

## 이동식 디스크 드라이브의 입자 오염에 대한 클리닝 패드의 효과

유신성\*, 이정규\*\*, 김대은#

### Effect of Cleaning Pad on Particle Contamination in Removable Media Disk Drive

Sin Sung Yoo\*, Jung Kyu Lee\*\*, Dae Eun Kim#

#### ABSTRACT

Particulate contamination is known to be a significant cause of failures of removable storage media. In this work, the effect of particles on the surface damage of removable hard disk media was investigated. The particles of different materials and size were introduced to the Head Disk Interface (HDI) using a particle injection system. It was found that the particles of particulate size and property seriously damaged the media. This study showed that cleaning pad is effective for reducing particle contamination, except for the particles of specific size and property. As a means to remove the particles of specific size, the concept of using a stepped taper at the leading edge of the slider is proposed.

**Key Words** : Hard disk drive (하드디스크 드라이브), Particle contamination (입자 오염), Cleaning pad (클리닝 패드), Removable media (이동식 미디어), ABS (공기 베어링 표면)

#### 1. 서론

사회의 정보화가 급속하게 진행되면서 운영 체제의 거대화, 응용 소프트웨어의 대용량화, 영상정보의 급격한 증가로 저장해야 할 정보의 양은 나날이 늘고 있다. 이와 함께 MP3, PDA, 디지털 카메라, 디지털 캠코더, 노트북 PC, palm PC와 같은 휴대용 전자기기의 수요 역시 나날이 증가하고 있으며 이에 따라 이에 적합한 고밀도 저장장치를 필요성도 높아지고 있다. 현재, 노트북과 같이 상대적으로 부피가 큰 기기에는 고정식 하드디스크

와 이동식 하드디스크, 그리고 부피가 적은 기기에는 마이크로 드라이브와 플래쉬 메모리 등이 쓰이고 있지만 MP3와 디지털 카메라, 그리고 언제 어디서나 인터넷 접속이 가능하고 대용량의 정보를 다운로드 받을 수 있는 핸드헬드 컴퓨터의 보급이 급증할 전망이어서 고가의 플래쉬 메모리를 대체할 수 있는 이동식 소형 저장장치 개발의 필요성이 증가하고 있다.

하지만 이동식 디스크 드라이브의 경우 외부로부터 유입된 입자에 의해 파손이 발생할 위험성이 높다. 디스크 드라이브로 유입된 오염 입자가 디스

CP 2002년 9월 26일 접수  
\* 연세대학교 기계공학과  
\*\* 엘지전자 디지털 미디어 연구소  
# 교신저자, 연세대학교 기계공학부  
kimde@yonsei.ac.kr Tel. (02) 2123-2822

크와 슬라이더에 쌓이거나 슬라이더의 ABS와 디스크 사이로 유입되면서 직접적인 손상을 주거나 간접적으로 슬라이더 ABS의 기능을 상실하게 만들어서 파손을 유발할 수 있다. 자기형 정보저장기기 뿐만 아니라 광기록형 정보저장기기에서도 기록밀도가 향상됨에 따라 입자 오염에 의해 디스크나 렌즈가 오염되어 데이터 손실이 발생할 가능성이 높아진다. 이렇게 디스크 드라이브 저장 장치가 고용량화되고 휴대성이 강조될 수록 입자 오염은 저장장치의 내구성에 매우 심각한 위협이 될 수 있는 것으로 알려져 있다.<sup>1</sup>

본 실험에서는 디스크와 슬라이더를 닦아내는 패드가 부착된 상용화된 이동식 하드디스크에 다양한 입자를 주입하면서 디스크와 슬라이더를 닦아내는 패드의 효과를 연구하고자 한다. 디스크와 드라이브의 손상 여부는 디스크에 미리 기록한 데이터의 재생 여부로 판단하였다.

## 2. 실험 장치 및 실험

### 2.1 실험 장치

본 실험 장치의 개략도는 Fig. 1과 같고 실제 모습의 사진은 Fig. 2와 같다. 압력계, HEPA 필터, 실리카겔로 구성된 clean air supply는 건조하고 깨끗한 공기를 공급하며 atomizer는 액체를 액적으로 만들어 입자를 발생시킨다. Diffusion dryer는 발생된 입자의 수분을 제거하여 입자만을 주입시키게 된다. 입자 수를 측정하기 위해서 Condensation Particle Counter (CPC)를 사용하였다. 측정 유량 범위는 0.3~0.7 l/min이며 최소 측정 가능 입자 크기는 7 nm 이다.<sup>2</sup> 실험에 사용된 드라이브는 클리닝 패드가 장착된 상용화된 카트리지 타입의 이동식 하드디스크 드라이브이며 세부사항은 Table 1과 같다.

Table 1 Removable media disk drive specifications

Rotation speed	5400 rpm
Head	MR (Magneto-Resistive)
Disk storage capacity	2.2 GB
Estimated shelf life	20 years
Slider size	2 mm × 1.5 mm
Flying height	45.8 +/- 1.3 nm at ID 48.3 +/- 1.5 nm at MD 45.8 +/- 1.5 nm at OD

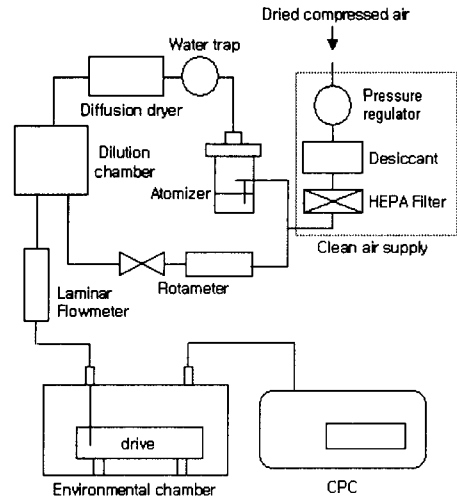


Fig. 1 Schematic of particle injection experimental setup

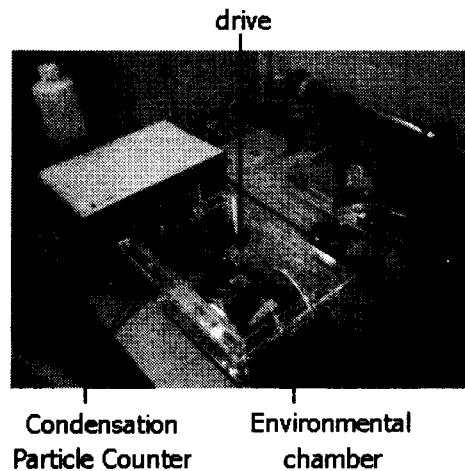


Fig. 2 Photograph of particle injection experimental setup

### 2.2 실험 방법

이동식 하드디스크 드라이브에 주입하는 입자의 종류에 따라 다음과 같이 3가지 Case로 실험을 실시하였다.

Case 1. 지름 330 nm PSL (PolyStyrene Latex) 입자를 초당 5 cc 유속으로  $1.5 \times 10^4 \sim 2.5 \times 10^4$  개씩 주입하였다.

Case II. 지름 35  $\mu\text{m}$  SiO<sub>2</sub> 입자를 초당 5 cc 유속으로  $1.5 \times 10^4 \sim 1.5 \times 10^5$  개씩 주입하였다.

Case III. 지름 1  $\mu\text{m}$  Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 입자를 초당 5 cc 유속으로  $1.5 \times 10^4 \sim 1.5 \times 10^5$  개씩 주입하였다.

데이터 재생 여부는 디스크에 MP3 음악 파일을 디스크에 복사하여 음악 파일의 재생 여부로 판단하였다. 디스크와 드라이브의 데이터 재생과 기록이 불가능해질 때까지 실험을 실시하였다.

### 3. 실험 결과 및 고찰

#### 3.1 실험 결과

Case I-1, 지름 330 nm PSL 입자를 드라이브 외부에 초당  $1.5 \times 10^4 \sim 2.5 \times 10^4$  개씩 72시간 동안 주입한 후에도 슬라이더와 디스크 모두 이상이 발생하지 않았다.

Case I-2, 지름 330 nm PSL 입자를 드라이브 내부에 초당  $1.5 \times 10^4 \sim 1.5 \times 10^5$  개씩 101시간 동안 주입한 후에도 슬라이더와 디스크 모두 이상이 발생하지 않았다.

Case I-3, 지름 330 nm PSL 입자를 카트리지가 내부에 초당  $1.5 \times 10^4 \sim 1.5 \times 10^5$  개씩 94시간 동안 주입한 후에도 슬라이더와 디스크 모두 이상이 발생하지 않았다.

Case II, 지름 35  $\mu\text{m}$  SiO<sub>2</sub> 입자를 카트리지 내부에 초당  $1.5 \times 10^4 \sim 1.5 \times 10^5$  개씩 69시간동안의 주입 후에도 슬라이더와 디스크 모두 이상이 발생하지 않았다.

Case I 과 II 의 경우 지속적인 실험 중간에 음악 파일 재생이 정지되는 경우가 발생했으나 다시 시작하면 원활하게 재생이 이루어 졌다.

Case III, 지름 1  $\mu\text{m}$  Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 입자를 카트리지 내부에 초당  $1.5 \times 10^4 \sim 1.5 \times 10^5$  개씩 주입 후 1시간 이내에 슬라이더와 디스크 모두 손상이 발생하였다. 실험 결과를 표로 정리해 보면 Table 2와 같다.

#### 3.2 입자 오염 저감

실험에 사용한 이동식 하드디스크 드라이브에서 Fig. 3에서와 같이 디스크 클리닝 패드와 슬라이더 ABS 클리닝 패드, 2 가지 종류의 클리닝 패드를 사용하여 입자 오염을 저감시킨다. 디스크 클리닝 패드는 서스펜션에 부착되어 loading시 슬라이더 ABS 앞쪽 디스크 표면에 위치하게 된다.

Table 2 Experiment result

Case	주입 입자	주입속도 (개/초)	주입시간 (시간)	실험후 결과
I	지름 330 nm PSL 입자	$1.5 \times 10^4$ ~ $1.5 \times 10^5$	72/101/94	데이터 재생가능
II	지름 35 $\mu\text{m}$ SiO <sub>2</sub> 입자		69	데이터 재생가능
III	지름 1 $\mu\text{m}$ Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 입자		1	데이터 재생불가

디스크 클리닝 패드는 디스크와 접촉하면서 슬라이더의 ABS와 디스크 사이에 입자가 들어가기 전에 미리 디스크 위의 오염 입자를 제거하는 기능을 한다. 슬라이더 ABS 클리닝 패드는 슬라이더가 loading되는 구간에 위치한다. 슬라이더가 loading되기 전에 이 구간에서 서스펜션의 왕복운동을 통해 슬라이더 ABS를 클리닝 패드에 접촉시켜 오염 입자를 닦아 낸다.



Fig. 3 Disk cleaning pad and ABS cleaning pad of removable hard disk drive

실험 후 디스크, 슬라이더, 클리닝 패드의 오염 양상을 살펴본 결과는 다음과 같다. Fig. 4는 디스크 안쪽 표면으로 디스크 클리닝 패드가 닦아내지 못한 부분과 닦아낸 부분의 디스크 오염의 차이를 확연하게 보여준다.

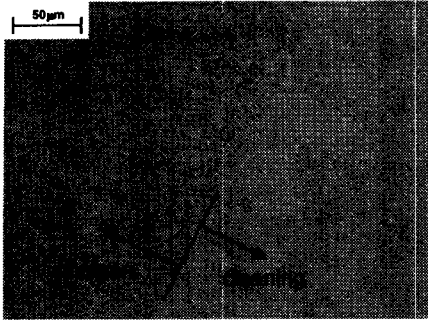


Fig. 4 Comparison of the cleaned and uncleaned disk surfaces

분에 많은 양의 입자가 관찰되고 슬라이더 ABS에는 거의 입자가 관찰되지 않았으며 상대적으로 up-slider의 경우 down-slider와 비교할 때 패드에 입자가 적게 관찰되었지만 슬라이더 ABS에 많은 입자가 남아 있었다. 이는 닦여진 입자가 down-slider의 경우 중력에 의해 패드 쪽으로 떨어지지만 up-slider의 경우 슬라이더 ABS 쪽으로 떨어진 것으로 생각된다. 두 경우를 비교해 보면 슬라이더 ABS 클리닝 패드가 없을 경우 패드의 붙어 있는 입자가 모두 슬라이더 ABS에 남아 있었을 것임을 예상할 수 있고 이는 ABS 클리닝 패드의 효과를 증명한다.

디스크 클리닝 패드를 살펴보면 Fig. 5와 Fig. 6과 같이 상대적으로 윗면을 닦는 패드에 더 많은 입자가 묻어 있는 것을 볼 수 있다. 이것은 중력 때문에 디스크 아래면 보다 윗면에 상대적으로 더 많은 입자가 내려앉기 때문이라고 판단된다.



Fig. 5 The upper side of disk cleaning pad

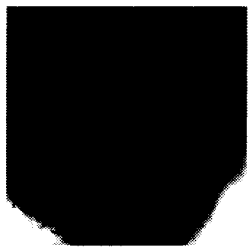


Fig. 6 The lower side of disk cleaning pad

슬라이더 ABS 클리닝 패드와 슬라이더 ABS를 살펴보면 Fig. 7부터 Fig. 10까지에서 보이듯이 down-slider의 경우 leading edge 부분이 닦이는 부

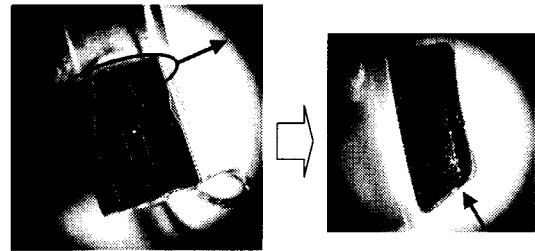


Fig. 7 Down-slider ABS and cleaning pad

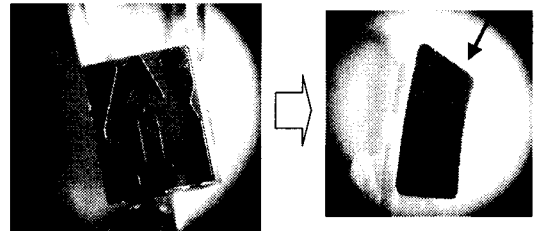


Fig. 8 Up-slider ABS and cleaning pad

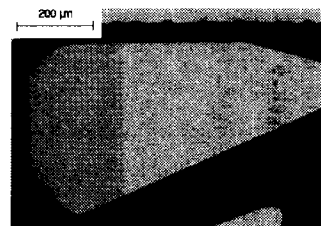


Fig. 9 Down-slider ABS

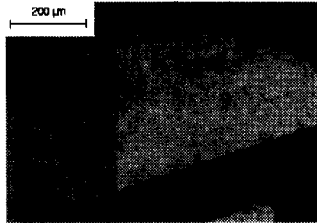


Fig. 10 Up-slider ABS

Case I 과 II 에서 실험 중간에 작동이 정지한 경우, 다시 드라이브를 작동시키면 데이터가 원활하게 읽혔던 이유는 슬라이더 ABS 클리닝 패드의 효과 때문인 것으로 생각된다. 슬라이더에 달라붙어 있던 입자가 부상특성 혹은 데이터 재생에 문제를 발생시켰지만<sup>3</sup> 슬라이더 ABS 클리닝 패드가 오염입자를 제거시킨 후에는 부상특성 혹은 데이터 재생의 문제가 해결된 것으로 보인다.

디스크 클리닝 패드의 섬유 표면의 SEM 사진 Fig. 11을 살펴보면 구형의 330 nm PSL과 각진 형태의 1 μm Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 입자들이 패드 섬유 표면에 붙으면서 디스크에서 제거되었음을 알 수 있다.

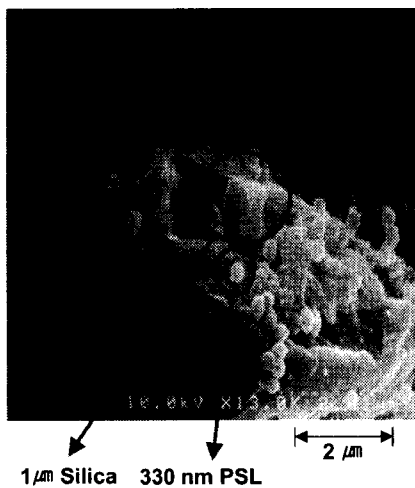


Fig. 11 SEM image of disk cleaning pad

이 슬라이더의 최소 부상높이는 약 50 nm 이지 만 슬라이더 길이와 일반적인 pitch 각도, 100~200 μrad를 고려하면 taper 뒷부분에서 부상 높이는 250~450 nm 가 되고, taper 길이 0.25 mm 와 일반

적인 taper 각도, 10~30 mrad를 고려하면 leading edge에서는 3~8 μm, 즉 수 μm의 부상 높이를 보일 것이다. 따라서 Fig. 12와 같이 슬라이더와 디스크 사이에 파고들어 갈 수 있는 위험입자의 크기는 50 nm에서 수 μm가 된다.<sup>4</sup>

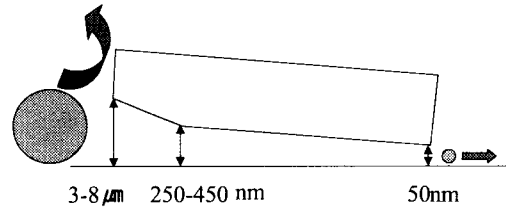


Fig. 12 Schematic of particle / slider interaction

Case I의 경우 PSL은 크기가 330 nm이므로 슬라이더 ABS로 유입되지만 고분자 계열의 연한 입자이므로 직접적인 파손을 유발하지 못한다. 지속적으로 ABS에 쌓인 입자는 ABS 클리닝 패드에 의해 제거됨으로써 파손이 발생하지 않았다.

Case II의 경우 지름 35 μm SiO<sub>2</sub> 입자는 직접적 파손을 줄만큼 경하지만 슬라이더 ABS에 들어가지 못함으로써 직접적 파손을 주지 못하고 leading edge 부근에 쌓이더라도 클리닝 패드에 의해 제거됨으로써 파손이 발생하지 않았다.

Case II의 경우 지름 1 μm Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 입자는 슬라이더 ABS에 유입되면서 직접적인 파손을 발생시키면서<sup>4</sup> 슬라이더 ABS 클리닝 패드가 효과를 나타내기 전에 디스크와 슬라이더에 파손을 유발, 데이터 재생/기록이 불가능하게 되었다.

### 3.3 고찰

이동식 하드디스크 드라이브의 디스크와 슬라이더를 닦아주는 패드는 슬라이더 leading edge 부상 높이보다 큰 입자와 슬라이더 leading edge 부상 높이가 보다 작은 입자라도 슬라이더 ABS와 디스크 표면에 직접적인 파손을 주지 않는 연한 입자에 대해서 효과적임을 알 수 있다.

Leading edge 부상 높이가 보다 큰 입자는 직접 슬라이더 ABS와 디스크 사이에 들어가지 않더라도 슬라이더 주변에 쌓이면서 taper 부분을 막거나 악영향을 미칠 수 있으며 연한 입자라도 슬라이더 ABS에 쌓이면 leading edge의 taper 부분을 막거나 ABS의 형상을 바꾸는 효과를 초래할 수 있다. 이

는 슬라이더의 부상을 불안정하게 하여 슬라이더 자체와 디스크 사이의 충돌을 발생시킬 수 있고 결국 슬라이더와 디스크의 파손을 발생시킬 것이다. 이 경우 슬라이더 ABS를 닦아주는 패드를 이용하여 효과적으로 입자를 제거할 수 있다. 이동식 하드디스크 드라이브의 디스크와 슬라이더를 닦아주는 패드가 효과를 발휘할 수 있는 입자의 경우를 표로 정리해 보면 Table 3과 같다.

Table 3 Effectiveness of the pad in particle removal

		Size	
		Small	Large
Hardness	Soft	0	0
	Hard	Failure	0

Table 3에서 연삭 입자로 사용되는  $Al_2O_3$ 의 경도는  $2100 \text{ kg/mm}^2$ 이고  $SiO_2$ 는  $800 \text{ kg/mm}^2$ 이며 두 입자 모두 디스크와 슬라이더에 파손을 일으킬 수 있을 만큼 단단하므로<sup>5</sup> 경한 입자로 분류하였으며, leading edge에 들어 갈 수 없는 크기의 입자를 Large로, leading edge의 부상 높이와 최소 부상 높이 사이의 크기로 슬라이더 ABS와 디스크 사이로 유입될 수 있는 입자를 Small로 분류하였다. 더 작은 입자는 HDI에 영향이 없는 것으로 간주했다.

클리닝 패드가 효과를 발휘할 수 없는 슬라이더 ABS와 디스크 사이의 공간으로 유입되는 경한 입자로 인해 HDI가 파손될 확률을 줄이기 위해서는 슬라이더 leading edge 공간을 줄여서 유입될 수 있는 입자 크기 범위를 줄여야한다. 이를 위해 슬라이더의 피치각을 줄이고 leading edge 형상을 taper보다는 Fig.13과 같이 step으로 슬라이더 ABS를 설계해야할 것이다.<sup>6</sup>

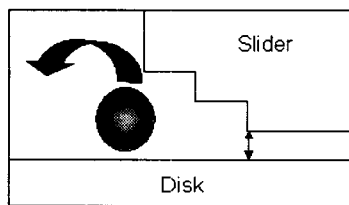


Fig. 13 Proposed leading edge step design of slider for removal for particles

#### 4. 결론

상용화된 이동식 하드디스크 드라이브에 다양한 입자를 주입하며 오염 양상과 클리닝 패드의 효과를 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 디스크 클리닝 패드는 슬라이더가 지나갈 디스크 면을 닦아줌으로서 HDI에 입자가 유입되는 것을 저감하는 효과를 나타낸다.

(2) 슬라이더 ABS 패드는 슬라이더 ABS에 입자가 쌓일 경우 이를 제거하여 슬라이더 부상특성을 악화시키는 것을 방지하는 효과를 나타낸다.

#### 후기

본 연구는 엘지전자 디지털 미디어 연구소, 한국 과학재단 지정 연세대학교 정보저장기기 연구센터 (과제번호: R11-1997-042-100001-0)의 지원을 받아 이루어졌으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

#### 참고문헌

1. 이대영, 황정호, 좌성운, "정보저장기기 Nano-Contamination," 한국정밀공학회지, 제19권, 제8호, pp. 26-27, 2002.
2. 이정규, "광학용 헤드/슬라이더의 Tribology 기술 개발," 연세대학교 대학원 기계공학과 석사학위 논문, pp. 38-41, 2001.
3. Hiller, B. and Singh, G. P., "Mechanism for Formation of Whiskers on a Flying Magnetic Recording Slider," IEEE Trans. Magnetics, Vol. 30, No. 4, pp. 1499-1503, 1994.
4. Zhang, L., Koka, R., Yuen, Y. and Lam, E., "Particle Induced Damage on Heads and Disks Due to fine Particles of Different Materials," IEEE Trans. Vol. 35, No. 2, pp. 927-932, 1999.
5. Yoon, E. S. and Bhushan, B., "Effect of Particulate Concentration, Materials and Size on the Friction and Wear of a Negative-pressure Picoslider Flying on a Laser-textured Disk," Wear, Vol. 247, pp. 180-190, 2000.
6. Jianhua, L., Bo, L., Yansheng, M., Wei, H. and Tow, C. C., "ABS Design for Anti-Surface Borne Particles," IEEE Trans. Magnetics, Vol. 37, No. 4, pp. 1802-1805, 2001.