

외란 관측기를 이용한 SIL 기반 근접장 제어시스템의 대충격 알고리즘 성능평가

Improved Anti-Shock Control Algorithm using Disturbance Observer for SIL-Based Near-Field Recording System

김중곤* · 박노철†

Jung-Gon Kim, and No-cheol Park

1. 서론

IT 산업이 급속도로 발전함에 따라서 최근 HDTV (high density television) 응용장치나 3D 디스플레이에 대응할 수 있는 대용량 광디스크 드라이브 (optical disk drives: ODDs)의 개발이 요구되어 왔다. Solid immersion lens (SIL) 기반 근접장 광정보저장장치 (near-field recording system: NFR system)는 차세대 대용량 광정보저장장치 관련 기술 중에서 가장 강력한 후보이다[1-2]. SIL 기반 NFR 시스템에서 제어 정밀도를 방해하는 요소로는 크게 주기적 외란과, 비주기적인 외란으로 나눌 수 있다. 주기적인 외란은 디스크의 회전으로 인한 진동이고, 비주기적인 외란은 디스크 표면결함과 외부인가 충격에 들 수가 있는데 고전적인 lead-lag 및 PID 제어기로는 앞서 말한 비주기적인 외란을 효과적으로 억압하는데 한계가 있다. 일반적으로 고려할 수 있는 대충격 제어기 설계 요소로는 루프게인을 증가시키고 페루프 대역폭을 넓히는 것 들 수가 있는데 루프게인을 증가시키기 위해 현재까지 제안된 대충격 알고리즘들 중에서 외란 관측기 (disturbance observer: DOB)는 좋은 대안이 될 수 있다. 또한 페루프 대역폭을 넓히는 것은 외부인가 충격에 대한 대응력은 증가시킬 수 있지만 오히려 디스크 표면결함을 추종할 수 있어 페루프 대역폭만을 고려한 제어기의 설계는 시스템의 안정성을 저하시키는 요인이 될 수 있다. 따라서 dead-zone 비선형 제어기를 적용하여 외부인가 충격에 대한 서보 시스템의 안정성을 개선시킬 수 있고, 선형 피드백 제어기와 병렬로 연결 하는 구조로서 적용이 간단하다[3-4].

본 논문에서는 SIL 기반 근접장 서보 시스템의 대충격 서보시스템의 성능 향상을 위해 적합한 강인 제어 알고리즘으로 DOB 와 dead-zone 비선형 제어기를 이용하여 외부 충격 인가 시에 SIL 기반 근접장 서보시스템의 강인성에 대한 결과를 기술하고자 한다.

2. 본론

2.1 SIL 기반 근접장 서보 시스템

(1) 기본 간극 제어기 설계
플랜트는 voice coil motor (VCM) 타입 액츄에이터와 전류증폭기로 구성되어 있으며 플랜트의 동특성은 sine-sweep method 을 이용하여 얻었고, 플랜트를 바탕으로 한 NFR 시스템 기본 제어기의 개루프 전달함수의 특징은 다음과 같다. 제어기의 교차 주파수, 이득여유, 위상여유, 루프 게인, 샘플링 주파수는 각각 10.2 kHz, 15.6 dB, 72.7°, > 100 dB, 200 kHz 가 되도록 설계하였다.

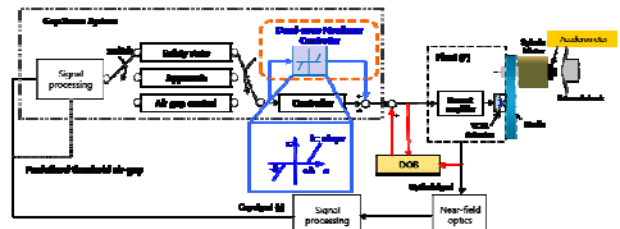


Fig. 1 Schematic diagram of anti-shock air gap control system

(2) NFR 시스템 간극 제어 알고리즘

SIL 기반 NFR 시스템은 빔의 초점을 SIL 바닥면에 위치시켜 전반사되고 이로 인하여 SIL 바닥면에는 evanescent 파가 레이저 사용과장 (405 nm)의 4분의 1 만 큼 발생한다. 따라서 NFR 서보 시스템은 SIL 이 미디어 사이의 거리로 인해 반사되는 광량의 차가 발생하는데 이차를 이용하여 간극을 유지할 수가 있게된다. 플랜트가 초기 위치에서 목표 간극까지 접근시킬 때 처음에는 개루프 제어 모드를 사용하여 미리 정의한 근접장 영역까지 접근시키고, 이 과정을 어프로치 모드라고 정의한다. 그 후에 어프로치 모드에서 간극을 일정하게 유지하는 간극 제어 모드로 전환된다. 간극을 일정하게 유지할 때 외부 충격에 의해 최소 한계 간극으로 정의한 5 nm 이하가 되면 디스크와 SIL 의 충돌을 방지하기 위해 피드백 루프는 안전모드로 전환된다.

† 교신저자; 연세대학교 기계공학과

E-mail : pnch@yonsei.ac.kr

Tel : (02) 2133-4677, Fax : (02) 365-8460

* 연세대학교 정보저장기기 연구센터

3. NFR 시스템에 대한 충격 대응 제어기 설계

3.1 Disturbance observer (DOB) 설계

Q 필터를 이용한 DOB 는 설계 및 구현하기가 간편하기 때문에 정밀 제어시스템 설계에 널리 사용되며 본 논문에서는 binomial Q 필터를 사용하였다. Q 필터 선형 전달 함수는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$Q_{mn}(s) = \frac{\sum_{i=0}^n a_{mi} (\tau s)^i}{(\tau s + 1)^m} \quad (1)$$

여기서, τ 는 시상수, a_{mi} 는 binomial 계수이며 $m! / (m - 1)!i!$ 로 구할 수 있다. 여기서 m 는 분모 차수 ($m \geq n$) 이고 n 는 분자의 차수 이다.

시스템의 강화된 제어기 성능은 Q 필터 대역폭에 의존하기 때문에 최대한 시스템의 안정성을 확보하도록 Q 필터의 대역폭을 설정해야 한다.

3.2 Dead-zone 비선형 제어기 설계

선형 피드백 제어기에서 Dead-zone 을 사용한 간극 서보 시스템은 충격에 대한 영향을 효과적으로 줄일 수 있고 dead-zone 제어기의 비선형성은 다음과 같다.

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

δ 와 K 는 dead-zone 제어기의 threshold 과 슬로프 계인이며, $u_{base}(t)$ 와 $e(t)$ 는 기본 제어기에서 나오는 출력 값과 간극오차신호 (gap error signal: GES)이다.

3.3 대충격 실험

DOB 와 기존 근접장 간극 제어기의 성능 검증을 위해 외부적인 충격을 시스템에 가하였다. 외부 충격의 측정 은 스피들 모터에서 측정하였고, 목표 간극과 축 방향의 디스크의 외란은 각각 30 nm 와 $\pm 45 \mu\text{m}$ 이다.

표 2 에서 보는 바와 같이 기본제어기만 사용할 경우 1.05 G/10 ms 인 경우에 안전모드가 작동을 하지만 DOB 를 사용할 때와 DOB 와 dead-zone 비선형제어기를 동시에 사용하였을 경우에는 외부충격으로 인한 디스크와 SIL 의 충돌이 방지되는 것을 알 수 있으며, 대역폭 500 와 1000 Hz 인 DOB 를 기존의 페루프 제어기에 적용했을 때 각각 2.01 G/10 ms 와 3.46 G/10 ms 의 외부충격이 시스템에 인가되었을 때 안전모드는 작동하지 않고 간극을 유지할 수 있었다. 또한, 대충격 제어기의 강건성을 더욱더 향상시키기 위해 DOB 와 dead-zone 비선형 제어기 모두 사용할 경우에 dead-zone 의 계인의 설정은 외부충격 인가시 최대 간극오차신호가 $\pm 20 \text{ nm}$ 이므로 허용한계 값(δ)을 $\pm 10 \text{ nm}$ 로 설정하였고, 슬로프 계인 (K)을 70 으로 설정하였다. 결과적으로 dead-zone 비선형 제어기를 사용하며 외부충격이 4.48 G/10 ms 인 경우에 SIL 과 미디어의 충돌을 회피하며 간극을 유지할 수 있

는 결과를 얻었다. 따라서 Q 필터의 대역폭이 증가할수록 보다 큰 외부인가 충격에도 SIL 과 미디어의 충돌을 회피할 수 있었으며, dead-zone 비선형 제어기와 DOB 모두를 사용했을 경우에는 가장 큰 외부인가 충격량에도 충돌을 회피할 수 있었다.

Table II. Overall Experimental Results of Anti-shock Control for our SIL-based NFR Servo System

Parameter	Baseline controller	using DOB		using DOB with dead-zone controller
External shock (/10ms)	1.05 G	2.01 G	3.46 G	4.48 G
Bandwidth of Q filter	None	500 Hz	1000 Hz	1000 Hz
Slope gain (K)	None	None	None	70
Operation of safety mode	Activating	None Activating		
Target air-gap	30 nm			

4. 결 론

본 논문에서 DOB 를 사용하였을 때와 DOB 와 Dead-zone 비선형 제어기를 동시에 사용하여 외부적인 충격에 대한 NFR 서보 시스템의 성능 향상을 보였다. 대역폭이 500 와 1000 Hz 인 Q 필터를 사용한 DOB 인 경우 2G 이상의 외부인가 충격에 대한 동적외란을 억압할 수 있었다. 더욱이 DOB 와 dead-zone 비선형 제어기 모두를 사용하면 보다 큰 외부인가 충격(4.48 G/10 ms)에도 미디어와 충돌을 회피하며 간극을 유지할 수 있었다. 따라서 SIL 기반 NFR 시스템에서는 제안한 대충격 제어 알고리즘을 사용하여야 외부인가 충격에 대해 신뢰할 수 있는 강건성을 확보할 수 있을 것으로 판단된다.

후기

본 연구는 2008 년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국과학재단과 LG 전자 DS 연구소의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. R17-2008-040-01001-0).

참고 문헌

- [1] T. Ishimoto, K. Saito, M. Shinoda, T. Kondo, A. Nakaoki, and M. Yamamoto, "Gap Servo System for a Biaxial Device Using an Optical Gap Signal in a Near Field Readout System," *Jpn. J. Appl. Phys.* vol 42, no. 5, pp. 2719-2724, May. 2003
- [2] T. Ishimoto, T. Matsui, S.M. Kim, K. Saito, K. Takagi, S. Haga, A. Nakaoki, and M. Yamamoto, "Technologies for Removability in a Near-Field Optical Disc System," in *Proc. Int. Conf. Optical Data Storage*, 2006, pp. 62820C-1- 62820C-11.
- [3] J. G. Kim, M. S. Kang, T. W. Kwon, J. Jeong, N. C. Park, H. S. Yang, and Y. P. Park, "Improved Gap Control System Using a Disturbance Observer for Near-Field Recording," *Jpn. J. Appl. Phys.* vol. 47, no. 7, pp. 5947-5952, Jul. 2008.
- [4] J. G. Kim, W. J. Shin, J. Jeong, K. S. Park, N. C. Park, H. S. Yang, and Y. P. Park, "Improved Air Gap Controller for Solid Immersion Lens-Based Near-Field Recording Servo System," *Jpn. J. Appl. Phys.* vol. 48, pp. 03A044-1-7, Mar. 2009.