

SIL 을 이용한 근접장 기록계에서의 서보 방식의 개발

Improvement Air Gap Control for SIL based Near-Field Recording System

김 중 곤[†], 김 태 훈*, 정 준**, 박 노 철***, 양 현 석****, 박 영 필*****

Joong-Gon KIM[†], Tae-Hun KIM*, Jun JEONG**, No-Cheol PARK***,
Hyunseok YANG**** and Young-Pil PARK*****

Abstract

A high density optical data storage device has been required for many years. In the field of the optical data storage, a near-field recording (NFR) technology is considered as a next generation one for achieving the high data density. Due to an evanescent wave effect occurred under 100nm distance which is the excessively small distance between the SIL and the disc, the most significant and difficult problem in this technology is to maintain a gap between a solid immersion lens (SIL) and a disc. Also, maintaining the gap under at least 50nm is required in the NFR gap servo system to use the evanescent wave effect efficiently. There are some institutes that have shown the novel gap servo control. In general, they use a mode switching servo method which consists of approach, hand-over and gap control mode. However there is a critical problem such as an overshoot at the tuning point from the approach mode to the hand-over mode, which may cause a collision between the SIL and the disc. In this paper, we show our NFR system and an improved gap servo system using an exponential function as the approach mode which can reduce the overshoot.

Key Words : NFR (Near Field Recording) System, SIL (Solid Immersion Lens), Gap Servo, Mode Switching Servo, Overshoot

1. 서 론

데이터 저장 매체 기술의 발전과 더불어 디스크 드라이브의 데이터 저장 용량과 전송속도는 점점 더 향상되고 있다. 반도체 메모리 및 하드 디스크와 같은 저장매체들은 이를 실현하고 있다. 그 중에 하드 디스크 드라이브는 같은 면적에 보다 높은 기록 밀도를 끊임없이 높여가고 있으며 동시에 데이터 액세스 속도와 전송 시간 등의 성능 향상을 이루고 있다. 이와 같은 목적으로 광 정보 저장 매체인 SIL 을 기반으로 하는 근접장 기록(Near Field Recording, NFR) 방식이 제안되어 관련연구가 활발히 진행되고 있다[3-4].

따라서 SIL(Solid Immersion Lens)을 기반으로 하는 NFR 시스템은 기존의 광기록 매체의 기록 용량(CD: 750 MB, DVD: 4.7 GB, BD: 25GB)을 능

가하는 차세대 광기록 매체중의 하나로 현재 각광받고 있다[1-2].

NFR 시스템에서의 포커스 방향 서보를 갭서보(Gap Servo)라고 정의하고 근접장은 사용파장의 일반적으로 4 분의 1 로 보고 있지만 광학계와 미디어의 굴절률에 따른 갭은 다르다. 그러나 일반적으로 갭 서보는 약 50 nm 이하의 영역에서 하고 있다.

본 논문에서는 이와 관련하여 SIL 을 기반으로 하는 NFR 시스템의 특징 중에 하나인 Mode Switching Servo 에서 Approach mode 에서의 기본 ramp 방식이 아닌 exponential 방식에서의 변경을 통하여 overshoot 과 settling time 의 감소를 실현시켜 NFR 제어 시스템의 안정성을 향상시켜 평가하는데 목적을 두고 있다.

2. NFR 시스템의 특징

2.1 NFR System

NFR 시스템은 Figure 1 에서 보는 바와 같이

[†] 연세대학교 정보저장기기연구센터 (CISD)

E-mail : magy97@yonsei.ac.kr

TEL : (02)2123-4677

* 연세대학교 정보저장기기연구센터 (CISD)

** 연세대학교 정보저장기기연구센터 (CISD)

논문접수일(2006년 6월 12일)

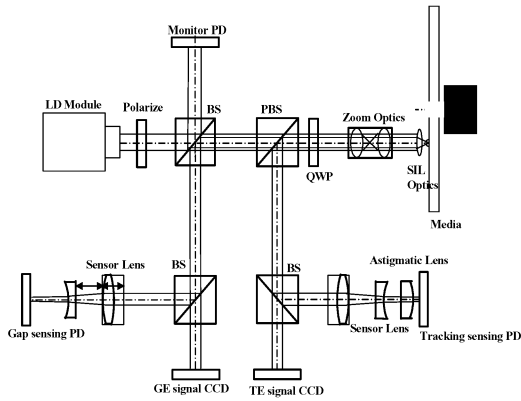


Fig. 1 Schematic diagram of NFR optics system

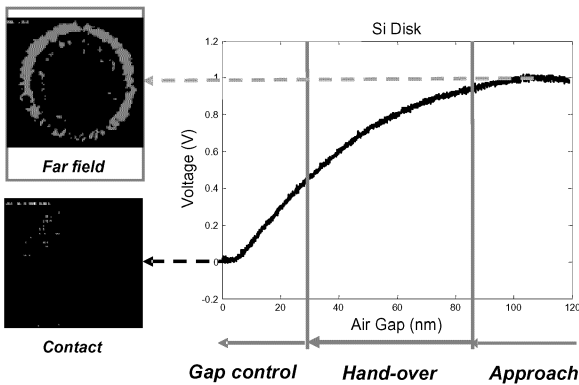


Fig. 2 Reflected beam pupil image as a function of air gap (NA 1.84) and mode switching region

기존의 CD / DVD 에서 사용하는 빔 분할기 및 4 분할 파장판을 사용하는 광학계와는 차이가 없다. 다만 사용파장이 405 nm 이고 SIL 를 사용하고 회절한계를 극복하여 NA(Numerical Aperture) 1 을 넘어서 beam spot 을 작게 하여 같은 크기의 디스크에 기록용량을 높여 사용을 할 수가 있다는 것이 SIL 을 기반으로 하는 NFR 시스템의 장점이다. 현재 사용하고 있는 SIL 과 대물렌즈 유닛의 NA 는 1.84 이다.

Figure 2 에서 보는 바와 같이 Far field 일 때는 SIL 바닥면에 반사되는 광량이고 contact 일 때는 터널링에 의해 SIL 바닥면에서 반사되는 광량이 확연히 줄어들게 된다. 측정된 구간을 일정 영역으로 나눠 Mode switching servo 에서의 approach, hand-over, gap control 인 각 모드 구간으로 나누어 시스템을 제어하게 된다.

3. NFR Servo System

3.1 Mode Switching Servo

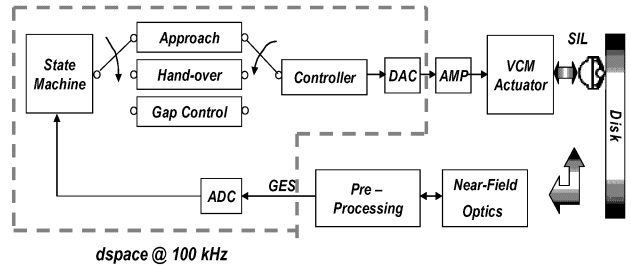


Fig. 3 Servo system of NFR system

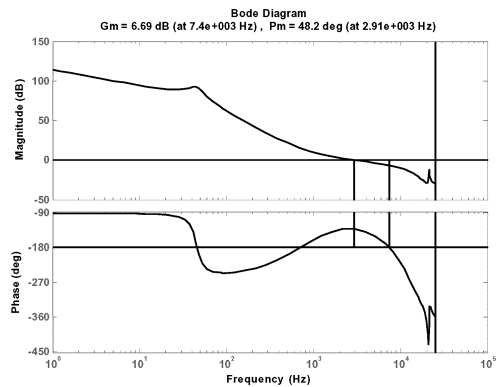


Fig. 4 Open loop bode plot of the NFR servo system

Table 1 Specification of the air gap controller

characteristic	Open loop gain	Gain margin	Phase margin	Sampling frequency
value	80 dB	5.92 dB	57.2 deg	50 KHz

근접장 영역에서는 목표로 하는 갭으로 액추에이터 헤드를 위치시키는 과정에서 overshoot 에 의한 디스크와의 충돌 위험성이 발생한다. 이를 피하기 위하여 mode switching servo 방식을 도입하게 된다.

Approach mode 에서는 액추에이터 헤드를 초기 위치에서 근접장 영역으로 접근시키는 단계로서 빠른 시간에 센싱가능한 영역으로 접근시켜야 한다. 이때의 반사광량은 근접장 영역으로 접근할 때까지 일정하게 되므로 open loop 로 근접장 영역인 100nm 까지 접근시킨다. Overshoot 에 의한 디스크와의 충돌을 피하기 위한 단계인 Hand-over mode 시에는 85nm 부터 일정한 속도로 설정된 목표 지점인 30nm 까지 접근시키게 된다. 마지막으로 gap servo mode 는 목표로 한 갭에서 그 위치를 안정적으로 유지하는 것이다. 반사광량에 따른 gap distance 를 기준으로 각 mode 를 switching 되는 모션도는 Figure 3 에서 보는 바와 같다.

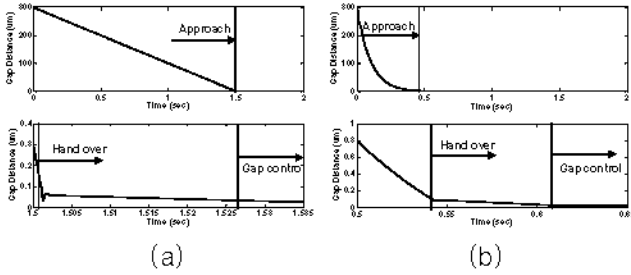


Fig. 5 Simulation results of the mode switching servo (a) ramp approach mode (b) exponential approach mode

3.2 Gap Servo System

본 실험에서 사용하는 플랜트는 액츄에이터와 I-V Converter 가 되는데 플랜트의 전달함수 식(1)과 같다.

$$G(s) = \frac{1.998e7}{s^2 + 63.37s + 7.833e4} \left[\frac{\mu m}{V} \right] \quad (1)$$

디스크의 회전속도가 1200 rpm (20Hz)일 때 디스크의 외반은 $\pm 15 \mu m$ 이고, 제어기 전체에서의 루프 게인 값은 Figure 2 을 테이블로 만들어 사용하게 되며, 갭서보의 오차범위는 $\pm 1nm$ 로 한다. 이러한 조건과 플랜트의 동특성을 바탕으로 제어기를 설계한다. 제어기의 전달함수는 식(1)과 같다.

$$C(s) = \frac{39.8s^3 + 7.428e5s^2 + 7.936e9s + 1.069e13}{s^3 + 9.574e4s^2 + 1.709e9s + 0.2859} \quad (2)$$

컨트롤러의 특징은 Figure 4 와 Table 1 에서 보는 바와 같이 sampling frequency 는 50 KHz 일 때, open loop gain 은 80 dB 이상, Gain margin 5.92 dB, Phase margin 57.2 degree 이다.

4. Experimental Results of NFR Servo

4.1 Simulated results of mode switching servo

기존의 approach mode 시에는 ramp 입력을 주어서 액츄에이터 헤드를 디스크에 접근시켜 hand-over mode, gap control mode 순서로 제어를 하게 되는데 이에 관한 문제점으로는 hand-over mode 로 변환될 때 액츄에이터의 초기속도는 approach 시의 속도를 그대로 가지고 있기 때문에 overshoot 이 발생을 하게 된다.

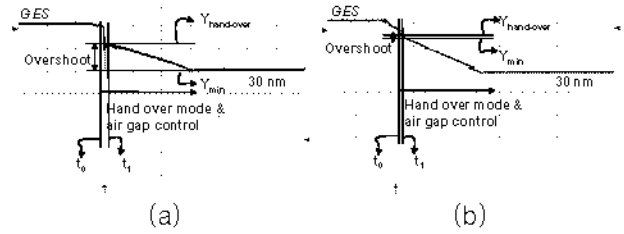


Fig. 6 Experimental results of the mode switching servo (a) ramp approach mode (b) exponential approach mode

따라서 SIL 과 디스크와 충돌이 발생할 수 있는 가능성이 증가하게 된다. 이에 반해 exponential 입력을 주게 되면 hand-over mode 로 변환 될 때 액츄에이터의 초기속도를 거의 0 으로 할 수가 있기 때문에 overshoot 에 의한 SIL 과 디스크와의 충돌 가능성을 줄일 수 있게 된다[5].

Figure 5 에서 보는 바와 같이 디스크를 회전시키지 않고 액츄에이터의 초기위치를 300 μm 로 하고 액츄에이터의 목표지점을 30 nm 로 하였을 때 (a)에서는 approach 속도를 200 m/sec 로 하여 ramp 입력을 주었고 (b)에서는 approach mode 의 입력을 exponential 함수를 이용하여 주었다. 이에 대한 결과로는 approach mode 시의 속도가 1 초 이상 빠르게 진행이 되었고, 또한 overshoot 이 현저하게 줄어든 시뮬레이션 결과와 mode switching servo 시의 시간이 빨라지는 것을 확인 할 수 있다.

4.2 Experimental results of mode switching servo

figure 6 을 보면 (a)에서 ramp approach mode 일 때와 (b)에서 exponential approach mode 일 때의 overshoot 의 실험결과를 알 수가 있다. 디스크를 회전 시키지 않았을 때 액츄에이터의 초기 위치를 300 μm 하고 액츄에이터 헤드의 목표지점을 30 nm 로 한다.

Overshoot 과 관련된 결과는 식(1)과 같다.

$$Overshoot = \frac{y_{hand-over} - y_{min}}{y_{hand-over}} \times 100 (\%) \quad (1)$$

; $y_{hand-over}$: 85 nm, y_{min} : overshoot 시의 갭

ramp approach mode 시의 overshoot 은 37.5 %이고 exponential approach mode 시에는 1.04%가 되었다.

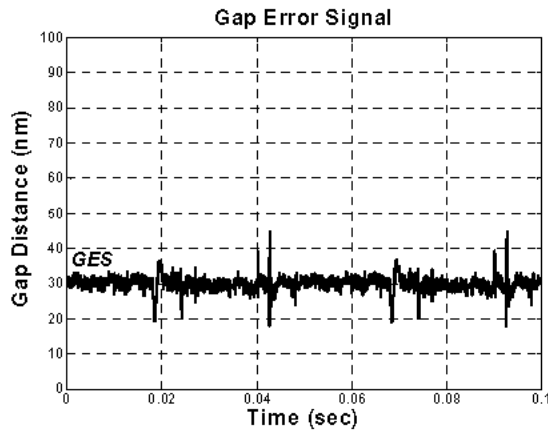


Fig. 7 Residual gap error signal of the developed air gap control

Table 2 Specification of the respective approach mode

characteristic	Overshoot (%)	Settling time (sec)
Ramp approach	37.5	1.53
Exponential approach	1.04	0.6

Settling time 과 관련된 결과는 식 (2)와 같다.

$$\text{Settling time} = t_0 - t_1 \text{ (s)} \quad (2)$$

; t0: mode switching servo 가 시작되는 시간

t1: mode switching servo 가 끝나는 시간

ramp approach mode 시의 settling time 은 1.53 초 이고 exponential approach mode 시에는 0.6 초가 되었다. Table 2 는 overshoot 과 settling time 을 비교한 것이다.

Figure 7 은 mode switching servo 후에 실리콘 디스크를 1200 rpm(20 Hz)으로 회전시켰을 때의 GES(gap error signal)이다. 표준편차로 봤을 때 GES 는 1σ가 1.5 nm 이다.

5. 결론

실제 NFR 디스크 드라이브의 제작 시에 고려하여야 할 점 중에서 두 가지가 바로 overshoot 에 의한 SIL 과 디스크와의 충돌을 방지하면서 데이터의 액세스 시간이 빠르게 하는 데에 있다. 본문에서는 디스크와 SIL 의 충돌 방지와 액세스 시간을 줄여 NFR 디스크 드라이브에 적용을 할 수 있는 가능성을 보았다.

후 기

The support of Yonsei Center for Opto-Mechatronics which is designated as a Specialization Project by Yonsei University, for this research is gratefully acknowledged.

참고문헌

- [1] I. Ichimura, S. Hayashi, G.S. Kino, 1997, "High-density optical recording using a solid immersion lens", Appl. Opt, Vol.36, issue.19, pp.4339-4348.
- [2] T. S. Song, H. D. Kwon, Y. J. Yoon, K. S. Jung, N. C. Park, Y. P. Park, 2003, "Aspherical Solid Immersion Lens of Integrated Optical Head for Near-Field Recording", Jpn. J. Appl. Phys. Vol.42, No.2B, pp.1082.
- [3] M. Shinoda, K. Saito, T. Ishimoto, T. Kondo, A. Nakaoki, N. Ide, M. Furuki, M. Takeda, Y. Akiyama, T. Shimouma, M. Yamamoto, 2005, Jpn. J. "High Density Near Field Optical Recording", Appl. Phys. Vol.44, No.5B, pp.3537-3541.
- [4] T. Ishimoto, K. Saito, M. Shinoda, T. Kondo, A. Nakaoki, M. Yamamoto, 2003, "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.5A, pp.2719-2724.
- [5] JI. Lee, M. van der AA, C. Verschuren, F. Zijp and M. van der Mark, 2005, "Development of an Air Gap Servo System for High Data Transfer Rate Near Field Optical Recording", Jpn. J. Appl. Phys. Vol.44, No.5B, pp.3423-3426.