

# 능동형 자기베어링 시스템 설계

## Active Magnetic Bearing System Design

유승열<sup>1</sup>, \*#노명규<sup>1</sup>

S. Y. Yoo<sup>1</sup>, \*#M. D. Noh(mnoh@cnu.ac.kr)<sup>1</sup>

<sup>1</sup>충남대학교 메카트로닉스공학과

Key words : Magnetic bearing, Power minimizing Controller

### 1. 서론

자기베어링(Active Magnetic Bearing)은 기존의 저널베어링과 볼베어링의 단점들을 보완하기 위한 대체수단으로 지난 30 여년 동안 연구되어왔다. 자기베어링은 비접촉을 지향하기 때문에 소음과 윤활 등의 문제가 발생하지 않는 친환경적인 장치이고, 마찰이 없기 때문에 고속 회전을 가능하게 해준다[1]. 이러한 자기베어링은 플라이휠 에너지 저장장치나 기계적 인공장치, 인공위성, 무정전 전원 공급기(UPS) 등의 장치들에 적용되어 시스템의 성능향상에 기여하고 있다. 하지만, 자기베어링은 전자기력과 인가전류 사이의 비선형성을 개선하기 위하여 바이어스 전류 선형화라는 방법을 사용하는데, 이 때 사용되는 바이어스 전류는 자기베어링 시스템의 상시 소비전력으로 작용하게 된다. 이러한 상시 소비전력은 적용시스템의 특성에 따라 반드시 해결해야 할 문제가 되기도 하는데, 예를 들어, 플라이휠 에너지 저장장치의 경우, 자기베어링을 사용함으로써 접촉 마찰로부터 초래되는 에너지 손실 문제와 진공상태에서 발생하는 윤활제의 Outgassing 문제를 해결함으로써 플라이휠 에너지 저장 시스템의 에너지 저장효율을 90%이상으로 끌어 올리는 건인차 역할을 하고 있다. 하지만 자기베어링의 지속적인 유지와 시스템 제어장치 운전 등에 따른 에너지 효율 저하로 시간 당 최소 1%, 즉 하루에 저장된 에너지의 약 25% 이상이 손실되는 실정이다[2].

자기베어링 시스템이 친환경, 고효율 에너지 기술로서 유리한 위치를 확보하기 위해서는 시스템 유지 전력의 최소화가 반드시

필요하다. 현재 자기베어링 시스템의 효율을 높이기 위한 연구는 설계 측면과 자기베어링 시스템의 제어기 개발을 통한 효율 개선 측면으로 진행되고 있다.

본 논문에서는 자기베어링용 저전력 제어기 연구를 위한 5 자유도 자기베어링 시스템 설계에 대하여 기술하고자 한다. 자기베어링 시스템은 두 개의 반경방향 자기베어링과 한 개의 축방향 자기베어링을 가지며, 플라이휠을 가지는 회전축으로 이루어진다. 시스템 설계를 위하여 3 차원 설계틀을 이용하였고, 회전축 설계를 위하여 동역학적 해석을 수행하였다.

### 2. 회전축 설계

회전축은 무게중심점을 기준으로 상하 대칭구조에 가깝도록 설계하였다. 회전축에는 일체형 플라이휠이 달려 있으며 회전을 위한 모터링 자석, 반경방향 자기베어링의 회전체 저널과, 축방향 제어를 위한 스톱스트 칼라가 장착되어 있다. 회전축은 SUS304 재질의 비자성체로서 운전영역 (0~40,000rpm) 안에 첫 번째 굽힘모드가 존재하도록 설계되었으며, 이를 위해 회전축의 두께가 얇아지는 구간이 존재한다. 그림 1 은 회전축의 캠벨 다이어그램을 나타낸다. 그림 1 에서 볼 수 있듯이 첫번째 굽힘모드는 26000rpm 에 존재하고 있고, 강체모드(원추모드, 병진모드)는 200~500rpm 사이에 존재하고 있음을 알 수 있다.

### 3. 자기베어링 설계

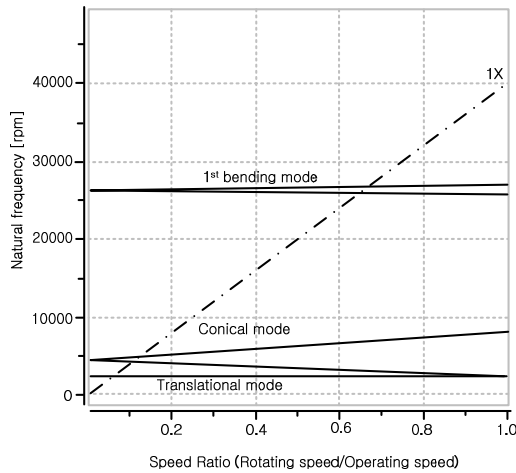


Fig. 1. Campbell diagram of the rotor

반경방향 자기베어링은 무게 50Kg, 회전속도 40,000rpm 의 조건을 가지는 회전체에 대하여 설계되었다. 자기베어링은 축과 공극 크기는 0.5mm, 8 극으로 설계되었고, 접하는 두 극의 권선은 직렬로 결선되어 있으며, 마주하는 두 쌍의 극은 자기베어링의 각 축(X,Y)을 제어 한다.

베어링의 용량은 자중에 의한 정적부하와 불평형 질량에 의한 동적부하 중 더 큰 부하를 감당하도록 정하게 되며, 1.5 의 안전율을 적용하여 735N 으로 설계되었다.

자기베어링의 설계 시 자기베어링의 성능을 나타내는 지표 중 하나가 힘 슬루율(force slew rate)이다. 힘 슬루율은 자기베어링이 부하의 변화에 대하여 얼마나 빠르게 대응할 수 있는 정도를 나타내는 지표이며 다음과 같이 정의된다.

$$\frac{\partial F}{\partial t} = F_{syn} \Omega \quad [N / s] \quad (1)$$

이 때,  $\Omega$  는 회전속도,  $F_{syn}$  는 불평형 힘으로서 최대 회전속도에서 526.4N 이다.

자기베어링에서 발생하는 전자기력은 자기력선이 통과하는 단면적에 비례하게 되는데, 필요한 단면적은 자속 포화시 최대 자기압력을 이용하여 구할 수 있다. 자속 포화시 최대 자기압력은 1.15Mpa 이며, 요구되는 최소 단면적은 아래와 같이 유도된다.

$$A_g = \frac{F}{P_{sat}} \quad (2)$$

여기서,  $P_{sat}$  는 포화 자기압력,  $F$  는 자기력,  $A_g$  는 요구 단면적이다. 자기베어링의 극의 너비는

$$w_p = 2(R_j + g_0) \sin\left(\frac{f_i \pi}{n_p}\right) \quad (3)$$

이 때,  $R_j$  는 회전체 저널의 반지름,  $g_0$  는 공극,  $f_i$  는 iron ratio,  $n_p$  는 극의 개수이다. 자기베어링의 높이는 단면적과 극의 너비로 구할 수 있다.

#### 4. 시스템 설계

자기베어링 시스템에는 상/하부에 반경방향 자기베어링과 축방향 자기베어링이 있으며, 5 개의 센서로 회전축의 위치를 측정하여 제어기로 전달한다. 시스템은 회전 시 공기 마찰을 최소화하기 위하여  $10^{-5}$  torr 의 약 진공 형태로 운전되며 최대 회전속도는 40,000rpm 이다. 제어기는 dSPACE (社)의 P1103 을 사용한다.

#### 5. 결론

본 논문에서는 저전력 제어기 연구를 위한 자기베어링 시스템의 설계에 대하여 기술하였다. 회전체 설계를 위하여 동역학적 특성을 알아보았고, 반경방향 자기베어링 설계를 진행하였다.

#### 후기

본 논문은 한국연구재단 “일반연구지원사업 기본연구”의 지원으로 작성되었습니다.

#### 참고문헌

1. Schweitzer, G: Active Magnetic Bearings - Chances and Limitations. Proc. 6th Internat. IFToMM Conf. on Rotor Dynamics, 2002
2. S. Choi, et. Al. “The Development of Flywheel Energy Storage Technology,” Ministry of Knowledge Economy, 1999.