

# Optical head를 고려한 slider와 plastic disk의 interface에 대한 연구

박진무, 정구현, 김대은\*

연세대학교 대학원

\*연세대학교 기계전자공학부

## Investigation of Interface between Slider and Plastic Disk for Optical Head

Jin-Mu Park, Koo-Hyun Chung, Dae-Eun Kim\*

Graduate school of Yonsei Univ.

\*Department of Mechanical & Electrical Eng., Yonsei Univ.

**Abstract** - Near-field recording (NFR), advanced optical storage technology, relies on maintaining a small gap between the optical head and the media. This can be accomplished by utilizing the flying optical head concept as in the magnetic recording. In this research, slider/suspension system and plastic disk are tested for their head/disk interface performance. CSS tests are conducted to monitor the frictional and flying characteristics of sliders.

**Key words** - head/disk interface (HDI), near-field recording (NFR), optical head

### 1. 서 론

Near-field recording (NFR)은 근접장 광학 이론 (near-field optics)을 바탕으로 근접광을 이용함으로써, 기존 광기록 기술이 가지는 회절한계를 극복하여, pit size의 감소를 통하여 저장밀도 (areal density)를 획기적으로 증가시킬 수 있는 정보저장 기술이다[1]. 현재까지 차세대 고밀도 광기록 기술인 NFR을 실현하기 위하여 confocal microscopy, solid immersion lens (SIL) microscopy, scanning interferometric apertureless microscope (SIAM), near-field scanning optical microscopy (NSOM), superresolution near-field structure (super-RENS)와 같은 기술이 제안되고 있다[2,3].

B. D. Terris등은 magnetic recording에서 사용되고 있는 air-bearing slider를 이용하는 것을 제안하였는데[1], 이를 통해서 빠른 data rate를 가지면서 optical head와 disk media와의 interface를 안정적으로 유지할 수 있다. 근접장광은 물체 표면의 매우 가까운 곳에서 존재하고 head/media의 거리에 따라서 intensity나 signal amplitude가 크게 변하므로 [4], optical head와 media의 gap을 유지하는 것이 매우 중요하다. 따라서, 현재 수십 nm의 부상높이를 안정적으로 실현하고 있는 air-bearing surface (ABS)기술은 NFR의 실현을 위하여 필수적이다. 그러나, optical head는 magnetic head보다 크고 무거우며 손상되기 쉽기 때문에, 이를 고려한 새로운 ABS 설계가 필요하며, slider는 100 nm 정도의 부상높이를 가져야 하는 것으로 제안되고 있

다[5].

한편으로, 현재의 광기록 방식에서는 생산성 및 비용의 측면에서 유리한 plastic substrate를 사용하고 있으며 차세대의 광기록 기술인 NFR에서도 plastic media의 사용이 요구되고 있다. 그러나 plastic substrate는 aluminum이나 glass substrate에 비하여 강성이 작고 flatness가 크기 때문에 optical head를 장착한 slider의 안정적인 부상을 위해서는 ABS 설계와 더불어서 plastic substrate의 성능향상에 대한 연구도 요구된다.

본 연구에서는 이러한 NFR을 위하여 필수적인 head/disk interface 기술을 구현하기 위한 기초적인 연구를 수행하였다. 기존의 magnetic recording slider/suspension system을 이용하여, optical head 장착에 따른 영향을 간접적으로 파악하고 plastic substrate 사용에 따른 slider의 부상특성 변화 및 작동 조건의 영향 등을 파악하였다.

## 2. 실험 방법

### 2.1 실험장치 및 시편

모든 실험은 class 100의 청정 환경에서 진행되었다. 그리고 CSS 실험을 위한 실험장치는 spindle motor와 motor driver, disk고정구, slider/suspension 및 고정 arm, 그리고 AE/friction sensor와 signal pre-amp로 이루어져 있으며 Fig. 1에 실험장치를 나타내었다.

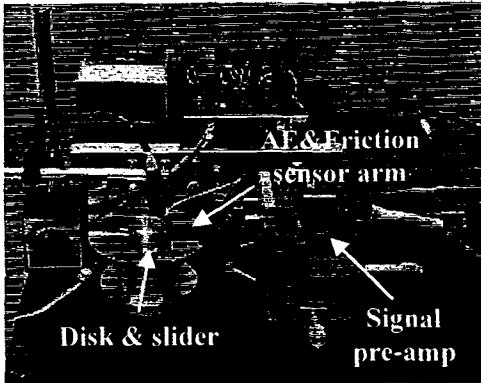


Fig. 1. Experimental setup

Slider의 부상특성을 확인하기 위해서, 200 kHz에서 1200 kHz 주파수 대역의 AE 신호, 그리고  $2 \mu\text{m}/\text{gram}$ 의 민감도를 갖는 load beam에 반도체 strain gage를 부착하여 friction을 측정할 수 있는 sensor arm을 사용하였다.

실험에 사용된 slider는 70% micro slider로서, 치수는  $4 \times 3 \times 0.8 \text{ mm}$ 이고 slider의 재료는 TiC/alumina이며 ABS 형상은 2 rail로 되어있다. Suspension은 micro slider을 위해 설계된 것으로 slider가 disk면에 완전히 접촉하기 시작할 때 4 gf의 load가 가해지고 suspension이 disk와 평행하게 놓여지면 7 gf의 load를 가하게 된다.

Disk는 aluminum disk와 plastic disk의 두 가지이며, 각각 HDD와 CD-ROM drive에 쓰이는 disk를 사용하였다. Aluminum disk의 표면에는 DLC 코팅이 되어있으며 2 nm 두께로 윤활층이 존재한다. Plastic disk의 구조는 polycarbonate (PC)가 재료인 기판(substrate), 기록층, 반사층, 보호층으로 되어있으며, 기판의 두께는 1.2 mm, 보호층 (0.1 mm)을 제외한 다른 층들의 두께는 수백 nm이다. 실험시에 slider는 PC 기판 위에서 부상하게 된다. 아래의 Table 1에는 두 disk의 형상 치수 및 특성을 나타내었다.

### 2.2 실험방법 및 조건

Aluminum disk의 경우에는, 다른 실험 결과의 평가기준으로 하기 위해서, HDD의

Table 1. Aluminum disk and plastic disk

Disk	Aluminum	Plastic
Outer Radius	45.0 mm	60.0 mm
Inner Radius	16.0 mm	7.5 mm
Thickness	0.8 mm	1.2 mm
Young's Modulus	72 GPa	2.5 GPa
Flatness	$\sim 1 \mu\text{m}$	$\sim 5 \mu\text{m}$
Roughness (Ra)	3 nm	9 nm

작동조건인 landing zone (R 24 mm)에서 정속 4500 rpm (12 m/s), preload 7 gf의 조건으로 실험하였다.

그리고, optical head는 매우 작은 lens로서, 무게는 수십 ~ 수백 mg정도이므로 slider에 비해서 무겁다. 따라서, optical head를 slider에 장착하게 되면 증가된 질량에 의해서 slider의 부상특성 및 동특성이 변하게 될 것이다. 이와 같은 slider의 특성변화를 확인하기 위해서 optical head의 무게를 고려하여 0.3 g의 extra mass를 부착한 slider로 aluminum disk의 landing zone에서 CSS 실험을 수행하였다.

Plastic disk로 실험할 경우에는, 기판의 재료인 PC가 금속인 aluminum에 비해 Young's modulus가 매우 작고 유연한 재료이므로, 반경방향의 위치에 따라 강성이 달라지게 된다. 이는 CSS 실험 시의 slider의 부상특성에 직접적인 영향을 주게 될 것으로 생각된다. 따라서 반경방향에 따른 CSS 실험결과를 확인하기 위해서 plastic disk의 가장 안쪽과 바깥쪽인 25, 55 mm의 두 위치에서 실험하였다.

Extra mass slider 실험과 plastic disk의 실험에서 preload는 4, 7 gf의 두가지, disk의 회전속도는 1500, 3600, 4500 rpm 세가지로 하여 이들 조건의 조합에 따라서 실험을 진행하였다. 이 때, slider의 skew angle은 0° 가 되도록 유지하였다. 특히 plastic disk에서는 위치에 바뀌춤으로써 4 ~ 26 m/s의 선속도를 갖게 된다. 이들 실험 parameter와 실험조건은 Table 2에 정리하였다.

### 3. 실험 결과 및 고찰

#### 3-1. Aluminum disk에서의 CSS 실험

70% micro slider를 사용하여 4500 rpm, R 24 mm (landing zone)에서 preload 7 gf일 때, Fig. 2와 같은 전형적인 AE, 마찰력 신호를 관찰할 수 있다. CSS cycle은 가속 3초, 정속 3초, 감속 3초, 정지 1초로 정하였다.

Table 2. Experiment conditions

Parameters	Conditions		
Preload	4 gf	7 gf	
Radial position	25 mm	55 mm	
Rotation speed	1500 rpm	3600 rpm	4500 rpm

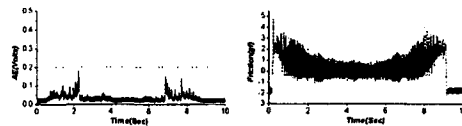


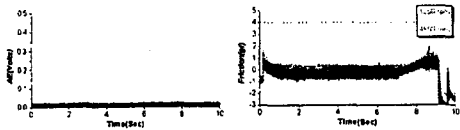
Fig. 2. Typical AE and friction signal of aluminum disk

CSS 실험 시에 정속에 도달할 때까지 slider는 pitching, rolling 등의 운동을 하므로 위의 Fig. 2에서처럼 가속하는 동안에는 AE peak가 나타난다. 그리고, 어느정도의 시간이 지나면 AE peak는 더 이상 나타나지 않게 되고 마찰력도 평균적으로 0 gf에 도달하게 된다. 이 때의 속도를 TOV (take off velocity)라고 하며 slider의 부상 시점을 의미한다[6]. Aluminum disk의 CSS 실험에서는 가속시작 후 TOV에 도달하는데 약 2초가 걸리는 것을 확인하였다.

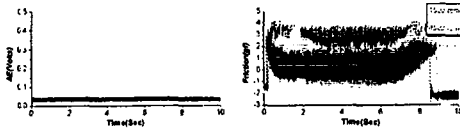
#### 3-2. Optical head를 고려한 slider의 CSS 실험

본 실험에서는, optical head를 고려하여 0.3 g의 물체를 탑재한 slider를 가지고 실험을 진행하였다. Disk는 aluminum disk를 사용하였으며 R 24 mm (landing zone)의 위치, 4, 7 gf의 preload와 1500, 3600, 4500 rpm의 회전속도에 대해서 실험하였다. 이 때 CSS cycle은 가속 3초, 정속 3초, 감속 3초, 정지 1초로 정하였다.

Fig. 3에는 1500, 3600, 4500 rpm에서의 AE, 마찰력 신호를 나타내었다. 그리고 Fig. 4에는 slider의 부상안정성을 판단하기 위해서 정속구간의 마찰력의 평균값과 표준편차를 나타내었다.

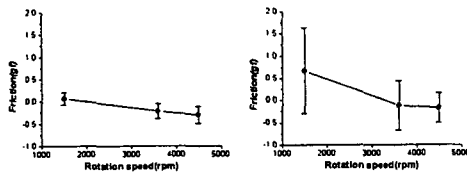


(a) Preload 4 gf



(b) Preload 7 gf

Fig. 3. AE and friction signals of slider with extra mass w.r.t 4 and 7 gf preload



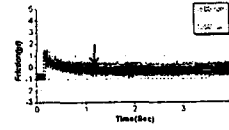
(a) Preload 4 gf (b) Preload 7 gf

Fig. 4. Friction signals of slider w.r.t 4 and 7 gf preload during flying

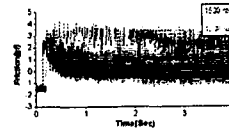
Fig. 3에서 preload가 4 gf일 때의 extra mass slider의 AE, 마찰력 신호를 보면, AE는 큰 변화가 없으며 마찰력은 회전속도에 상관없이 거의 비슷한 형상을 확인할 수 있다. 또한 Fig. 4(a)를 볼 때, 마찰력의 평균값과 분포도 비슷한 수준을 유지하고 있다. 이는 preload가 감소하여 air-bearing이 쉽게 형성 되기 때문으로 생각된다.

그러나 preload가 7 gf일 때는 Fig. 3(b), Fig. 4(b)에서 나타난 것처럼 속도가 감소하면, 4 gf의 preload일 때에 비해서 마찰력의 평균값과 편차가 더 크다. 따라서 slider에 extra mass를 설치한 경우에는 preload 7 gf에서 slider의 부상은 불안정하다고 판단할 수 있다. 특히, 1500 rpm의 경우에는 air-bearing이 형성되지 않고 slider와 disk가 계속 접촉하고 있는 것으로 생각된다.

Fig. 5는 4, 7 gf의 preload일 때 disk 회전 속도에 따른 TOV의 변화를 나타낸 것이다. Preload 4 gf일 때는 모든 회전속도에서 가속



(a) Preload 4 gf



(b) Preload 7 gf

Fig. 5. TOV point w.r.t disk speed

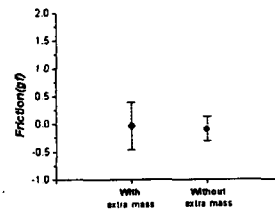


Fig. 6. Friction signal of slider with and without extra mass

시작 후 약 1초가 지나면 마찰력이 정상상태에 도달한다. Preload 7 gf일 때는, slider가 부상하지 못하는 1500 rpm을 제외하고, 3600 rpm일 때는 약 2.5초, 4500 rpm일 때는 약 2초 후에 마찰력이 정상 상태에 이른 것을 확인하였다.

결과적으로, 같은 preload를 가할 때, extra mass가 없는 경우와 비교하면, extra mass가 있는 경우 slider의 부상특성은 불안정해진다. 그러나 preload를 줄여주면 slider에 가해주는 힘보다 ABS에서 형성된 압력이 충분히 커지므로 slider를 안정하게 부상시킬 수 있는 것으로 생각된다.

또한 preload 7 gf, 4500 rpm의 조건에서의 결과를 일반 slider의 결과와 비교해 보면, Fig. 6에 나타난 것처럼 extra mass가 있는 경우는 일반 slider보다 마찰력의 표준편차가 더 크다. 따라서 optical head를 장착하게 되면 slider는 부상 특성이 불안정하게 변할 것으로 예측할 수 있으며, 이를 고려하여 Air-Bearing stiffness를 향상시켜야 한다.

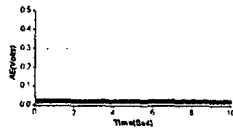


Fig. 7. Typical AE signal of plastic disk

### 3.3 Plastic disk에서의 CSS 실험

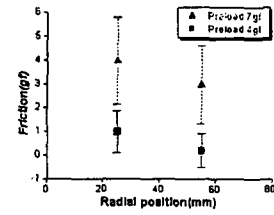
Plastic disk에 대한 실험에서는 반경방향의 위치, 회전속도, preload을 변화시키면서 CSS 실험을 수행하였다. 각각의 실험조건에 따라서 plastic disk에서 CSS 실험을 하였을 때 AE는 모든 경우에 Fig. 7과 같이 신호의 변화가 없는 동일한 결과를 나타내었다.

반경방향의 위치에 따라서, plastic disk의 강성이 다르므로 CSS 실험 시에 이것이 어떤 영향을 미치는가를 알아보기 위해서, 정속구간에서의 마찰력에 대한 평균값과 표준편차를 Fig. 8과 같이 나타내었다. 또한 preload의 영향과 회전속도의 영향도 함께 고려하였다.

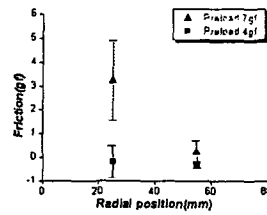
우선, 동일한 preload일 때는 회전속도가 증가하면, Fig. 8.(a), (b), (c)를 함께 볼 때 알 수 있듯이, 마찰력의 분포가 감소한다. 반대로 같은 회전속도일 때는, 각각의 그림에서 보이는 것처럼, preload가 증가하면 마찰력의 평균값과 표준편차 모두 증가하였다.

Preload 7 gf의 조건에서는 4500 rpm, R 55 mm (26 m/s)와 3600 rpm, R 55 mm (21 m/s)일 때를 제외하면 정속구간에서의 마찰력의 평균값은 0 gf보다 더 큰 값을 보이고 있고 마찰력의 분포도 넓으므로 slider는 불안정한 거동을 하면서 부상하지 못하는 것으로 생각된다. 상대적으로 preload가 4 gf일 때는, 평균마찰력이 약 1 gf인, 1500 rpm, R 25 mm (4 m/s)의 조건을 제외하고는 평균마찰력이 대략 0 gf로 나타났다.

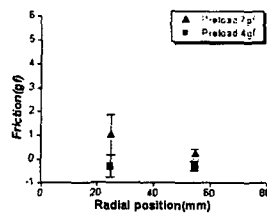
Fig. 9는 선속도는 9 m/s로 동일하면서 반경방향의 위치가 다를 때의 마찰력을 보여주는 것이다. 이 경우는 위치에 상관없이 선속도가 동일하므로 ABS의 효과는 유사하게 나타날 것으로 예상할 수 있으며, 실제로 Fig. 9에서 preload가 다른 경우에도 위치에



(a) 1500 rpm



(b) 3600 rpm



(c) 4500 rpm

Fig. 8. Friction signal w.r.t radial position and preload during flying

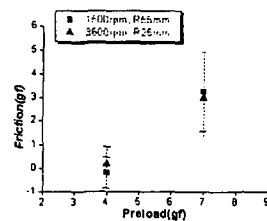
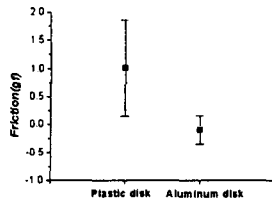


Fig. 9. Friction signal at 9 m/s linear velocity

무관하게 마찰력의 분포는 거의 비슷하다.

Fig. 10은 실제 slider가 작동하도록 설계된 조건인 preload 7 gf, 4500 rpm, R 25 mm에서 plastic disk와 aluminum disk에 대하여 정속구간에서의 마찰력 평균값과 표준편차를 비교한 결과이다. Fig. 10에서의 결과를 볼 때, plastic disk의 경우는 slider의 불안정한 거동을 유발한다. 이는 plastic disk의 flatness가 크고 Young's modulus가 작기 때문으로



**Fig. 10. Friction signal of plastic disk and aluminum disk**

생각되며 안정적인 부상을 위해서는 air-bearing stiffness를 증가시켜야할 것으로 생각된다.

#### 4. 결 론

Optical head를 고려한 slider와 plastic disk의 interface 특성을 분석하기 위한 실험을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. Optical head 장착에 따라 slider의 거동은 불안정해지며, slider가 부상할 때 마찰력의 특성이 달라졌다.
2. Plastic disk의 CSS 실험 결과, disk의 flatness와 강성의 영향으로 인해 aluminum disk에 비해 slider의 부상특성이 나빠진 것을 알 수 있다.
3. Optical head를 설치하거나 plastic disk를 사용하였을 때, 원래의 설계보다 preload를 낮추어 주면 slider의 부상은 안정해졌다.

위의 결과를 종합해 볼 때, optical head를 고려한 slider가 plastic disk에서 안정적으로 부상을 하기 위해서 slider의 air-bearing의 stiffness를 증가시키도록 ABS를 설계해야 한다.

#### 후 기

이 연구는 차세대 대용량 정보저장장치 개발 사업, 한국과학재단 지정 정보저장장치 연구센터(과제번호:2000-G-0201)의 지원으로 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께

감사드립니다.

#### 참고문헌

- [1] B. D. Terris, H. J. Mamin, and D. Rugar, "Near-Field Optical Data Storage", Applied Physics Letters, Vol.68, No.2, pp.141-143, 1996
- [2] A. Partovi, D. Peale, M. Wuttig, C. A. Murray, G. Zydzik, L. Hopkins, K. Baldwin, W. S. Hobson, J. Wynn, J. Lopata, L. Dhar, R. Chichester, and J. H-J Yeh, "High-Power Laser Light Source for Near-Field Optics and Its Application to High-Density Optical Data Storage", Applied Physics Letters, Vol.75, No.11, pp.1515-1517, 1999
- [3] J. Tominaga, H. Fuji, A. Sato, T. Nakano, and N. Atoda, "The Characteristics and the Potential of Super Resolution Near-Field Structure", Japanese Journal of Applied Physics, Vol.39, Part 1, No.2B, pp.957-961, 2000
- [4] K. Saito, A. Nakaoki and M. Kaneko, "A Simulation of Magneto-Optical Signals in Near-Field Recording", Japanese Journal of Applied Physics, Vol.38, pp.6743-6749, 1999
- [5] A. Chekanov, M. Birukawa, Y. Itoh, and T. Suzuki, "Contact Solid Immersion Lens Near-Field Optical Recording in Magneto-Optical TbFeCo Media", Journal of Applied Physics, Vol.85, No.8, pp.5324-5326, 1999
- [6] S. M. Forehand and B. Bhushan, "In Situ Studies of Wear Mechanisms in Magnetic Thin-Film Disks", Tribology Transactions, Vol.40, pp.549-558, 1997