

극 영역을 고려한 횡축형 자기 베어링 시스템의 로버스트 제어

Robust Control of Horizontal-Shaft Magnetic Bearing System considering Pole Assignment Region

°김창화*, 추만석**, 양주호***

* 경남정보대학 전자정보통신제어계열 (Tel: 81-051-320-1614; Fax: 81-051-320-1409; E-mail: chkim@nengjung.kit.ac.kr)

** 동서대학교 정보통신공학부 (Tel: 81-051-320-2010; Fax: 81-051-320-2010; E-mail: chu5353@dongseo.ac.kr)

*** 부경대학교 제어기계공학과 (Tel: 81-051-620-6856; Fax: 81-051-620-6859; E-mail: jhyang@dolphin.pknu.ac.kr)

Abstract : In this paper, we design the state feedback gain using linear matrix inequality(LMI) to the multiobjective synthesis, in the magnetic bearing system with integral type servo system. The design objectives can be a H_∞ performance, asymptotic disturbance rejection, time-domain constraints, on the closed-loop pole location. To the end, we investigated the validity of the designed controller through results of simulation.

Keywords : Magnetic bearing system, Robust control, Linear matrix inequality, Integral type servo system

1. 서 론

자기 부상계는 비접촉으로 물체를 부상시키기 때문에 마찰이나 열 등을 최소화하기 위한 고속 회전 기기나 운송 시스템 등 여러 분야에 활발히 응용되고 있다. 이 중 회전체를 무접촉으로 지지하는 자기 베어링은 윤활에 대한 문제가 없고, 진공, 고온, 저온 등의 특수한 환경중에서도 사용 가능할 뿐만 아니라, 마찰, 마멸, 소음의 문제가 없거나, 있더라도 극히 적기 때문에 정밀한 중심속 유지, 초고속, 무보수 운전이 가능하다. 또한 과거의 구름 베어링, 미끄럼 베어링, 공기 베어링 등에서는 얻지 못했던 과도 응답이나 강성 등의 특성을 제어계의 설계 사양에 따라 자유롭게 설계할 수 있다는 것이 큰 장점이다.^{1)~2)} 또한 본 논문의 연구 대상인 횡축형 자기 베어링은 축 반경방향의 높은 강성과 축 중심을 정밀히 유지할 수 있다는 특징이 있다.

이러한 자기 베어링에 적용하는 흡인식 부상방식은 본질적으로 불안정한 시스템이므로, 부상체를 안정하게 유지하기 위해 안정화 제어가 필요하다³⁾. 이때 제어를 위해 수식으로 표현된 모델은 제어 대상의 특성을 완벽히 표현할 수 없는 경우가 많고, 모델에 대한 제어특성이 양호하더라도, 실제 시스템에 대해서는 양호한 특성이 얻어지지 않은 경우가 일어난다. 따라서 모델의 불확실성 존재에 대해서도 양호한 제어성능을 발휘하기 위해 아래와 같은 설계 사양이 고려되어야 한다³⁾.

- 1) 로버스트 안정성(Robust stability).
- 2) 외란제거 성능(Disturbance rejection performance).
- 3) 로버스트 추종 성능(Robust servo performance).

또한 시간영역에서의 설계 사양으로는 목표치에 대한 오프셋(Off-set), 정착시간(Setting time), 오버슈트(over-shoot) 등을 들 수 있다. 이 설계사양은 페루프 시스템이 극점 위치에 대해 밀접한 관계가 있으며, 이 설계 사양을 만족하기 위해서는 페루프 시스템의 극 배치 영역을 설정하여 모든 극점들을 이 영역에 존재하도록 하는 설계법의 요구되어 진다⁴⁾.

이처럼 제어계 설계에 요구되는 설계 사양이 다양화 다목적화가 요구됨에 따라 이를 만족하기 위한 설계법 등이 많이 연구되고 있으며, 이 중에 한가지 설계법이 수치적 최적화기법에 의한 설계법이다. 이 설계법은 제어계 설계사양들을 최적화 문제로 취급하여, 최적화 알고리즘에 의해 용이하게 제어를 설계할 수 있는 특징이 있다. 이러한 최적화기법의 대표적인 것 중의 하나가 선형행렬부등식(LMI : Linear Matrix Inequality)을 이용한 설계법이다. 따라서 본 연구에서는 회전체를 지지하는 자기 베

어링에 대해 2장에서는 자이로 효과를 고려한 횡축형 자기 베어링 시스템의 운동방정식과 기준위치 변경에 오차없이 추종하기 위한 적분형 서보계에 대해 서술하고, 3장에서는 코일의 저항값, 회전체의 질량 변경 등의 물리 파라미터 변동과 오버슈트, 정착 시간등을 만족하기 위한 극 배치 영역 및 이를 LMI영역으로 보이기 위한 방법에 대해 서술하고, 이들을 동시에 만족하는 상태 피드백 제어기를 LMI 기법을 이용하여 설계한다. 4장에서는 설계된 제어기를 가지고 시뮬레이션을 통하여 그 타당성을 검토하고 적용 가능성을 조사한다.

2. 제어대상의 모델링 및 설계 사양

2.1 횡축형 자기 베어링 시스템의 모델링

본 연구에서 제어대상으로 하는 횡축형 자기 베어링 시스템은 Fig. 1과 같다. 이 시스템에 대해 회전자는 강체이고, 동시에 회전축 X_s 축에 대해 회전대칭이라고 한다. 또한 전자석에 대한 흡인력은(전류 /간극)²에 비례하고, 8개의 전자석 모두 등가이며, 전압 전류의 관계식에서 속도 기전력은 작으므로 무시하여

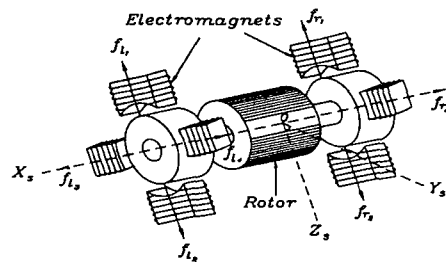


Fig. 1 횡축형 자기 베어링 시스템

Fig. 1 Horizontal-shaft magnetic bearing system

평형점 부근에 있어 미소 변화만을 취급하는 것으로 가정한다. 위의 가정에 평형점에서 전자석과 회전자의 간극을 상태변수로 하면 다음과 같은 횡축형 자기 베어링 시스템의 상태공간 표현식을 얻을 수 있다⁵⁾.

$$\begin{aligned} \dot{x} &= A_p x + B_p u \\ y &= C_p x \end{aligned} \quad (1)$$

여기서, I : 단위 행렬, $x = [g_1, \dot{g}_1, i]^T$