

SIL 응용 근접장 서보시스템의 대충격제어 알고리즘 성능평가 Performance improvement of anti-shock control algorithm for SIL-based NFR servo system

김중곤¹, *#박노철²

J. G. Kim¹, *#N. C. Park²(pnch@yonsei.ac.kr)

¹연세대학교 정보저장공학과, ²연세대학교 기계공학과,

Key words : solid immersion lens (SIL), near-field recording (NFR), anti-shock control, dead-zone nonlinear controller, gap error signal (GES), external shock

1. 서론

IT 산업이 급속도로 발전함에 따라서 최근 HDTV(high density television) 응용장치나 3D 디스플레이에 대응할 수 있는 광디스크 드라이브 (optical disk drives: ODDs)에서는 단위 저장용량을 증가시킬 수 있는 정보저장매체의 필요성이 증가하고 있다. 따라서 앞서 말한 응용장치들의 환경에 대응할 수 있는 차세대 초고밀도 광정보저장기기기술 (holographic digital data storage (HDDS), heat-assisted magnetic recording (HAMR), and solid immersion lens (SIL)-based near-field recording (NFR))들을 이용한 기술이 연구되고 있다. 앞서 말한 기술들 중에서 SIL 응용 근접장 광정보저장장치는 차세대 광정보저장기기 관련 기술 중에서 가장 강력한 후보이다. 왜냐하면 상용 광디스크 드라이브와 기술적으로 비슷한 부분이 많아서 시스템의 개발에 있어서 구현이 용이하기 때문이다[1-2].

SIL 응용 근접장 시스템은 디스크에 데이터를 기록하고 재생하기 위해 초정밀 서보 제어기술이 요구된다. 특히 SIL 과 디스크 사이의 위치제어인 갭서보(gap servo) 제어 동작조건에서 기계적인 공진, 디스크의 상하 좌우 진동 및 외부인가 충격에 있어서 상대적으로 취약한 특성을 가지고 있다. 왜냐하면 SIL 과 디스크 사이에 evanescent coupling 으로 형성된 레이저과장의 2 분의 1 이하의 근접장영역에서 SIL 을 포함한 대상플랜트가 간극(air gap)을 유지하여야 하기 때문이다. 더욱이 일반적으로 SIL 과 디스크 사이의 간극(air gap)은 약 50 nm 이하의 영역에서 유지 하는 것이 안정적으로 재생신호의 검출하기에 유리하다[3].

ODD 시스템에서 제어 정밀도를 방해하는 요소로는 크게 주기적 외란과, 비주기적인 외란으로 나눌 수 있다. 주기적인 외란은 디스크의 회전으로 인한 진동이고, 비주기적인 외란은 디스크 표면결함과 외부인가 충격을 들 수가 있는데 고전적인 lead-lag 제어기로는 앞서 말한 비주기적인 외란을 효과적으로 억압하지 못한다. 일반적으로 고려할 수 있는 대충격 제어기 설계 요소로는 루프게인을 증가시키고 페루프 대역폭을 넓히는 것 들 수가 있다. 루프게인을 증가시키기 위해 현재까지 제안된 대충격 제어알고리즘들 중에서 외란 관측기 (disturbance observer: DOB)는 좋은 대안이 될 수 있다. DOB 는 실제 시스템을 공칭 모델처럼 동작하게 하고 모델링 오차, 시스템의 변화, 외부에서의 원하지 않는 입력을 외란으로 다루어 제거하는 알고리즘이다 [4]. 또한 그 구조의 구현이 간단하여 하드 디스크(HDDs) 및 ODDs 와 같은 정보저장매체의 서보 시스템에 적용을 해오고 있다. 또한 페루프 대역폭을 넓히는 것은 외부인가 충격에 대한 대응력은 증가시킬 수 있지만 오히려 디스크 표면결함을 추종할 수 있어 페루프 대역폭만을 고려한 제어기의 설계는 적절하지 않다. 따라서 dead-zone 비선형 제어기를 적용하여 외부인가 충격을 안정성을 개선시킬 수 있고 이 역시 선형 피드백 제어기와 병렬로 연결 하는 구조로서 적용이 간단하다.

본 논문에서는 SIL 응용 근접장 서보 시스템의 대충격 갭서보 성능 향상을 위해 적합한 강인 제어 알고리즘으로

DOB 와 dead-zone 비선형 제어기를 선택하여 외부 충격 인가시 SIL 과 디스크의 충돌을 회피하는 능력을 평가하였다.

2. SIL 응용 NFR 서보 시스템

SIL 응용 근접장 서보시스템에서 사용하는 플랜트는 전류증폭기 (current amplifier)와 VCM (voice coil motor) 액추에이터이고, 그림 1 에서는 의 플랜트의 주파수 응답함수를 나타내었다.

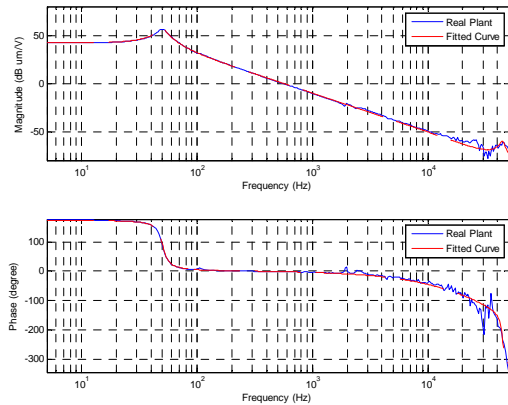


Fig. 1 Frequency response function and modeling result of the designed plant.

3. 대충격 제어 알고리즘

3.1 외란관측기(DOB) 설계

외란관측기(DOB)는 공칭모델 (nominal plant)과 실제모델 (real model)과의 차이를 외란으로 인식해서 제어시스템의 오차를 보상하는 제어기법으로서 강인 제어 및 외란 억압하는 제어시스템에 널리 적용되고 있다 [5]. DOB 의 외란 제거 특성은 기존의 제어 입력과 별도의 공칭 모델링 오차를 보상하는 제어 입력을 생성하는 구조에 의해 가능하다. 이때, 실제 시스템에서의 모델링 오차, 매개 변수의 변화량, 외부에서 인가되는 외란 신호등을 모두 오차신호로 간주하여 보상한다. 일반적으로 공칭 모델의 역함수를 취할 때 순수 미분 성분이 발생하여 실제 역함수의 존재가 불가능하여 Q 필터를 추가하여 공칭 모델의 역함수를 적용할 수 있다. 이러한 목적에서 Q 필터는 단일 입력을 가지는 저대역 통과 필터 (low pass filter: LPF)의 형태를 지니며 외란 관측기의 특성을 결정짓는 가장 중요한 요소이다. 본 논문에서는 2 차인 binomial Q 필터를 사용하였고 τ 는 0.0001 과 0.0002 로 적용한 전달함수는 다음과 같다.

$$Q_{20}(s) = \frac{1}{(\tau s + 1)^2}, \quad (1)$$

3.2 Dual Q 필터

DOB 의 성능 향상시키기 위하여 구조를 변형시키거나 확장하는 노력이 계속되어 왔다[5]. 그러나, 보다 더 향상된

성능을 위한 변형 및 확장된 DOB 구조는 시간 영역에서의 과도응답 성능과 주파수 영역에서 상호 절충 관계가 성립하는 경향이 보이게 된다. 본 논문에서는 Dual Q 필터를 사용하여 대충격 제어알고리즘의 성능을 개선하였다.

3.3. Dead-zone 비선형 제어기

Dead-zone 비선형 제어기는 앞서 말한 페루프 대역폭의 증가로 인하여 대상 플랜트가 불필요한 외란요소에 민감한 특성을 가져 시스템의 안정성의 저하를 회피하게 위한 제어 방법으로 효과적인 제어기이다[6]. 원리는 외부인가 충격으로 인한 제어 입력 값 u_{base} 의 범위를 분석하여 dead-zone의 δ 의 범위를 결정하고 범위를 벗어나게 되면 더 이상 비선형 제어기의 출력이 증가하지 않고 u_{base} 값으로 고정된 출력 값을 갖게 된다. 이와 같은 dead-zone을 식으로 표현하면 (2)와 같다.

$$u(t) = \begin{cases} u_{base}(t) & |e(t)| \leq \delta, \\ u_{base}(t) + K(e(t) - \delta) & |e(t)| > \delta, \end{cases} \quad (2)$$

그림 3 는 SIL 응용 NFR 서보 시스템에서의 대충격 제어 알고리즘을 적용한 간극 제어 루프에 대한 전체 블록도를 나타내고 있다.

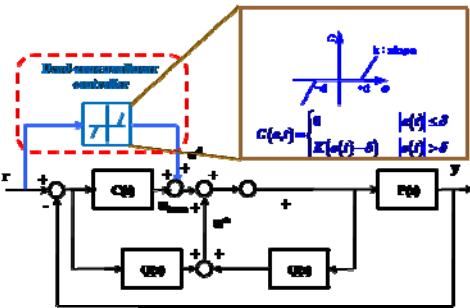


Fig. 3 Schematic diagram of DOB for NFR servo system.

4. 실험 결과

제어기 구현에 사용된 DSP (digital signal processor)는 dSPACE 이며 16 비트 ADC, DAC 를 사용하여 샘플링 주파수는 100 kHz 로 하였고, 2 차 binomial Q 필터 대역폭은 250 과 500 Hz 으로 설정하였다. SIL 응용 NFR 서보시스템의 간극 제어루프에서는 특정조건의 갭에러 신호(gap error signal: GES)를 가지고 안정장치가 동작하게 구현하게 되어 있다. 그림 4(a)에서 보는 바와 같이 기본 갭제어기만 사용하였을 때 1.28 G 의 외부충격 인가시 안전장치의 작동으로 SIL 이 초기위치로 되돌아가고, 반면에 그림 4(b)에서 보는 바와 같이 대역폭 250 Hz 인 Q 필터를 사용하여 1.6 G 의 외부인가 충격에도 간극을 유지할 수 있었고, 그림 4(c)에서 보는 바와 같이 500 Hz 인 Q 필터와 dead-zone 비선형 제어기를 같이 사용하였을 경우 3.26 G 의 외부인가 충격에도 SIL 과 디스크의 충돌없이 간극을 유지할 수가 있었다.

5. 결론

본 논문에서는 SIL 응용 NFR 서보시스템에서 강인한 간극제어 성능을 확보하기 위하여 DOB 와 dead-zone 비선형 제어기를 적용하여 외부인가 충격에도 SIL 과 디스크 간의 충돌을 회피하며 간극을 유지 할 수 있는 강건한 제어 성능을 얻을 수 있었다.

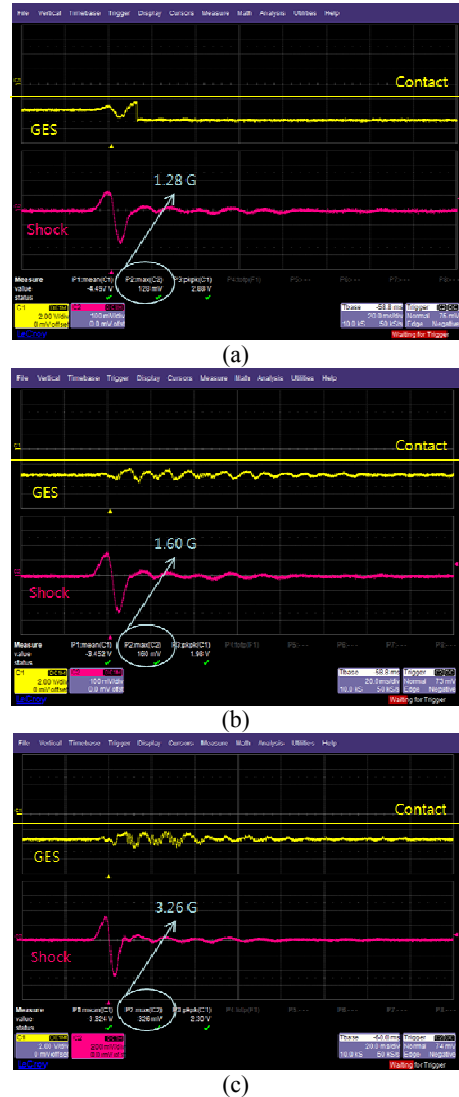


Fig. 4 Experimental results for (a) base air gap controller, (b) with a dual Q filter (bandwidth of 250 Hz), and (c) with a dual Q filter and dead-zone nonlinear controller (bandwidth of 500 Hz).

후기

본 연구는 2008 년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. R17-2008-040-01001-0).

참고문헌

1. T. Ishimoto, T. Matsui, S. Kim, K. Saito, K. Takagi, S. Haga, A. Nakaoki, and M. Yamamoto; Proc. of SPIE Vol. 6282(2006) 62820C.
2. F. Zipp, J. I. Lee, J. van den Eerenbeemd, C. Verschuren, and D. M. Bruls; Jpn. J. Appl. Phys. 45 (2006) 1336.
3. J. G. Kim, M. S. Kang, T. W. Kwon, J. Jeong, N. C. Park, H. S. Yang, and Y. P. Park., Japanese Journal of Applied Physics, 47(2008) 5947.
4. K. Ohnishi, Transactions Japanese Society of Electrical Engineering. 107-D (1987) 83.
5. S. M. Shahruz, IEEE/ASME Trans. on Mechatronics, 5(2000) 319.
6. K.J. Yang, Y.G. Choi, IEEE Trans. On Magnetics, 52(2005) 270.