

축 편심 질량 보상을 통한 능동 자기 베어링 시스템의 진동 저감

이옥진, 오승석, 정달호
LG 전자 HA 연구소

Anti-Vibration Control of Active Magnetic Bearing

Wook-Jin Lee, Seung-Suk OH, Dalho Cheong
LG Electronics HA R&D Lab.

ABSTRACT

자기 베어링 시스템은 축과 베어링간의 자기적 힘을 이용하여 축을 비접촉으로 지지함으로써 고속으로 회전하는 회전체의 마찰손을 저감시킨다. 고속 회전체에 편심(Eccentricity)이 있을 경우 편심 질량으로 인한 원심력이 속도의 제곱에 비례하여 발생하게 되고, 축을 지지하고 있는 베어링에 과도한 진동을 유발하게 된다. 베어링에 전해지는 진동이 커지게 되면 진동 자체도 문제일 뿐 아니라 베어링이 부담해야 하는 힘의 크기가 커지게 되어 자기 베어링 및 이를 구동하는 전력전자기기의 용량을 증가시켜야 하는 문제가 있다. 본 논문에서는 베어링의 지지력을 능동적으로 제어하는 능동 자기 베어링을 사용하여 축의 편심 질량의 크기 및 편심 위치를 파악하고 회전 관성 중심점으로 축을 회전시킴으로써 회전 진동을 저감하는 방법을 제안하고, 실험 결과로써 제안된 방법의 타당성을 검증한다.

1. 서론

자기력을 이용하여 축을 지지하는 자기 베어링은 기존의 볼베어링에 비하여 높은 효율과 내구성으로 인하여 고속 회전기 분야를 중심으로 적용 분야를 확대하고 있다. 자기 베어링은 크게 전자적인 제어 없이 영구자석을 이용하는 수동형 자기 베어링과, 전자석을 이용하여 능동적으로 자기력을 제어하는 능동형 자기 베어링으로 나눌 수 있다. 이중 능동형 자기 베어링의 경우, 베어링의 지지 능력이 전자석과 구동 드라이브의 전류, 전압 정격에 의하여 제한을 받게 된다. 특히 외력이 크지 않은 시스템에서 유일한 외력인 축의 편심으로 인한 원심력은 속도의 제곱에 비례하여 커지게 되기 때문에 고속 회전시 구동 드라이브의 용량을 키워야 하는 요인이 된다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 축의 편심을 최소화 할 수 있는 가공이 필요한데, 이는 비용 측면에서 불리하다. 따라서 축의 편심 질량이 존재할 경우 그로 인해 발생하는 회전 주파수와 동기된 외력은 무시하도록 하는 제어가 필요하게 되며, 그 결과 축은 기하적인 중심점을 중심으로 회전하지 않고, 그림 1.과 같이 관성 중심점을 중심으로 회전하게 된다^[1].

이 논문에서는 축의 관성 중심점을 찾아내고 그 점을 중심으로 축의 위치를 제어하는 방법을 제안한다.

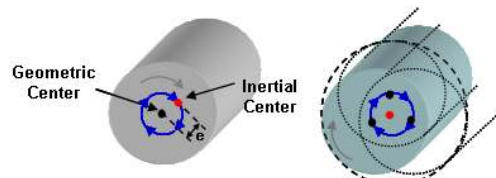


그림 1 기하 중심으로 회전하는 회전체(좌)와 관성 중심으로 회전하는 회전체(우)

Fig 1. Vibration due to the misalignment between geometric and inertial center

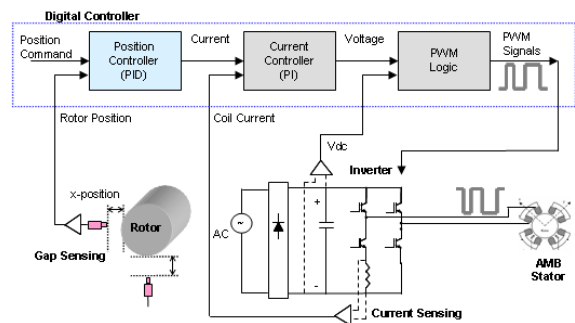


그림 2 일반적인 능동 자기 베어링의 제어 시스템 블록도
Fig. 2 Control block diagram of active magnetic bearing

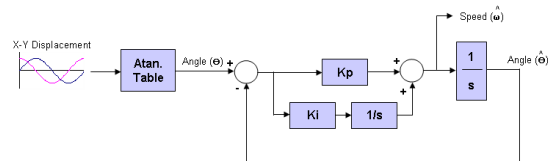


그림 3. X-Y 위치 신호로부터 회전 각을 얻기 위한 필터
Fig 3. Filter to obtain the eccentricity angle from X-Y displacement

2. 진동 저감 제어제

2.1 PID 위치 제어기

일반적인 능동형 자기 베어링은 그림 2.에 도시된 제어기들로 구성되어 있다. 각 축 방향의 위치 제어기는

각 축 방향의 힘 지령을 출력하고, 힘 지령은 다시 각 베어링 코일의 전류 지령으로 변환되어 최종적으로 전류 제어기가 필요 전류를 코일에 흘리도록 제어한다. PID 형태의 위치 제어기에서 비례 제어기의 이득은 가상의 스프링 상수로 생각될 수 있으며, 미분 제어기의 이득은 댐퍼 상수에 해당된다. 적분 제어기는 축 위치의 정상상태 오차를 없애기 위한 것으로 높은 주파수의 축 움직임에는 큰 영향을 주지 않는다. 축 관성 중심의 기하 중심으로부터의 상대 위치를 찾아내기 위해서는 편심 질량이 위치한 각도와 기하 중심으로부터 떨어진 거리를 알아야 하는데, 다음의 2.2 절과 2.3 절에서 편심 질량의 기하 중심으로부터의 상대 위치를 알아내는 방법을 기술한다.

2.2 편심 각위치(θ) 추정 방법

축의 편심 질량의 각위치를 알기 위해서는 축의 회전각을 측정할 수 있는 방법이 필요하다. 그러나, 임계 속도 (Critical speed) 이하로 회전하는 축에 일정량의 편심 질량이 있고 스프링-댐퍼 시스템으로 지지되고 있는 경우 편심 질량이 위치하는 방향으로 축이 밀리면서 회전하기 때문에 축의 편심 각위치(θ)는 엔코더 등의 각위치 센서 없이 Gap Sensor 를 통해 측정된 축의 X-Y 변위 값을 Arctangent 취하여 얻어낼 수 있다. 그러나 일반적으로 Gap sensor 의 신호는 잡음이 섞여있는 신호이기 때문에 단순히 Arctangent 를 취하여서는 깨끗한 편심 질량의 각위치(θ)를 얻어내기 어렵다. 따라서 본 논문에서는 Sin/Cos 형태의 신호인 X-Y 변위에 그림 3.과 같은 필터를 부가하여 각위치를 얻어 낸다. 그림 3.의 필터를 이용하면, 정상 상태에서 각의 지연이 없고 잡음의 크기가 줄어드는 깨끗한 위치 신호를 얻을 수 있다.

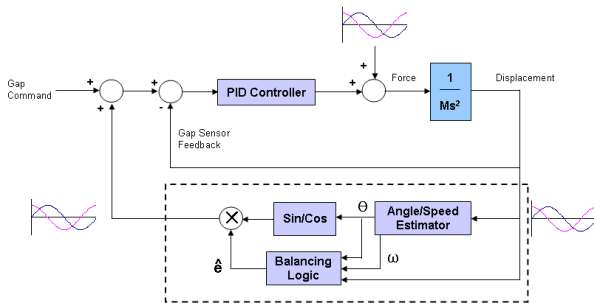


그림 4. 편심 질량을 보상하기 위한 제어 블록도
Fig 4. Control block for compensating eccentricity

2.3 편심 거리(e) 추정 방법

2.2 절의 편심 각위치 추정 방법을 통해 편심 질량의 각위치(θ)를 알아냈기 때문에 편심 질량의 위치를 알기 위해서는 기하 중심으로부터 떨어진 거리(e)를 알아내면 된다. 최종적으로 편심 질량은 그림 4. 에서와 같이 위치 지령을 수정함으로써 보상되므로, 편심 질량의 위치는 임의의 편심 거리(e_0)로부터 시작하여 위치 제어기의 출력 (힘 지령)이 0 이 되도록 편심 거리(e)를 조정함으로써 구해질 수 있다. 추정된 편심 거리가 실제 편심에 가까우면 가까울수록 힘의 크기가 줄어들게 되는

것을 이용하면 되며, 편심 거리를 조정하는 방법은 여러 가지 방법이 있을 수 있으나 기본적인 원리는 힘의 지령이 0 이 되도록 편심 거리를 바꿔가는 것이다.

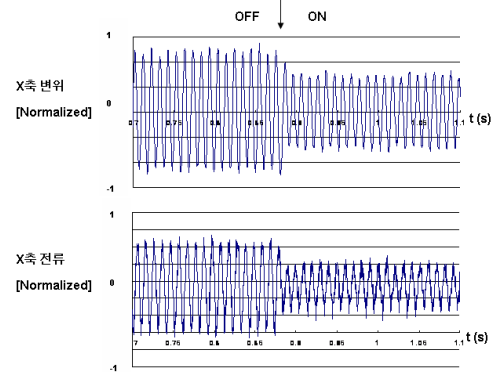


그림 5. 제안된 방법을 적용하였을 때의 X축 변위 및 X축 코일 전류

Fig 5. Experimental result using the proposed method

3. 실험 결과

그림 5. 는 100Hz 로 회전하는 축에 본 논문에서 제안한 편심 질량 보상 방법을 적용하였을 때 축의 X 방향 변위와 X 방향의 전류값이 어떻게 변화하는 지를 보여준다. 실험 결과에서 알 수 있듯이 축의 편심량이 보상됨으로써 결과적으로 축에 가해지는 힘(전류)의 양이 약 절반으로 줄어들고, 그와 더불어 축의 변위 자체도 줄어드는 것을 알 수 있다. 축에 가해지는 힘의 양이 줄어들었기 때문에 힘의 작용/반작용에 의하여 자기 베어링 고정자 축으로 전달되는 회전주파수 성분의 진동 또한 줄어들 것으로 예상할 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 회전축이 갖고 있는 편심 질량으로 인하여 발생하게 되는 진동을 저감하기 위하여 별도의 센서 없이 편심 질량의 위치를 추정하고, 이를 위치 지령에 반영함으로써 축에 가해지는 힘을 최소화 하여 결과적으로 회전으로 인한 진동을 저감시킬 수 있는 방법을 제안하였다. 본 방법을 사용함으로써 고속 회전체의 문제 중 하나인 진동 문제의 발생을 방지할 수 있을 뿐만 아니라, 자기 베어링이 부담해야 하는 힘의 크기가 줄어들어 자기 베어링 코일 및 전력전자 시스템의 용량을 줄일 수 있게 된다. 실제 자기 베어링을 이용한 실험을 통하여 제안된 방법의 효용성을 입증하였다.

참고 문헌

- [1] Wei-Lung LEE, Walter SCHUMACHER and Wolf-Rüdiger CANDERS, "Unbalance Compensation on AMB System without a Rotational Sensor", JSME International Journal Series C, Vol. 46, No. 2 (2003), pp.423-428