

데이터 저장용 디스크의 회전 시 입자이탈에 관한 실험적 연구

박희성* · 이대영* · 황정호** · 김광*** · 장동섭***

An Investigation of Particle Detachment Ratios From Rotating Data Storage Disks

Hee-Sung Park, Dae-Young Lee, Jungho Hwang, Kwang Kim, and Dong-Sub Jang

Key Words: Particle (입자), Disk (디스크), Removal Rate (이탈율), Surface Energy (표면에너지)

Abstract

Particle contamination on the data storage disks has been a serious problem for magnetic hard disk drive manufacturers. For high storage optical disks, such as DVD-ROM/RAM or NFR (near field recording) system, particle-induced damages can be also detected because only a few micrometer particles can prevent read/write signal from optical lens. The increasing areal density and smaller bit size accelerates particle induced damages on the optical disk. One of the methods to prevent particle contamination on the optical disk surface is to handle the disk enclosed in a cartridge like a modern DVD-RAM disk. However, even for a perfectly sealed disk drive, particles are found inside the drive. The other method is to improve disk surface characteristics. Particle contamination on the surface can be reduced by proper selection of disk coating materials. In this paper, particle detachment ratios for CD (compact disk), DVD (digital versatile disk), HD (magnetic hard disk), HD without lubricant, and aluminosilicate substrate HD were investigated. Surface roughness and surface energy of the test disks were compared with the particle detachment ratios. Proper substrate and lubricant characteristics to reduce particle contamination on the disk surface were found.

1. 서론

급속한 정보산업의 발전으로 데이터의 양이 증가함에 따라 정보저장기기의 저장용량도 증가하여 디스크의 단위 면적당 저장밀도를 높이기 위한 연구가 진행되고 있다. 하드 디스크 드라이브의 경우 헤드와 기록층 사이의 간격을 줄임으로서 저장밀도를 증가시키고 있으며, 광 디스크 드라이브의 경우에도 역시 광학 헤드와 기록층의 간격을 줄이기 위한 기술 개발이 진행 중이다.

두 기기의 특징은 회전하는 디스크 표면에 자기 혹은 광을 이용하여 데이터를 저장하는 것이다. 저장밀도가 증가함에 따라 비트가 차지하는 면적이 좁아지면서 디스크 표면의 미세한 긁힘 자국이나 입자오염, 가스 응축 등에 의해서도 데이터의 손실이 발생할 수 있다⁽¹⁾. 이러한 문제를 최소화하기 위해 하드 디스크의 경우 조립 단계 이전에 디스크 표면을 세척하고 생산 단계에서도 환경을 청정하게 유지시켜 오염에 의한 데이터의 손실을 최소화하고 있다. CD-ROM, CD-RW 등의 광 디스크 드라이브는 디스크의 저장용량이 650 MB로 낮고 한 비트(bit)가 차지하는 면적이 넓기 때문에 입자나 오염원에 의한 데이터의 손실이 크지 않았다. DVD-ROM, DVD-RAM 드라이브는 기존의 광 디스크 드라이브에 비해 높은 저장 용량 (5.4 GB)과 한 비트가 차지하는 면적이 좁기 때문에 입자 등의 오염원에 의해 데이터의 손실

* 연세대학교 기계공학과 대학원

** 정희원, 연세대학교 기계공학과

*** 삼성전자 디지털미디어연구소

Disk	Substrate Material	Protective Coating	Lubricant (nm)	Surface Roughness (Å)	Surface Energy (dyne/cm)
CD	Polycarbonate	X	X	50	41
DVD	Polycarbonate	X	X	25	40
HD	Al-Mg	DLC	2-3	9	19
HD w/o lub.	Al-Mg	DLC	X	7	51

Table 1. Properties of test disks

이 크다. 즉, 광 디스크 드라이브의 용량과 저장 밀도가 증가할수록 입자 등의 오염원에 의한 데이터의 손실이 발생할 확률은 증가하게 된다. 차세대 정보저장기기인 NFR 시스템에서도 입자에 의한 오염문제는 심각하다.

이와 관련된 연구로 Li and Sharma⁽²⁾는 하드 디스크가 회전할 때 디스크 표면의 윤활제 특성에 따른 입자 이탈률을 측정하여, 디스크 표면의 윤활제 특성과 입자 이탈의 상관관계를 제시하였다. 또한 박희성 등⁽³⁾은 하드 디스크의 윤활제의 분자량과 접촉을 변화시켰을 때의 입자 이탈율을 구하고 이론적인 입자의 이탈조건을 규명하였다. 이러한 연구는 하드 디스크 드라이브에 관한 것인데, 입자 오염의 영향이 클 것으로 예측되는 광 디스크에 관한 연구는 발표된 바 없었다. 따라서 본 연구에서는 하드 디스크 및 광 디스크의 회전시에 입자의 이탈율과 두가지 계열 디스크의 재질, 표면 특성 등을 분석하여, 회전 디스크의 입자 이탈율과 디스크 특성의 상관관계를 규명하고자 하였다.

2. 실험

본 실험에 사용된 디스크는 CD (compact disk), DVD (digital versatile disk), HD (hard disk), 윤활

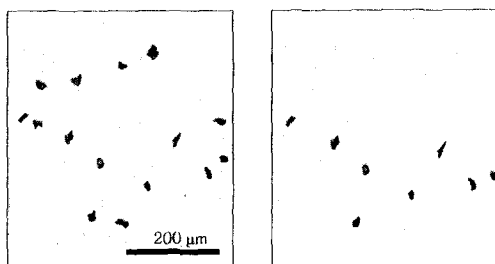


Fig. 1 Optical micrographs of the particles before and after test

제 없는 HD이다. CD와 DVD는 광원 기록매체이고 HD 계열은 자기 기록 매체이다. 디스크의 재질, 보호코팅, 윤활제, 표면거칠기, 그리고 표면에 너지는 Table 1에 나타내었다. CD와 DVD는 폴리 카보네이트 (polycarbonate) 기저층으로 구성되어 있고 HD는 기저층과 기록층 그리고 표면에 DLC (Diamond-like carbon) 코팅층이 있다. 실험에 사용된 입자의 재질은 SiC이고, 크기는 1, 5, 10, 20 μm이다. 실험 환경은 class 100 인 클린 부스 (clean booth)이고 온도와 습도는 각각 25-30 °C, 40-50 % 였다.

실험 진행은 다음과 같다. 디스크 표면에 적은 개수의 입자를 부착시키고 광학현미경으로 부착된 입자의 개수를 측정한다. 디스크를 정해진 속도로 회전시킨 후 광학현미경으로 디스크 표면의 입자 개수를 측정하여, Fig. 1에 나타낸 바와 같이 디스크가 회전하기전과 회전한 후의 입자개수 차이를 측정하고, 입자의 이탈율($\epsilon = (N_0 - N_r)/N_0$)을 계산하였다. 여기서 N_0 , N_r 은 디스크의 회전 전과 후의 입자개수 이다.

3. 결과 및 고찰

1 μm인 입자의 이탈율을 Fig. 2에 나타내었는데, 모든 종류의 디스크에서 입자의 이탈율이 거의 0임을 볼 수 있다. 이러한 크기의 입자는 질량이 작기 때문에 디스크의 회전에 의해 발생하는 원심력과 항력이 입자와 디스크의 부착력에 비해 매우 작기 때문이며, Li and Sharma⁽²⁾와 박희성 등⁽³⁾의 결과와 일치한다. 디스크의 회전속도가 10000 rpm까지 증가하여도 입자의 이탈율은 0에서 거의 변화하지 않는다. Figure 3에 나타난 5 μm 입자의 이탈율을 보면 윤활제가 있는 HD의 이탈율이 0.5로 가장 크고 CD는 0.2로 가장 작은 것을 볼 수 있다.

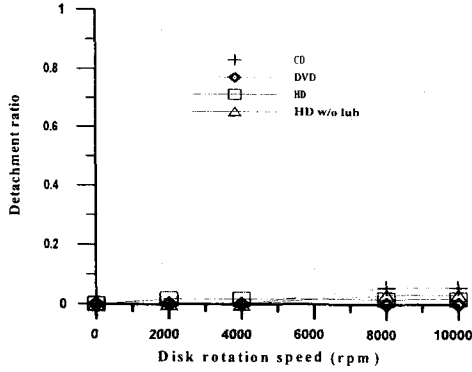


Fig. 2 Detachment ratio of 1 μm particles

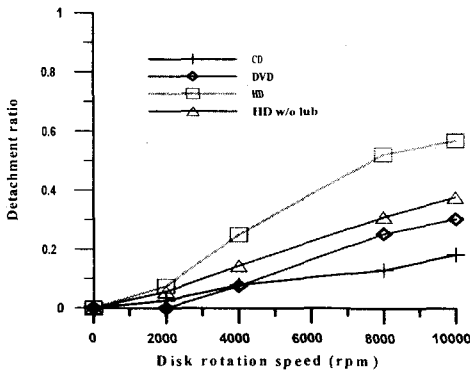


Fig. 3 Detachment ratio of 5 μm particles

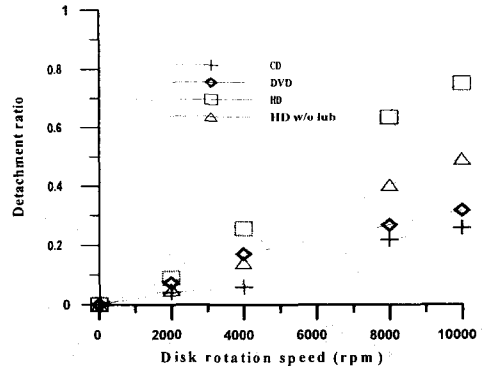


Fig. 4 Detachment ratio of 10 μm particles

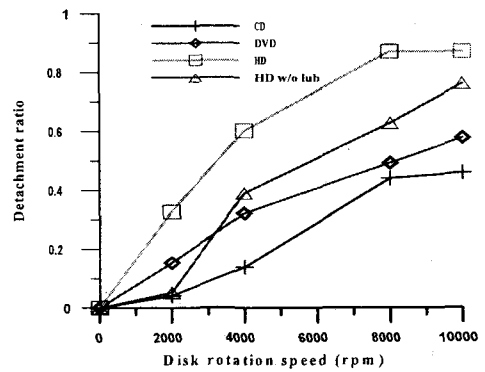


Fig. 5 Detachment ratio of 20 μm particles

입자의 반경이 5배가 증가하면 입자의 질량이 5³ 배만큼 증가하므로 전체적인 입자의 이탈율이 증가한다. Figure 2와 3을 비교하면 디스크의 종류에 따라 입자의 이탈율 변화가 차이가 나는 것을 볼 수 있고, 디스크의 회전속도가 증가함에 따라 각각의 디스크에서 이탈하는 비율도 거의 선형적으로 증가하는 것을 알 수 있다. Figure 4를 보면 10 μm 크기 입자의 이탈율은 증가하지만 디스크의 종류에 따른 이탈율의 경향은 Fig. 3과 같은 것을 알 수 있다. 입자의 크기가 5 μm 의 2배 증가하였으므로 입자의 질량이 8배 증가하지만 이탈율은 크게 증가하지 않는다. Figure 5는 20 μm 입자의 이탈율을 나타낸 것인데, 입자 자체가 지닌 관성이 증가하므로 이탈율의 증가율이 가장 컸으며, 앞의 그림과 마찬가지로 디스크의 종류에 따른 입자 이탈율 변화는 HD, 윤활제 없는 HD, DVD, CD 순서임을 볼 수 있다.

Figure 6에는 1, 5, 10, 20 μm 입자의 총 이탈율

을 디스크 별로 다시 나타낸 것이다. 그림을 보면 입자의 이탈율은 입자의 크기 및 디스크의 회전속도에 비례하는 것을 알 수 있으며, HD 계열이 CD, DVD 보다 입자의 이탈율이 크게 나타난다. 이러한 차이가 나타나는 이유는 여러 가지가 있겠지만 다음과 같은 두 가지로 추측된다. 첫째, HD 윤활제 유무에 따른 표면에너지의 변화는 Table 1에 나타난 것과 같이 윤활제 있는 HD가 19 dyne/cm, 윤활제 없는 HD는 51 dyne/cm이다. 표면에너지가 크면 입자와 디스크 사이에 주된 부착력인 반데르 발스 힘이 증가하므로⁽³⁾ 입자의 이탈율은 감소한다. 따라서 윤활제 있는 HD의 입자 이탈율이 큰 것으로 생각된다. 둘째, 폴리카보네이트 재질인 CD와 DVD는 유전체로 Al-Mg 기저층인 HD에 비해 통전성이 낮다. 따라서 표면에 부착된 입자와 디스크 사이에 정전기력이 작용하여 입자의 디스크 표면 부착력을 증가시켰을 것으로 생각된다.

4. 결론

1. 입자의 크기가 1 μm 이하인 경우에는 디스크가 회전하여도 거의 이탈하지 않으므로 입자의 부착을 방지하는 것이 중요하다.

2. 회전하고 있는 디스크 표면에서의 입자 이탈율은 입자의 크기에 비례하며, 입자가 이탈되는 주된 힘인 원심력에도 비례한다.

3. 디스크의 재질 및 표면조건이 변화하면 입자의 이탈율은 변화한다. HD와 같은 Al-Mg 기저층으로 구성된 디스크의 입자 이탈력이 폴리카보네이트로 구성된 CD, DVD 보다 크다.

4. 입자의 이탈율을 높이기 위해서는 디스크의 표면에너지를 감소해야한다.

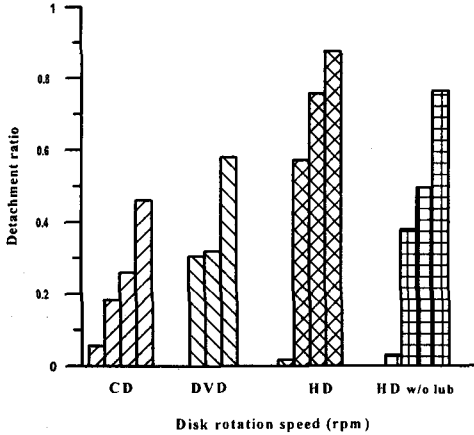


Fig. 6 Detachment ratio of particles with disks

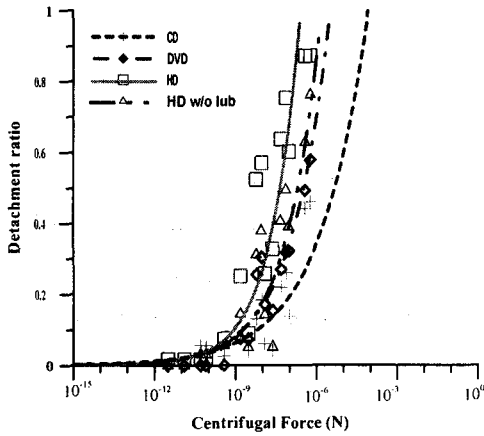


Fig. 7 Detachment ratio on the test disks with centrifugal force

회전하는 디스크 표면에 부착된 입자는 공기의 항력과 디스크의 원심력에 의해 이탈하는 현상이 나타난다⁽²⁾⁽³⁾. 항력과 원심력의 차수를 비교하면 입자크기가 1 μm 이상인 경우에 원심력이 우세하다⁽²⁾. 따라서 입자의 이탈이 원심력에만 의존한다고 가정하면 Fig. 2에서 5의 결과를 원심력과 입자의 이탈율 그래프로 나타낼 수 있다. 각 데이터 위치에서 원심력을 계산하여 Fig. 7에 입자의 이탈율 그래프를 나타냈다. 50%의 입자가 이탈되는데 필요한 힘을 입자의 이탈력으로 가정하면 HD에서는 10⁻⁸N의 원심력이 필요하며, CD, DVD에서는 10⁻⁶N의 원심력이 필요한 것을 알 수 있다.

후기

본 연구는 삼성전자와 한국과학재단지정 정보저장기연구센터 (과제번호: 2001G0201)의 지원을 받아 이루어졌으며 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

- (1) Senga, H., Kubo, T., Ohta, T., Watanabe, K., Shihara, T., and Ishida, T., 2000, "Testing Method of the Dust Influence on Thin Substrate DVD and the Results," *Int. Symp. Optical Memory*, Sept, pp. 146-147.
- (2) Li, Y. and Sharma, V., 2000, "The Spin-off of Particles on a Magnetic Disk," *J. Tribology*, Vol. 122, pp. 293-299.
- (3) 박희성, 좌성훈, 황정호, 2000, "HDD 내 디스크 표면 특성이 미세입자의 부착 및 이탈에 미치는 영향," 대한윤활학회논문집, Vol. 16, pp. 415-424.