

스크래치 테스터의 Ramp Loading 방법을 이용한 하드 디스크의 표면 스크래치 특성에 관한 연구

이래준* (연세대 대학원 기계공학과), 김대은 (연세대 기계공학부),
강태식, 조용범, 조공연 (삼성전자 스토리지 사업부)

Study on Surface Scratch Characteristics of Hard Disk by Ramp Loading Method Using a Scratch Tester

R. J. Lee (Dept. of Mechanical Eng., Graduate School of Yonsei University),

D. E. Kim (Dept. of Mechanical Eng., Yonsei University),

T. S. Kang, Y.B. Cho, K.Y. Cho (Storage System Division, Samsung Electronics Co., LTD)

ABSTRACT

In order to get the surface characteristics of the HDI of HDD, the surface damage mechanisms must be totally understood. Particle contamination in hard disk drives is a big concern in today's magnetic recording industry since they are major sources of reliability problems. Namely upon contact with the slider or a contaminant particle, the disk may be scratched or the particles may be embedded into the disk surface. In this work, comparison of scratches was made between those found on actual hard disks and those created using a scratch tester. It was found that ramp loading method is an effective way to make similar scratches as the actual ones. From the ramp loading condition, the relationship between the pressure and the scratch track width could be identified.

Key Words : Hard Disk Drive, 스크래치(Scratch), 오염 입자(Contaminant particle), TA(Thermal asperity), Ramp loading

1. 서론

하드 디스크(hard disk)에서는 더 나은 신호 분해능(signal resolution)으로 기록 밀도를 증가하기 위해서 헤드와 디스크 간의 간격(flying height)을 감소시키고, 트랙 피치가 가늘어지는 것을 요구하고 있다. 현재 헤드와 디스크 간의 간격인 flying height는 10 nm 정도이며, 트랙 피치는 300 nm 정도이다.¹⁻³

드라이브 내의 미세 입자 오염(particulate contamination)은 하드 디스크 드라이브의 작동과 내구성에 있어서 중요한 문제로 작용하고 있다. 이들 입자는 드라이브의 제조와 조립과정 또는 디스크 드라이브가 작동하는 동안 발생하는 마멸 입자(wear debris)로부터 오염원이 될 수 있다. 오염 입자는 에어 스트림(air stream)을 통해서 HDI 안으로 유입될 수 있고, 디스크와 슬라이더 표면에 응착될 수 있다.⁴ 다시 말해서 하드 디스크 드라이브의

HDI(Head Disk Interface)내에서는 슬라이더와 서스펜션의 재질로써 작동 중에 떨어져 나간 Al₂O₃ (Alumina), TiC (Titanium carbide)의 입자뿐만 아니라, 매우 작고, 경한 오염 입자의 HDI로의 유입으로 인해 슬라이더 또는 디스크 표면의 오염과 flying height의 변화와 더불어 하드 디스크 드라이브의 내구성과 신뢰성 문제를 일으킨다.⁵ 또한 이런 입자에 의해서 디스크 상에 표면 스크래치를 발생시킬 수 있으며, 스크래치가 발생한 부분이 헤드와 접촉을 할 경우 헤드의 파손을 유발할 수 있으며, 흔히 TA(Thermal Asperity) 파손을 초래하게 되어 데이터 손실을 야기시킨다.²

본 논문에서는 실제 HDI 에서 존재하는 여러 입자들에 의해서 발생된 스크래치를 분석하여 하드 디스크 표면의 스크래치 특성을 고찰하고자 실제로 상용되는 하드 디스크를 OSA, SEM/EDX, AFM 등의 장비로 분석, 다양한 메커니즘에 의해 생성된 여러

스크래치가 디스크 상에서 어떤 형상과 크기를 가지고, 어느 위치에 주로 분포하는지에 대해서 확인해 보았다. 이와 더불어 3-축 정밀 액추에이터로 스크래치 테스트를 제작하여 ramp loading 방법을 이용해서 다이아몬드 팁에 하중을 증가시킬수록 스크래치의 깊이와 너비가 어느 정도로 나타나는지 인위적으로 디스크 표면에 스크래치를 형성시켜 실제로 발생한 것과 유사한 스크래치를 구현, 비교하였다. 또한 스크래치가 발생하기 위한 힘과 접촉 압력 등을 적용시켜 보았으며, 차후에 실제와 유사한 동적인 시스템에서 적용 가능하도록 발판을 마련하였다.

2. 실험

2.1 상용 시편 분석과 분석 시편

하드 디스크의 head/disk interface 내에 실제로 발생한 다양한 결함(defect) 중 입자에 의한 디스크 표면에 발생하는 스크래치는 과연 어떤 형상을 가지고, 어느 부분의 디스크 코팅층까지 파고 들어가는지 스크래치의 깊이와 너비, 길이를 확인해 보고자 HDD의 상용 디스크를 분석하였다. 실제 디스크를 OSA (Optical Surface Analyzer) 장비를 이용하여 디스크 표면에 스크래치가 발생했는지 여부를 확인하고, 스크래치가 발생한 디스크는 그 발생 영역을 확인하여, 그 위치를 표시한 후 SEM/EDX (Scanning Electron Microscope / Energy Dispersive X-ray Spectroscopy) 장비로 스크래치의 형상과 스크래치에 박힌 물질의 성분을 확인해 보았다. 또한 AFM (Atomic Force Microscope) 장비를 이용해서 스크래치의 3D 형상과 더불어 길이, 너비, 깊이 등의 분석을 실행하였다. 분석한 시편은 120GB 저장용량의 HDD에서 사용되는 디스크를 이용하였다.

2.2 실험 장치

OSA, SEM/EDX, AFM 장비를 활용하여 상용 디스크에서 발생한 다양한 스크래치의 형상을 확인해 보았으며, 이를 바탕으로 인위적으로 디스크 표면에 스크래치를 형성하여 외형적으로 비슷한 스크래치를 구현해 보고자 3-축 정밀 액추에이터를 이용하여 스크래치 테스트를 제작하였다.

스크래치 테스트를 이용해서 인위적인 스크래치를 형성시키는 실험을 진행하여 디스크 표면에 어느 정도의 하중을 적용시키면 어느 정도의 스크래치 길이, 너비, 깊이가 발생하는지 알아보려고 하였다. 실제로 발생한 스크래치에서의 깊이는 슬라이더 서스펜션의 강도(stiffness), 입자의 경도와 입자

의 크기에 따르며, 만약 입자가 충분히 강하고, 충격력이 충분하다면 입자는 디스크 표면(표면으로부터 약 40 nm 깊이에 있는 NiP층 포함)에 박힌다.^{4,6-7}

Fig.1는 본 연구에서 사용한 실험 장치와 디스크이다. 디스크 표면 파손을 위해 사용된 다이아몬드 팁의 반경은 5 μm , 경도는 약 8000 ~ 10000 HV (Kg/mm^2)이다. X, Y, Z축으로 이송할 수 있는 3축 정밀 액추에이터에 5 gr의 하중을 감지할 수 있는 센서 끝단에 다이아몬드 팁을 부착하였다. 또한 friction force 신호를 감지할 수 있는 증폭기를 이용하여 constant loading 방식뿐만 아니라 ramp loading 방식으로 1 gr의 하중을 적용하였으며, 2.52 $\mu\text{m}/\text{s}$ 의 속도로 스크래치를 구현해보았다.

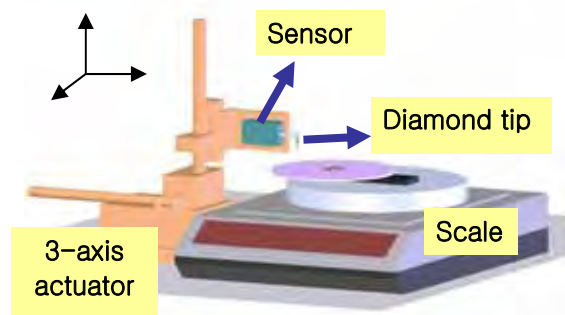


Fig.1 Schematic of scratch tester using 3-axis precision actuator and diamond tip

3. 실험 결과

3.1 상용 디스크 분석 결과

상용 디스크에서 발생한 스크래치 분석을 위하여 5 X 5 ~ 91 X 91 μm 의 스캐닝 사이즈로 AFM을 이용해서 스크래치 형상을 측정하였다. 6개의 스크래치를 찾아서 측정하였으며, 각 스크래치의 AFM 형상은 Fig.2와 같으며, 그림에서 알 수 있는 것처럼 스크래치의 다양한 형상과 크기를 확인할 수 있었다. Fig.3은 대표적인 스크래치 형상의 SEM 사진이고, Table 1에는 분석한 스크래치의 발생 위치뿐만 아니라 크기와 너비, 깊이에 대한 값을 나타내었다. 분석한 실제 스크래치의 위치는 디스크의 반경을 기준으로 안쪽 트랙에서 17.5 mm를 기준으로 IP(Inner Position)와 OP(Outer Position) 중에서 OP 부분에서 상대적으로 많이 발생했으며, 스크래치의 깊이를 확인한 결과 정보를 저장하는 자성층 뿐만 아니라 NiP(Nickel Phosphorous)층 까지도 박힐 수

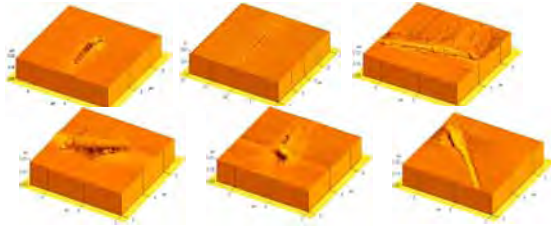


Fig.2 AFM image of actual scratches of commercial disk

있는 깊이를 가지는 것을 확인할 수 있었다.

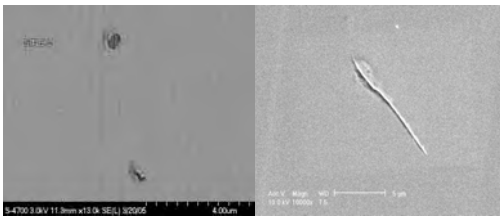


Fig.3 SEM image of actual scratches

| Scratch position | Size (μm) | Width (μm) | Depth (nm) |
|------------------|-----------|-------------|------------|
| IP << OP | 2 ~ 40 | 0.16 ~ 2.75 | 3.2 ~ 95 |

** IP: Inner Position of Disk, OP: Outer Position of Disk

Table1 Specification of actual scratches

3.2 스크래치 테스트 실험 결과

Fig.4(a)는 스크래치 테스터(Fig.1)를 이용해서 0g_r에서 1g_r 까지 램프 로딩 방식으로 적용해서 형성한 약 42 μm의 길이를 가지는 인위적인 스크래치의 2 차원, 3 차원 AFM 사진이고, Fig.4(b)는 Fig.4(a)의 스크래치에 표시한 각각의 위치에 대한 스크래치 깊이를 나타낸 것이다. (1)은 0.98~1.00 g_r의 하중에 의해서 발생한 스크래치 깊이이고, (2), (3) 부분은 각각 0.43~0.49 g_r, 0.01~0.03g_r의 하중에 의해서 발생한 스크래치의 깊이이다. 하중이 부가될수록 스크래치의 깊이가 더욱 증가하는 것을 확인할 수 있었다.

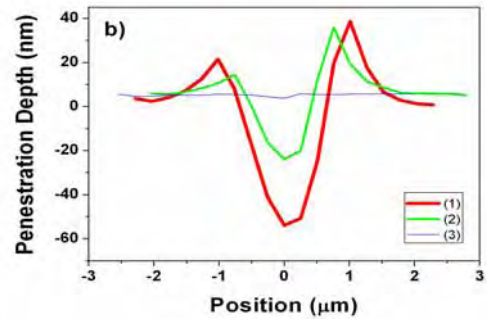
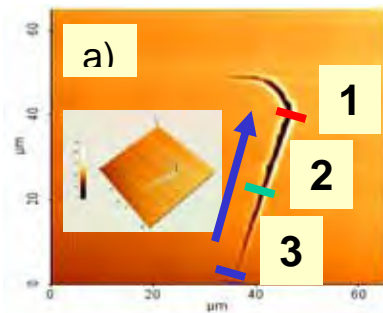


Fig.4 (a) 2D, 3D AFM image of an artificial scratch (1g_r load), (b) 2D depth profile of marked lines of scratch image(Fig.4 (a))

그리고 아래의 Fig.5 는 1g_r를 적용한 스크래치의 하중에 따른 각각의 마찰력과 마찰계수를 나타낸 것이다. 스크래치의 하중과 길이의 증가에 따라서 friction force가 일정하게 증가하는 것을 알 수 있다.

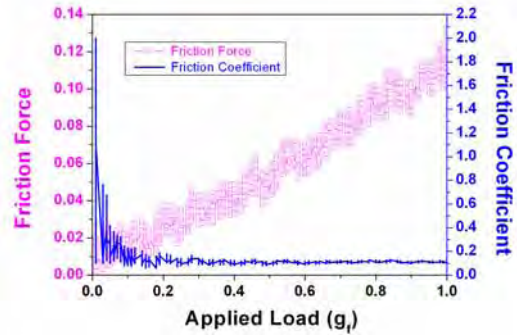


Fig.5 Friction force and friction coefficient w.r.t. applied ramp load

램프 로딩 방법으로 1g_r의 하중을 적용시켰을 때 다이아몬드 팁에 의해서 디스크 표면에 어느 정도의 파손이 발생하는지 수치적으로 확인해 보고자 Hertzian contact theory를 적용시켜 보았다. 점점 증가되는 하중에 따라서 다이아몬드 팁과 디스크의

| | Young's modulus | Poisson ratio |
|--------------|-----------------|---------------|
| Diamond tip | 1141 GPa | 0.2 |
| DLC overcoat | 237 GPa | 0.07 |

* Radius of diamond tip: 5μm

Table 2 Young's modulus and Poisson ratio of diamond tip and DLC overcoat on disk⁸

DLC(Diamond Like Carbon) overcoat 의 탄성계수와, 푸아송 비 등을 적용시켜, 스크래치의 하중과 길이 별로 디스크 표면의 scratch track 과 이 부분의 접촉

압력을 적용시켜 보았다(Fig.6). 하중이 점점 증가함에 따라 발생한 scratch track 과 접촉 압력이 증가하였음을 알 수 있다.

Fig.7 은 실제 디스크에서 확인, 분석한 스크래치이

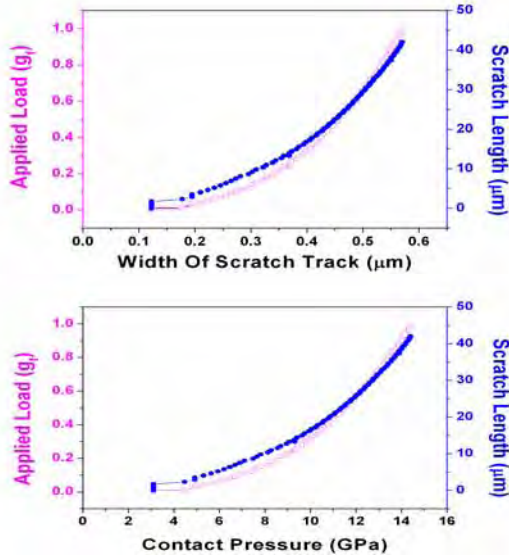


Fig.6 (a) Width of scratch track w.r.t. applied load and scratch length (b) Contact pressure w.r.t. applied load and scratch length

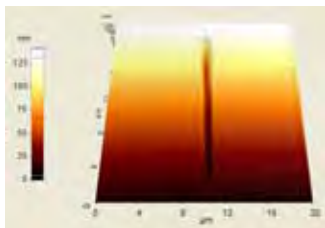


Fig.7. AFM image of actual scratches similar to artificial scratch(fig.4(a))

며, 인위적으로 스크래치를 형성한 Fig.4(a)의 것과 비교하여, 유사한 스크래치 너비, 깊이를 가지는 것을 알 수 있다.

4. 결론

1. 상용하는 하드 디스크를 표면 측정 장비를 이용하여 다양한 형상의 스크래치를 확인, 분석하였으며, 스크래치는 주로 OP 부분에서 발생하는 것을 확인할 수 있었다. 이것은 IP 와 OP 의 상대적인 면적 차이의 영향에 따른 것으로 판단된다.
2. 분석한 실제의 스크래치는 그 깊이에 따라 자성층 뿐만 아니라 NiP 층까지 박히는 것을 확인할 수 있었으며, 이것은 데이터의 손실을 야기시킬 수 있다.

3. 다이아몬드 팁을 이용, 실제와 유사한 인위적인 스크래치를 형성하여 입자의 운동으로 인한 디스크 표면의 scratch track 과 contact pressure 를 적용시켜 보았으며, 차후에 실제와 유사한 동적인 시스템에서 적용가능 하도록 그 여건을 마련하였다.

4. 스크래치 실험장치의 ramp loading 방식을 이용하여 상용 디스크의 실제 스크래치의 너비, 깊이가 유사한 인위적인 스크래치를 구현할 수 있었다.

후 기

본 연구는 연세대학교 정보저장기기 연구센터와 삼성전자 스토리지 사업부의 지원(과제번호: 2005-5-0984)과 한국과학재단 지정 연세대학교 정보저장기기 연구센터의 지원(과제번호: R11-1977-042-12001-0)을 받아 이루어졌으며, 이에 관계자 여러분께 감사 드립니다.

참고문헌

1. Choa, S.H., Sharma, V., "Sensitivity and Rejection Capability of Thermal Asperities in a Hard Disk Drive", Journal of Magnetism and Magnetic Materials, Vol.241, pp.466-474, 2002.
2. Zeng, Q., Pit, R., Payne, R., Baumgart, P., and Huang, F., "Modeling and Simulation of Hard-particle Interaction in Head/Disk Interfaces", IEEE Transactions on Magnetics, Vol.41, No.2, pp.604-609, 2005.
3. Ji, R., Liew, T., and Chong, T.C., "A Study of Contact-start-stop Wear Tracks by TOF SIMS", Tribology International, Vol.36, pp.883 - 888, 2003.
4. Yoon, E.S., 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, 2001.
5. Liew, T., Wu, S.W., Chow, S.K., and Lim, C.T., "Surface and subsurface damages and magnetic recording pattern degradation induced by indentation and scratching", Tribology International, Vol.33, pp.611-621, 2000.
6. Li, Y., Sharma, V., "The Spin-off of Particles on a Magnetic Disk", ASME Journal of Tribology, Vol.122, pp.293-299, 2000.
7. Li, Y., "The Formation and Reduction of New TA at a Head/Disk Interface", IEEE Transactions on Magnetics, Vol.35, No.5, pp.2478-2480, 1999.
8. Prabhakaran, V., Talke, F.E., "Wear and Hardness of Carbon Overcoats on Magnetic Recording Sliders", Wear, Vol.243, pp.18-24, 2000.