

헤드-디스크 인터페이스에 주입되는 입자의 영향에 대한 연구

한제희[†] · 이래준* · 김대은** · 강태식*** · 조궁연***

Study on the Effect of Particles Injected Into the Head/Disk Interface

Je-Hee Han, Rae-Jun Lee, Dae-Eun Kim, Tae-Sik Kang and Keung-Youn Cho

Key Words: HDD, Head-disk interface(HDI), Particle contaminants, Scratch

ABSTRACT

Particles in the HDD can cause serious damages such as scratches and thermal asperity(TA) at the head/disk interface(HDI). Accordingly, particles cause data loss including physical and electrical damages. To improve the reliability of head-disk interface, understanding the damage characteristics at the HDI due to particle interactions is required. The materials such as Al_2O_3 , TiC and aluminum were used in this experiment. The size and hardness of particles injected into the HDI are closely relevant to surface damage caused the data loss on the disk and head. In this paper, a variety of scratches were analyzed using scanning electron microscope(SEM) and atomic force microscope(AFM). In order to analyze defects of very small size on the disk, optical surface analyzer(OSA) was also used.

1. 서 론

정보화 시대의 컴퓨터와 멀티미디어의 비약적인 발전은 정보저장장치의 저장용량에 대한 비약적인 성장을 요구한다. 여러 데이터 저장장치 중에서 HDD의 경우 빠른 access time 과 고 저장 밀도 실현이 가능하도록 계속하여 연구 발전되고 있다.⁽¹⁾ 저장밀도를 증가시키기 위한 방법으로 헤드와 디스크사이의 간격인 flying height(FH)의 감소가 필요하다.^{(1),(2)} 즉 헤드가 부착된 슬라이더의 부상 높이를 감소시킴으로써 저장 밀도를 증가시킬 수 있다. 현재 일반적으로 사용되는 HDD의

부상높이는 10 nm로 매우 낮기 때문에 구동 중에 헤드와 디스크 사이(HDI)에서의 상호접촉 등에 의해 오염입자가 발생되기도 한다.⁽³⁾ 이러한 오염입자는 디스크 표면에 물리적, 전기적 손상을 발생시킴으로써 데이터 손실을 일으키게 된다. 또한 헤드 슬라이더 구성물질인 Al_2O_3 , TiC 등과 같은 경한 입자가 정보를 기록/재생 하는 헤드와 직접 충돌함으로써 thermal asperity (TA), 스크래치를 발생시키고, 결국은 HDD의 신뢰성을 저하 시키는 요인이 된다.^{(4),(7)} Bhushan 등은 상용 HDD를 이용해 디스크 드라이브 내에 발생한 입자를 포집하여 Energy-Dispersive X-ray spectrometry (EDX)를 이용해 성분을 분석한 결과 포집된 입자들의 성분 대부분이 알루미늄(Al)성분이며 다른 다양한 물질(Si, Ca, Mg, Ti 등)도 발생됨을 확인하였다.⁽⁸⁾ 본 연구에서는 HDD 내에서 발생가능한 여러 입자에 의한 헤드-슬라이더와 디스크의 손상을 확인하고, 이를 디스크에 저장된 자기정보의 손실과의 관계를 규명하고자 한다.

[†] 연세대학교 대학원 기계공학과

E.mail: hanjh@yonsei.ac.kr

TEL: (02)2123-4650 FAX: (02)365-0491

* 연세대학교 대학원 기계공학과

** 연세대학교 기계공학과

*** 삼성전자 스토리지 사업부

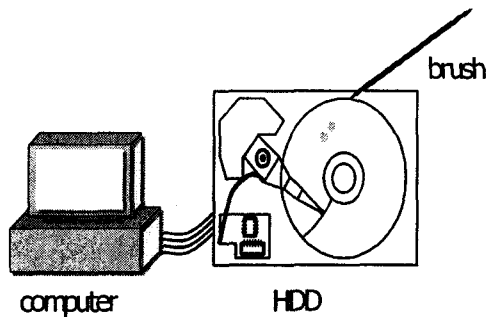


Fig. 1 Particle injection method

2. 실험

본 실험에서는 HDD 내에 여러 종류의 입자를 직접 투입함으로써 그에 따른 헤드-슬라이더와 디스크의 손상에 대하여 분석하였다. 실험의 모든 환경은 간이 크린룸에서 이루어졌으며, 사용한 HDD는 1개의 알루미늄기판의 디스크와 두 개의 헤드를 가지며, 7200rpm으로 회전하면서 80GB의 용량을 갖는다. 실험 방법은 다음과 같다. HDD는 데이터를 계속해서 기록/재생하는 상태로 구동시킨다. 이때 매우 미세한 작은 양의 입자들이 brush를 통하여 HDD안으로 투입되어진다. 입자의 정확한 양의 조절은 이루어지지 않았지만, 비교적 일정 시간동안의 비슷한 양의 입자를 투입하였다. 계속되는 입자의 투입에 의하여 HDD의 헤드-슬라이더 및 디스크는 손상되고 컴퓨터가 더 이상 HDD의 데이터를 기록/재생하지 못할 때까지 실험이 계속된다. 또한, 입자종류에 따른 영향을 고찰하기 위하여 각각의 입자에 대하여 새로운 HDD가 사용되었다. Fig. 1은 본 실험을 위한 실험 장치도를 나타낸다.

실제 스크래치 불량량이 발생한 상용 HDD의 디스크를 Scanning Electron Microscopy / Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (SEM/EDX) 장비로 스크래치 형상과 스크래치에 박힌 물질의 성분을 확인한 결과, 주로 헤드-디스크 물질의 소재인 Al_2O_3 -TiC임을 확인할 수 있었다. 그리고 헤드-슬라이더 물질인 Al_2O_3 -TiC composite (68:32)은 Al_2O_3 와 TiC로 이루어져 있으며 매우 높은 경도(약 2200 Kg/mm^2)를 가진다. 따라서 본 연구에서는 다양한 크기(0.05, 1, 2, 10 μm)와 형태를 가진 경한 Al_2O_3 -TiC 입자가 실험에 이용되었으며, 비교 분석을 위해 disk-spacer에서 얻은 비교적 낮은(약 250 Kg/mm^2) 알루미늄 입자도 실험에 사용하였다.

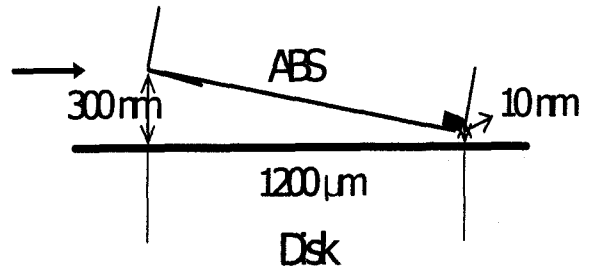


Fig. 2 Interface geometry when a slider is flying

Fig. 2는 슬라이더가 부상하고 있을 때의 그림을 보여준다. 실험에 이용한 슬라이더는 pico slider($1.2 \times 1.0 \text{ mm}$)이며 Air-Bearing Surface(ABS)는 etching 가공으로 예전의 taper 대신 shallow step으로 공기베어링을 형성한다. 슬라이더 부상 시 leading edge부분은 약 300 nm의 높이로 부상하며, 헤드의 부상높이는 약 10 nm이다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 슬라이더에 부착된 입자 분석

HDD 작동 중에 투입된 각각의 입자가 슬라이더에 어떻게 작용했는지를 고찰하기 위해 슬라이더에 부착된 입자를 SEM장비를 이용하여 측정하였다. 각각의 투입된 입자에 의해 자기정보 손실이 발생된 직후 그 슬라이더를 분해하여 측정한 결과 Fig. 3의 (a), (b), (c)와 같이 경한 입자(Al_2O_3 , TiC)를 투입한 경우에는 입자가 변형하지 않고 투입하기 전 크기와 모양을 거의 유지하였다. 반면에 (d)처럼 연한 입자(aluminum)를 투입한 슬라이더의 표면을 측정한 결과, 크기가 큰 알루미늄 입자는 슬라이더와 디스크 사이로 유입되지 못하거나, 크기가 작아 유입된 입자는 쉽게 변형되어 슬라이더 표면에 부착되어 있는 것을 확인할 수 있었으며 그 크기가 모두 $3 \mu\text{m}$ 이하로 확인되었다. 이것은 작동중인 슬라이더의 leading edge와 디스크간의 간격이 약 300 nm이기 때문에 크기가 큰 입자의 경우, HDI로 유입되지 못하였거나 혹은 작은 크기로 분해된 후 유입된 것이라 추정된다.

그러나 leading edge와 디스크간의 간격인 약 300 nm 보다 더 큰 입자가 HDI로 유입되는 경우가 발생하는데 이것은 입자의 형상과 깊은 관련이 있다고 볼 수 있다. 입자의 형상이 구형이 아니기 때문에 2 ~ $3 \mu\text{m}$ 크기의 입자라 하더라도

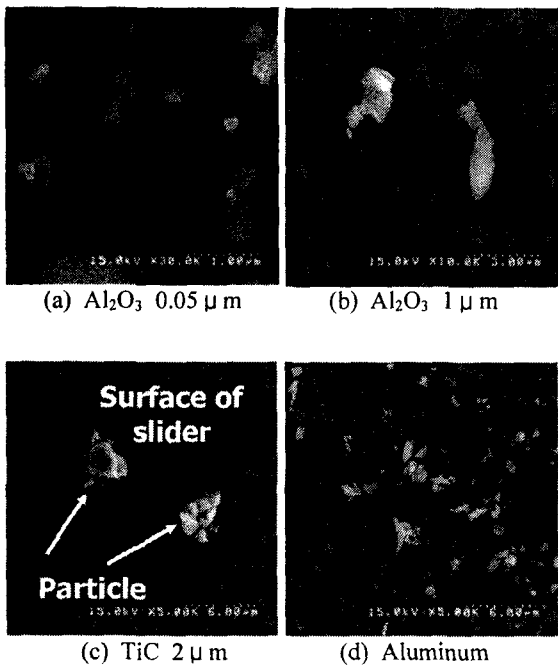


Fig. 3 Attached particles to the respective slider after a data reading test

입자의 납작한 부분의 크기(300 nm 이하)는 가장 큰 부분에 비해 훨씬 작으므로 HDI에 유입되는 경우가 발생할 수 있다.

3.2 다양한 입자에 따른 헤드-슬라이더의 손상

슬라이더에 형성된 ABS에 의해 헤드가 디스크 위를 안정적으로 부상하는 것이 가능하다. 이때 슬라이더 끝 부분에 부착된 헤드가 디스크에 저장된 자기정보를 기록/재생하게 되는데, 현재 사용되고 있는 MR/GMR head 의 경우 열과 정전기

에 매우 민감하므로 입자와 요철에 의한 충돌 등에 의하여 그 역할을 수행하지 못하게 되기도 한다.

Fig. 4 에서는 실험을 통하여 인위적으로 투입된 약 1 μm의 크기의 Al₂O₃ 입자에 의해 헤드-슬라이더가 손상된 이미지를 나타낸다. 슬라이더의 표면은 광학 현미경으로, 헤드 부분은 SEM으로 각각 측정되었다. 0.05 μm, Al₂O₃ 의 입자를 투입한 경우에는 헤드부분이 매우 깨끗하였다. 그러나 상대적으로 슬라이더의 ABS는 입자에 의한 영향으로 오염의 정도가 상당히 심하였다. 이것은 입자의 크기와 질량이 매우 작기 때문에 입자가 슬라이더의 끝부분인 헤드에 도달하기 전에 표면력에 의하여 ABS 표면으로 대부분 부착되었기 때문이라고 여겨진다.

1 μm 크기의 Al₂O₃ 입자를 투입하자마자 HDD의 데이터 손실이 발생하고 헤드부분에서 입자에 의한 손상이 발견된 것으로 보아, 약 1 μm의 정도의 크기를 가진 입자가 HDI로의 유입이 용이하고 헤드에 큰 충격을 가해 데이터 손실을 유발하는 주된 원인으로 사료된다. 앞서도 언급하였듯이 1 μm 입자의 납작한 부분의 크기는 300 nm 이하이기 때문에 HDI로 유입이 가능하다. ABS가 깨끗한 것은 실험을 실시한 동작시간이 매우 짧았기 때문인 것으로 판단된다. TiC를 투입한 경우도 위와 비슷한 결과를 얻을 수 있었다. 이처럼 경한 입자(Al₂O₃, TiC)는 헤드에 직접 충돌을 하여 HDD 불량률을 초래하는 원인이 된다.

그러나 연한 물질인 알루미늄의 경우, 매우 오랜 시간 많은 양의 입자를 투입하고 나서야 데이터 손실 문제가 발생하였다. 그러므로 알루미늄 같은 연한 입자는 상대적으로 HDI에서 파손 유

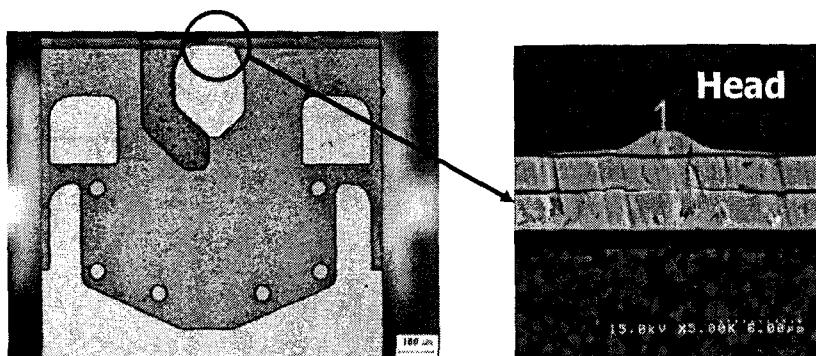
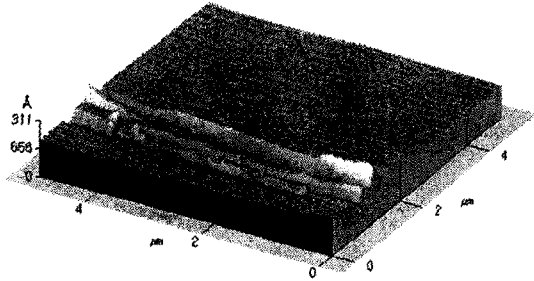
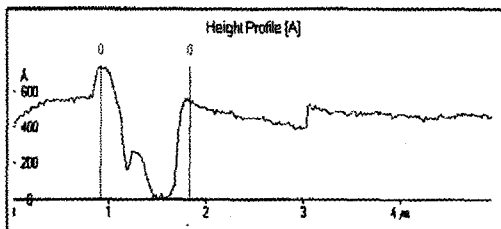


Fig. 4 Damages of head-slider due to Al₂O₃ particles (1 μm)



(a) 3D image of scratch for 2 μm TiC



(b) 2D profile of scratch for 2 μm TiC

Fig. 5 Analysis of scratch on disk for 2 μm TiC using AFM

발 정도가 경한 입자보다 낮음을 확인 할 수 있었다.

3.3 AFM과 Optical Surface Analyzer(OSA)를 이용한 disk 손상 분석

HDI 내에서 입자에 의한 충돌로 인하여 디스크에 발생된 스크래치의 형상은 매우 다양하다. 직선형(straight type), 곡선형(curved type), 그리고 입자를 포함하는 형태(embedded type) 등 여러 가지 모양의 스크래치의 형태로 데이터 손실이 발생된다. 디스크표면에는 Diamond-Like Carbon(DLC)의 코팅 층이 존재하지만 헤드와 magnetic 기록층과의 간극을 줄이기 위해 디스크 표면에 매우 얇게(약 3 ~ 4 nm) 도포되어 입자와의 충돌로 스크래치 발생이 쉽고, 디스크의 magnetic 기록층까지 손상이 발생하기 쉽다. Fig. 5는 2 μm 크기의 TiC 입자에 따른 스크래치를 Atomic Force Microscope(AFM)으로 측정된 결과이다. (width: 0.8 μm, depth: 50 nm)

Fig. 6 은 OSA를 이용하여 확인된 결함에 대한 SEM 이미지이다. 이처럼 매우 작은 크기의 결함

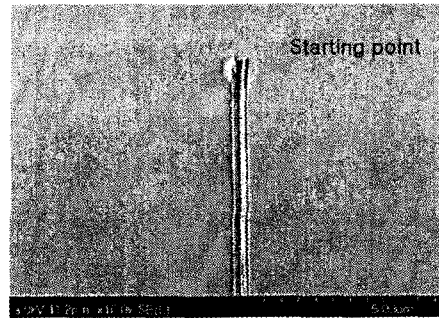


Fig. 6 SEM image of micro-scratch identified using OSA

을 발견하기 위해서는 OSA가 필요하다. OSA에 의하여 찾은 결함의 위치를 먼저 표시한 후 AFM, SEM을 이용하여 손상된 디스크표면을 세밀하게 분석할 수 있었다.

4. 결론

1. HDD에서 발생된 입자의 크기는 데이터 손실 불량과 밀접한 관련이 있다.

a) 약 1 μm 의 입자(납작한 부분:300nm 이하)는 10 μm(납작한 부분:300nm 이상)의 입자에 비하여 쉽게 HDI로 유입, 헤드에 큰 충격을 줌으로써 데이터 손실을 유발한다.

b) 약 0.05 μm 의 작은 입자는 HDI로 유입하여 ABS를 오염시켜 부상특성에 영향을 줄 수 있으나, 헤드와의 직접적 충돌에 의한 파손은 작다고 볼 수 있다.

2. 연한 입자(aluminum)같은 경우, HDI내에서 변형하여 납작하게 됨으로써 슬라이더와 디스크 사이를 통과할 수 있다. 반면에 헤드-슬라이더 물질인 경한 입자(Al₂O₃, TiC)는 HDI로 유입됨과 동시에 즉시 디스크에 박혀서 스크래치를 발생시킨다.

3. OSA를 이용하여, 실험한 디스크 상에 있는 매우 작은 결함을 찾고 AFM, SEM, EDX등을 통하여 분석함으로써 HDI로 유입된 입자가 데이터 손실에 미치는 영향을 파악할 수 있었다.

후 기

본 연구는 삼성전자(과제번호: 2004-5-0984)와 한국과학기술원지정 연세대학교 정보저장기연구센터(R11-1977-042-12001-0)의 지원을 받아 이루

어졌으며 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

- (1) D. B. Bogy, W. Fong, B. H. Thornton, Zhu Hong, H. M. Gross et al., 2002, "Some tribology and mechanics issues for 100-Gb/in² hard disk drive", IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 38, No. 5, pp. 1879-1885.
- (2) S. H. Choa and V. Sharma, 2002, "Sensitivity and rejection capability of thermal asperities in a hard disk drive", Journal of Magnetism and Magnetic Materials, Vol. 241, pp. 466-474.
- (3) H. S. Park, Y. C. Yoo, G. N. Bae and J. H. Hwang, 1999, "Investigation of particle generation in a Hard Disk Drive during the start/stop period", IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 35, No. 5, pp. 2439-2441.
- (4) C. Gao, P. Dai and V. Vu, 1999, "Flying stiction, lubricant pick-up and carbon-overcoat wear of magnetic head", J. Tribology, Vol. 121, pp. 97-101.
- (5) Q. Zheng, R. Pit, R. Payne, P. Baumgart, and F. Huang, 2005, "Modeling and simulation of hard-particle interaction in head/disk interfaces", IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 41, No. 2, pp. 604-609.
- (6) K. Andrei and I. Peter, 2003, "Head-disk contact detection in the hard-disk drives", Wear, Vol. 255, Issues 7-12, pp. 1314-1322.
- (7) L. Zhang, R. KoKa, Y. Yuen and E. Lam, 1999, " Particle induced damage on heads and discs due to fine particles of different materials", IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 35, pp. 927-932.
- (8) B. Bhushan, S. Chandra and M. Smallen, 1999, "Analysis of drive-level contaminant particles", J. Info. Storage Process. Syst, Vol. 1, pp. 115-124.