

# 구동 및 정지시 하드 디스크 드라이브 내 입자 발생 특성에 관한 실험적 연구

박희성\* · 유용철\* · 배귀남\*\* · 황정호\*\*\*  
(1998년 10월 29일 접수)

## Investigation of Particle Generation in a Hard Disk Drive During the Start/Stop Period

Hee-Sung Park, Yong-cheol Yoo, Gwi-Nam Bae and Jung-Ho Hwang

**Key Words:** Hard Disk Drive(HDD), Start/Stop(구동/정지), Flying Height(부상높이), Particle(입자), Wear(마멸)

### Abstract

Particle contamination in a hard disk drive has been recognized as an important issue because particles can significantly affect the reliability of the drive. In this study, characteristics of the particle generation in a hard disk drive during the start/stop period were investigated. The number of particles generated in the drive was measured at 5 locations by using condensation nucleus counters(CNC) with sampling probes. It was found that most of particles were generated whenever the drive started or stopped. The number of particles detected by the condensation nucleus counter depended on sampling parameters including sampling location, shape of sampling probe, and sampling velocity.

### 1. 서 론

하드 디스크 드라이브(hard disk drive, HDD)가 주 정보저장 매체로 사용된 이후 저장용량과 저장밀도는 매년 비약적으로 증가되어 왔다. IBM에서는 2000년까지 10 GB/in<sup>2</sup>의 저장밀도를 가진 HDD가 개발될 것으로 예상하고 있다.<sup>(1)</sup> 현재 일반 개인용 컴퓨터에 사용되는 HDD의 내부 구조를 Fig. 1 (a)에 나타냈는데, HDD는 1~2장의 디스크, 헤드/슬라이더, 주축 모터, 필터, 칩 등으로 구성되어 있다. 이러한 부품 중 헤드/슬라이더는 데이터를 입출력하는 중요한 부분으로 Fig. 1 (a)

의 'A' 각도에서 보았을 때의 모양을 Fig. 1 (b)에 나타내었다. 서스펜션에 의해 지지되는 슬라이더는 공기 베어링을 형성하여 부상하기 위해 밀면에 레일이 가공되어 있고, 후미에 데이터물 입출력시키는 헤드가 부착되어 있다.

박막 디스크(thin film disk)의 경우 Fig. 2에 나타낸 바와 같이 데이터를 저장하기 위한 자화층, 표면을 보호하기 위한 코팅층, 그리고 슬라이더와 디스크의 직접적인 접촉을 막기 위한 윤활층 등으로 구성되어 있다.<sup>(2)</sup> HDD는 슬라이더가 디스크 표면을 부상하여 슬라이더 밀면에 위치한 헤드를 통해서 데이터의 입출력이 이루어진다. 이때 슬라이더의 부상 높이(flying height)가 높아지면 하나의 신호가 디스크 표면을 차지하는 면적이 넓어지므로, 디스크 표면의 저장밀도를 높이기 위해 헤드/슬라이더와 디스크의 간격을 낮추기 위한 연구가 수행되고 있다.<sup>(3)</sup>

\* 연세대학교 대학원 기계공학과  
\*\* 회원, 한국과학기술연구원 지구환경연구센터  
\*\*\* 회원, 연세대학교 기계공학과

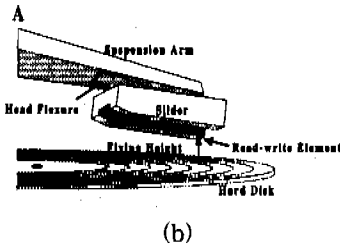
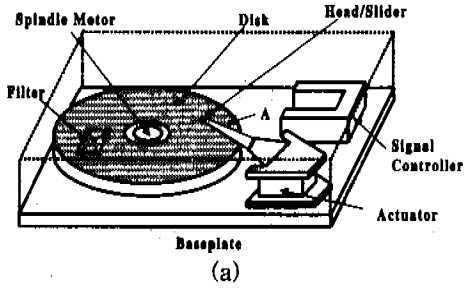


Fig. 1 Schematic of a hard disk drive.

Liquid Lubricant (1-4 nm)
Protective Overcoat (20-40 nm)
Magnetic Coating (25-150 nm)
Electroless Ni-P (10-20 μm)
Al-Mg Substrate (0.78-1.3 mm)

Fig. 2 Sectional view of a disk.

이러한 기술이 점차로 발전하여 현재 부상 높이는 50nm 이하로 디스크 표면의 최대 거칠기 높기와 거의 같고, 향후에는 근 접촉(near contact)이나 완전 접촉으로 바뀔 것으로 예상된다.<sup>(4,5)</sup> 그러나 이런 기록방식은 헤드/슬라이더와 디스크 사이(head/slider disk interface, HDI)의 마찰력을 증가시켜 슬라이더와 디스크의 표면 손상 및 마찰열과 마멸 입자가 발생되어 HDD의 성능 및 안

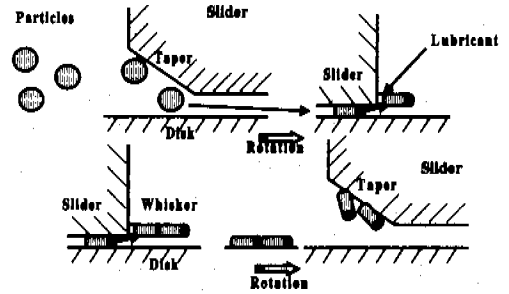


Fig. 3 Scenario of whisker formation.

정성을 저하시킨다.<sup>(1)</sup>

슬라이더는 디스크의 고속회전으로 인해 슬라이더와 디스크 사이에 공기 베어링이 형성되어 부상하게 된다. 이때 공기 베어링 내에 입자가 존재하면 슬라이더와 충돌하거나 공기 베어링을 불안정하게 하여 데이터의 입출력을 방해할 수 있다.<sup>(2)</sup> 이러한 미세 입자가 발생하는 원인을 살펴보면, 슬라이더와 디스크의 접촉에 의한 마찰로 인해 디스크 표면의 코팅체가 마멸 입자(debris)로 발생하는 경우가 있고, 액츄에이터 베어링에 주입되는 그리스가 입자로 발생되거나 내부 고분자 부품에서 잔류 단량체(monomer) 등이 표면에서 떨어져 나가서 입자로 나타나는 것 등이 있다. 그리고 입자 중에 액체의 성질을 지닌 입자는 HDI에서 용착되어 슬라이더/디스크간의 stiction(정지 상태에서 두 표면을 분리하는데 필요한 힘)을 증가시켜 슬라이더와 디스크간의 마찰 특성을 저하시킨다.<sup>(6,7)</sup> Fig. 3에 나타난 바와 같이 공기 베어링 내에 입자가 존재하면 슬라이더와 디스크의 상대운동으로 변형되면서 입자의 부착, 디스크 표면에 균열, 표면의 변형 등이 발생하거나 코팅층 및 자화층 등을 손상시킨다. 그리고 변형된 입자는 디스크 표면의 윤활제와 섞이게 되고, 슬라이더의 후미에 휘스커(슬라이더의 후미에 입자가 연속적으로 부착되어 나타나는 모양, Fig. 3 참조)를 형성하게 된다.

이렇게 형성된 휘스커는 슬라이더의 무게를 증가시켜 부상 높이를 변화시키고, 유동의 전단력으로 인해 HDD 내부 유동으로 재비산되어 테이퍼에 부착되어 결국 HDD의 안정된 데이터의 입출력을 방해한다.<sup>(8,9)</sup> 또한, 미세 입자가 HDI에서 변형될 때 순간적인 마찰에 의해 열점(hot spot)이

발생한다.<sup>(2)</sup> 이러한 열점의 발생으로 인해 열적인 저항이 발생되어 자기 저항에 의해 데이터를 입출력시키는 MR(magnetoresistive) 헤드가 정상적으로 작동할 수 없게 된다.<sup>(1)</sup>

지금까지 수행된 HDD내 입자오염에 관한 연구는 크게 HDD내에서 자연적으로 발생하는 입자의 특성에 대한 것과 HDD내에 인위적으로 입자를 분사시켜 입자가 HDD에 미치는 영향에 관한 것으로 나눌 수 있다.

HDD내에서 발생하는 입자의 특성에 대하여 정구현<sup>(4)</sup>은 슬라이더와 디스크가 접촉되었을 때 발생하는 마멸 입자가 슬라이더와 테이퍼에 부착됨을 실험적으로 규명하였고, Prater 등<sup>(6)</sup>은 액츄에이터의 베어링 그리스가 입자로 발생하는 메커니즘을 분석하고, 발생하는 입자의 크기분포를 레이저 입자 계수기(laser particle counter)로 측정하였다. Nagrajan 등<sup>(10)</sup>은 HDD의 최종 조립전의 내부부품 세척 과정에서 발생하는 입자의 크기분포를 액체 부유 입자계수법(liquidborne particle counting)으로 측정하여 입자의 크기분포가 일반적으로 알려진 대수정규분포(log-normal distribution)와 유사함을 실험적으로 입증하였다.

한편, 입자의 분사를 통해 HDD가 받는 영향에 관하여 Hiller 등<sup>(8,9)</sup>은 에어로졸 발생기(tri-jet aerosol generator, TSI model 3460)를 사용하여 크기가 0.9  $\mu\text{m}$ 인 PSL(polystyren latex) 입자를 HDI에 분사시켜 디스크나 슬라이더에 미치는 영향을 연구하였다. Bergin 등<sup>(11)</sup>은 분무형 입자 발생기로 크기가 0.5, 0.94  $\mu\text{m}$ 인 PSL 입자와 VOAG(vibrating orifice aerosol generator, TSI model 3450)로 크기가 5  $\mu\text{m}$ 인 NaCl 입자를 HDD내에 분사 후 HDD를 구동시키고 레이저 입자 계수기(TSI model 3753)로 HDD내에 남아 있는 입자 수를 측정하여 HDD의 오염 레벨을 구하였다. Hiller 등<sup>(12)</sup>은 진동관을 이용하여 크기가 2~4  $\mu\text{m}$ 인  $\text{Al}_2\text{O}_3$  입자를 HDD내에 분사시킨 후 다양한 속도로 디스크를 검색하도록 작동하여 입자가 디스크 표면에 삼입 또는 부착되었을 때 디스크 표면 거칠기의 변화를 측정하였다. Koka 등<sup>(13)</sup>은 HDD내에 평균 크기가 0.4  $\mu\text{m}$ 인  $\text{Al}_2\text{O}_3$  입자를 분사시켜 HDI내 입자의 변형 및 휘스커의 형성 메커니즘에 관하여 연구하였다.

기존에 발표된 연구는 인위적으로 입자를 분사시켜 HDD내 입자의 영향에 관한 연구가 주로 수

행되었고, HDD의 입자발생 메커니즘에 관한 연구는 그다지 많지 않다. 따라서 본 연구에서는 HDD내 입자발생 메커니즘을 규명하기 위하여 실제 HDD의 운전 조건 중에서 HDD의 구동 및 정지시 입자발생 특성에 대한 실험을 수행하였다. 실험시 샘플링 위치, 샘플링 프로브 형상, 그리고 샘플링 속도가 HDD내에서 발생하는 입자 수의 측정에 미치는 영향을 검토하였다. 또한, 연속적으로 HDD를 구동/정지시켜 입자발생의 전형적인 특성을 밝혀냈다.

## 2. 실험

본 실험에서는 실제 HDD를 구동/정지시켰을 때 발생하는 입자 수를 측정하기 위하여 Fig. 4와 같이 HDD(Alps사의 100MB), HDD의 구동/정지 및 데이터 처리를 위한 컴퓨터, 입자 샘플링 프로브, 외부에서 유입되는 공기의 청정도를 유지하기 위한 고성능 에어(high efficiency particulate air, HEPA)필터 그리고 응축핵 계수기(condensation nucleus counter, CNC)로 실험장치를 구성하였다.

본 실험은 외부환경(입자오염)에 매우 민감하므로 class 1000(0.3  $\mu\text{m}$  기준), 온도 24°C, 상대습도 50%로 유지되는 청정실(cleanroom)에서 수행하였다. HDD의 원래 덮개를 제거한 후 샘플링 프로브 및 청정공기 도입관의 설치가 쉽고 외부의 오염된 공기가 들어오지 못하도록 아크릴로 만든 덮개로 내부를 완전히 밀폐시켰다. 또한 입자 측정을 위해 내부공기를 샘플링할 때 내부 유동변화가 심하게 발생하지 않도록 덮개와 baseplate와의 높이를 약 7cm 정도로 실제 HDD보다 내부

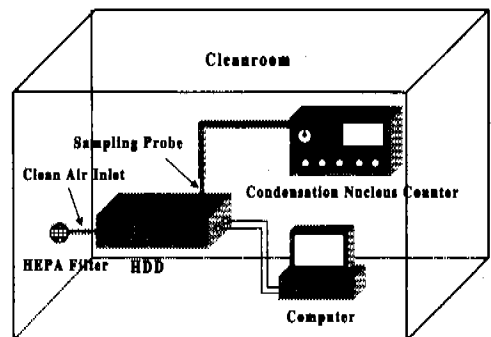


Fig. 4 Experimental setup.

부피를 증가시켰다.

그리고 HDD 내부에 설치된 내부 공기 순환 필터(recirculation filter)를 제거하여 발생된 입자가 필터에 의해 제거되지 않도록 하였다. 계측기는 HDD내의 공기를 일정량 샘플링하여 공기 중에 포함된 입자수를 측정하므로, 계측기가 샘플링하는 공기의 양만큼 외부에서 공기가 유입되어야 하는데, 이때 외부공기가 오염된 상태로 HDD내에 유입되지 않도록 HEPA 필터를 설치하여 유입되는 외부공기의 청정도를 유지하였다. 용촉액 계수기로 HDD에서 발생되는 입자 수를 측정하였으며, 본 실험에서는 샘플 유량이 0.3 L/min, 최소 측정 가능 입자 크기가 0.01  $\mu\text{m}$ 인 CNC(TSI model 3020)와 샘플 유량이 1.4 L/min, 최소 측정 가능 입자 크기가 0.014  $\mu\text{m}$ 인 CNC(TSI model 3760)를 사용하였다. HDD내 공기를 샘플링하기 위한 프로브로는 Fig. 5 (a), (b)에 나타난 바와 같이 내경 3mm인 튜브와 슬라이더의 구동 특성(슬라이더는 HDD의 구동직후 반경 방향으로 움직이면서 플링, 피칭 운동을 함)을 고려하여 샘플링

단면적이 2mm×30mm인 슬릿 모양으로 제작된 것을 사용하였다.

HDD내에서 샘플링 프로브에 의해 흡인된 공기는 길이 400mm, 내경 3mm인 튜브를 통하여 CNC로 유입되므로, HDD내에서 발생된 입자를 CNC로 측정하는데 시간 지연이 생긴다. 지연되는 시간은 TSI 3020 CNC의 경우 약 0.6초이고, TSI 3760 CNC의 경우 약 0.13초이다. 본 실험에서는 CNC로 10초 또는 20초 간격으로 입자를 샘플링하였으므로, 샘플링 튜브내에서 지연된 시간은 무시할 만큼 짧다. 그러므로 입자가 CNC에서 측정되는 시간과 입자가 HDD내에서 샘플링되는 시간이 동일한 것으로 간주하여 실험 데이터를 처리하였다.

실험은 다음과 같은 순서로 수행하였다. 먼저 HDD를 구동시키지 않은 상태에서 외부의 청정한 공기를 HDD내로 도입하면서 CNC로 배경 오염도(background level)를 모니터링한다. 배경 오염도가 일정 수준 이하로 유지되면 HDD를 구동시키고 CNC로 계속하여 입자 수를 측정하며, 일정 시간이 경과하여 측정되는 입자 수가 배경 오염도 이하로 되면 HDD를 정지시킨다. 그리고 일정 시간이 경과하여 측정되는 입자 수가 다시 배경 오염도 이하로 떨어지면 실험을 마친다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 샘플링 위치의 영향

입자 샘플링 위치에 따라 HDD내의 입자발생 특성이 다르게 측정될 수 있으므로, Fig. 6에 나타난 바와 같이 HDD의 A-E의 5곳에서 원형 튜브로 입자를 샘플링하여 배경오염도와 측정결과를

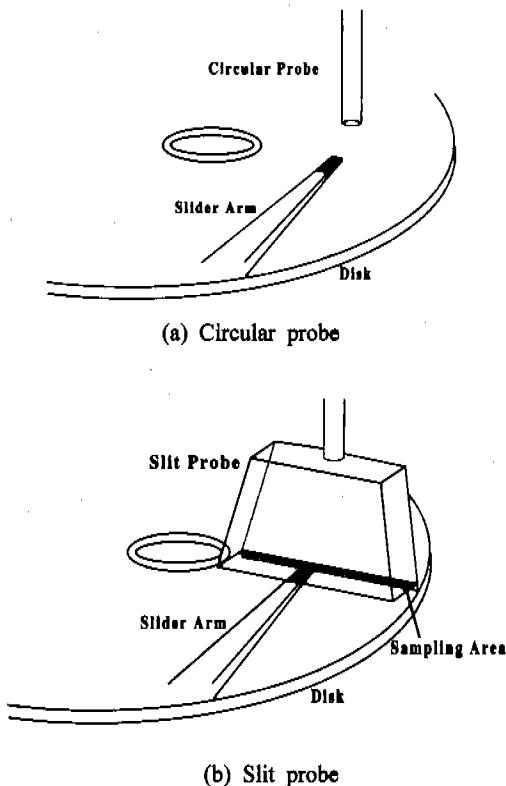


Fig. 5 Geometry of sampling probes.

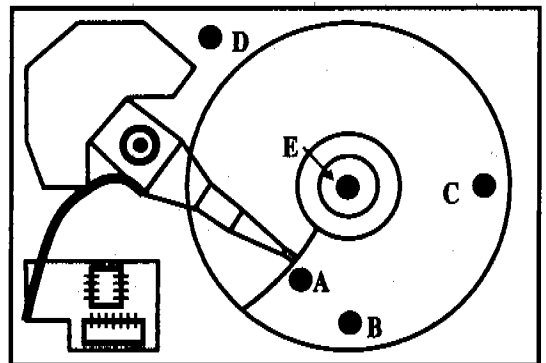


Fig. 6 Location of sampling points.

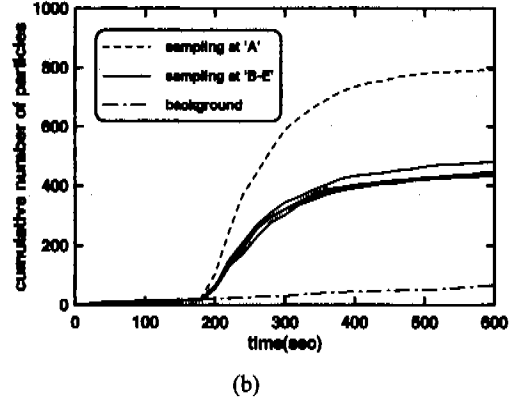
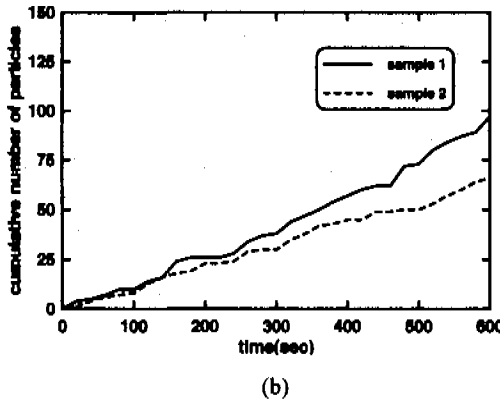
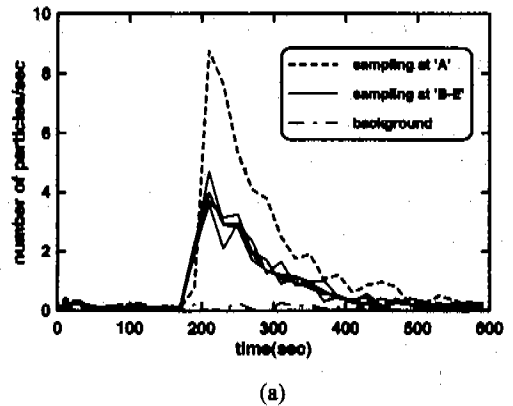
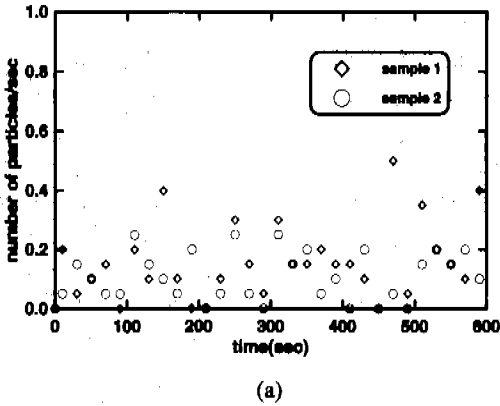


Fig. 7 Background level in a hard disk drive.

Fig. 8 Effect of the sampling location.

Fig. 7, 8에 나타내었다.

A는 슬라이더의 공기 베어링을 형성했던 공기가 빠져 나오는 가장 가까운 곳이고, B는 슬라이더에서 약간 떨어진 하류로 HDD의 구동시 디스크 표면의 공기 유동이 반경방향과 원주방향으로 진행할 것을 고려하여 정하였고, C는 슬라이더에서 상당히 떨어진 하류이다. D는 HDD내 내부 공기 순환 필터(recirculation filter)가 위치했던 곳이고, E는 디스크의 중심이다. HDD를 반복적으로 구동 및 정지시키면서 발생된 입자 수를 TSI 3020 CNC로 측정하였다. 측정하고자 하는 입자는 디스크 표면의 높이에서 발생하므로 디스크 표면에서 프로브까지의 거리가 멀수록 입자가 샘플링되는 확률은 적어지고 벽에 부착될 확률이 높아진다. 따라서 A에서 E의 모든 위치에서 프로브를 디스크 표면과 약 5mm의 높이에 위치시켰다.

HDD의 구동 전(sample 1)과 정지 후(sample 2)의

배경 오염도의 예를 Fig. 7에 나타냈다. Fig. 7(a)에서 측정 데이터는 20초 동안 샘플링하여 얻은 입자 농도를 입자 수로 환산하여 나타낸 것이고, Fig. 7(b)는 발생된 입자 수를 누적하여 나타낸 것이다. 그림을 보면, 배경 오염도는 대체로 0.4 개/sec 이하이고, 10분 동안에 100개 이하로 검출됨을 알 수 있다.

A, B-E의 각 지점마다 측정된 입자 수 및 입자의 누적 개수물 Fig. 8에 나타내었다. HDD를 구동시킨 시각을 '0'으로 하였으며 매 20초마다 측정된 입자 수를 평균하여 데이터로 표시하였다. 구동 후 3분이 지나면 측정된 입자 수가 배경 오염도와 비슷하거나 그 이하로 낮아지므로, HDD를 정지시키고 입자 수를 계속 측정하였다. 그리고 10분 이후에는 측정된 입자 수가 다시 배경 오염도와 비슷하므로 측정을 중지하였다. Fig. 8(a)를 보면, HDD 구동시에는 매우 짧은 시간 동안 입자가 약간 발생되지만, HDD의 정지시에는

상대적으로 긴 시간 동안 많은 입자가 발생됨을 알 수 있다. 이러한 경향은 샘플링 위치에 무관하게 나타난다. B-E 지점에서 측정된 입자 수는 샘플링 위치에 무관하게 거의 비슷하지만, A 지점에서 측정된 입자 수의 절반 정도이다. 이것으로부터 샘플링 위치에 따라 HDD내 입자오염 수준이 다르게 평가될 수 있으며, 슬라이더 근처가 가장 적합한 샘플링 위치임을 알 수 있다.

측정 위치가 입자 발생원과 멀리 떨어져 있으면 발생된 입자들이 HDD 내부 유동에 의해서 전체적으로 퍼져 샘플링 프로브에 의해 제대로 흡인되지 못하고, 샘플링되지 못한 입자는 HDD의 내부 부품이나 벽면에 부착될 확률도 높아지므로, 총 측정 입자수도 줄어들게 된다. 그러므로 A 지점에서 입자가 가장 많이 측정되는 것은 입자의 발생원과 가장 가까운 위치이기 때문이라고 생각된다. A 지점의 위치로 볼 때 입자의 발생원이라고 생각할 수 있는 부분은 슬라이더이다. HDD 구동 및 정지시 슬라이더와 디스크가 접촉하게 되면 슬라이더와 디스크 간의 마찰력이 증가되어 마멸입자가 발생된다.<sup>(4,14)</sup> 그러므로 본 실험에서 측정된 입자는 마멸입자라고 추정된다.

3.2 샘플링 프로브 형상 및 샘플링 속도의 영향

기존 연구<sup>(4,14)</sup>에 의하면 HDD의 구동/정지 직후에는 디스크의 회전속도가 슬라이더 공기 베어링을 형성할 만큼 빠르지 못하므로 슬라이더와 디스크의 접촉에 의해 마찰이 생겨 마멸입자가 발생된다. HDD내에서 주로 발생하는 입자를 마멸 입자라고 가정한다면, HDD의 정지뿐만 아니라 구동 후에도 상당수의 입자가 측정되어야 하는데, Fig. 8에서 보는 바와 같이 구동 후에는 배경 오염도와 확실하게 구별될 만큼의 입자가 측정되지 않았다. HDD의 구동 초기에는 슬라이더가 반경방향으로 움직이면서 마멸입자가 발생되므로, 입자의 발생영역에 비해 내경 3mm인 튜브의 샘플링 영역이 좁아 발생된 입자를 제대로 샘플링하지 못한 것으로 생각된다. 또한, HDD 구동 후 디스크의 회전속도를 500~1000 rpm으로 가정하면 슬라이더가 움직이는 영역에서 디스크의 선속도는 1~5 m/s이므로, 발생된 입자도 이와 유사한 속도로 이동할 것으로 여겨진다. 내경 3mm 튜브인 경우 샘플링 단면적이 7.07 mm<sup>2</sup>이므로 샘플 유량이 0.3 L/min일 때 샘플링 속도는 0.707 m/s이다.

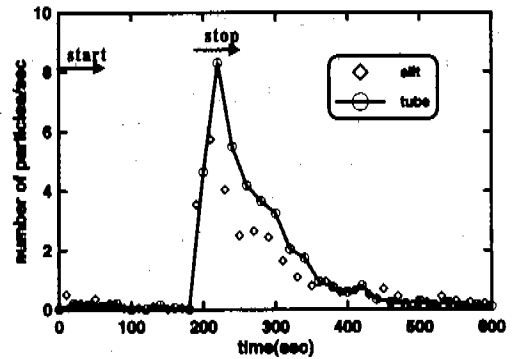


Fig. 9 Effect of the sampling probe on the number of particles measured in a HDD(sampling flow rate: 0.3 L/min).

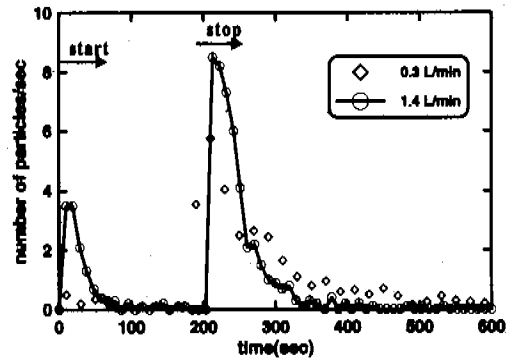


Fig. 10 Effect of sampling velocity(slit probe)

슬릿 모양인 경우 샘플링 단면적은 60mm<sup>2</sup>이므로, 샘플 유량이 0.3, 1.4 L/min일 때 샘플링 속도는 각각 0.083, 0.389 m/s이다. 따라서 샘플링 영역뿐만 아니라 샘플링 속도도 HDD내에서 발생된 입자 측정에 영향을 미치리라고 생각된다.

먼저 샘플링 프로브의 형상이 입자 측정에 미치는 영향을 살펴보기 위하여 입자가 가장 많이 측정되는 A 지점에서 Fig. 5 (b)에 나타난 바와 같이 슬라이더가 반경방향으로 움직이는 영역에서 샘플링할 수 있는 슬릿형 프로브를 사용하여 HDD내 발생입자를 측정하였다. Fig. 9는 샘플 유량이 0.3 L/min인 TSI 3020 CNC를 사용하여 슬릿형 프로브로 측정된 발생 입자 수를 원형 튜브로 측정된 결과와 비교하여 나타낸 것이다. 그림을 보면, 슬릿형 프로브를 사용하여도 입자의 발생 경향은 크게 바뀌지 않음을 알 수 있다. 샘플

유량이 동일하므로 슬릿형 프로브를 사용함에 따라 샘플링 단면적은 넓어졌으나, 샘플링 속도가 0.083 m/s로 입자의 이동속도인 1~5 m/s에 비해 매우 작게 되어 구동 후 HDD내에서 발생된 입자를 제대로 측정하지 못한 것으로 여겨진다.

샘플링 속도의 영향을 살펴보기 위하여 동일한 슬릿형 프로브를 사용하여 샘플 유량이 1.4 L/min인 TSI 3760 CNC로 HDD내 발생 입자를 측정하였다. Fig. 10은 슬릿형 프로브를 사용하였을 때 샘플 유량이 1.4 L/min인 TSI 3760 CNC로 측정한 발생 입자 수와 샘플 유량이 0.3 L/min인 TSI 3020 CNC로 측정한 결과를 비교하여 나타낸 것이다. 그림을 보면, 샘플 유량이 큰 경우 샘플링 속도가 빨라져 HDD 구동시 발생된 입자를 측정할 수 있으며, 구동시 발생된 입자 수는 정지시 발생된 입자 수보다 적음을 알 수 있다. 즉, HDD 구동시에도 입자가 발생됨을 알 수 있다. 샘플 유량이 1.4 L/min인 경우 샘플링 속도가 0.389 m/s로 원형 프로브의 샘플링 속도(샘플 유량이 0.3 L/min일 때 0.707 m/s)에 비해 낮지만 HDD 구동시 발생되는 입자를 측정할 수 있었다. 또한 Fig. 10에서 HDD의 정지 후 20초 동안 측정되는 입자의 개수에 있어서도 샘플 유량이 1.4 L/min인 경우가 0.3 L/min인 경우보다 많이 측정되었음을 알 수 있다. 이것으로부터 샘플링 속도 뿐만 아니라 샘플링 프로브의 형상도 HDD의 구동 및 정지시 발생하는 입자의 측정에 고려되어야 함을 알 수 있다.

Fig. 9와 10에서 HDD 구동 후 200초까지 측정

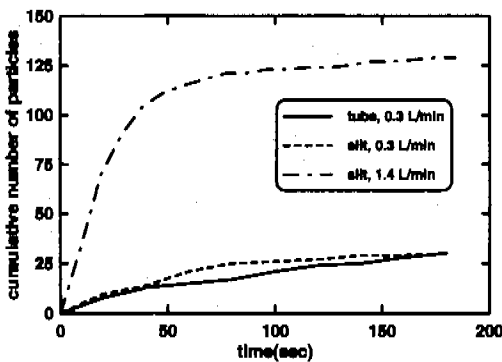


Fig. 11 Comparison of cumulative number of particles generated in a HDD during the start period.

된 입자 수를 누적하여 Fig. 11에 나타내었다.

그림을 보면, 슬릿형 프로브와 샘플 유량이 1.4 L/min인 CNC를 사용한 경우 구동 후에 측정된 입자 수가 다른 경우에 비해 5배정도 많음을 알 수 있다. 동일한 슬릿형 프로브를 사용한 경우 CNC의 샘플 유량이 약 5배 차이가 있으므로, 샘플 유량이 HDD내 발생 입자의 측정에 큰 영향을 미치리라고 추정된다. 따라서 본 실험에서 얻은 측정결과는 HDD내 입자발생 경향을 보여주는 것이며, 절대적인 입자 발생량을 평가하기 위해서는 입자 측정 기법에 대한 보다 상세한 연구가 수행되어야 할 것이다.

### 3.3 연속적인 구동 및 정지 시의 입자 발생 특성

HDD내 전형적인 입자 발생 특성을 살펴보기 위하여 HDD를 연속적으로 구동 및 정지시켜 발생된

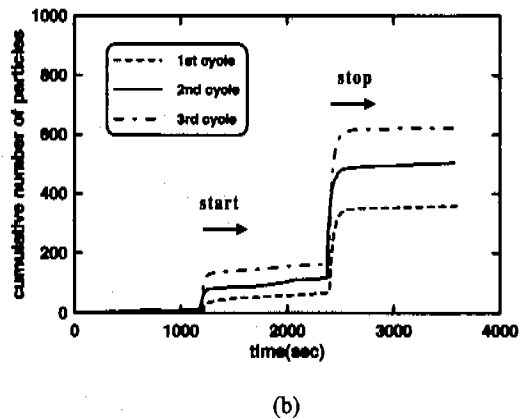
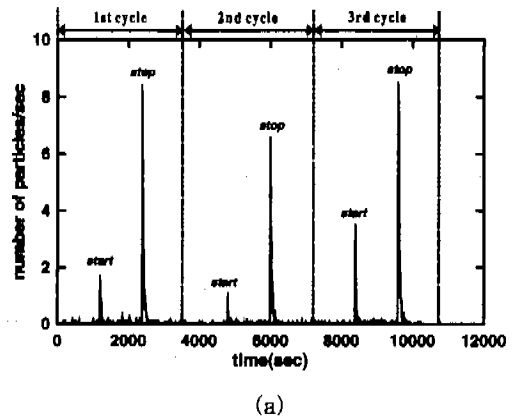


Fig. 12 Typical trend of particle generation in a hard disk drive.

입자 수를 측정하였다. 이때 앞의 실험결과를 근거로 HDD내에서 발생하는 입자를 가장 잘 샘플링할 수 있는 A 지점에서 슬릿형 프로브와 샘플 유량이 1.4 L/min인 CNC를 사용하였다.

HDD를 구동하지 않은 상태에서 배경 오염도를 20분 동안 측정한 후 HDD를 구동시켜 20분 동안 입자를 측정하였고, 다시 HDD를 정지시켜 20분 동안 입자를 측정하였다. 이와 같은 과정을 연속적으로 3번 반복 수행하여 얻은 측정결과를 Fig. 12에 나타냈다.

Fig. 12 (a)를 보면, 발생된 입자 수는 약간씩 차이가 나지만 HDD의 구동시와 정지시 입자가 항상 발생되며, 구동시보다 정지시 입자가 보다 많이 발생됨을 알 수 있다. 이것이 HDD의 전형적인 입자 발생 경향이라고 여겨진다. Fig. 12 (b)는 구동 및 정지를 하나의 주기로 간주하여 각 주기마다 발생된 입자 수를 누적하여 나타낸 것이다. 그림을 보면, HDD 구동 직후 60~200개, HDD 정지 후 200~400개의 입자가 측정되었다. 정구현<sup>(4)</sup>에 의하면, HDD 정지 후 디스크가 정지하는 시간이 구동 후 디스크가 정상상태에 도달하는 시간보다 길어서, HDD 정지 후 디스크 표면의 마멸 및 마모현상이 더 심하다. 이로 인해 HDD 구동 후보다 정지 후 많은 입자가 측정된 것으로 생각되며, 발생하는 입자 수는 슬라이더와 디스크의 접촉시간 및 마찰력과 관련이 있을 것으로 추정된다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 HDD내 입자발생 메커니즘을 규명하기 위하여 실제 HDD의 구동 및 정지시 발생하는 입자 수를 용촉핵 계수기로 측정하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, HDD내에서 입자는 연속적으로 발생되지 않고, 구동 또는 정지 직후에만 주로 발생되며, 구동시보다 정지시에 더 많은 입자가 발생된다.

둘째, HDD내에서 발생하는 입자는 슬라이더 근처에서 가장 많이 측정되므로, 발생된 입자는 디스크와 슬라이더의 마찰에 의한 마멸입자로 추정된다.

셋째, 샘플링 프로브의 형상과 샘플링 속도에 따라 측정되는 입자 수가 달라진다. 즉, 본 연구에서는 원형보다 슬릿형 프로브를 사용하고, 샘

플링 속도가 빠를수록 더 많은 입자가 측정되었다. 그러므로 절대적인 입자 발생량을 평가하기 위해서는 입자 측정 기법에 대한 보다 상세한 연구가 필요하다고 생각된다.

#### 후 기

본 연구는 한국과학기술재단지정 정보저장기연구센터의 지원(과제번호: 97K3-0907-02-02-1)을 받아 이루어졌으며 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

#### 참고문헌

- (1) Zhang, S., 1997, "Numerical Investigations of Particle Contamination and Thermal Effects in a Slider Disk Interface," Ph. D. Thesis, Dept. of Mechanical Engineering, University of California at Berkeley.
- (2) Bhushan, B., 1992, "Magnetic Head-Media Interface Temperatures - Part 3: Application to Rigid Disks," *Transactions of ASME*, Vol. 114, pp. 420~430.
- (3) Jhon, M. S., Peck, P. R., Simmons, R. F., and Janstrom, T. J., 1994, "Behavior of the Head-Disk Interface in Future Disk Drives," *IEEE Trans. Magnetics*, Vol. 30, No. 2, pp. 410~416.
- (4) 정구현, 1997, 헤드/디스크 인터페이스의 표면 파손 메커니즘에 관한 연구, 연세대학교 석사학위논문.
- (5) Cooper, D., 1996, "Near-Contact Recording Means Clean Recording," *Data Storage*, pp. 66~69.
- (6) Prater, W. and Stone, G., 1997, "Actuator Bearing Greases: Their Effect on Aerosol Contamination in Disk Drives," *Info. Storage and Processing Syst.*, Vol. 3, pp. 69~73.
- (7) Volpe, L., Gitis, N., and Brown, C., 1992, "A Technique to Study Effects of Volatile Pollutants on Stiction in Magnetic Disk Drives," *Adv. Info. Storage Syst.*, Vol. 4, pp. 277~289.
- (8) Hiller, B. and Singh, G. P., 1991, "Interaction



- of Contaminant Particles with the Particulate Slider/Disk Interface," *Adv. Info. Storage Syst.*, Vol. 2, pp. 173~180.
- (9) 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.
- (10) Nagarajan, R. and Welker, R. W., 1993, "Size Distribution of Particles Extracted from Disk Drive Parts : Comparison with the MIL-STD-1246 Distribution," *J. Instit. Environ. Sci.*, Vol 36, No. 1, pp. 43~48.
- (11) Bergin, M. and Koka R., 1993, "Measurement of Particulate Contamination Levels in Disk With Aerosol Counters," *Adv. Info. Storage Syst.*, Vol. 5, pp. 387~395.
- (12) Hiller, B. and Brown, B., 1993, "Interaction of Individual Alumina Particles With the Head-Disk Interface at Various Velocities," *Adv. Info. Storage Syst.*, Vol. 5, pp. 351~361.
- (13) 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.
- (14) Tsai, C. J., 1990, "A Study of Particle Phenomena in Computer Disk Drives," Ph. D. Thesis, Dept. of Mechanical Engineering, University of Minnesota.