 자유도를 높이고 경량화가 가능하며 각축상의 영구자석 반발력을 한개의 압전 액추에이터로 변화시킬 수 있기 때문에 자기베어링에서 대향 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.

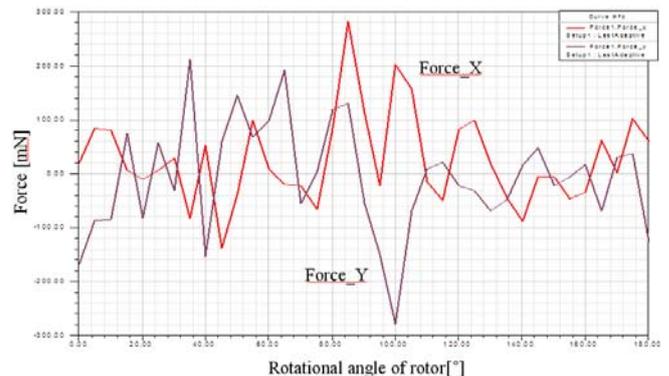


Fig. 2 Unbalance force obtained from the electromagnetic analysis results (4 P. M. are installed in stator, 1P.M of ring type is in rotor)

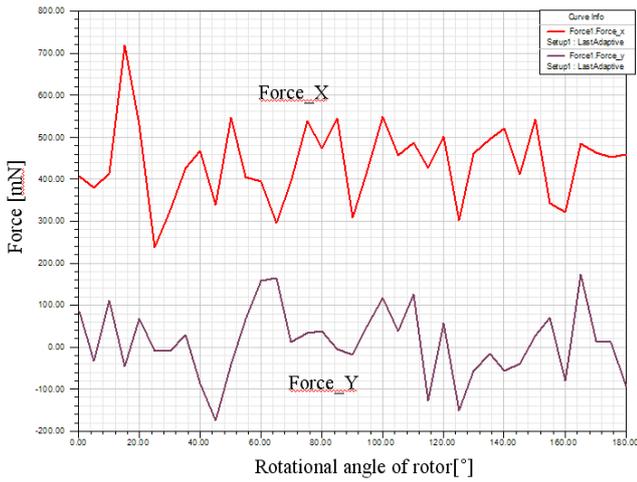


Fig. 3 Unbalance force obtained from the electromagnetic analysis results (With 50µm-shifted rotor in X direction)

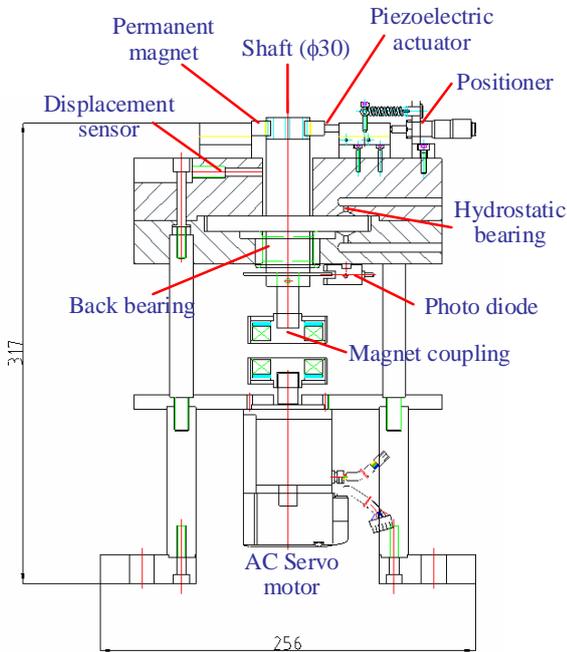


Fig. 4 Schematic of the experimental apparatus

3. 전자기장 해석 및 설계

회전축 및 하우징에 배치되는 영구자석의 개수 및 구조를 최적으로 설계하기 위해서 상용 유한요소 프로그램인 Maxwell을 이용하여 전자기장 해석을 수행하였다. 영구자석으로써 NdFe30을 사용하였고, 회전축과 하우징 간격은 0.5mm이다. 이전 연구(5)에서는 하우징에 영구자석을 4개 배치하고, 회전축에 영구자석을 3개 혹은 4개 배치했을 때의 해석을 수행하였으나, 불균형력이 수백 ~ 수 N까지 얻어져서 압전 액추에이터로 제어하기에는 설계상 어려움이 있었다. 따라서 회전축에 설치한 영구자석을 원환형태로 재설계하여 전자기장 해석을 수행한 결과, Fig. 2에 나타낸 바와 같이 불균형력을 mN 단위까지 감소시킬 수 있었다. 그림에 나타낸 결과는 회전축을 360도 회전시켰을 때 전자기장 해석결과로부터 얻어진 X축과 Y축의 축방향 단위길이당 영구자석의 불균형력을 나타내고 있다. 또한, Fig. 3은 회전축이 X축 방향으로 50 µm 편심되어 회전하고 있다고 가정할 경우의 전자기장 해석 결과이다. 실제로는 영구자석의 차이 등 여러 영향에 의해서 불균형력은 더욱 커질 것으로 사료되지만, 수 N 이하의 불균형력은 압전 액추에이터에 의해서 충분히 제어될 수 있을 것으로 생각된다.

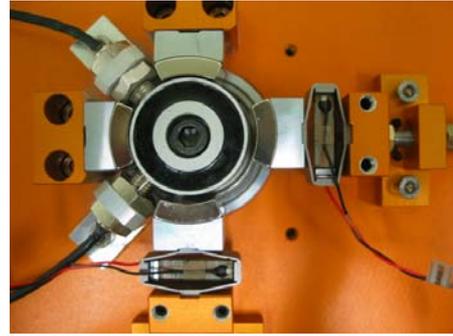


Fig. 5 Photocopy of the fabricated prototype bearing



Fig. 6 Photocopy of the fabricated amplifier for driving two piezoelectric actuators

4. 프로토타입 시제작

Fig. 4에는 레이디얼 방향의 비접촉 압전베어링을 테스트하기 위한 프로토타입 및 실험장치의 개념도를 나타낸다. AC 서보모터와 Magnet coupling을 이용하여 축을 회전시키고 상단에는 압전베어링을 장착하고 하단에는 정압베어링을 이용하여 축을 지지한다. Fig. 5에는 시제작한 비접촉 압전베어링의 프로토타입의 사진을, Fig. 6에는 2개의 압전 액추에이터를 구동하기 위하여 제작한 전력증폭기 사진을 나타내고 있다.

5. 결론

본 연구에서는 영구자석의 자기반발력과 압전 액추에이터에 의한 영구자석의 위치제어를 함으로써 비접촉으로 회전축을 지지하는 새로운 방식의 하이브리드 베어링에 대해서 영구자석의 배치방법 및 불균형력 등에 대해서 검토를 수행하였다. 또한, 압전베어링의 프로토타입 및 실험장치를 설계, 시제작하였다. 향후, 제어특성 등에 대한 상세실험을 통해서 압전베어링의 타당성에 관한 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
5. 박중호, 윤동원, 윤소남, 함영복, “영구자석을 이용한 비접촉 압전베어링에 관한 연구”, 한국정밀공학회 2008년도 추계학술대회논문집, pp. 203-204, 2008