

하드디스크 드라이브의 슬라이더 구동정지 기간 및 검색조건 변화에 따른 입자 발생 경향

박희성* · 황정호** · 좌성훈***
(1999년 12월 20일 접수)

Particle Generation Trend with Variation of Rest Time and Seek Mode in Hard Disk Drive Operation

Hee-Sung Park, Jung-Ho Hwang and Sung-Hoon Choa

Key Words: Hard Disk Drive(하드디스크 드라이브), Slider(슬라이더), Disk(디스크), Particle Generation Trend(입자 발생 경향), Random Seek Mode(랜덤 검색), Rest Time(정지 시간), Stiction(정지마찰), Contact(접촉)

Abstract

Particles existing in a hard disk drive are known as a major source of TA(thermal asperity). Researchers have investigated how particles induce the TA phenomena, but have not verified yet the reason why and how particles are generated in a HDD. The objective of this study is to investigate why and how particles are generated, and in what condition, the largest number of particles is generated. The number of particles generated in a HDD was measured over the landing zone after various rest times of slider and during various motions and positions of slider. It is found that the large number of particles was generated when the HDD was turned on after a long rest time of slider and that a few of particles were continuously generated when the slider flied over the disk surface. It is thought that the number of particles generated in a HDD was related to the rest time of slider because the rest time of slider increased stiction, and that there were intermittent contacts between the slider and the disk surface when the slider flied over the disk surface.

1. 서 론

HDD(Hard Disk Drive)의 저장밀도가 증가함에 따라 슬라이더와 미디어가 근접촉(pseudo-contact)하는 상태에서 데이터의 입출력이 이루어진다. 근접촉저장방식에서는 슬라이더와 미디어 인터페이스

표면에 경한 세라믹 코팅과 특성화된 윤활제를 사용하여 슬라이더/미디어의 마찰, 마멸 특성을 향상시키고 있다. 이러한 슬라이더/미디어 인터페이스의 특성향상은 이상적인 시스템에서 파손을 최소화할 수 있지만 입자가 존재하는 시스템에서는 슬라이더와 미디어가 손상될 확률이 높아진다.

HDD내에 존재하는 입자가 드라이브내의 헤드와 디스크 미디어 사이로 유입되어 발생하는 현상에 관하여, Zhang 등⁽¹⁾은 입자성분에 따라 슬라이더 및 디스크가 받는 손상정도를 측정하였으며 입자가 슬라이더/미디어 인터페이스에서 상호작용하는 메커니즘을 예측하였고, Altshuler 등⁽²⁾은

* 연세대학교 기계공학과 대학원

** 회원, 연세대학교 기계공학과

E-mail: hwangjh@yonsei.ac.kr

TEL: (02)361-2821, FAX: (02)312-2159

*** 회원, 삼성전자 스토리지 사업부

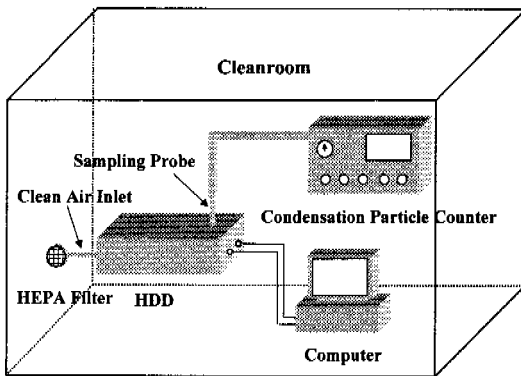


Fig. 1 Experimental setup

다양한 입자가 glass 디스크 등의 표면에 존재할 때 디스크 및 슬라이더에 발생하는 스크래치와 흠 등의 손상된 정도를 나타내었다. Hiller 등⁽³⁾은 입자가 슬라이더 후미에 휘스커를 형성하는 메커니즘에 관하여 연구하였다. 또한 Koka 등⁽⁴⁾은 슬라이더의 테이퍼에 입자가 부착함을 보였다. HDD 내 입자가 발생하는 원인에 관해서, 박희성 등⁽⁵⁾과 Park 등⁽⁶⁾은 HDD의 구동 및 정지후에 슬라이더와 디스크의 접촉시에 발생하는 마멸에 의한 것으로 예측하였으나, 실제의 경우, 매 실험시 입자의 발생량은 차이를 보였고 그원인에 대해서는 밝히지 못하였다.

본 논문에서는 HDD의 구동직후와 구동 중에서 입자가 발생하는 원인에 관하여 연구하였다. HDD를 5분에서 3~4 개월 동안 power-off 시킨 뒤에 구동을 시작하여 입자 발생경향을 측정하였으며 power-off 기간(rest time)과 입자발생 경향의 상관관계로부터 입자 발생원인이 슬라이더와 디스크 사이의 정지마찰(stiction)로 인한 것임을 예측하였다. 또한 PC를 사용하여 슬라이더를 디스크의 반경방향 일정부분 및 전체 영역을 몇 가지 조건으로 검색하여 각 검색조건에 따라 발생하는 입자의 개수를 측정하였다. 그 결과 HDD 구동 중의 입자 발생경향은 슬라이더의 검색조건과 상관관계가 있으며, 슬라이더가 디스크 표면을 정상적으로 부상하는 상태에서도 입자가 발생함을 밝혔다.

2. 실험

HDD(8.4 GB, 4 heads)의 커버에 내부 유동 샘플링을 위한 구멍과 청정 공기를 공급하는 부분을 가공하였고, 내부공기순환필터(recirculation filter)를 제거하여 입자가 필터에 의해 손실되지 않고 최대한 샘플링 될 수 있게 하였다. 입자 개수 측정기는 TSI CPC (Condensation Particle Counter) 3022A 모델로, 샘플링 유량 0.3 L/m, 최소 측정가능 입자크기는 7 nm 이상이다. 실험장치의 구성은 Fig. 1에 나타난 바와 같고, 실험환경은 Class 100, 온도 28 °C, 습도 40 %의 클린부스(clean booth)이다. 실험장치는 내부 공기가 CPC로 샘플링 되는 만큼의 공기를 드라이브 내부로 공급해 주기위한 HEPA(High Efficiency Particulate Air) 필터, 청정공기가 적절히 유입되는지를 점검하기 위한 유량계, HDD, CPC 및 PC로 구성하였다. HDD 내부공기의 샘플링 프로브는 내경 3mm인 파이프를 사용하였으며, HDD 내부 유동의 속도가 작아서 입자의 샘플링 효과가 높고 슬라이더와 디스크 표면의 접촉이 발생하는 디스크의 랜딩존(landing zone)에 수직으로 삽입하였다. 샘플링 프로브와 청정공기 유입부분은 Fig. 1, 2에 나타내었다.

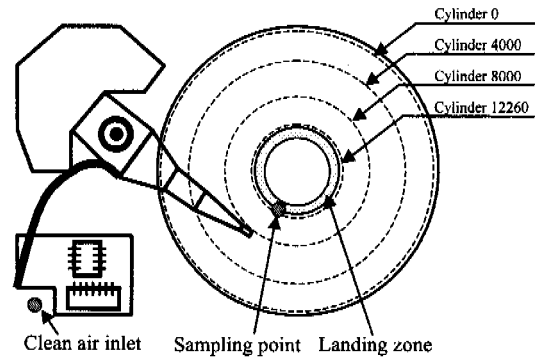


Fig. 2 Schematic of particle sampling point

CPC를 이용한 HDD 내부의 입자 개수 측정은 다음과 같은 순서로 진행하였다. 먼저 HDD를 정지시킨 상태에서 외부의 청정한 공기를 HDD 내로 유입시키면서 CPC로 배경 입자 오염도(background level)를 모니터링하였다. 배경 오염도가 측정된 입자의 개수에 비해 미세한 정도가 되면 HDD를 구동시키고 CPC로 입자 개수를 측정하며, 측정이 끝나면, 다시 배경오염도를 측정하여 발생한 입자 개수와 비교한 후 데이터의 신뢰성을 평가하였다.

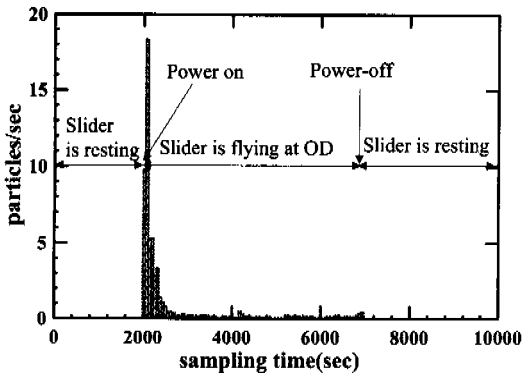


Fig. 3 Particle generation trend

HDD 구동을 정지시켰을 때 슬라이더는 Fig. 2의 랜딩존에 위치한다. HDD의 구동정지시간(rest time, power-off time)을 5분, 30분, 1시간, 4시간, 18시간 및 3~4개월로 변화시켜가며 구동시켰을 때 입자가 발생하는 경향을 측정하였다. 또한 슬라이더가 디스크 실린더 0번, 4000번, 8000번, 12260번의 위치(Fig. 2 참조)에서 부상할 때, 디스크 표면을 부분적으로 검색할 때, 그리고 랜덤 검색할 때 발생한 입자의 개수를 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

본 실험은 슬라이더가 랜딩존에 머무르는 시간변화와 디스크 반경방향으로의 슬라이더 부상 위치 변화 및 슬라이더가 디스크 표면의 데이터 영역을 검색하는 모드를 변화 시켜 가며, 입자의 발생경향을 측정하여 입자가 발생하는 원인을 예측하였다. 실험의 정확성을 검증하기 위해 HDD를 구동하지 않은 상태에서 내부공기를 샘플링하여 측정한 배경오염도는 0.001 개/sec 이하로, 본 실험의 결과에는 거의 영향을 미치지 않았다.

3.1 HDD의 정지시간 변화와 발생 입자 개수의 변화

Fig. 3은 HDD를 구동시켰을 때 발생하는 입자를 측정된 결과의 한 예이다. 매 60초 동안 측정된 입자의 개수를 시간평균하여 막대그래프로 나타내었는데, 구동 초기에만 많은 입자가 측정되었으며, 구동 직후에는 Park 등⁽⁶⁾의 결과와는 달리 입자 발생이 미미하였다. 이러한 원인은 저장용량이 100 MB(Park 등⁽⁶⁾)와 8.4 GB(본 실험)로, HDD 내의 슬라이더와 미디어 인터페이스의 설계

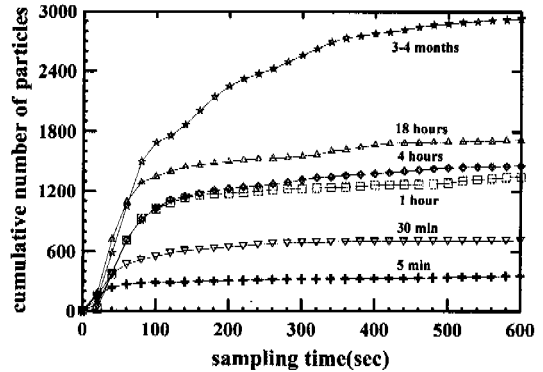


Fig. 4 Effect of rest time on particle generation trend

차이 때문인 것으로 생각된다.

Fig. 3에 나타난 입자의 발생경향은 HDD를 구동시킬 때마다 경향은 같았지만 발생하는 입자의 개수는 차이를 보였다. Fig. 3에서 정점이 나타나는 지점이 구동초기인데, 이는 슬라이더/디스크 사이의 정지마찰 그래프와 비슷한 경향을 보인다. 따라서 입자의 발생 경향과 정지마찰과는 상관관계를 규명하기 위해 Gao 등⁽⁷⁾의 연구 결과와 Bhushan 등⁽⁸⁾의 연구 결과를 참조였다. Gao 등⁽⁷⁾에 의하면 슬라이더를 24시간 동안 검색/부상시키고 24시간 동안 정지시킨 후에 정지마찰(stiction)을 측정된 결과, 1000 번의 CSS(Contact Start Stop) 테스트 이후에 측정된 것보다 10배 이상 증가하였다. 또한 Bhushan 등⁽⁸⁾의 결과에서도 슬라이더의 정지시간(rest time)이 증가함에 따라 정지마찰이 증가하였다.

본 실험에서는 정지마찰을 증가시키기 위해 HDD의 power-off 기간을 5분, 30분, 1시간, 4시간, 18시간 그리고 3~4개월로 변화하였다. 각 정지시간이 지나면 HDD를 구동시켜 슬라이더가 실린더 0번에 위치할 때 발생하는 입자의 누적개수를 Fig. 4에 나타내었는데, 그래프를 보면 정지된 시간과 발생하는 입자의 개수는 비례관계에 있음을 알 수 있다. 즉, 구동 초기에 많은 입자가 발생하는 원인은 정지마찰에 의한 것이며, 슬라이더가 디스크의 랜딩존에서 정지하고 있는 시간이 길 때, 즉 HDD의 Power-off 기간이 증가하면 정지마찰 역시 증가하여 많은 입자가 발생된 것으로 생각된다.

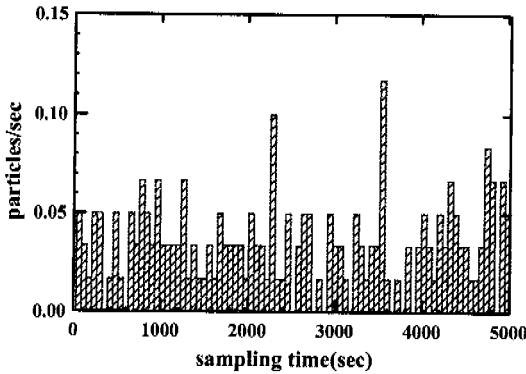


Fig. 5 Particle generation while slider is flying at OD

3.2 구동 중의 입자 발생 경향

HDD의 구동초기에 입자의 대부분이 발생하지만 슬라이더가 디스크의 OD(실린더 0번 지점)에서 부상하고 있는 동안에도 적은 양의 입자가 발생하는 것을 Fig. 3에서 볼 수 있다. 슬라이더가 OD에서 부상하는 동안에 입자가 발생하는 원인은 슬라이더와 디스크 표면의 간헐적인 접촉 때문이라고 생각되는데, 이러한 접촉이 슬라이더의 움직임과 슬라이더가 부상하는 위치에 따라 어떠한 관계가 있는지를 규명하기 위해 구동상태에서 입자 발생 경향을 그래프로 표시하고 슬라이더의 부상 위치 변화에 따른 입자의 발생경향과 서로 비교하였다.

3.2.1 슬라이더의 부상위치와 입자 발생의 관계

Fig. 5에는 슬라이더가 OD에 있을 때 측정된 입자의 개수를 나타내었는데 일정한 규칙은 나타나지 않으나 입자가 간헐적으로 발생되었다. 이러한 경향은 슬라이더가 안정되게 디스크 표면을 부상할 때의 전형적인 입자 발생경향이라고 생각되며, 발생하는 입자의 개수를 시간으로 평균하였더니 0.03개/sec였다.

Fig. 6에는 슬라이더가 실린더 0번, 4000번, 8000번, 12260번에서 부상할 때 측정된 입자의 누적개수와 선형 fitting 결과를 나타냈다. 그래프에 나타난 바와 같이 슬라이더의 위치에 따라 발생하는 입자 개수의 변화는 미미하였으며 각 데이터를 선형 fitting한 결과, 발생하는 입자의 수가 슬라이더의 위치에 상관없이 대략 0.03개/sec임을 알 수 있다. 즉 슬라이더가 부상하고 있는 위치와 발생하는 입자의 수는 관계가 없다고 생

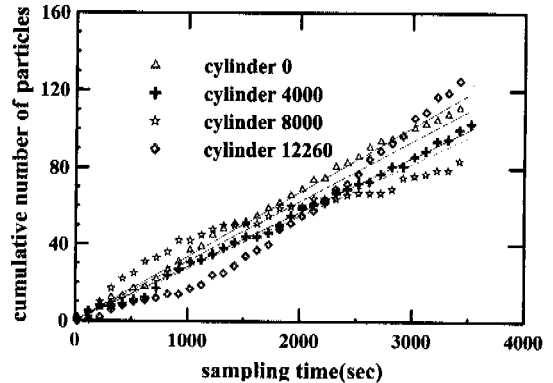


Fig. 6 Effect of slider flying position on particle generation

각되며, 슬라이더와 디스크의 코팅 및 표면거칠기 등의 특성에 더 의존할 것으로 생각된다.

슬라이더가 안정적으로 디스크 표면을 부상하고 있는 상태에서 입자가 발생하는 원인은 슬라이더와 디스크의 간헐적인 접촉 때문인 것으로 예측되는데, Gao 등⁽⁷⁾도 슬라이더를 디스크 표면에서 부상시킨 후에 슬라이더 ABS(Air Bearing Surface)에서 마멸흔적을 발견하여 슬라이더가 부상하는 상태에서도 접촉이 발생하고 있음을 예측하였다. 따라서 슬라이더가 부상하는 상태에서 디스크 표면과 물리적인 접촉이 발생하며, 마멸 입자가 꾸준히 발생되고 있다고 여겨진다.

3.2.2 슬라이더의 검색조건에 따른 입자의 발생경향

슬라이더의 부상위치와 발생하는 입자의 개수 상관계수가 없었으나, 슬라이더가 디스크 표면의 데이터를 읽고 쓰는 과정에서 디스크 반경 방향으로 움직일 때에는 슬라이더의 움직임이 활발하므로 접촉의 가능성은 높아질 것으로 생각된다. 따라서 슬라이더의 움직임과 입자의 발생경향과의 관계를 규명하기 위해 슬라이더를 Fig. 2의 실린더 번호를 이동하는 상태로 유지시켰을 때와 슬라이더를 랜덤하게 디스크 표면의 데이터 영역을 읽기/쓰기를 수행시켰을 때의 입자 발생 경향을 구하였다.

Fig. 7에는 슬라이더가 디스크의 OD에서 ID까지 움직일 때와(실린더 0번~12260번) OD에서 ID를 세 부분(실린더 8000번~12260번, 4000번~8000번, 0번~4000번)으로 나누어 각 부분에서 슬라이더가 움직일 때 발생하는 입자의 누적개수를

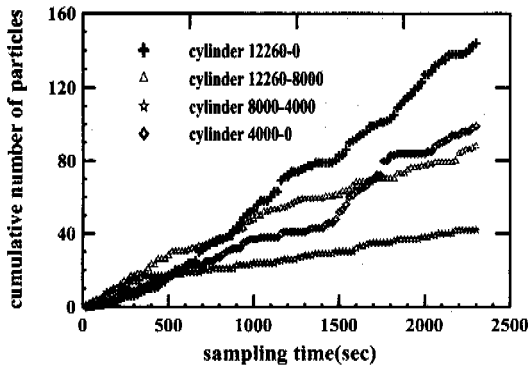


Fig. 7 Effect of slider seeking region on particle generation

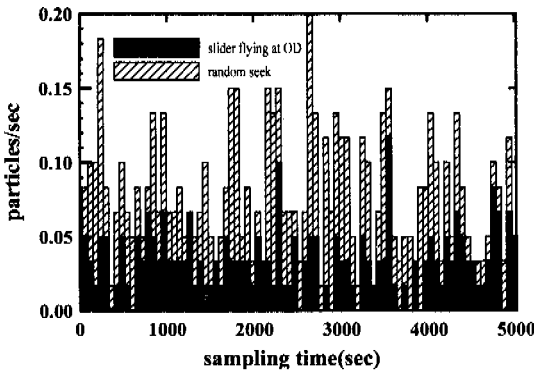


Fig. 8 Effect of slider's random seek mode on particle generation

그래프에 표시하였다. 시간에 따른 평균 입자 개수는 슬라이더가 OD에서 ID까지(실린더 0번~12260번) 움직일 때 0.067 개/sec 이고, 세 부분으로 나누었을 때는 0.018에서 0.043 개/sec의 입자가 측정되었다. 슬라이더가 움직이는 폭이 클 때 입자가 더 많이 발생된 경향을 보이며, 세 부분으로 나누었을 때는 입자의 발생 경향이 슬라이더가 OD에서 부상했을 때의 입자 발생 경향과 뚜렷하게 차이가 나타나지 않았다. 또한 슬라이더가 ID 쪽에서 움직일 때와 OD 쪽에서 움직일 때도 입자 발생 경향에는 차이점이 크게 나타나지 않았다.

슬라이더가 디스크의 랜덤한 데이터 영역을 읽고 쓸 때의 입자 발생 경향을 슬라이더가 OD에서 부상하고 있을 때의 데이터와 Fig. 8에 비교하여 나타냈다. 슬라이더가 랜덤하게 움직일 경우

에 0.046 개/sec의 입자 발생되어 더 많은 입자가 발생했다. 입자의 발생 경향은 같은 형태를 보였으나 측정된 입자의 개수가 많은 이유는 슬라이더의 움직임으로 인해 디스크 표면과 접촉이 많아졌기 때문인 것으로 생각된다.

이러한 결과로 보아 슬라이더가 움직이고 있는 상태에서의 발생하는 입자의 수는 슬라이더가 활발히 움직일수록 디스크 표면과 접촉가능성이 높아져 많은 입자가 발생된 것으로 생각된다.

4. 결론

HDD의 정지 시간과 구동 조건에 따라 발생하는 입자의 개수를 측정하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) HDD의 구동 이후에 많은 입자가 발생되는데, HDD의 정지시간에 비례하여 발생하는 입자의 수가 증가한다.

(2) 슬라이더가 디스크 표면을 완전히 부상한 이후에도 입자가 발생하는데, 디스크 표면과의 간헐적인 접촉에 의한 마멸 입자가 발생되는 것으로 예측된다.

(3) 슬라이더가 부상하고 있는 위치와 입자 발생과는 연관이 없으며, 슬라이더가 부상하고 있는 상태에서 움직임이 활발할수록 많은 입자가 발생하는 것으로 생각된다.

후 기

본 연구는 삼성전자와 한국과학기술연구원 정보저장기기연구센터(과제번호: 1999G0101)의 지원을 받아 이루어졌으며 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

- (1) Zhang, L., Koka, R., Yuen, Y. and Lam, E., 1999, "Particle Induced Damage on Heads and Discs Due to Fine Particles of Different Materials," *IEEE Trans. Magnetics*, Vol. 35, No. 2, pp. 927~932.
- (2) Altshuler, K. J., Harrison, J. C. and Acerman, E., 1999, "The Physical Effects of Intra-Drive Particulate Contamination on the Head-Disk

- Interface in Magnetic Hard Disk Drives," *J. Tribology*, Vol 121, pp. 352~358
- (3) Hiller, B. and Singh, G. P., 1994, "Mechanism for Formation of Whiskers on a Flying Magnetic Recording Slider," *IEEE Trans. Magnetics*, Vol. 30, No. 4, pp. 1499~1503.
- (4) Koka, R. and Kumaran, A. R. 1991, "Visualization and Analysis of Particulate Buildup on the Leading Edge Tapers of Sliders," *Adv. Info. Storage Syst.*, Vol. 2, pp. 161~171.
- (5) 박희성, 유용철, 배귀남, 황정호, 1999, 구동 및 정지시 하드 디스크 드라이브 내 입자 발생 특성에 관한 실험적 연구, "대한기계학회논문집 (B)", 23권 6호, pp. 744~752
- (6) Park, H. S., Yoo, Y. C., Bae, G. N. and Hwang, J., 1999, "Investigation of Particle Generation in a Head/Slider Disk Interface During the Start/Stop Period," *IEEE Trans. Magnetics*, Vol. 35, pp. 2439~2441.
- (7) 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.
- (8) Bhushan, B., Kotwal, C. A. and Chilamakuri, S. K., 1998, "Kinetic Meniscus Model for Prediction of Rest Stiction," *J. Tribology*, Vol. 120, pp. 42~53.