

# 개구형 근접장 헤드장치의 간극제어를 위한 이중 서보 제어

## Dual servo control for aperture type near field storage head

이성규† · 김은경\* · 박강호\*

Sung-Q LEE · Eun-Kyung KIM · Kang-Ho PARK

**Key Words :** Dual servo(이중 서보), Aperture(개구), Active gap control(간극 능동 제어), Near-field(근접장)

### ABSTRACT

This paper presents active control of aperture type near-field storage head. In order to achieve fast and accurate control, dual servo control algorithm is applied. Based on the big difference in time constant, we separate two actuator and control independently. With the combination of fine and coarse actuator, gap is controlled within 100nm until the disk rotates upto 10 rpm speed. From the experimental results, the feasibility and performance of active gap control is proved.

### 기호설명

- Cc : Coarse actuator controller
- Cf : Fine actuator controller
- E(s) : Transfer function of fine actuator control input
- BW : bandwidth

### 1. 서론

빛의 회절한계를 넘어서 광으로 정보를 기록하는 근접장 광 정보저장 장치는 CD 나 DVD 를 넘어선 차세대 고밀도 정보저장 장치의 유망한 기술로 제시되고 있다 [1-2]. 파장 보다 작은 개구를 이용하여 정보를 저장하는 방식은 광섬유를 이용하는 방법보다도 광 헤드 장치의 집적화, 안정성, 효율측면에서의 우수함, 제어 속도 증가의 용이성으로 말미암아 더욱더 상용화의 가능성이 크다.

파장보다 작은 개구를 제작하여 미디어(시편)과의 간극을 100nm 이하의 근접장이 형성되는 거리안으로 정밀하게 제어하는 방식으로는 슬라이더 방식이 널리 이용되고 있다. 빠른 속도로 디스크를 돌릴 수 있으며 정보 전달 속도를 매우 빨리 할 수 있다. 그렇지만 광 투과율이 낮은 개구의 경우 재생은 빠를 수 있지만 기록을 하기엔 속도가 너무 빠른 것이 불리하게 작용하므로 디스크를 천천히 돌려야 하는데 이때 슬라이더를 정밀하게 부상 시키는 것은 쉽지 않은 일이다. 또한 슬라이더 방식은 슬라이더의 설계에 있어서 디스크가 회전할 때 회전반경이 달라짐에 따른 성능보정 등 슬라이더나 서스펜션의 설계만도 하나의 어려운

기술이며 개구를 슬라이더에 정밀하게 조립하는 것도 쉽지 않다. 또한 슬라이더의 기울어짐에 의해서 개구부가 미디어와 떨어질 수 있는 경우가 쉽게 발생할 수 있다 [3,4].

본 논문에서는 개구를 슬라이더를 이용하지 않고 구동기를 사용하여 능동적으로 간극을 제어하는 방식을 제안한다. Kimio [5] 등은 탐침형 정보저장 장치를 위해서 탐침을 CD 트랙킹/포커싱 구동기에 장착하여 능동제어의 가능성을 보였다. 디스크에 기록피트는 미디어에 기계적인 홈이 파져있는 ROM 을 읽는 것으로 캔틸레버가 디스크위에 있는 작은 피트까지도 함께 읽어야 하므로 정밀하게 제어되면서도 빨리 제어되어야 하였으므로 디스크 회전속도는 0.001~1.1rpm 으로 빠르지 않았다. 그러나 본 논문의 경우 디스크 위에 광학적인 정보를 읽게 되므로 디스크의 면은 편평해도 좋다 따라서 캔틸레버에 달려 있는 개구가 디스크를 기록/재생하기에 적당한 속도로 돌리면서 개구와 미디어 사이의 간극이 100nm 이하로 제어하면 된다. 원리는 일반적인 개구형 캔틸레버의 경우 원자현미경(AFM)과 비슷한 원리로 작동을 하게 된다. 차이점은 원자현미경의 경우 XY 스캐너를 사용하게 되며 스캐닝하는 면적이 좁기 때문에 시편(미디어)의 기울어짐과 편평도에 영향을 많이 받지 않고 이미지를 얻게 된다. 하지만 디스크를 돌리는 경우 원자현미경에서 사용하는 Z 방향 구동기는 그 응답속도는 빠르나 작동범위가 매우 작을 이유로 인해서 디스크의 기울어짐과 면 진동을 극복하기에는 충분하지 않다. 따라서 본 논문에서는 능동제어를 함과 동시에 이중 서보 제어를 하여 개구형 근접장 헤드 장치가 개구와 시편과의 거리

† ETRI

를 근접장이 형성되는 100nm 이하의 간격으로 유지하도록 하는 제어방법을 소개한다. 개구를 능동적으로 제어하는 방식은 개구가 직접 미디어에 닿기 때문에 그 간극만 제어된다면 근접장에 의한 정보의 기록/재생이 훨씬 용이하게 될 것으로 판단된다.

본 논문의 2 장에서는 이중 서보 제어 및 간극제어 구조를 기술하며 3 장에서는 전체 시스템 구성도 및 작동 방법에 대해 기술하며 4 장에서는 디스크를 회전하면서 간극이 제어되는 실험결과를 통해 능동제어방법에 대한 가능성 및 성능을 설명한다.

## 2. 이중 서보 제어

미디어를 디스크 형태로 만들어 헤드장치와 연결하면, 디스크가 한번 회전할 때 디스크의 면진동 및 기울어짐에 의해서 헤드가 미디어와의 간극을 일정하게 유지하기가 어려워진다. 본 논문에서는 디스크 표면 자체는 거칠기가 약 10nm 이하로 된 표면을 사용하여 디스크가 이상적으로 회전할 때 제어자체가 필요 없을 정도이다. 하지만 그림 1 과 같이 디스크가 움직일 때 디스크의 기울어짐과 면진동에 의해 디스크와 팁 사이의 간극을 100nm 이하로 제어하기 위해서는 팁과 디스크 사이의 힘(Atomic force)을 측정하면서 디스크의 기울어진 정도 또한 보상하면서 제어를 해야 한다.

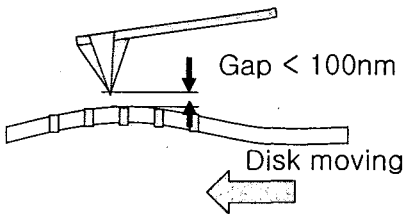


그림 1. 디스크 기울어짐과 와 개구 팁사이의 간극의 변화

따라서 개구 팁과 미디어 사이의 힘을 측정하여 일정한 접촉 힘을 갖도록 빠르게 제어하는 미세 구동기(Fine actuator)가 필요하게 된다. 본 시스템에서는 PZT 구동기로 구성을 하였으며 구동기의 대역폭(bandwidth)는 약 1kHz 정도이다. 디스크가 빨리 회전할 때 비록 디스크의 기울어짐이 없다 하더라도 100Hz 이상의 작은 형상들은 실제로 측정이 불가능하게 된다. 하지만 본 논문에서

는 광학신호로서 정보를 기록/재생하므로 형상을 정확하게 측정하지 않아도 문제가 없다. 개구 팁과 미디어 사이를 제어하는 미세 구동기는 그 작동범위가 약 10um 이므로 디스크가 기울어진 양이 10um 를 벗어나면 팁과 미디어 사이가 떨어지거나 혹은 팁이 너무 미디어를 파고들면서 부러지게 된다. 따라서 조동 구동기(Coarse actuator)가 필요하게 된다. 조동 구동기의 대역폭은 약 10Hz 정도이며 디스크가 60rpm 이상이 되면 위상 차가 크게 된다. 조동 구동기의 작동거리는 디스크가 기울어진 크기보다 약간 크면 되는데, 기계적인 조립 정도에 따라 다르므로 본 논문에서는 +/- 100um 의 작동범위를 갖는 조동 구동기를 구성하였다.

그림 2 는 이중 서보 제어 알고리즘에 대한 다이어그램이다. 그림에서 보듯이 본 시스템은 MISO 시스템이다.

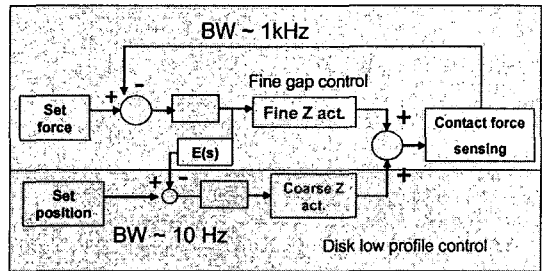


그림 2 이중 서보 제어알고리즘

두 개의 같은 방향으로의 구동기가 있으므로 입력은 두 개이나 출력은 하나로 접촉력이 된다. 하지만 두 구동기의 동역학적 특성의 차이가 100 배 정도이므로 각각의 구동기를 독립적으로 생각하여 제어를 구성하였다.

$$E(s) = \frac{a}{s+a}$$

여기서  $E(s) = \frac{a}{s+a}$  로 미세 구동기에서부터 오는 신호를 저주파 필터를 이용하여 그 민감도를 줄여 주었다. 저주파 필터를 사용하지 않을 경우 미세구동기와 조동 구동기 사이의 차이가 100 배 정도이므로 약 100Hz 근처의 주파수에서 불안정한 양상이 증폭되어 접촉력을 작게 유지하기가 힘들게 된다.

제어기는 PI 제어기를 사용하였다. 조동 구동기의 경우 1 차 시스템 동역학을 따르므로 적분 제어기 만으로도 좋은 성능을 보인다.

### 3. 시스템 구성

그림 3 과 같이 개구형 근접장 정보저장 헤드장치를 구성하였다. 디스크는 스피들 모터에 의해서 구동되며 개구형 팁은 일반 AFM 에서와 같이 레이저를 팁 끝에 비추어 반사되는 빛을 PD(Photo diode)를 이용해서 받아 팁이 휘는 양에 따른 미디어와의 간극 정보인 접촉력을 측정하여 팁을 구동하는 미세 구동기에 의해서 제어가 된다.

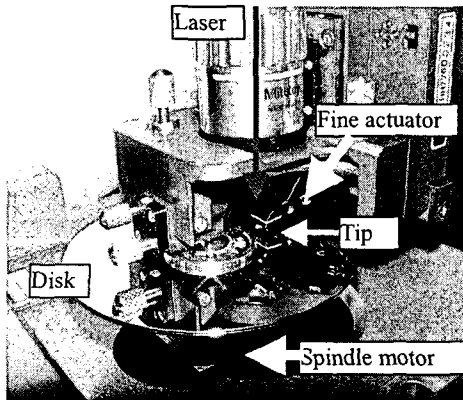


그림 3. 개구형 근접장 정보저장 헤드 장치

근접장 기록/재생용 레이저는 위에서부터 렌즈를 통해서 팁 끝단에 초점이 맞추어져 가해지게 된다. 하지만 본 실험에서는 간극제어의 성능을 보는 것이므로 근접장 기록/재생용 레이저는 사용하지 않고 팁과 미디어의 간극을 제어하는 것에 대한 내용만을 언급하기로 한다.

이해를 돕기 위해서 그림 4 의 개념도를 살펴 보면, 실제로 디스크가 기울어져 있으므로 광학적인 정렬이 틀어지지 않게 하기 위해서 아래쪽에 있는 Z 방향 조동 구동기를 통해서 디스크가 팁에서 일정한 높이에 평균적으로 있도록 제어를 하게 된다.

스핀들 모터는 속도가 최대 80RPM ~ 0.01RMP 까지 조정이 가능하다. 선 속도로 환산할 경우 60RPM 의 경우 디스크 지름이 30mm 이므로 90.42mm/sec 가 된다. 만약 기록 마크가 90nm 라 가정할 경우 약 1Mbps 의 데이터 전송속도를 갖게 된다.

광학적인 신호를 얻기 위해서는 본 시스템은 투과모드로 광학신호를 얻게 되는데 그 개념도는 그림 4 와 같지만 본 논문은 간극제어가 100nm 이하로 된다면 쉽게 얻어지리라 예상된다.

조동 구동기 제어는 Labview 를 기반으로 하는

프로그램을 통해서 디지털 제어를 수행하고 있으며 sampling rate 는 10msec 이다.

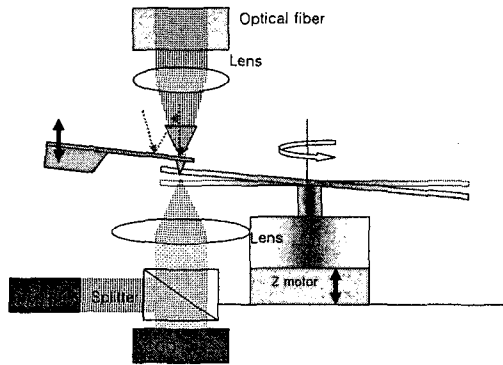


그림 4. 개구형 근접장 정보저장 헤드 장치의 개념도

작동순서는 먼저 팁을 미디어에 접근시킨 후에 팁을 제어하는 미세 구동기의 총 구동 범위에서 중간이 될 때까지 접근과정을 밟게 된다. 그 이후에 조동 구동기 제어를 시작하고 디스크를 돌리면서 간극을 최종적으로 제어하게 된다.

### 4. 실험결과

스핀들 모터를 통해 디스크를 정지 상태에서부터 각각 2.5rpm, 5rpm, 10rpm, 20 rpm, 40rpm 으로 구동시켜 본다. 본 실험장치에서 디스크의 지름이 30mm 이므로 2.5rpm 의 경우 선속도로 환산하면 3.925mm/sec 된다. 그림 5 에서는 각각의 디스크 회전속도에 따른 미세 구동기와 조동구동기의 변위를 나내고 있다. 디스크가 정지해있을 때에는 두 구동기 모두 정지상태에 있게 된다. 물론 주변의 진동 외란에 대한 제어를 하고 있는 상황으로 미세 구동기는 미소한 양으로 움직이고 있게 된다.

디스크가 회전하기 시작하면, 그 속도가 증가됨에 따라 각각의 구동기의 변위는 커지는 방향으로 된다. 결국 1.5 초 동안에 1 회전하는 (f)의 경우 최대 크기가 되고 더 빠른 회전을 하는 경우 조동구동기의 변위는 변화가 없지만 제어기의 위상 지연에 의해서 미세 구동기의 변위가 점점 커지게 된다. 이는 이중 서보 제어에서 조동 구동기의 제어 게인을 증가시키면 약간은 줄일 수 있으나 팁과 미디어 사이의 간극 오차가 커지므로 바람직하지 않게 된다.

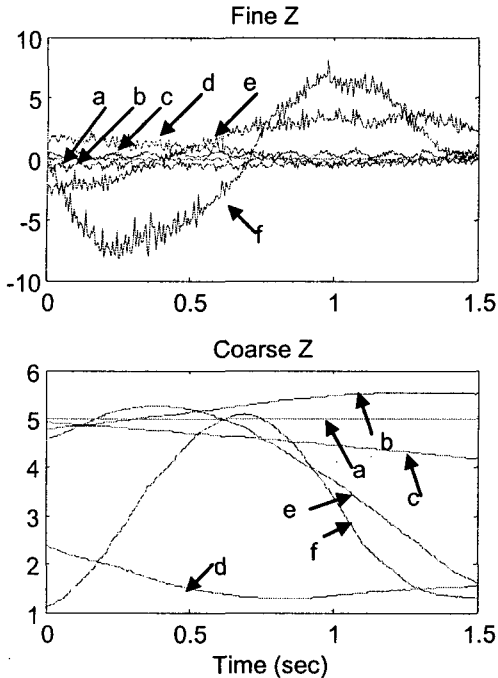


그림 5 디스크가 회전할 때 미세구동기와 조동 구동기의 변화: 각각 (a)정지, (b)2.5rpm, (c)5 rpm, (d)10rpm (e)20 rpm, (f) 40 rpm 임.

오른쪽 그림 6 은 각각의 디스크 회전 속도에 따른 팁과 미디어 사이의 오차에 대한 실험결과이다. 정지상태에서의 오차가 약 0.5V 로 환산하면 약 25nm 정도이다. 그러므로 실험결과에서 알 수 있듯이 10rpm 이상의 속도가 되면 100nm 이상의 오차를 갖게 되므로 근접장 영역을 벗어나서 제어가 된다고 볼 수 있다. 물론 회전속도가 빠른 경우에도 팁이 부러지지 않는지만 팁 끝이 손상될 것이다. 10rpm 을 환산하면 약 15.7mm/sec 의 선속도가 된다.

## 5. 결론

본 논문에서는 능동제어 방법을 이용하여 개구형 근접장 헤드가 미디어 표면과 100nm 이하의 간격을 유지하면서 제어되는 방법을 소개하였다. 이제까지의 슬라이더를 사용하는 법에 비해서 정확하게 팁과 미디어 사이를 제어할 수 있으며 이중 서보 제어를 통해서 15.7mm/sec 정도의 실험 결과를 얻었다. 추후에는 더욱더 높은 속도를 가지고 실제 개구를 통해서 광학적인 신호를 얻는 것을 하고자 한다.

## 후 기

본 논문은 산업자원부 신기술 융합사업 나노 광정보저장 기술개발 과제로 진행되었음

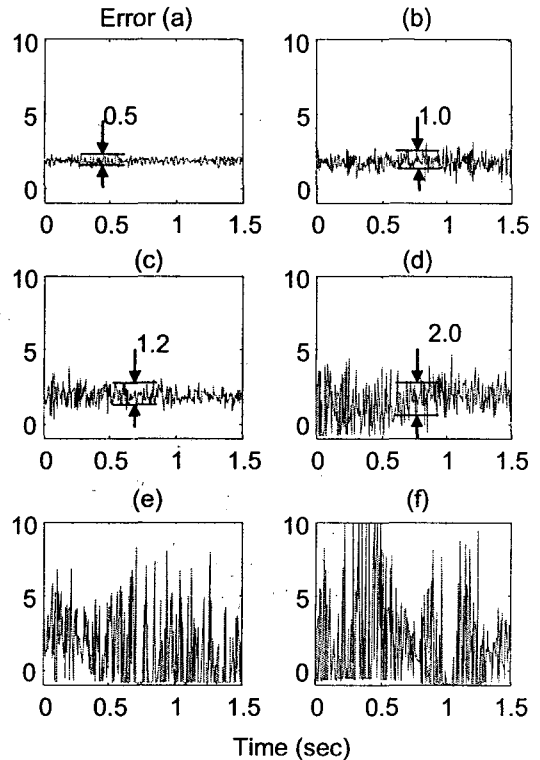


그림 6 디스크가 회전할 때 팁과 미디어 사이의 간극오차: 각각 (a)정지, (b)2.5rpm, (c)5 rpm, (d)10rpm (e)20 rpm , (f) 40 rpm 임.

## 참 고 문 헌

- (1) E. Betzig, J. K. Trautman, R. Wolfe, E. M. Gyorgy, P. L. Finn, M.H. Kryder and C.H. Cahang, 1992, "Near-field magneto-optic and high density data storage", Appl. Phys. Lett. Vol. 61, pp.142-144
- (2) B. D. Terris, H. J. Mamin, and D. Rugar, 1996, "Near-field optical data storage", Appl. Phys. Lett. Vol.68, pp.141-143
- (3) Makakzu Kirata, Manabu Oumi, Kunio Nakajima and Toshifumi Ohkubo, 2005, "Near field optical flying head with protruding aperture and its fabrication", JJAP, Vol. 44, No. 5b, pp. 3519-3523.
- (4) T. Ohkubo, K. Tanaka, T. Hirota, K. Itao, T. Niw, H. Maeda, Y. Shinohara, Y. Mitsuoaka, K. Nakajima, 2002, "Readout signal evaluation of optical flying head slider with visible light-wave guide flexure", Microsystem technologies, Vol. 8, pp. 212-219
- (5) Kimio Nakamura, Jajime Koyanagi and Sumio Hosaka, 1998, "Narrow pitch tracking using optical head for recording with AFM", JJAP, Vol. 37, pp. 2271-2273.