

S20C 재질의 축 방향 전자기 베어링 코어에서 발생하는 시간 지연의 보상 제어

Time Delay Compensation Control for Thrust Active Magnetic Bearing with S20C Material Cores

김우연* · 이종민* · 배용채** · 김승중†

Woo-Yeon Kim, Jong Min Lee, Yong-Chae Bae and Seung-Jong Kim

1. 서론

가장 친환경적인 에너지 저장장치라 할 수 있는 플라이휠(flywheel) 에너지 저장장치는 진공 상태에서 고속 회전하는 플라이휠을 마찰 없이 지지하기 위해 자기 베어링을 이용한다. 일반적으로 자기베어링은 와전류 손실을 줄이기 위해 규소 강판을 적층하여 제작하지만, Fig. 1 에서 본 논문의 축 방향 자기베어링에서와 같이 원판형 코어는 제작이 불가능하다. 따라서 어느 정도의 손실은 불가피한데, 본 논문에서는 저탄소강으로 제작한 축 방향 자기 베어링 코어에서 발생하는 시간 지연(time delay)을 측정하고, 이에 대한 보상 제어를 제안한다.

2. 축 방향 자기 베어링에서의 시간 지연 현상

2.1 시간 지연 측정

Fig. 2 는 축 방향 자기베어링의 제어 흐름을 나타내는 블록 선도이다. 코어에서의 지연 현상을 측정하기 위해서, Fig. 2 에 나타난 바와 같이 축 방향으로 회전체가 부상되어 있는 상태에서, 제어기 출력신호에 임의의 주기를 갖는 정현파를 가해주고, 자기베어링으로 들어가는 코일의 전류와 회전체의 축 방향 변위를 직접 측정하여 비교하였다. Fig. 3 은 그 하나의 예로서, 0.5 V의 진폭을 갖는 20Hz 정현파가 인가될 때, 전류 대비 회전체의 축 방향 변위를 측정한 것이다. 약 41°의 위상 지연이 발생함을 확인할 수 있다.

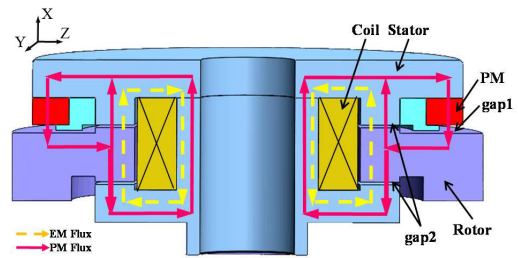


Fig. 1 Cross sectional view of thrust AMB

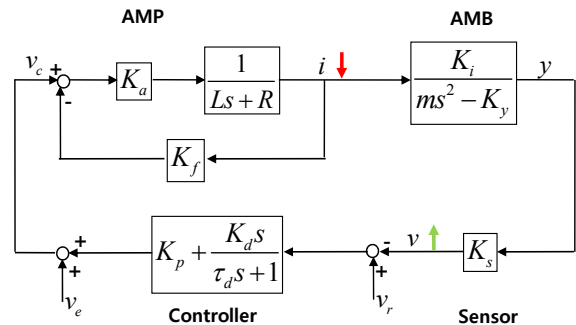


Fig. 2 Control block diagram of thrust AMB

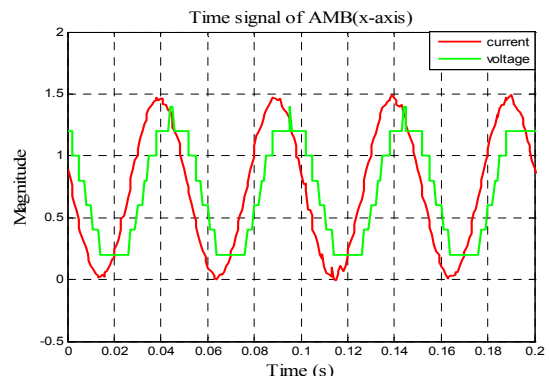


Fig. 3 Time delay between current and displacement

† 정회원; 한국과학기술연구원

E-mail : sjongkim@kist.re.kr

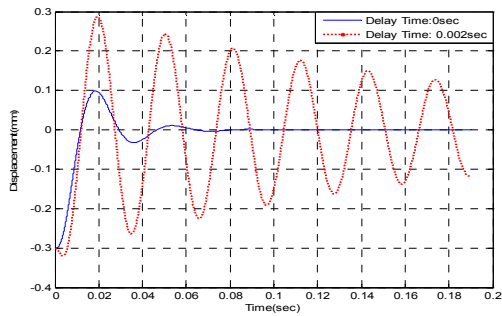
Tel : (02) 958-5610, Fax : (02) 958-5659

* 한국과학기술연구원

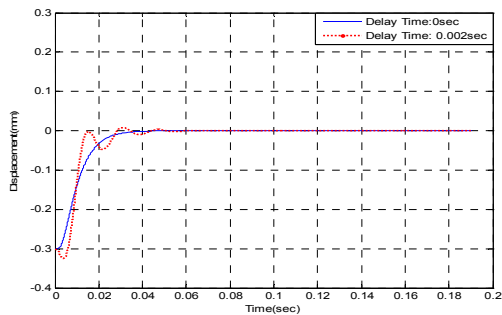
** 한국전력공사 전력연구원

2.2 시간 지연 시뮬레이션

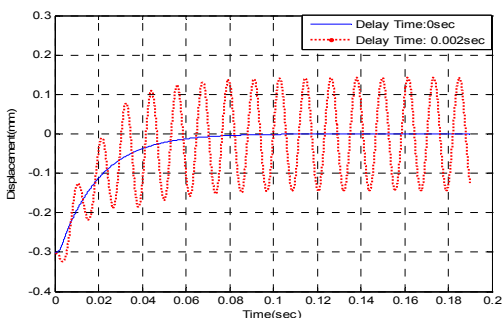
축 방향 자기베어링에서의 시간 지연을 보상하기 위해, 시간 지연 모델을 Fig. 2 에 추가하여 시간 지



(a) $K_d = 0.015$



(b) $K_d = 0.035$



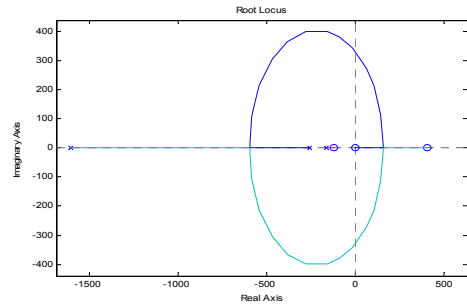
(c) $K_d = 0.065$

Fig. 4 Roots of closed loop sys

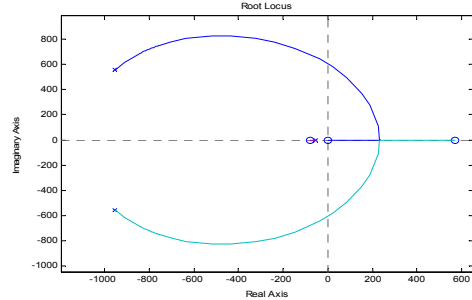
연의 유무 시, 제어 성능의 변화를 비교하였다. 시간 지연 모델은 식(1)과 같은 선형 모델을 이용하였으며, 이 모델은 0.002sec의 시간지연을 약 15 Hz 까지 유지하는 특성을 갖는다.

$$T.f = \frac{-s+1000}{s+1000} \quad (1)$$

Fig. 4는 시간지연 모델이 없는 경우와 추가된 경우에 대한 시간 응답 결과이다. 일반적으로 알려진 바와 같이 위상 지연으로 인해 시스템의 감쇠 특성이 저하되는 현상을 Fig. 4의 (a)와 (b)에서 볼 수 있으며, 이를 보상하기 위해서 미분 이득을 크게 증가시킨 Fig. 4의 (c)에서는 오히려 시스템이 불안정해지는 현상이 나타난다. 이는 Fig. 5에 도시한 시간 지연의 증가에 따른 근궤적의 변화에서도 확인할



(a) $K_p = 4.5$ and $K_d = 0.035$



(b) $K_p = 4.5$ and $K_d = 0.065$

Fig. 5 Root locus of closed loop system according to delay time

수 있다. Fig. 5(a)에 제시된 것과 같이 미분 이득 (K_d)이 0.035 일 때 폐루프 시스템의 근(pole)을 구해보면 지연 시간이 0.0034sec 이상으로 증가 시우 반면 상에 근을 가지고, 미분 이득을 0.065으로 증가한 Fig. 5(b)의 경우 0.0021sec 이상의 시간 지연에서도 시스템은 불안정한 상태가 된다. 따라서 시간 지연에 대해 미분 이득을 증가시키는 일반적인 방법으로 본 시스템의 시간 지연을 보상하기 어려울 것이란 것을 알 수 있다.

3. 결론

본 논문은 S20C 재질 특성에 따른 손실로 인해 발생하는 시스템 응답의 시간 지연 현상을 파악하고, 이에 대한 보상 제어를 설계하는 것을 목적으로 한다. 따라서 시스템을 안정화하기 위한 보상 제어를 구현하기 위해 시간 지연을 확인하고, 선형화된 시간 지연 모델을 적용한 시뮬레이션 모델을 통해 시간 지연에 따른 이득 값의 변화에 따라 시스템의 응답 특성을 파악하였다. 따라서 이러한 시뮬레이션한 결과를 토대로 시간 지연에 따른 시스템을 안정화하기 위한 보상 제어를 수행할 것이다

후 기

본 연구는 전력산업연구개발사업의 일환으로 전력 연구원의 지원을 받아 수행하였기에 감사 드립니다.