

고진공 터보 분자펌프용 자기베어링 시스템의 디지털 제어기 설계

노승국*(KIMM), 경진호(KIMM), 박종권(KIMM), 배완성(충남대 대학원), 이흥균(제일진공)

주제어 : 터보 분자펌프, 자기베어링, 디지털 제어, 교차궤환제어, 유연축 제어

반도체 공정 등에서 $10^{-6} \sim 10^{-8}$ Torr의 고진공 환경을 제공하기 위하여 사용되는 고진공 터보분자펌프(Turbomolecular Pump, TMP)는 다층의 회전깃을 갖는 로터를 회전시켜 분자를 배출시키는 방식을 사용하는 진공펌프이다. 이러한 고진공을 실현하기 위해서는 가장 효과적인 방법으로는 회전블레이드의 선속도를 높이는 것으로, 이는 회전로터의 직경을 크게 하거나, 회전속도를 높임으로써 얻어질 수 있다. 따라서 최근의 고진공 터보분자펌프는 대부분 25,000~40,000 RPM의 고속회전을 요구하는 것이 일반적이며 회전속도는 주로 로터 재료의 허용한도까지 적용되고 있다. 이러한 고속화에 있어서 베어링의 선정이 매우 중요하게 되는데, 고속회전에서 구름베어링의 사용한계와 윤회의 어려움 등의 이유로 비접촉 방식인 자기부상 방식이 많이 적용되고 있다.

자기베어링 시스템은 전자기력을 이용하여 자성체인 회전축을 부상시켜 함으로써 비접촉 고속 회전이 가능하여 윤회율이 용이하지 않은 진공 환경 등 가혹한 환경에 적합하여 우주산업이나 진공산업에 사용되고 있다. 자기베어링 시스템의 설계는 크게 하드웨어와 소프트웨어로 나누어질 수 있는데, 자기베어링 코어와 코일 등의 하드웨어 설계와 함께 제어시스템의 설계도 매우 중요하다. 이는 자기베어링 시스템이 불안정한 특성을 갖는 개루프계를 갖고 있으므로 안정화를 위한 능동제어 시스템이 필수적이며 진동제어 등 여러 가지 기능이 요구되기 때문이다. 따라서 아날로그 제어시스템 보다 큰 유연성을 갖는 디지털 제어시스템이 자기베어링 시스템에 주로 적용되고 있다.

터보분자펌프 로터는 진공상태의 회전이므로 반경방향의 하중이나 외란은 크게 작용하지 않으나, 일반적인 축 시스템에 비하여 회전하는 로터의 극관성모멘트가 크며 높은 회전수로 인하여 자이로스 코우픽 모멘트를 무시할 수 없다. 또한 회전수가 높으므로 해서 축의 유연모우드 또한 고려의 대상이 되어야 한다.

본 연구에서는 고진공 터보분자펌프용 자기베어링 시스템의 제어를 위하여 DSP를 이용한 디지털 제어시스템을 구축하였으며, 자기베어링 시스템의 안정부상을 위한 PID 디지털 제어기를 적용하였으며 고속회전에서 발생하는 후방향 원추모우드의 감쇠 증가를 위하여 교차궤환 제어를 적용하였다. 또한 최대 회전수 근방에 위치한 유연모우드의 감쇠를 증가시키기 위하여 위상 보상기를 설계하였다. 각 디지털 제어기는 시물레이션과 전달함수의 측정을 수행하여 성능을 평가하였으며, 설계된 디지털 제어시스템이 충분한 감쇠효과를 제공하여 유연모우드의 후방향 공진주파수를 넘어서는 속도까지의 회전에서 안정성을 유지함을 실험결과를 통하여 확인할 수 있었다.

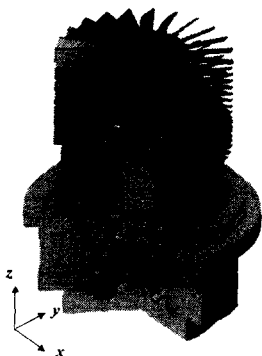


Fig. 1 Turbomolecular pump with magnetic bearing system

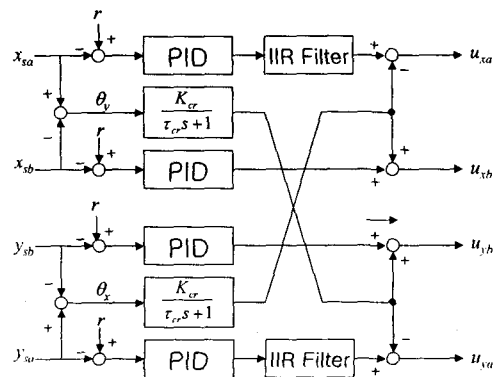


Fig. 2 Block diagram of digital control system for magnetic bearing system