

# 외란보상기를 이용한 SIL 기반 갭서보 시스템 개발 Development of SIL-based NFR servo system using Disturbance Observer

김중곤<sup>1</sup>, 신원호<sup>2</sup>, 박경수<sup>2</sup>, \*#박노철<sup>2</sup>, 양현석<sup>2</sup>, 박영필<sup>2</sup>, 정준<sup>3</sup>

J. G. Kim<sup>1</sup>, W. H. Shin<sup>2</sup>, K. S. Park<sup>2</sup>, \*#N. C. Park<sup>2</sup>(pnch@yonsei.ac.kr), H. S. Yang<sup>2</sup>, Y. P. Park<sup>2</sup>, and J. Jeong<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 연세대학교 정보저장공학과, <sup>2</sup> 연세대학교 기계공학과, <sup>3</sup> 동양공업전문대학교 자동화시스템과,

Key words : solid immersion lens (SIL), near-field recording (NFR), mode switching servo, overshoot, disturbance observer, gap error signal (GES), external shock

## 1. 서론

최근 HDTV(high density television) 응용장치나 3D 디스크 플레이에 대응할 수 있는 고기록용량의 정보저장매체의 필요성이 증가하고 있다. 따라서 앞서 말한 응용장치들의 환경에 대응할 수 있는 차세대 광정보저장기술 (holographic digital data storage (HDDS), super-resolution near field structure (super-RENS), heat-assisted magnetic recording (HAMR), and solid immersion lens (SIL)-based near field recording (NFR))들을 이용한 기술이 연구되고 있다. SIL 기반 근접장 광정보저장 장치는 차세대 광정보저장매체 중에서 가장 강력한 후보이다. 왜냐하면 상용 광디스크 드라이브 (optical disk drives: ODDs)인 compact discs (CDs), digital versatile discs (DVDs), and Blu-ray discs (BDs)와 기술적으로 비슷한 부분이 많아서 시스템의 구현이 용이하고, 앞서 말한 광디스크 드라이브의 기록 용량(CDs: 750 MB, DVDs: 4.7 GB, BDs: 25GB)을 향상시킬 수 있기 때문이다[1-2].

SIL 기반 NFR 시스템에서의 SIL과 미디어 사이의 위치 제어를 갭서보(gap servo)라고 정의하고 SIL과 미디어 사이에 evanescent coupling으로 인한 근접장은 레이저광장의 2분의 1 이하로 보고 있지만 SIL 광학계와 미디어의 굴절률에 따라 근접장 영역은 다르게 존재한다. 그러나 일반적으로 SIL과 미디어 사이의 간극(air gap)은 약 50 nm 이하의 영역에서 유지하는 것이 안정적으로 재생신호의 검출하기에 유리하다. 이러한 특징으로 인하여 NFR 시스템의 안정성을 저하시키는 요인으로는 액츄에이터 헤드에 위치하고 있는 SIL을 디스크에 접근시킬 때 SIL이 디스크에 충돌하지 않고 목표간극으로 SIL을 가능한 빠른 시간에 위치시켜야 하는 것과 SIL이 유지하는 간극이 nm 단위로 매우 작아 외부인가 충격에 시스템이 취약한 것으로 나눌 수 있다.

따라서 앞서 말한 두 가지 경우로 나누어 SIL 기반 NFR 시스템의 안정성 확보하기 위하여 본 논문에서는 두 가지 경우로 접근하고자 한다. 첫 번째는 오버슈트(overshoot)로 인한 충격을 회피하는데 있다 [3]. SIL 기반 NFR 시스템의 경우 기존의 광디스크 드라이브 시스템과는 다르게 mode switching servo 방식을 사용하여 SIL이 초기위치에서부터 반사광량이 변화하는 근접장영역까지 개루프 제어(open-loop control)를 통하여 접근하게 되고, 반사광량이 변화하는 근접장 영역내에서는 폐루프 제어(closed-loop control)로 스위칭되어 간극을 안정적으로 유지하게 된다. 이때 개루프 제어단계에서 폐루프 제어단계로 스위칭되는 시점에서 오버슈트가 발생하여 SIL과 미디어의 충돌로 인한 제어시스템의 안정성을 저하시키는 원인이 되기 때문에 오버슈트의 감소시켜 시스템의 안정성을 확보하여야 한다. 두 번째로는 SIL이 근접장내에서 미디어와 간극을 유지하고 있을 때 외부인가 충격으로 인하여 SIL과 미디어의 충돌 억제하여야 한다 [4]. 상용 광디스크 드라이브에 비해서 상대적으로 SIL 기반 NFR 시스템이 취약하기 때문에 외부인가 충격의 영향을 감소시킬 수 있는 제어시스템 성능의 강인성을 향상시켜 시스템의 안정성을 확보하여야 한다.

본 논문에서는 외란관측기(disturbance observer: DOB)를

이용한 SIL 기반 NFR 제어시스템의 설계 및 실험을 통하여 모드 스위칭 방식에서 오버슈트에 대한 충격을 억제하여 안정성을 확보할 수 있었고, 또한 외부인가 충격에 대한 NFR 제어시스템의 성능을 향상시켜 충격에 의한 영향을 저감시켰다.

## 2. SIL 기반 NFR 서보 시스템

CISD에서 자체 개발한 SIL 기반 NFR 서보시스템에서 사용하는 플랜트는 전류증폭기 (current amplifier)와 VCM (voice coil motor) 액츄에이터이고, 그림 1에서는 의 플랜트의 주파수 응답을 보여주고 있고 관련변수는 표 1에 정리를 하였다.

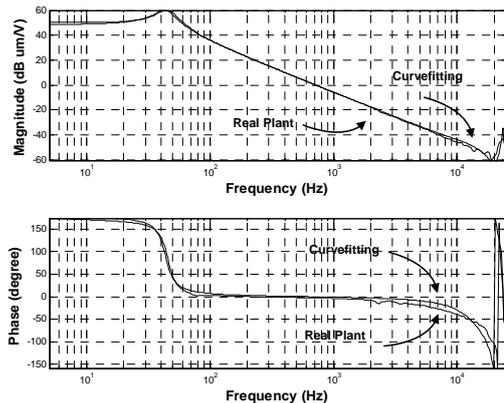


Fig. 1 Frequency response function and modeling result of the designed plant.

Table 1 Characteristics of the designed plant

Mass of moving part (mg)	400
Mass of SIL (mg)	54.9
First resonance frequency (Hz)	49
First resonance frequency (kHz)	20
Amplified gain (A/V)	0.04

## 3. 외란관측기 (DOB) 설계

외란관측기는 공칭모델 (nominal plant)과 실제모델 (real model)과의 차이를 외란으로 인식해서 제어시스템의 오차를 보상하는 제어기법이다 [5]. 바꿔 말하면 일반적인 외란 관측기는 출력단에 공칭 모델의 역함수를 추가하여 제어 입력과의 차로 외란을 추종하고 제어 입력단에 케환함으로써 외란을 제어할 수 있다. 일반적으로 고차 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. 외란의 제거 성능은 Q 필터의 분자 차수에 의존하며,

강인성은 Q 필터의 상대 차수와 분모 차수에 의존한다. 본 논문에서는 2 차인 Q 필터를 사용하였고  $\tau$  는 0.0002 로 적용한 전달함수는 다음과 같다.

$$Q_{20}(s) = \frac{1}{(0.0002s + 1)^2}, \quad (1)$$

외란 관측기의 특성은 시스템의 개루프 전달함수를 분석함으로써 파악 할 수 있다. 그림 2 는 외란관측기를 이용하였을 때와 기본 제어기만을 사용했을 때의 개루프 전달함수를 나타내었다.

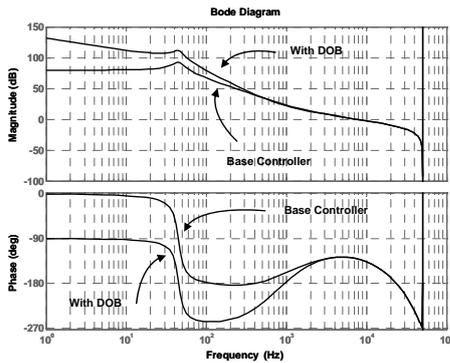


Fig. 2 Open loop transfer function of NFR servo system with DOB.

그림 3 는 SIL 기반 NFR 서보 시스템에서의 간극 제어 루프에 대한 전체 블록도를 나타내고 있고, 외부인가 충격을 측정하기 위한 가속도계는 모터부에 설치하였다.

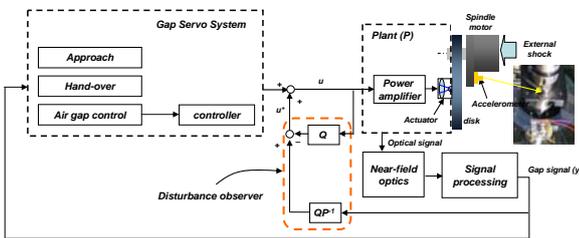


Fig. 3 Overall schematic diagram of DOB for NFR servo system.

#### 4. 실험 결과

제어기 구현에 사용된 DSP (digital signal processor)는 dspace 이며 16 비트 ADC, DAC 를 사용하여 100 kHz 로 샘플링을 하였고, 2 차 Q 필터 대역폭이 500 Hz 으로 설정하였다. 그림 4(a)에서 보는 바와 같이 기본 선형제어기만 사용하였을 때 개루프 제어시 SIL 이 미디어로의 접근속도가 500  $\mu\text{m}/\text{sec}$  일 때 겹에러 신호(gap error signal: GES)보면 거의 contact 지점(디스크와 충돌)까지 오버슈트가 발생하였다. 반면에 그림 4(b)에서 보는 바와 같이 외란 관측기를 적용하여 오버슈트를 66.7% 에서 15.8% 감소시켜 SIL 과 미디어의 충돌을 억제할 수 있었다. 또한 외부인가 충격실험에서는 그림 5 에서 보는 바와 같이 외부인가 충격 (1g/10ms) 이 시스템에 인가 시 충격에 따른 GES 를 약 9.11% 향상시켜 충격에 효과적으로 억제하는 것을 확인하였다.

#### 5. 결론

본 논문에서는 SIL 기반 NFR 서보시스템에서 강인한 간극제어 성능을 확보하기 위하여 외란 관측기를 적용하여 개루프 제어가 끝나는 지점에서 발생하는 초기 오버슈트를 감소시켰고, 외부인가 충격에 대응할 수 있는 성능을 얻을 수 있었다. 이로써 외부 관측기를 사용한 제어기법은 SIL

기반 NFR 시스템의 안정성 확보에 있어서 적용이 용이하므로 효과적으로 사용될 수 있을 것이다.

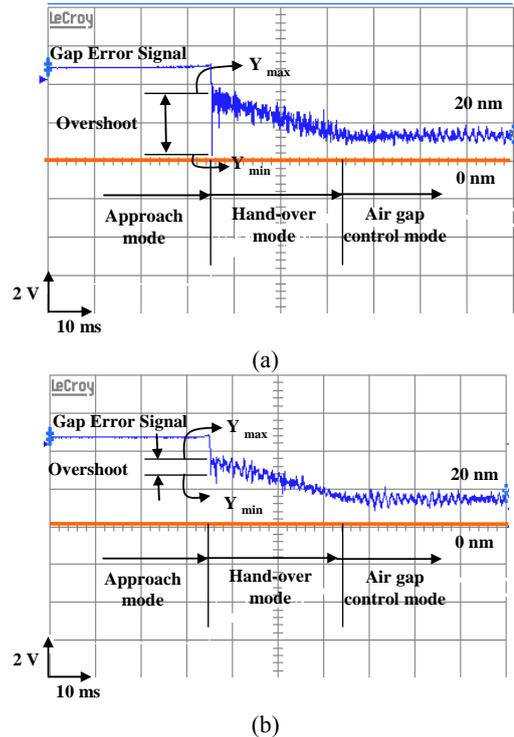


Fig. 4 Experimental results of overshoot errors (a) without and (b) with DOB

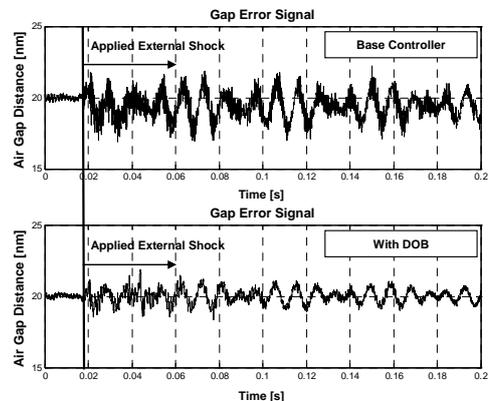


Fig. 5 Residual gap errors during external shock (1 g) with and without DOB.

#### 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, T. H. Kim, H. Choi, Y. J. Yoon, J. Jeong, N.C. Park, H. S. Yang, and Y. P. Park; Tech. Dig. ISPS07, 2007.
4. Y. J. Yoon, S. H. Kim, W. S. Seol, J. G. Kim, N. C. Park, and H. S. Yang; Jpn. J. Appl. Phys. 46 (2007) 3997.
5. K. Yamada, S. Komada, M. Ishida, and T. Hori; Electrical Engineering in Japan, 128 (1999) 37.