

마이크로 액추에이터를 장착한 슬라이더의 부상특성 연구

문재택*, 정구현*, 김대은**, 전종업***

Investigation of Flying Characteristics of Slider with Micro-actuator

Jae Taek Moon*, Koo Hyun Chung*, Dae Eun Kim**, and Jong Up Jeon***

ABSTRACT

As the track density of hard disk drives increases, there is a need for more precise actuation of the head. This can be accomplished by using a high band width micro-actuator. In this work, the flying characteristics of sliders with micro-actuators are investigated with the aim to optimize the head/disk interface performance of such sliders. Contact-start-stop, sweep, and flying height tests are performed and analyzed. The results show that the MEMS based micro-actuator mounted on a slider possess acceptable flying characteristics.

Key Words : Flying height(부상 높이), Head/Disk Interface(헤드/디스크 인터페이스), Micro actuator(마이크로 액추에이터), Slider(슬라이더)

1. 서론

하드디스크의 면기록밀도는 매년 60%씩 증가하고 있으며, 18개월마다 가격은 유지되면서 저장용량은 2배로 증가하고 있다. 이러한 추세대로라면, 상용화된 하드디스크의 면기록밀도는 2004년에 40 Gb/in²에 이르고 반경 방향의 트랙밀도는 50,000 TPI(tracks per inch)에 이를 전망이다.^[1]

하드디스크의 저장 밀도는 원주방향 밀도(BPI, bit-per-inch)와 반경방향 밀도(TPI, track-per -inch)의 곱으로 나타난다. BPI는 헤드와 디스크간의 간격을 줄이거나 헤드의 민감도를 향상시켜서 증가시킬 수 있고, TPI는 서보 시스템의 정밀한 제어를 통해 증가시킬 수 있다. 그런데 현재의 하드디스크에서는 TPI가 BPI의 10% 정도밖에 안되기 때문에 서보 시

스템의 위치 결정 정밀도를 높여 TPI를 향상시키면 저장밀도를 크게 높일 수 있다^[2]. 따라서 하드디스크의 저장밀도를 높이기 위해서 기존의 서보 액추에이터의 한계를 극복하고 높은 위치 정밀도를 얻을 수 있는 이단 액추에이터(dual actuator)의 필요성이 제기되고 있다. 이러한 이단 액추에이터의 하나로써, 슬라이더와 서스펜션 사이에 마이크로 액추에이터를 장착하여 기존의 VCM과 장착된 마이크로 액추에이터를 연계제어함으로써 헤드의 트랙 방향 위치결정 정도를 높이고자 하는 슬라이더 구동형 마이크로 액추에이터에 관한 연구가 진행되고 있다.^[3-5]

본 연구에서는 슬라이더 구동형 마이크로 액추에이터가 장착된 슬라이더의 헤드/디스크 인터페이스 특성을 CSS(Contact-Start-Stop)와 스위프(sweep) 실험, 부상 높이 측정을 통해 알아보하고자 한다.

1997 2001년 3월 2일 접수

* 연세대학교 대학원 기계공학과

** 연세대학교 기계전자공학부

*** 삼성종합기술원

2. 실험 방법

2.1 실험 장치

CSS(Contact-Start-Stop) 실험과 스윙실험에는 Fig. 1(a)와 같은 상용화된 CSS 테스터가 사용되었다. 하드디스크의 헤드와 디스크 사이의 간격은 수십 나노미터에 불과해서 작은 충격에도 영향을 받기 때문에 실험 장비는 방진 테이블 위에 설치하였으며, 클래스 100의 청정 환경을 유지시켰다.

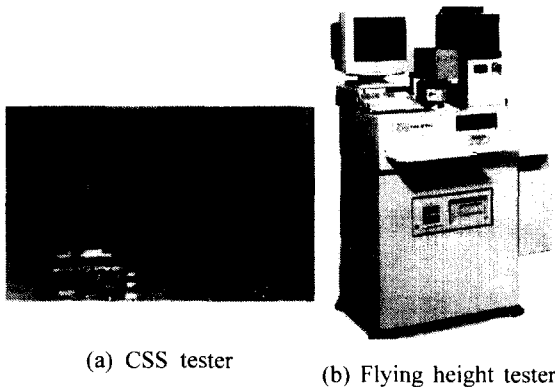
마찰력은 민감도가 $2 \mu\text{m/g}$ 인 로드빔에 설치된 스트레인 게이지를 이용하여 측정하며, 하드디스크에서 발생하는 탄성파는 로드빔 윗면에 설치된 AE 센서를 이용하여 감지한다. 그리고 슬라이더의 부상높이는 Fig. 1(b)와 같은 부상높이 측정기(flying height tester)를 사용하여 측정한다.

2.2 실험 시편

실험에 사용된 마이크로 액추에이터는 두께 $45 \mu\text{m}$ 의 얇은 실리콘 구조물로 유리기판(glass substrate)위에 형성되어 있다. Fig. 2와 같은 직사각형 형태로써 그 크기는 $3.8 \text{ mm} \times 2.5 \text{ mm} \times 0.445 \text{ mm}$ 이고 질량은 7.2 mg 이다.

마이크로 액추에이터의 중앙에 부착된 슬라이더(Fig. 2 중앙)는 $1 \text{ mm} \times 1.2 \text{ mm}$ 크기의 피코 슬라이더이며 두께는 $300 \mu\text{m}$ 이고 질량은 1.8 mg 이며 슬라이더에 가해지는 하중(preload)은 3 gf 이다.

실험에 사용된 디스크 미디어는 LZT(Laser Zone Texture) 디스크의 일종이다. Fig. 3에 나타난 바와 같이 레이저 범프(laser bump)의 형태는 'W' 형이고, 범프의 높이는 17 nm 이며 지름은 $9.5 \mu\text{m}$ 이다.



(a) CSS tester

(b) Flying height tester

Fig. 1 Experimental apparatus

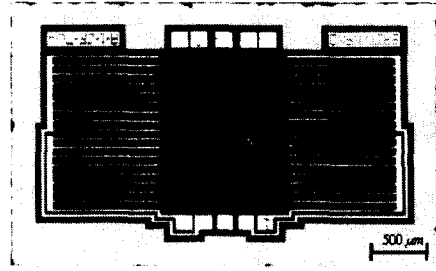


Fig. 2 Optical image of micro actuator and slider assembly

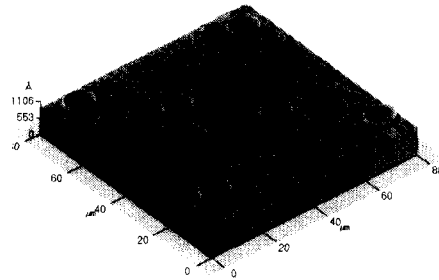


Fig. 3 AFM image of disk bumps

2.3 실험 방법

마이크로 액추에이터를 장착한 피코 슬라이더와, 액추에이터가 없는 동일한 피코 슬라이더에 대해 각각 실험을 수행하였다. 금번 실험에 사용된 시편은 기존의 것과는 달리, 슬라이더와 짐벌(gimbal) 사이에 커다란 액추에이터가 장착되어 있기 때문에, 먼저 기본적인 부상 특성을 확인하기 위해 CSS 실험을 실시하였다. CSS 실험조건은 가속 3초, 정속 3초, 감속 3초, 정지 1초로 하였으며, 정속은 5400 rpm 으로 설정하였다. 실험을 수행하면서 측정된 마찰(friction) 신호와 AE-rms 신호는 실험장치에 연결된 컴퓨터에 온라인으로 저장하였다.

스윙실험은 탐색(seeking) 동작의 영향을 조사하는 것이다. 일반적으로 헤드/슬라이더가 디스크 데이터존에서 장시간 부상하면 슬라이더 표면에 윤활제 등의 액체 물질이 응집하게 되고 이로 인해 부상스티션(flying stiction)이 발생하여 헤드/디스크의 내구성이 저하된다.^[6] 마이크로 액추에이터가 기존 시스템에 추가적으로 부착되면 탐색할 때 액추에이터의 관성에 의해 헤드/디스크 인터페이스 특성에 악영향이 발생할 가능성이 있기 때문에 이를 확인

하기 위해 스윙실험을 실시하였다. 디스크의 데이터존에서 1000회의 탐색을 수행한 후 다시 랜딩존에서 CSS를 3회 실시하는 과정을 60회 반복하여 탐색은 총 6만회, CSS는 총 180회(3사이클 × 60회) 실시하였다. 탐색동작의 최대 감, 가속도는 30G(300 m/s)이고 최대 속도는 1.4 m/s이며, 탐색은 디스크의 반경 방향으로 0.9 in와 1.7 in 사이에서 실시하였다.

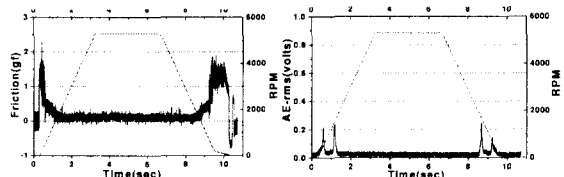
마지막으로 부상높이 측정기(Fig. 1(b))를 이용하여 마이크로 액추에이터가 장착된 시편의 부상높이를 측정하였다.

3. 실험 결과

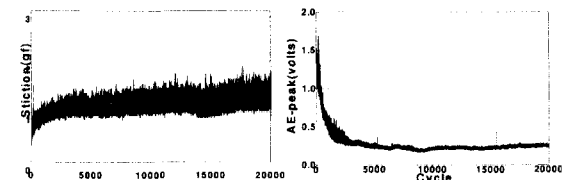
3.1 CSS 실험

마이크로 액추에이터가 장착되지 않은 슬라이더(단일 슬라이더)와 마이크로 액추에이터가 장착된 슬라이더에 대해서 디스크 랜딩존에서 20,000회의 CSS 실험을 수행하였다.

먼저 단일 슬라이더에 대한 마찰력과 AE-rms 신호가 Fig. 4에 나타나 있다. 마찰력과 AE-rms 신호 모두 감,가속시에 각각 최대치가 나타나며 정속 구간에서는 슬라이더가 완전히 부상하여 그 값이 거의 0에 가깝게 된다. 이러한 신호는 일반적인 슬라이더의 부상시에 나타나는 전형적인 모습이다.^[7]



(a) Friction signals (b) AE-rms signals
Fig. 4 Friction and AE-rms signals of single slider in CSS test (CSS 20,000th cycle)

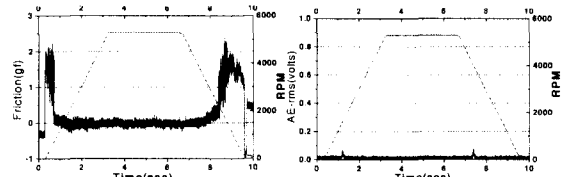


(a) Stiction history (b) AE peak history
Fig. 5 Stiction and AE-peak history of single slider in CSS test

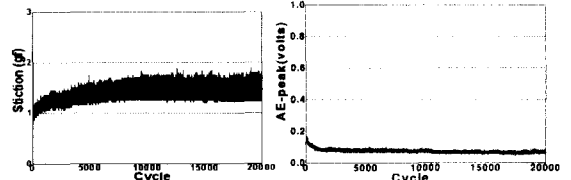
Fig. 5에는 20,000회의 CSS 실험동안의 마찰력과 AE-rms 신호의 최대치가 나타나 있다. 마찰력의 경우에는 디스크가 회전하기 시작할 때 최대값이 나타나는데 이를 스틱션(stiction)이라 하며, 헤드/디스크의 내구성에 큰 영향을 미치는 인자이다.^[8] CSS 실험결과 스틱션 값은 2 gf 이내이며, AE 피크 값은 초기의 런인(run-in) 과정을 지나면서 0.2 V 정도로 유지됨을 알 수 있다. 이는 정상적으로 부상하는 일반 슬라이더에서 나타나는 신호 대역 안에 포함되는 값이다.

Fig. 6과 Fig. 7에는 마이크로 액추에이터를 장착한 슬라이더에 대한 CSS 결과가 나타나 있다. 마찰력의 경우에는 전술한 단일 슬라이더의 경우와 거의 유사한 결과를 얻었다. AE-rms의 경우에는 감, 가속시에 최대치가 나타나며, 정속에서 신호가 거의 0의 값을 보이는 것은 단일 슬라이더와 일치하지만, 최대값의 크기가 상당히 작아졌음을 알 수 있다. 이는 기존 슬라이더에 액추에이터의 질량이 추가되면서 시스템의 고유진동수가 낮아져서 헤드/디스크 인터페이스에서 발생하는 탄성파가 피코 슬라이더용 AE 센서의 주파수 대역폭을 벗어났기 때문이다. 낮은 주파수 대역의 AE 센서를 사용하였을 경우에는 정상적인 부상의 형태를 나타냄을 확인하였다.

이상의 CSS 결과로 볼 때, 마이크로 액추에이터



(a) Friction signals (b) AE-rms signals
Fig. 6 Friction and AE-rms signals of slider with micro actuator in CSS test (CSS 20,000th cycle)



(a) Stiction history (b) AE peak history
Fig. 7 Stiction and AE-peak history of slider with micro actuator in CSS test

를 장착한 슬라이더도 단일 슬라이더처럼 안정적으로 부상됨을 알 수 있다.

3.2 스윙 실험

스윙(sweep) 실험은 하드디스크에서 탐색 동작의 영향을 조사하는 실험이다. 1000회의 탐색 동작과 3회의 CSS를 번갈아가며 60회 실시하여 총 6만회의 탐색을 실시하였으며, 탐색 동작 사이사이에 실시한 CSS의 데이터를 조사하여 탐색 동작의 영향을 분석하였다.

Fig. 8은 단일 슬라이더의 6만회 탐색 동작 후의 CSS 실험 결과이다. 탐색의 영향으로 AE-rms의 파형은 다소 변화하였지만, 마찰력은 3.1절의 CSS 결과와 유사하였다.

단일 슬라이더의 총 6만회의 탐색 사이사이에 실시한 CSS 실험에서의 스틱션과 AE-피크의 크기가 Fig. 9에 나타나 있다. 탐색의 영향으로 인해 신호의 변동폭이 다소 커졌으나, 그 절대값은 1.5 gf와 3 V 이내로서 모두 안정적인 범위 안에 드는 값이었다.

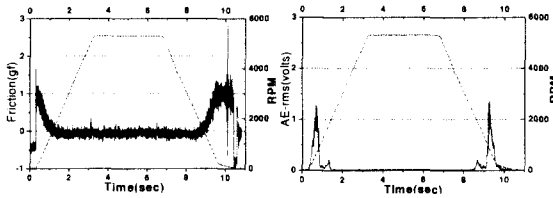
마이크로 액추에이터에 대한 6만회 스윙 실험 결과가 Fig. 10, 11에 나타나 있다. 6만회의 탐색 후의 CSS 결과(Fig. 10)는, 3.1절의 2만회 CSS 실험 결과와 비슷한 양상을 보였다. 마찰력은 단일 슬라이

더와 마이크로 액추에이터 장착 슬라이더의 결과가 거의 유사하였으며, AE 신호의 경우에는 마이크로 액추에이터 장착 슬라이더가 단일 슬라이더보다 작은 값을 보였다. 이는 3.1절에서 설명하였듯이, 마이크로 액추에이터의 질량이 추가되면서 발생하는 탄성파가 AE 센서의 대역폭을 벗어났기 때문으로 판단된다. 한편, Fig. 11의 스틱션과 AE-최대치를 보면, 6만회의 시퀀스가 진행되는 동안 안정된 값을 유지함을 알 수 있다.

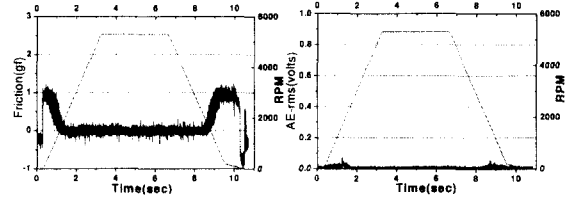
이상의 실험 결과로부터, 마이크로 액추에이터가 장착된 슬라이더의 경우에도 일반 슬라이더와 같이, 탐색 동작의 영향을 크게 받지 않는다고 할 수 있다.

3.3 부상 높이 측정

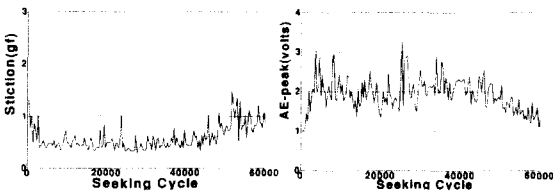
마이크로 액추에이터의 부상높이 측정에는 Fig. 1(b)와 같은 페이즈 매트릭스사(Phase Metrics Co.)의 상용화된 부상높이 측정기(flying height tester)가 사용되었다. 측정 결과, 5400 rpm의 디스크 속도와 디스크 반경 0.7 inch의 랜딩존 위치에서 30 nm로 부상됨을 알 수 있었다. 이는 단일 슬라이더의 부상높이 30~40 nm와 유사한 값으로서, 마이크로 액추에이터를 장착한 시편도 적절한 높이로 부상됨을 알 수 있다.



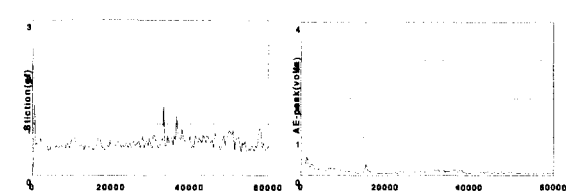
(a) Friction signals (b) AE-rms signals
Fig. 8 Friction and AE-rms signals of single slider after 60,000 seeking



(a) Friction signals (b) AE-rms signals
Fig. 10 Friction and AE-rms signals of slider with micro actuator after 60,000 seeking



(a) Stiction history (b) AE-peak history
Fig. 9 Stiction and AE-peak history of single slider in sweep test



(a) Stiction history (b) AE-peak history
Fig. 11 Stiction and AE-peak history of slider with micro actuator in sweep test

4. 결론

마이크로 액추에이터가 장착된 슬라이더의 헤드/디스크 인터페이스 특성을 분석하기 위한 실험 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 마이크로 액추에이터를 장착한 슬라이더의 CSS 실험 결과, 단일 슬라이더와 유사한 안정적인 부상 특성을 나타내었다.
2. 마이크로 액추에이터를 장착한 슬라이더의 스위프(sweep) 실험 결과, 탐색(seeking) 동작의 영향을 크게 받지 않음을 알 수 있었다.
3. 마이크로 액추에이터를 장착한 시편의 부상 높이가 측정결과, 그 값은 약 30 nm 정도로 이는 정상적인 피코 슬라이더의 부상높이와 유사한 값이다.
4. 위의 결과를 종합해 볼 때, 마이크로 액추에이터를 장착한 경우에도 슬라이더는 안정적으로 부상한다고 판단된다.

후기

본 연구는 선도기술개발사업(과제번호:2-1-7)과 삼성종합기술원, 한국과학재단 지정 정보저장기기 연구센터(과제번호:2000G0201)의 지원을 받아 이루어졌으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

1. L. S. Fan, T. Hirano, J. Hong et al., "Electrostatic Microactuator and Design Considerations for HDD Applications," IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 35, pp. 1000-1005, 1999.
2. D. A. Horsley, R. Horowitz, et al., "Microfabricated Electrostatic Actuators for Hard Disk Drives," IEEE Transactions on Mechatronics, Vol. 3, No. 3, pp. 175-183, 1998.
3. T. Hirano, T. Semba, et al., "High-bandwidth HDD Tracking Servo by a Moving-slider Micro-actuator," IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 35, pp. 3670-3672, 1999.
4. W. Tang, V. Temesvary, et al., "Silicon Micromachined Electromagnetic Microactuators for Rigid Disk Drives," IEEE Transactions on

Magnetics, Vol. 31, pp. 2964-2966, 1995.

5. D. A. Horsley, M. B. Cohn, et al., "Design and Fabrication of an Angular Microactuator for Magnetic Disk Drives," Journal of Microelectromechanical Systems, Vol. 7, pp. 141-148, 1998.
6. J. Gui, B. Marchon, "Fly/Stiction: Mechanical Instability of a Head-Disc Interface," IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 34, No. 4, pp. 1804-1806, 1998.
7. B. Knigge, F. E. Talke, "Acoustic Emission and Stiction Analysis of patterned Laser Texture Media," IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 35, pp. 921-926, 1999.
8. 박준우, 김대은, "Micro Indentor를 이용한 Stiction Free Slider 개발," 한국정밀공학회 2000년도 춘계학술대회논문집, pp. 842-845, 2000.