

마이크로 액츄에이터를 장착한 슬라이더의 부상특성 연구

문재택*, 정구현(연세대 대학원), 전종업(삼성종합기술원), 김대은(연세대 기계공학과)

Investigation of Flying Characteristic of Sliders with Micro-actuator

J. T. Moon, K. H. Chung(Graduate School, Yonsei Univ.), J. U. Jeon(Nano System Lab., Samsung Advanced Institute of Technology), D. E. Kim(Mech. Eng. Dept., Yonsei Univ.)

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 액츄에이터), Slider(슬라이더)

1. 서론

하드디스크의 면기록밀도는 매년 60%씩 증가하고 있으며, 18개월마다 가격은 유지되면서 저장 용량은 2배로 증가하고 있다. 이러한 추세대로라면, 상용화된 하드디스크의 면기록밀도는 2004년에 40 Gb/in²에 이르고 반경 방향의 저장밀도는 50,000 TPI(tracks per inch)에 이를 전망이다.^[1] 이와 같은 높은 저장 밀도를 위해서는 기존의 서보 액츄에이터로는 여러 가지 한계가 있으므로, dual actuator의 필요성이 제기되고 있다. 이러한 dual actuator의 하나로써, 슬라이더와 서스펜션 사이에 슬라이더 구동형 마이크로 액츄에이터를 장착하고자 하는 연구가 진행되고 있다.^[2-4]

본 연구에서는 슬라이더 구동형 마이크로 액츄에이터가 장착된 슬라이더의 헤드/디스크 인터페이스 특성을 CSS와 sweep 실험을 통해 알아보고자 한다.

2. 실험 방법

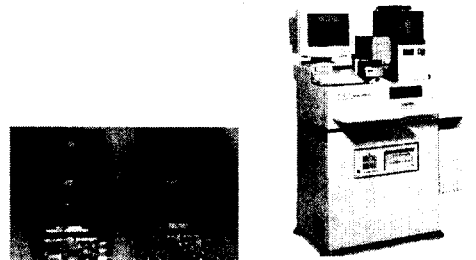
2.1 실험 장치

CSS(Contact-Start-Stop) test와 sweep test에는 Fig. 1(a)와 같은 상용화된 CSS tester가 사용되었다. 하드

디스크의 헤드와 디스크 사이의 간격은 수십 나노미터에 불과해서 작은 충격에도 영향을 받기 때문에 실험 장비는 방진 테이블 위에 설치하였으며, class 100의 청정 환경을 유지시켰다.

마찰력은 민감도가 2 $\mu\text{m}/\text{gram}$ 의 로드빔을 통해 스트레인 게이지에서 측정되며, 하드디스크에서 발생하는 탄성파는 로드빔 윗면의 AE 센서에서 감지한다.

그리고 슬라이더의 부상높이는 Fig. 1(b)와 같은 flying height tester(Phase Metrics社)를 사용하였다.



(a) CSS tester

(b) Flying height tester

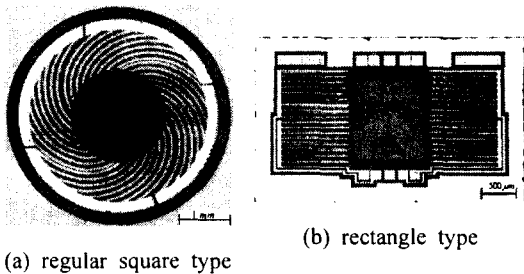
Fig. 1 Experimental apparatus

2.2 실험 시편

실험에 사용된 마이크로 액츄에이터는 glass substrate 위에 30 μm 두께의 얇은 실리콘 구조로 이루어져 있다. 실험에 사용된 마이크로 액츄에이터는 두 종류이다. Fig. 2(a)는 정사각형 형태로서 4 mm \times 4 mm \times 0.53 mm 크기이며 CSS와 sweep 실험에 사용되었다. Fig. 2(b)는 직사각형 형태로서 3.8 mm \times 2.5 mm \times 0.53 mm 크기이며, 부상 높이 측정에 사용되었다.

마이크로 액츄에이터의 중앙에 부착된 슬라이더는 1 mm \times 1.2 mm 크기의 피코 슬라이더이며 두께는 300 μm 이고 질량은 1.8 mg이며 슬라이더에 가해지는 preload는 3 gf이다.

실험에 사용된 디스크 미디어는 LZT(Laser Zone Texture) disk의 일종이다. Laser bump의 형태는 'W'형이고, bump의 높이는 16 nm이며 지름은 10 μm 이다.



(a) regular square type

(b) rectangle type

Fig.2 Optical images of micro actuator & slider assembly

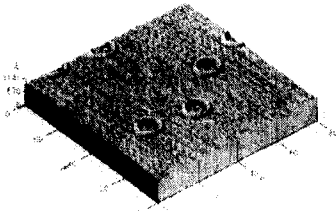


Fig. 3 AFM image of disk bumps

2.3 실험 방법

이번 실험에 사용된 시편은 기존의 것과는 달리, 슬라이더와 gimbal 사이에 커다란 액츄에이터가 장착되었기 때문에, 먼저 기본적인 부상 특성을 확인하기 위해 CSS 실험을 실시하였다. CSS 실험조건은 가속 3초, 정속 3초, 감속 3초, 정지 1초로 하였으며, 정속은 5400 rpm으로 설정하였다. 이러한 과정을 수행하면서 friction 신호와 AE-rms 신호를 실험장치와 연결된 컴퓨터에 저장하였고, 실험 후의 슬라이더 표면의 파손 정도를 광학현미경으로 관찰하였다.

Sweep 실험은 seeking 동작의 영향을 보는 것이다. 기존 시스템에 마이크로 액츄에이터가 추가되면 seeking시에 액츄에이터의 관성에 의해 헤드/디스크 인터페이스 특성에 악영향을 줄 가능성이 있기 때문에 이를 확인하기 위해 sweep 실험을 실시하였다. Data zone에서 1000회의 seeking을 한 후 다시 landing zone에서 CSS를 3회 실시하는 과정을 반복하여 실시하였다. seeking의 최대 감, 가속도는 30G(300 m/s)이고 최대 속도는 1.4 m/s이며, seeking 동작은 디스크의 반경 방향으로 0.9 in에서 1.7 in 사이에서 이루어지게 하였다. 단일 슬라이더의 경우에는 총 2만 회의 seeking을 수행하였으며, 마이크로 액츄에이터가 장착된 시편은 1000회의 seeking만을 실시하였다.

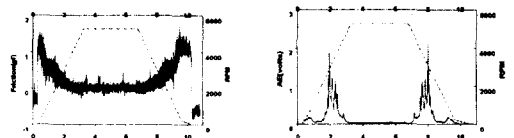
마지막으로 flying height tester를 이용하여 마이크로 액츄에이터가 장착된 시편의 부상 높이를 측정하였다.

3. 실험 결과

3.1 CSS 실험

마이크로 액츄에이터가 장착되지 않은 슬라이더(단일 슬라이더)와 마이크로 액츄에이터 장착 슬라이더에 대해서 랜딩존에서 1000회의 CSS 실험을 하였다.

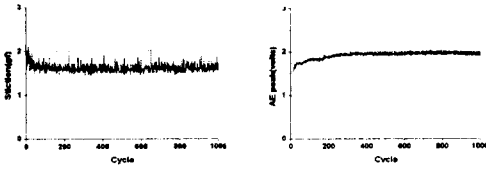
단일 슬라이더에 대한 friction과 AE-rms 신호가 Fig. 4에 나타나 있다. 마찰력과 AE-rms 신호 모두 감,가속시에 각각 피크값이 나타나며 정속 구간에서는 슬라이더가 완전히 부상하여 그 값이 0이 된다. 이러한 신호는 일반적인 슬라이더의 부상시에 나타나는 전형적인 모습이다.^[5] Fig. 5에는 1000회의 CSS 실험동안의 마찰력과 AE-rms 신호의 피크값이 나타나 있다. 마찰력의 경우에는 디스크가 회전하기 시작할 때 피크값이 나타나는데 이를 stiction이라 하며, 헤드/디스크의 내구성에 큰 영향을 미치는 인자이다.^[6] CSS 실험에서 stiction값은 1.7 gf 정도로 일정하게 유지되며, AE peak값은 처음의 burnishing 사이클을 지나면서 2 volt 정도로 유지됨을 알 수 있다. 이는 일반적인 슬라이더에서 나타나는 신호 대역 안에 포함되는 값이므로, 단일 슬라이더는 CSS 실험에서 정상적으로 부상한다고 판단된다.



(a) Friction signals

(b) AE-rms signals

Fig. 4 Friction and AE-rms signals of single slider(CSS 1000th cycle)

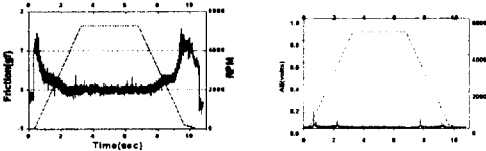


(a) Stiction history (b) AE peak history

Fig. 5 Stiction and AE-peak history of single slider in CSS test

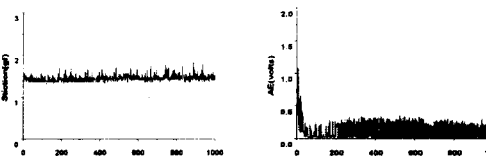
Fig. 6과 Fig. 7에는 마이크로 액츄에이터를 장착한 슬라이더에 대한 CSS 결과가 나타나 있다. 마찰력의 경우에는 앞의 단일 슬라이더일 때와 거의 유사한 결과를 얻었다. AE-rms의 경우에는 감, 가속시에 피크가 나타나며, 정속에서 신호가 0의 값을 보이는 것은 단일 슬라이더와 일치하지만, 피크의 크기가 상당히 작아졌음을 알 수 있다. 이는 기존 슬라이더에 액츄에이터의 질량이 추가되면서 시스템의 고유진동수가 낮아진 영향이라고 생각된다.

이러한 CSS 결과로 볼 때, 마이크로 액츄에이터를 장착한 슬라이더도 안정적으로 부상한다고 판단된다.



(a) Friction signals (b) AE-rms signals

Fig. 6 Friction and AE-rms signals of slider with micro actuator(CSS 1000th cycle)

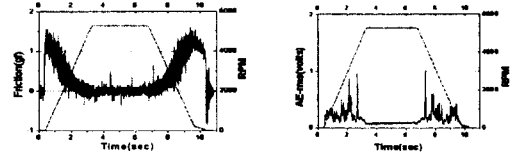


(a) Stiction history (b) AE peak history

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

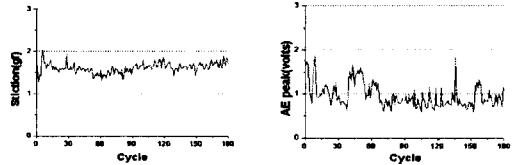
3.2 Sweep 실험

Sweep 실험은 하드디스크에서 seeking 동작의 영향을 보는 실험이다. 단일 슬라이더의 경우, 1000회의 seeking 동작과 3회의 CSS를 번갈아가며 60회 실시하여 총 6만회의 seeking을 실시하였다. Seeking 동작 사이사이에 실시한 CSS의 데이터를 분석하여



(a) Friction signals (b) AE-rms signals

Fig. 8 Friction and AE-rms signals after 9,000 seeking



(a) Stiction history (b) AE peak history

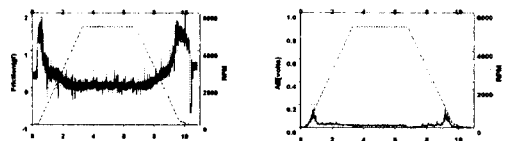
Fig. 9 Stiction and AE-peak history of single slider in sweep test

seeking의 영향을 판단할 수 있다. Fig. 8에는 9천회의 seeking 동작 후의 CSS 실험 결과이다.

Seeking의 영향으로 AE-rms의 파형이 다소 변화하였지만, 마찰력은 3.1절의 CSS 결과와 유사하다.

단일 슬라이더의 총 6만회의 seeking 사이사이에 실시한 CSS에서의 stiction과 AE-peak의 크기가 Fig. 9에 나타나 있다. Seeking의 영향으로 인해 어느 정도 변화는 있으나, 그 절대값은 1.5 gf와 1 volt 정도로서, Fig. 5의 단일 슬라이더일 때의 값과 유사하다.

마이크로 액츄에이터에 대한 sweep 실험은 1000회의 seeking 동작 전후에 각각 5회씩의 CSS를 실시하여 seeking 전후의 변화를 관찰하였다. Fig. 10에 1000회의 seeking 후의 CSS 결과를 보면, 3.1절의 CSS 결과에서처럼 AE-rms의 값이 낮게 나오지만, 그 경향은 단일 슬라이더의 결과와 유사하다. 또한 Fig. 11의 stiction과 AE-peak의 값을 보면, seeking 전후에 값의 변화가 크지 않음을 알 수 있다. 따라서 마이크로 액츄에이터가 장착된 슬라이더의 경우에도 일반 슬라이더와 같이, seeking의 영향을 크게 받지 않다고 할 수 있다.



(a) Friction signals (b) AE-rms signals

Fig. 10 Friction and AE-rms signals after 1000 seeking

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. 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.
3. W. Tang, V. Temesvary, et al., "Silicon Micromachined Electromagnetic Microactuators for Rigid Disk Drives", IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 31, pp. 2964-2966, 1995.
4. 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.
5. 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.
6. 박준우, 김대은, "Micro Indentor를 이용한 Stiction Free Slider 개발" 한국정밀공학회 2000년도 춘계 학술대회논문집, pp. 842-845.

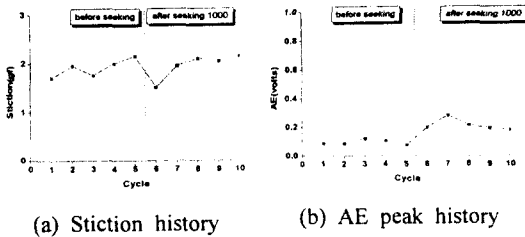


Fig. 11 Stiction and AE-peak history of slider with micro actuator in sweep test

3.3 부상 높이 측정

마이크로 액츄에이터의 부상높이 측정에는 Fig. 2(b)의 직사각형 액츄에이터 시편이 사용되었으며, Phase metrics사의 상용화된 flying height tester로 측정하였다. 측정결과, 5400 rpm의 디스크 속도와 디스크 반경 0.7 inch의 랜딩존 위치에서 30 nm로 부상하였다. 이는 단일 슬라이더의 부상높이 30~40 nm와 일치하는 값으로서, 마이크로 액츄에이터를 장착한 시편도 적절한 높이로 부상함을 알 수 있다.

4. 결론

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

1. 마이크로 액츄에이터를 장착한 슬라이더의 CSS 실험 결과, 단일 슬라이더와 유사한 안정적인 부상 특성을 나타내었다.
2. 마이크로 액츄에이터를 장착한 슬라이더의 sweep 실험 결과, seeking의 영향을 크게 받지 않음을 알 수 있었다.
3. 부상 높이의 측정 결과, 마이크로 액츄에이터를 장착한 시편은 30 nm 정도로 부상하였다. 이는 정상적인 피코 슬라이더의 부상높이 범위 안에 있는 값이다.
4. 위의 결과를 종합해 볼 때, 마이크로 액츄에이터를 장착한 슬라이더는 안정적으로 부상한다고 판단된다.

후기

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