

하드 디스크 드라이브에서 Smooth 디스크와 LZT 디스크가 입자 발생에 미치는 영향

이대영[†], 허선영*, 강필선*, 황정호*, 조공연**, 강태식**

Effects of Smooth and Textured Disks on Particle Generation in a Hard Disk Drive

Dae-Young Lee, Sun-Young Huh, Pil-Sun Kang, Jungho Hwang,
Keung-Youn Cho, Tae-Sik Kang

Key Words : Hard disk drive, Smooth disk, Textured disk, Particle generation, Particle contamination

ABSTRACT

The head to disk spacing must be decreased to increase recording densities in hard disk drives. Recently, to decrease the head to disk spacing, smooth disk having no bumps onto the landing zone has used. In this research, we compared the number of particles generated in HDD with smooth and textured disks. We used a sampling method using a particle sampler and a CPC (condensation particle counter) to detect particles in HDD. First, we sampled and counted particles generated with disk rotational speed and various rest times when the smooth disk and textured disks were used, then analyzed the sampled particles by SEM (scanning electron microscopy) and AES (auger electron spectroscopy). In results of measuring particles, more particles in case of LZT disk drive generated than that of the smooth disk drive in all test modes. The number of particles generated in the smooth disk was very low. The particle generation increased as the rest time increased (smooth/LZT disks) and more particles in case of LZT disk drive generated than that of the smooth disk drive. In results of analyzing particle components, Al, Ti, Si components were detected and we could not find differences between components in case of smooth/LZT disk drive.

1. 서론

하드 디스크 드라이브의 저장용량을 증가시키기 위해서는 헤드와 기록층 사이 간격을 낮추어야 한다. 따라서 헤드가 부착된 슬라이더의 부상 높이를 감소시켜야 한다. 최근에는 부상 높이를

더욱 감소시키기 위해 디스크 랜딩존 (landing zone)에 범프 (bump)가 없는 Smooth 디스크를 사용하고 있다. Smooth 디스크를 사용하면 슬라이더의 부상 시 범프에 의한 높이 증가가 없어 부상 높이를 감소시킬 수 있다. 하지만 슬라이더의 부상 높이는 수 나노미터에 불과하기 때문에 구동 시에 슬라이더와 디스크의 상호접촉 등으로 인해 입자가 발생할 수 있다.

일반적으로 하드 디스크 드라이브내에서 발생되는 입자들은 슬라이더의 헤드와 충돌하고 충돌

† 논문발표자의 소속

E-mail : bigglory@yonsei.ac.kr

TEL : (02)2123-4679 FAX : (02)365-8460

* 연세대학교 기계공학과

** 삼성전자 반도체총괄 스토리지사업부

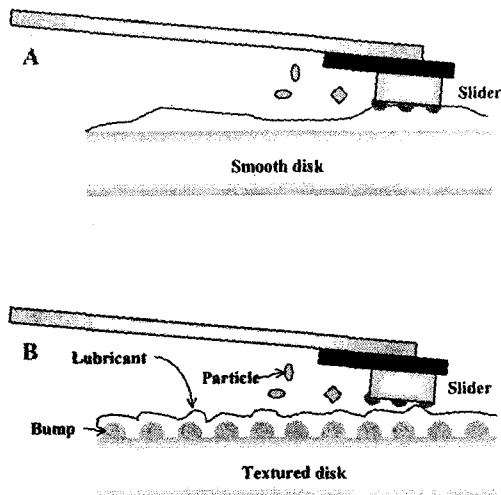


Fig. 1 Head disk interfaces of smooth disk (a) and textured disk (b)

시의 급격한 온도 상승으로 인해 데이터의 출력이 불가능해지는 TA (thermal asperity) 현상을 발생시킨다. 즉 기록/재생을 불가능하게 하거나, 디스크에 스크래치를 발생시켜 하드디스크 드라이브 수명에 영향을 끼치게 된다. 따라서 하드 디스크 드라이브 내 오염을 줄이는 것이 중요하다. 오염을 줄이기 위해서는 발생된 입자의 정확한 분석이 필요하다.

이와 관련된 연구로 Bhushan 등⁽¹⁾은 상용 하드 디스크 드라이브를 이용해 디스크 드라이브내 발생된 입자를 세척하는 방법 (liquid washing method)을 이용해 포집하였다. 그리고 포집된 입자의 수와 크기를 분석하였으며 EDX (energy-dispersive x-ray spectrometry)로 성분을 분석해 발생된 입자들의 대부분이 알루미늄 (Al) 성분이었으며 다른 다양한 물질 (Si, Ca, Mg, Ti 등)도 발생됨을 확인하였다. Park 등⁽²⁾은 응축핵 계수기 (CPC)를 이용해 드라이브내에서 발생하는 입자를 에어로졸 샘플링 방법을 이용해 측정하였다. 이를 통해 드라이브 구동과 정지 시에 입자가 많이 발생함을 보여줘 발생된 입자가 슬라이더와 디스크의 마찰에 의해서 발생됐음을 보여주었다. Lee 등⁽³⁾은 Park 등⁽²⁾과 마찬가지로 응축핵 계수기를 이용하여 드라이브내 입자상 오염물질을 측정하였다. 이를 통해 드라이브 회전수 증가가 입자상 물질 발생에 미치는 영향에 관해 분석하였으며 회전수 증가가 입자상 물질 발생을 증가시킨다는 것을 보여주었다. 그리고 멤브레인 필터 (membrane filter)를 이용해 드라이브내 공기를 샘플링 하여 입자상 물질을 포집하였으며 오제이

전자 분광기 (AES, auger electron spectroscopy)를 이용해 형상과 성분을 분석하였다. Lee 등⁽⁴⁾은 드라이브내 오염입자를 샘플링하고 오염된 공기를 패러데이 케이지 (faraday cage)와 응축핵 계수기에 동시에 통과시켜 오염입자의 전하량 (average number of elementary charges)을 측정하였다. 또한 공기역학적 입자크기 측정기 (APS, aerodynamic particle sizer)를 이용해 발생하는 입자의 크기를 측정하였다.

기존 대부분의 연구는 디스크에 범프가 존재하는 Texture 디스크를 사용한 드라이브를 구동시켜 발생하는 입자를 측정하였다. 따라서 현재 적용되고 있는 Smooth 디스크를 사용한 드라이브에서의 입자 발생을 예측하는데 한계가 있다. 본 연구에서는 Fig. 1과 같이 Smooth 디스크를 사용한 드라이브에서 디스크를 Texture 디스크로 교환하여 이때 발생하는 입자수를 측정하였다. 그리고 이때 발생된 입자수를 Smooth 디스크를 사용했을 때 발생하는 입자수와 비교하였다. 이를 위해 드라이브를 CSS, Flying 모드로 구동시켰고 드라이브의 정지시간 (rest time)을 변화시켜 발생하는 입자수를 측정하였다. 그리고 이때 발생하는 입자들을 입자샘플러를 이용해 포집해 오제이 전자 분광기로 성분을 분석해 Texture 디스크와 Smooth 디스크를 사용했을 때 발생하는 입자들의 성분을 비교하였다.

2. 실험

본 실험에서는 드라이브내에서 발생하는 오염 입자의 수 농도와 성분을 분석하였다. 이를 위해 하드 디스크 드라이브는 회전속도 7200 rpm용으로 제작된 CSS (contact-start-stop) 방식의 상용 하드 디스크 드라이브를 사용하였다. Figure 2는 본 실험을 위한 실험장치도이다. 실험장치는 드라이브내 입자수 측정을 위한 부분과 입자 성분 분석을 위한 부분으로 구성되어 있다. 본 실험에서는 입자수 측정을 위해 응축핵 계수기가 사용되었고 입자 성분 분석을 위해 입자샘플러와 오제이 전자 분광기가 사용되었다.

본 실험에서 사용된 응축핵 계수기는 샘플링 유량이 0.3 lpm, 최소 측정 가능 입자 크기가 7 nm (50% detection)인 CPC (TSI 3022A)를 사용하였다. 입자샘플러는 입자의 관성과 전기력을 동시에 이용하여 포집할 수 있는 장치

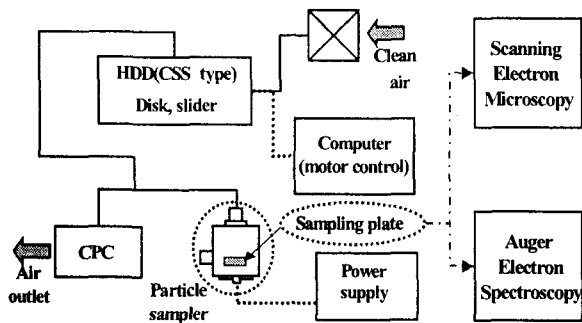


Fig. 2 Experimental set-up

Table 1 Specifications of disks

	Textured disk	Smooth disk
DLC coating thickness (Å)	30	25
Lubricant thickness (Å)	12	18
Roughness (Å)	3.1	3.1
Bump height (Å)	50	none

로 입자크기 50 nm ~ 200 nm에서 최대포집효율 90%인 장치다.

본 실험의 모든 환경은 Class 100 (0.5 μm 기준)의 청정공간 (cleanbooth)에서 이루어 졌다. 하드 디스크 드라이브의 CSS모드와 Flying모드 구현을 위해 컴퓨터와 모터 드라이브를 이용하였다. 본 실험에서는 CSS모드의 경우 1000 CSS사이클을 20000 초 동안 구현해 샘플링을 실시 하였고 Flying모드의 경우 20000 초 동안 슬라이더를 부상시킨 후 샘플링을 실시하였다. 이때 모터의 가속, 정속, 감속은 각각 5 초이며, CSS모드와 Flying모드는 모두 디스크 랜딩존에서 수행되었다. 샘플링 시 드라이브 내부에 설치되어 있는 내부 공기 순환 필터 (recirculation filter)를 제거하여 발생된 입자가 필터에 의해 제거되지 않도록 하였다. 실험 중 드라이브내 샘플링 된 양만큼의 공기를 보충해 주기 위해 HEPA필터를 이용하여 깨끗한 공기가 내부로 유입되도록 하였다. 실험에 사용된 Smooth 디스크와 Texture 디스크의 제원은 Table 1과 같다. 범프가 존재하는 Texture 디스크의 경우 랜딩존에 crater 타입의 laser zone texture (LZT)가 형성 되어 있고, Smooth 디스크인 경우 범프가 표면에 존재하지 않는다.

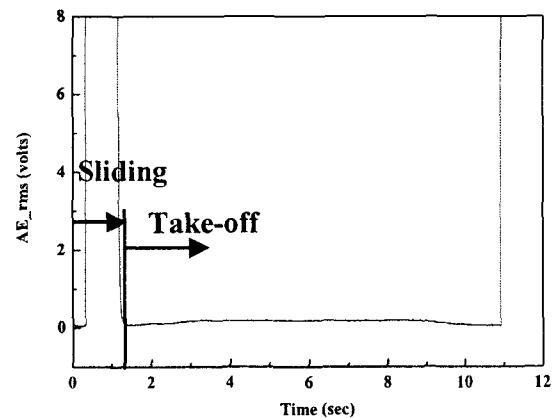
하드 디스크 드라이브의 정지시간이 입자 발생에 미치는 영향에 대해 알아보기 위해 본 실험에서는 드라이브를 각각 30 분, 3 시간, 24 시간, 72

시간, 168 시간 (1 주일)까지 정지시킨 후 구동시켜 발생하는 입자들을 측정하였다. 그리고 이때 발생하는 입자들을 입자 샘플러를 이용해 포집했으며 SEM 이미지 촬영을 통해 포집된 입자들의 대략적인 크기 및 형상을 관찰하고, 오제이 전자분광기로 입자들의 성분분석을 실시하여 Smooth 디스크와 Texture 디스크 사용 시 발생하는 입자들의 성분을 분석하였다.

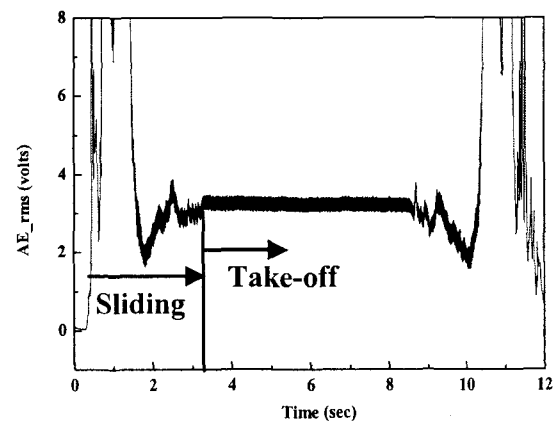
3. 결과 및 고찰

3.1 슬라이더의 부상 특성

Smooth 디스크와 Texture 디스크를 사용 시 슬라이더의 부상특성을 분석하기 위해 일반 Spinstand tester (CETR)장비를 이용해 AE (Acoustic emission)신호와 마찰 신호를 분석하였다. AE 신호는 낮은 상대습도와 정지시간이 거의 없는 0 초인 조건에서 얻어졌다. 모터의 가속, 정속, 감속 구간은 각각 3 초, 5 초, 3 초로 설정하고 디스크

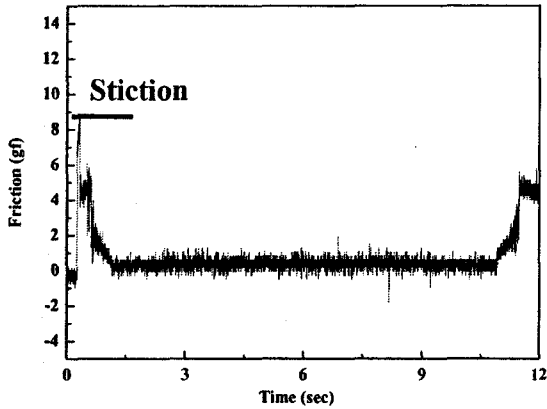


(a) Smooth disk

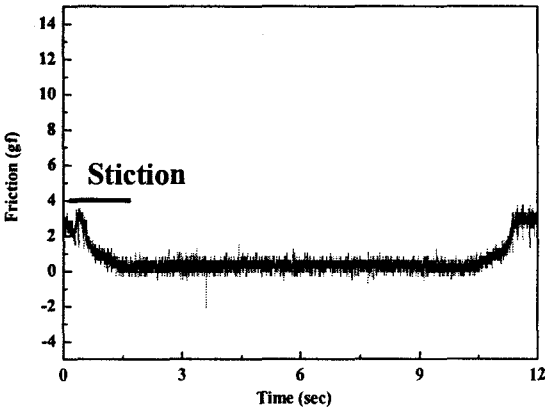


(b) Textured disk

Fig. 3 Temporal distributions of AE signals



(a) Smooth disk



(b) Textured disk

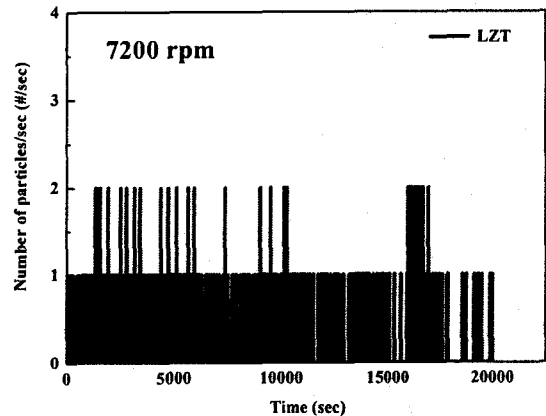
Fig. 4 Temporal distributions of Friction signals

크의 회전속도는 7200 rpm으로 설정하였다. 각각의 실험은 3번씩 반복하였고, 얻어진 값들을 평균하였다. Figure 3은 AE 신호 결과이다. 결과를 보면 Smooth 디스크와 Texture 디스크 모두 일단 모터가 구동되면 슬라이더는 약간의 요동과 함께 슬라이딩을 시작하고, 곧 부상한다는 것을 확인할 수 있다. 하지만 부상 시의 AE 신호 특성이 디스크 별로 달랐다. Smooth 디스크를 사용한 경우 슬라이더는 표면과의 마찰 후에 바로 부상을 하는 반면 Texture 디스크의 경우 표면과의 여러 번 마찰을 거친 후 부상함을 확인할 수 있다. 이는 Texture 디스크의 경우 슬라이더와 디스크가 상호접촉하는 빈도가 Smooth 경우보다 높다는 것을 말한다. Figure 4는 마찰 신호 결과이다. 결과를 보면 Smooth 디스크를 사용한 경우 Texture 디스크를 사용한 경우보다 정지마찰 (Stiction)이 더 증가한 것을 볼 수 있다. 본 실험을 종합하면 Smooth 디스크를 사용한 경우 슬라이더와 디스크의 상호접촉하는 빈도가 낮으나 정지마찰은 높고 Texture 디스크의 경우 정지마찰

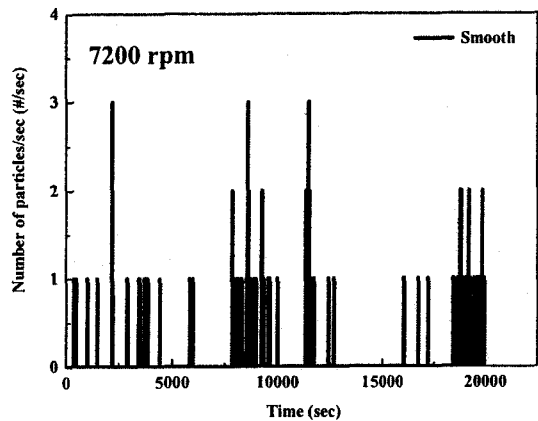
은 Smooth 디스크를 사용한 경우보다 낮으나 슬라이더와 디스크가 상호접촉하는 빈도가 높음을 알 수 있다.

3.2 구동 모드별 발생 입자수

Figure 5(a)와 (b)는 드라이브의 디스크를 Texture 디스크와 Smooth 디스크를 사용한 경우 CSS 구동 모드로 드라이브를 작동시킨 후 발생한 입자들을 샘플링한 결과이다 CSS 사이클은 가속, 정속, 감속이 각각 5 초로 총 20000 초 동안 구동시켰다. 이때 디스크 회전속도는 7200 rpm이다. 결과를 보면 Texture 디스크와 Smooth 디스크 모두 드라이브가 구동과 동시에 입자가 발생했음을 알 수 있다. 이는 슬라이더와 디스크의 상호작용에 의해 입자가 발생한 것이라 생각된다. 하드 디스크 드라이브의 CSS 구동 방식은 드라이브 전원이 꺼진 상태에서는 슬라이더가 디스크 표면 랜딩존에 부착되어 있는 상태이며 모

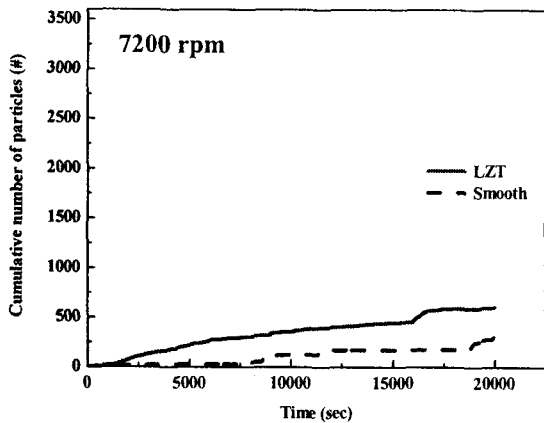


(a) Textured disk

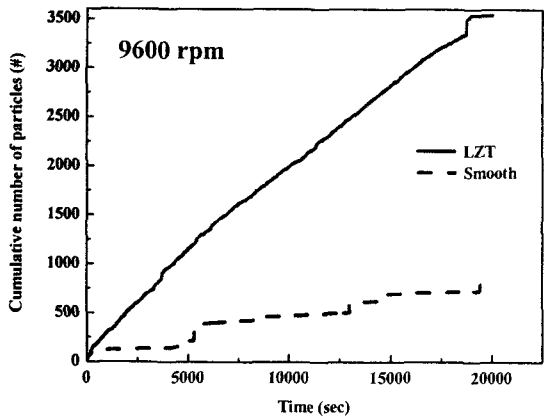


(b) Smooth disk

Fig. 5 Particle generation for CSS mode



(a) 7200 rpm



(b) 9600 rpm

Fig. 6 Effect of disk rotational speed on cumulative particle generation in smooth and textured disk drive

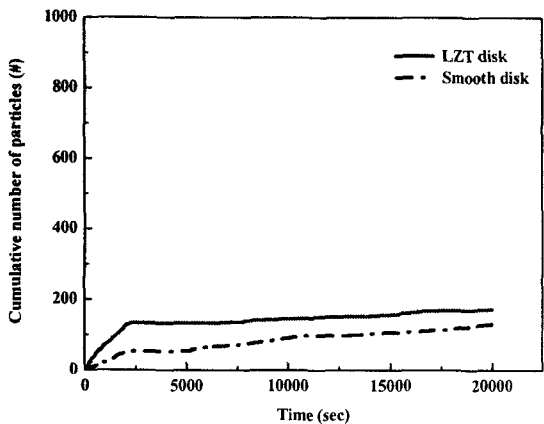


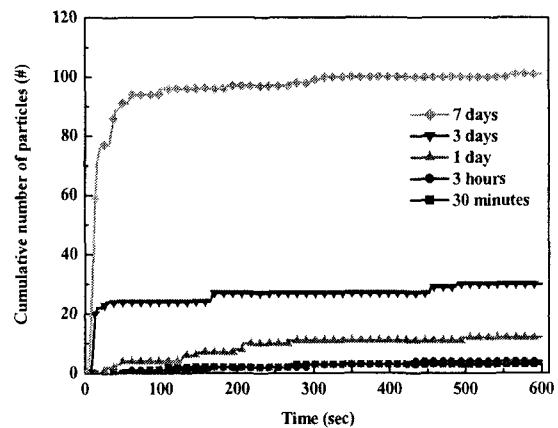
Fig. 7 Particle generation for flying mode

터가 구동을 하면 슬라이더와 디스크 표면에 공기베어링층이 형성이 되어 슬라이더가 디스크 표면을 부상하게 된다. 그러나 디스크가 처음 회전하여 속도를 증가시키는 구간과 감속 하는 구간에서는 공기베어링층이 충분히 형성되지 않아 슬라이더와 디스크의 접촉이 일어나게 되고 이 원인으로 인해 입자가 발생하게 된다.

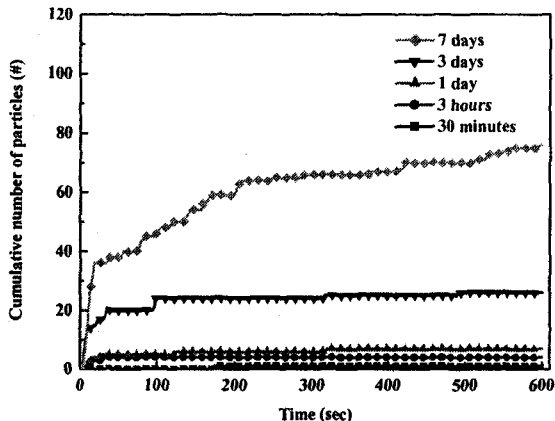
Figure 6은 디스크 회전속도를 7200 rpm과 9600 rpm으로 회전시켜 발생된 입자수를 비교한 것이다. 결과를 보면 Texture 디스크를 사용한 경우 드라이브에서 발생된 입자수가 Smooth 디스크를 사용한 경우보다 많았다. 그리고 이 경향은 디스크 회전속도가 증가해도 변하지 않았다. 7200 rpm으로 디스크를 회전시켰을 때 총 발생 입자수를 비교해 보면 Texture 디스크를 사용한 경우가 Smooth 디스크를 사용한 경우보다 약 2 배 정도 많았다. 하지만 9600 rpm으로 회전속도를 증가시켰을 때는 Texture 디스크의 경우가 약 6 배 정도 입자가 더 발생하였다. 이와 같은 결과는 AE 신호 분석 결과와 마찬가지로 Texture 디스크 표면에 존재하는 범프로 인해 슬라이더와 디스크가 더욱더 많이 상호 접촉한 결과로 생각된다. 특히 본 실험에서는 슬라이더를 랜딩존에 고정하고 부상시켰으므로 Texture 디스크의 경우 슬라이더가 부상 시 범프와 간헐적인 접촉으로 인해 입자가 더 많이 발생했을 것이다. Figure 7은 Flying 모드 시 발생하는 입자수를 비교한 것이다. 결과를 보면 Texture 디스크인 경우 발생하는 입자수가 Smooth 디스크보다 많은 것을 확인 할 수 있다.

3.3 정지시간에 따른 입자 발생

Figure 8은 Texture 디스크와 Smooth 디스크를 사용한 경우 드라이브 정지시간에 따라 발생된 입자수를 누적으로 표시한 것이다. 결과를 보면 정지된 시간이 증가 할수록 발생하는 입자의 개수가 증가함을 알 수 있다. 이는 하드 디스크 드라이브의 정지시간이 증가하면 정지마찰 역시 증가하여 많은 입자가 정지마찰 증가로 인해 발생



(a) Textured disk



(b) Smooth disk

Fig. 8 Effect of rest time on particle generation trend

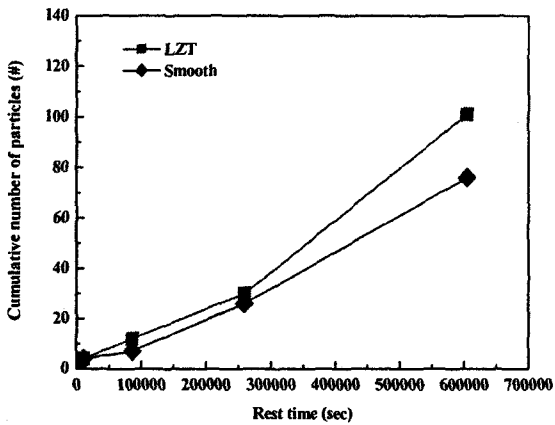


Fig. 9 Total number of particles with rest time

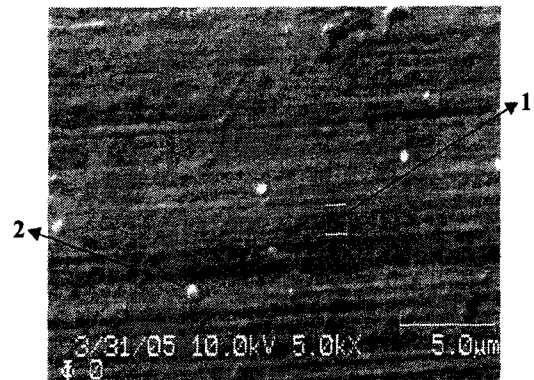
한 것이다.^(5,6) Figure 8을 보면 구동초기에 많은 입자가 발생함을 알 수 있다. Figure 9는 Smooth 디스크와 Texture 디스크를 사용한 경우 발생한 입자의 총 수를 비교한 것으로 모두 정지된 시간과 발생하는 입자의 개수가 비례관계에 있음을 알 수 있다. 또한 Texture 디스크를 사용한 경우 Smooth 디스크를 사용한 경우보다 정지시간 변화에 상관 없이 입자수가 더 많이 발생함을 알 수 있다.

3.4 드라이브내 발생 입자성분

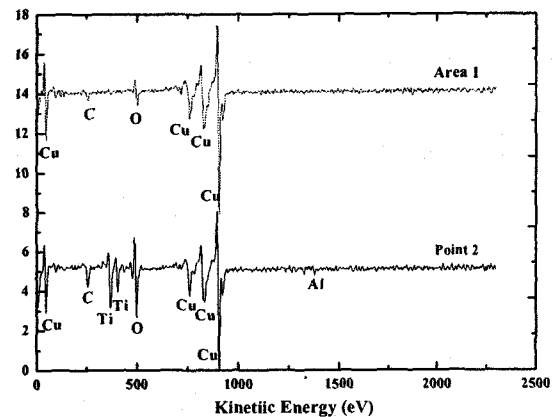
Smooth 디스크를 사용한 경우와 Texture 디스크를 사용한 경우 발생하는 오염입자들의 형상 및 성분을 분석하기 위해 입자 샘플러를 이용해 오염입자를 포집하고 포집된 입자들을 오제이 전자 분광기를 이용해 성분 분석 하였다. 하드 디스크 드라이브내에서 가장 흔히 발견되는 입자의 성분은 Al이다.⁽¹⁾ 따라서 본 실험에서는 정밀한

분석을 위해 입자 샘플러 안의 샘플링 기관을 구리 (Cu)로 사용해 발생하는 입자와 기관의 재질을 다르게 하였다.

Figure 10과 11은 Smooth 디스크와 Texture 디스크를 사용한 경우 발생한 입자들을 입자 샘플러를 이용해 샘플링 (flow rate: 0.3 lpm)하고 분석한 결과이다. Figure 10과 11의 (a)에는 샘플러 기관에 부착된 오염입자들이 관찰되는데, 그 크기가 크게는 수 μm 로부터 작게는 수백 nm정도 됨을 알 수 있다. Figure 10(a)에서 입자를 선정하여 AES 분석을 실시한 결과를 Fig. 10(b)에 나타냈다. Fig. 10(a)의 Area 1은 기관을 분석한 것으로 기관이 구리로 되어 있음을 알 수 있다. 그리고 Point 2는 입자를 분석한 것으로 본 실험에서는 Sputtering 방식으로 기관의 재질이 나올 때까지 입자를 깊이 방향으로 성분을 분석하였다. Point 2 입자의 성분이 Al, Ti 성분임을 확인할 수 있었으며, 이 성분들은 디스크의 기관과 슬라이더의 재질이다. Figure 11(b)는 Fig. 11(a)에서 입자를

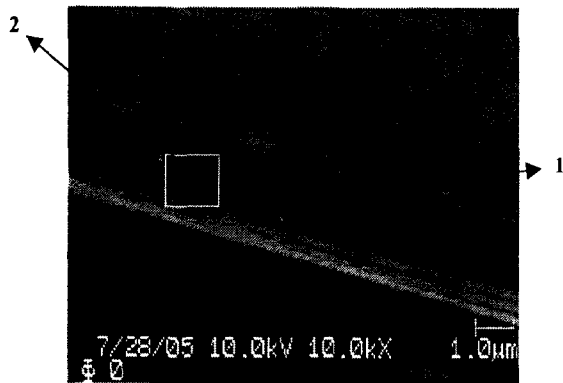


(a) SEM image

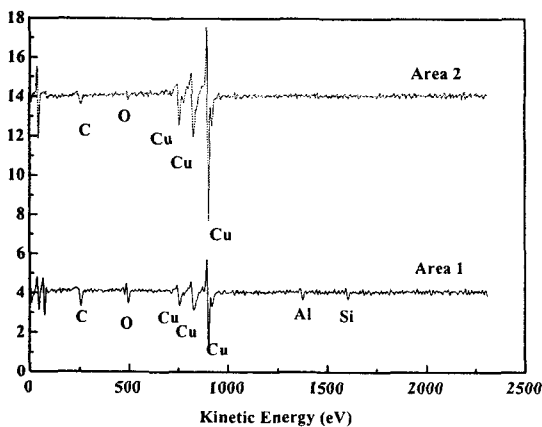


(b) AES spectrum

Fig. 10 SEM image and AES spectrum of particles generated in hard disk drive (textured disk)



(a) SEM image



(b) AES spectrum

Fig. 11 SEM image and AES spectrum of particles generated in hard disk drive (smooth disk)

선정하여 AES 분석을 실시한 결과이다. 결과를 보면 Smooth 디스크를 사용한 경우 발생한 입자가 Al 성분인 입자임을 알 수 있다. Smooth 디스크와 Texture 디스크를 사용했을 경우 공통적으로 Al 성분이 나왔음을 알 수 있는데 이는 디스크의 재질이다. 따라서 본 실험에서 하드 디스크 드라이브로부터 샘플링 된 입자들은 Smooth 디스크와 Texture 디스크를 사용한 경우 모두 슬라이더와 디스크의 상호접촉으로 인한 마멸 입자로 판단이 되며, 입자들이 주로 디스크와 슬라이더 표면으로부터 분리된 것임을 추측할 수 있었다.

4. 결 론

본 실험에서는 Smooth 디스크와 Texture 디스크가 입자 발생에 미치는 영향에 대해 분석하였다. 이를 위해 드라이브를 CSS, Flying 모드로 구동시켜 발생하는 입자수를 Smooth 디스크와

Texture 디스크를 사용한 경우에 대해 비교하였다. 그리고 하드 디스크 드라이브의 정지시간 변화에 의한 입자 발생에 대해 비교하였으며 이때 발생하는 입자들의 성분을 비교하였다.

결론적으로 CSS, Flying 모드 구동 시 Texture 디스크를 사용했을 경우 발생한 입자수가 Smooth 디스크를 사용한 경우 발생한 입자보다 많았다. 그리고 정지시간 변화에 따라 발생한 입자수를 비교한 결과 모두 정지시간이 증가함에 따라 발생한 입자수가 증가하였고 Texture 디스크의 경우가 Smooth 디스크를 사용한 경우보다 발생한 입자수가 더 많았다. 이때 발생한 입자들의 성분을 분석한 결과 오염입자의 성분이 Al, Ti였다. 이 물질들은 디스크와 슬라이더의 물질이다. 따라서 발생한 입자들이 모두 디스크와 슬라이더에서 나왔음을 알 수 있었다.

후 기

본 연구는 삼성전자와 한국과학재단지정 정보저장기기연구센터 (과제번호: R11-1997-042-12001-0)의 지원을 받아 이루어졌으며 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

- (1) Bhushan, B., Chandra, S. and Smallen, M., 1999, "Analysis of Drive-Level Contaminant Particles," *J. Info. Storage Process. Syst.*, Vol. 1, pp. 115-124.
- (2) Park, H. S., Hwang, J. and Choa, S. H., 2000, "Particle Generation Trend with Variation of Rest Time and Seek Mode in Hard Disk Drive Operation," *Trans. KSME B*, Vol. 24, No. 8, pp. 1056-1061.
- (3) Lee, D. Y., Hwang, J. and Bae, G. N., 2004, "Effect of Disk Rotational Speed on Contamination Particles Generated in a Hard Disk Drive," *Microsyst. Technol.*, Vol. 10, pp. 103-108.
- (4) Lee, J., Park, D., Lee, D. Y. and Hwang, J., 2005, "Measurements of Particles Size Distribution and Average Particle Charge in Operating a Hard Disk Drive," *Microsyst. Technol.*, Vol. 11, pp. 1223-1229.
- (5) Park, H. S., Yoo, Y. C., Bae, G. N. and Hwang, J., 1999, "Investigation of Particle Generation in a Hard

Disk Drive During the Start/Stop Period," *IEEE Trans. Magnetics*, Vol. 35, No. 5, pp. 2439-2441.

(6) Gao, C., Dai, P. and Vu, V., 1999, "Flying Stiction, Lubricant Pick-Up and Carbon-Overcoat Wear of Magnetic Heads," *J. Tribology*, Vol. 121, pp. 97-101.