

## 자기베어링을 이용한 70,000 rpm급 밀링용 주축계의 동특성 연구

노승국\*(KIMM), 경진호(KIMM), 박종권(KIMM), 진재호(KIMM), 구정서(KRRI), 최언돈(㈜성림)

주제어 : 능동 자기베어링 시스템, 고속 밀링 주축계, 디지털 제어, 고속회전, 런아웃 제어

고속 가공의 수요 증대로 공작기계 주축계의 회전속도는 갈수록 고속화되고 있으며, 특히 고속회전 시 기존의 접촉식 베어링에서 발생하는 마찰력 증가 문제의 한계를 극복하기 위하여 고속용 주축계에 자기베어링 적용되고 있다. 전자석의 전자기력을 이용한 회전축 변위의 궤환제어를 통하여 비접촉으로 회전축을 지지하는 자기베어링은 기계적 마찰을 제거함으로써 300만 DmN 이상의 높은 선속도를 얻을 수 있고 능동 진동제어가 가능한 구조로 고속회전을 구현하는 것이 가능하여 여러 고속 회전기에 적용분야를 넓히고 있으며 연삭기 및 밀링용 공작기계 주축에도 적용되고 있다.

본 연구에서는 능동 자기베어링을 이용하고 최대 70,000 rpm (약 350만 DmN), 5.5KW, HSK-32C의 톨홀더를 적용할 수 있는 초고속 밀링용 주축계를 설계 및 제작하고, 자기베어링 시스템의 정 동적 성능 및 제작된 주축계의 고속회전 특성을 평가하였다. 자기베어링 시스템은 4축의 반경방향과 1축의 축방향 자기베어링으로 제작되어 5축 제어시스템으로 구성되며 각각의 축에는 최대하중을 고려하여 설계된 전자석과 변위센서로 하드웨어가 구성되어 있으며, 제어시스템으로는 16-bit A/D, D/A 와 DSP(TMS320C67)를 이용한 디지털 제어보드를 사용하였다. 전자석의 구동을 위한 PWM 전력증폭기는 1.5 kHz 이상의 대역폭을 나타내도록 설정하여 충분한 안정성을 제공하도록 하였다. 제어 알고리즘은 PID 궤환 제어와 지지구조 및 유연모우드의 공진 영향제거를 위한 노치필터, 그리고 회전시 변위센서에서의 전기적 런아웃 제거를 위한 피이드포워드 제어를 포함하고 있으며, 정적 성능 평가결과로써, 축 선단에서의 정강성은 6.7 Kg $\mu$ m로 나타났으며 선단 하중능력도 최대 450 N으로 설계치를 상회하는 값을 나타내었다. 동적인 특성으로, 베어링의 강체모우드에서의 감쇠비가 0.7 이상의 고감쇠 임을 확인할 수 있었으며, 회전 성능평가 결과 70,000 rpm까지 회전시 와전류 센서의 전기적 런아웃 크기는 약 0.2V p-p 정도로 나타났으며 센서 런아웃의 크기가 고속회전에서 큰 변화 없는 안정적인 특성을 나타내었다.

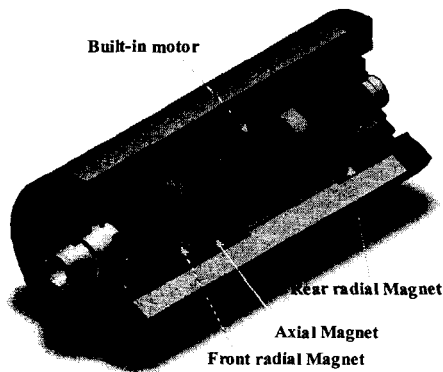


Fig. 1 High speed milling spindle with an active magnetic bearing system

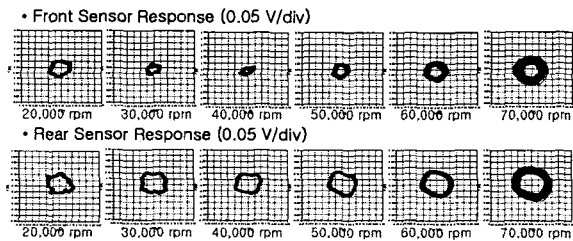


Fig. 2 Rotational responses of the displacement sensors (20,000 ~ 70,000 rpm)