

상용 하드디스크 슬라이더 패드의 마모 특성에 관한 연구

Study on wear characteristics of commercialized HDD slider pad

장철은*, 김대은†

Cheol Eun Jang and Dae Eun Kim

Abstract

In recent years new recording media and materials for head-disk interface (HDI) have been developed in order to increase the recording density of storage devices and decrease the cost of production. It is well known that HDI in hard disk drive (HDD) needs high durability and stability. The tribological characteristic of commercialized HDI systems is an important indicator of the HDD reliability. In this study, experimental investigation on the wear coefficient of commercialized hard disk slider pads was performed. The slider was placed on top of a hard disk and allowed to slide for a set distance. The wear of the pads was measured after the sliding tests. The result showed that the micro-bumps in commercialized HDD have extremely low wear coefficient of 10^{-11} . The results of this work may be used for further development of the HDI technology for HDD.

Key Words: HDI, Hard disk drive, Slider pad, Wear coefficient

1. 서 론

정보사회가 가속화됨에 따라 저렴한 고집적 고용량 정보저장 장치에 대한 요구가 증가하여, 자기기록 하드디스크의 트랙을 조밀화 하고 디스크와 헤드/슬라이더의 간격(flying height)을 줄이는 노력들이 있었다[1]. 최근에는 새로운 미디어 소재와 새로운 읽기/쓰기 메커니즘을 적용한 고집적 고용량 저장매체 뿐만 아니라 저렴하고 대량 생산이 용이한 새로운 재료의 슬라이더가 개발되고 있다. 그러나 새로운 미디어 및 슬라이더를 적용한 head-disk interface(HDI) 시스템에서도 슬라이더와 미디어의 마찰 및 마모 그리고 마모입자에 의한 데이터 손실 등과 같은 트라이볼로지적 문제를 극복하여 하드디스크에서 요구되는 신뢰성을 달성하는 것이 요구되며 이를 위한 연구가 진행되고 있다[2-3].

하드디스크에서는 전통적으로 디스크 표면에 micro-bump들이 가공된 landing zone을 위치시켜 슬라이더 부상 및 착륙시 발생하는 stiction을 저감시켜왔다. 그러나 지난 수년간 디스크의 landing zone대신 micro-pad를 가공하거나 표면을 texturing한 슬라이더가 제시되어 실용화되고 있다 [4-6]. 이러한 padded 슬라이더는 부상높이 저감에 따라 발생하기 쉬운 슬라이더와 디스크의 접촉 파손을 최소화 할뿐만 아니라, 디스크 면적을 효율적으로 사용함으로써 저장용량을 증대시킬 수 있는 장점을 가진다. 기존에 연구되었던 micro-pad의 트라이볼로지적 특성을 살펴보면 패드와 디스크의 접촉면적 과 패드의 높이가 stiction 현상에 주된 영향을 주며 패드 표면의 거칠기가 감소할수록 패드의 마모 또한 감소한다고 알려져 있다[7]. 이러한 연구결과 와 더불어 실제 시스템에 있어서 마모입자의 거동과 오랜 작동시간동안 마찰과 마모에 대한 안정성 또한 시스템의 신뢰성을 판단하는 중요한 사항이 될 수 있다.

이에 따라 본 연구에서는 상용화된 자기기록방식의 하드디스크와 padded 슬라이더의 마모 특성을 정량적으로 이해 하고자 한다. 특히, 디스크와

† 연세대학교 기계공학부

E-mail : kimde@yonsei.ac.kr

TEL : (02)2123-2822

* 연세대학교 기계공학부 대학원

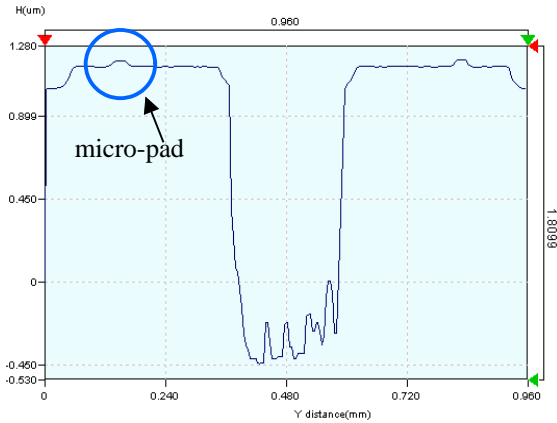


Fig. 1 Nano-Scan 2D profile image of micro-pad on HDD slider

직접적으로 접촉을 일으키는 패드의 마모 특성 및 마모입자의 거동을 파악하고 이를 통하여 차세대 하드디스크 head-disk interface에서 요구되는 마찰 마모 특성을 도출함으로써 차세대 슬라이더 및 미디어의 트라이볼로지적 설계에 활용하고자 하였다.

2. 실험장치 및 시편

2.1 실험시편

2.1.1 HDD Slider

본 연구에서는 현재 상용 하드 디스크에 사용되는 pico 슬라이더를 이용하였다. 슬라이더에는 air-bearing-surface (ABS)가 가공되어 있고 이 ABS 위에 직경 $30\mu\text{m}$, 높이 약 35nm 의 DLC micro-pad가 있으며 약 14GPa 의 경도를 가진다 [8]. Fig. 1은 광학 회절 현미경인 Nano-Scan을 이용하여 micro-pad의 2차원 프로파일을 나타낸 것이다. 즉, 디스크와 슬라이더의 접촉은 이 패드들의 면적에 국한된다.

2.1.2 Disk media

실제 상용시스템의 마모 특성을 알아보기 위해 슬라이더가 접촉하여 슬라이딩 운동을 하는 상대 재료로서 상용 하드디스크에서 사용되는 자기기록 하드 디스크를 이용하였다. 사용된 디스크는 기록 미디어로 자기기록층 위에 4nm DLC층이 코팅되어 있고 그 위에 1nm 정도의 윤활막이 도포 되어 있었다.

2.2 실험 장치

Fig. 2는 본 연구에서 사용한 실험 장치의 개략

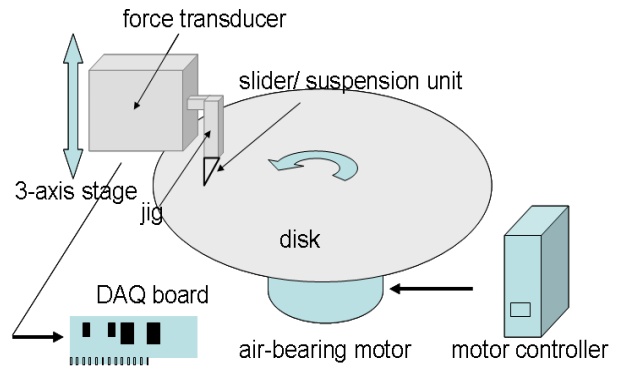


Fig. 2 Schematic of the experimental set-up

도를 나타내고 있다. 슬라이더/서스펜션 일체를 jig의 한쪽 끝에 고정시켜 슬라이더가 디스크와 일정한 하중으로 접촉한 상태에서 상대운동을 할 수 있게 하였다. Jig의 다른 끝은 49.05mN (5gf) 까지 측정 가능한 force transducer를 이용하여 마모실험이 진행되는 동안 마찰현상을 관찰하였다. 서스펜션은 상용 하드 디스크의 것을 사용하였으며 16.677mN/mm (1.7gf/mm)의 강성을 가지는 이 서스펜션을 이용하여 슬라이더가 29.43mN (3gf)의 수직하중으로 디스크와 접촉하도록 하였다. 상대운동의 속도는 슬라이더의 ABS에 Air-bearing이 형성되지 않게 하기 위하여 120rpm 이하에서 저속 슬라이딩 하였다. Air-bearing motor는 PC로 분당회전수, 목표 회전수 와 위치 제어를 할 수 있는 시스템이다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 슬라이더 패드의 마찰 및 마모계수

Atomic Force Microscope (AFM)를 이용하여 마모 실험 전과 후의 패드의 높이를 비교하여 Archard 공식(수식 1)을 이용하여 마모계수를 구하였다. Archard 공식에 의한 마모계수는 마모에 의해서 마모입자가 생성되는 가능성을 표현한 것으로서 마모계수가 낮을수록 마모에 대한 저항력이 큰 것을 의미 한다. 여기서 마모된 체적은 AFM을 이용하여 측정하였고 DLC 패드의 표면경도는 Ref[8]에서 제시된 값을 이용하였다. 또한, 슬라이딩 거리는 슬라이더가 디스크와 접촉하는 트랙의 원주길이를 총회전수를 곱하여 얻었으며 수직하중은 슬라이더와 디스크 사이에 인가된 하중 29.43mN 을 패드의 수로 나누어 각 패드가 가지는 마모계수를 산출하였다.

$$K = \frac{VH}{\chi L} \quad (1)$$

K = Wear coefficient (dimensionless)

V = Wear volume (m^3)

H = Hardness (Pa)

χ = Sliding Distance (m)

L = Normal Load (N)

HDD 슬라이더 패드의 마모계수는 10^{-11} 정도로 아주 탁월한 마모저항 특성을 가지는 것으로 나타났으며 슬라이딩 거리에 따른 마모계수 변화를 보기위해 99km, 152km, 229km, 279km, 445km의 거리를 슬라이딩한 결과[Fig. 3] 슬라이딩 거리의 증가에도 불구하고 마모계수는 10^{-11} 정도로 유지되는 것을 볼 수 있다. 이것은 슬라이더 패드가 원기둥의 모양을 이루고 있고 표면의 거칠기 또한 sub-nano급으로 아주 매끈하므로 슬라이딩으로 인해 접촉한 패드의 표면이 마모 되어도 접촉하는 표면적의 변화가 크게 변하지 않아 패드와 디스크 미디어 사이의 접촉압력이 슬라이딩 거리와 무관하게 유지되기 때문으로 생각 된다.

또한, 마모입자의 생성이 적기 때문에 접촉면 사이에 마모입자가 유입되어 발생하는 three body abrasive wear 가 발생하지 않아 접촉조건이 안정적으로 유지되고 슬라이딩 거리에 따라 마모 양상이 급격하게 변화하지 않는 것으로 판단된다.[9]

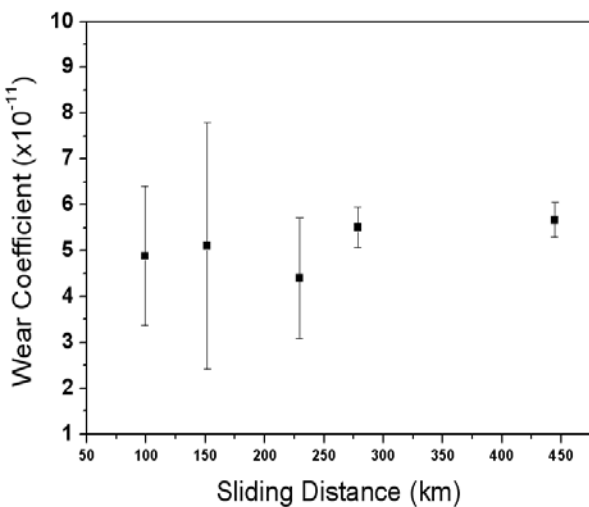


Fig. 3 Wear coefficient variance of pad with respect to sliding distance

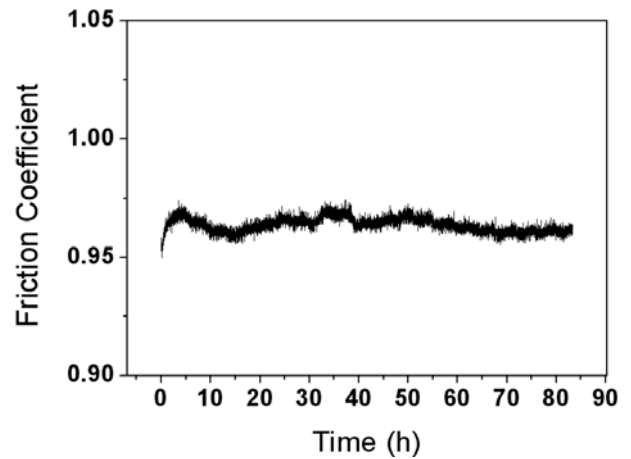


Fig. 4 Friction coefficient

Fig. 4 는 force transducer를 통하여 슬라이딩 하는 동안 디스크와 micro-pad의 사이에서 발생하는 마찰력의 정도를 마찰계수로 나타낸 것이다. 마모실험 동안 마찰 계수의 변화가 없는 것으로 보아 접촉면사이로 유입되는 마모입자의 양이 많지 않아 초기의 접촉압력 과 윤활 등의 접촉조건이 유지되고 있음을 예측 할 수 있다.

3.2 마모 입자

HDI에서 마모입자는 헤드를 손상시키고 슬라이더와 디스크 사이에 끼어 디스크의 손상을 가져오므로 마모입자는 적게 생성될수록 좋다[10]. Fig. 5 는 445 km 마모실험 전후의 micro-pad를 나타내는 SEM 이미지로서 45° 기울여서 관찰한 것이다. 마모에 대한 저항력이 탁월하기 때문에 Fig. 5(b)에서 보이는 것과 같이 긴 슬라이딩 거리에도 불구하고 생성된 마모입자의 수가 비교적 적은 것을 알 수 있으며 패드 표면위에는 마모입자가 거의 없는 것을 확인할 수 있었다. 패드의 마모가 상당히 적고 디스크 표면의 파손도 관찰되지 않았기 때문에 마모입자는 주로 윤활막에서 온 것으로 예상되어진다. 즉, 마모입자는 패드로부터 나온 경한재질의 입자보다 윤활 막으로부터 나온 연한재질의 입자가 주를 이루며 three body abrasive wear를 발생시킬 정도로 경하지 못하므로 마모입자에 의한 three body abrasive wear 또는 마찰력상승 현상이 발생하지 않은 것으로 생각된다. Fig. 6은 마모실험 후에 패드 주변에 쌓인 마모입자들의 AFM 이미지로서 수 십 nm ~ 수백 nm 직경과 수 nm 높이를 가지는 마모입자들이 쌓인 것을 볼 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 상용 하드디스크 슬라이더 패드의 마모 특성을 파악하였다. 패드의 마모계수는 10^{-11} 정도의 높은 마모저항력을 가지고 이로 인해 적은 마모입자가 생성됨을 실험을 통하여 알 수 있었고 슬라이딩 거리에 따라서 마모계수는 거의 변하지 않는 것을 알 수 있었다. 그리하여 슬라이딩 하는 동안 소량의 마모입자만 생성되어 three body 현상에 의한 마찰과 마모의 발생이 극히 적어 마찰조건이 유지됨을 유추할 수 있었다. 최근 연구 중인 새로운 재료의 미디어와 슬라이더를 적용하는 시스템에서도 이와 같은 수준의 매우 낮은 마모 특성이 요구되므로 새로운 시스템에 적합한 wear resistive hard coating layer의 개발과 새로운 읽기/쓰기 메커니즘에 적합하고 내구성이 뛰어난 나노윤활제의 개발이 필요하다.

후기

본 연구는 삼성 종합 기술원의 지원 (과제번호: 2007-1-0107)과 한국과학재단지정 연세대학교 정보저장기기 연구센터의 지원을 받아 이루어졌으며 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

- [1] S.-H Choa, V. Sharma, 2002, " sensitivity and rejection capability of thermal asperities in a hard disk drive", Journal of magnetism and magnetic materials, Vol.241, pp.466-474.
- [2] H. H. Gatzert, M. Beck, 2003, "Tribological investigations on micromachined silicon slider", Tribology international, Vol.36, pp.279-283.
- [3] Y. Cho, S. Hashimoto, N. Odagawa, K. Tanake and Y. Hiranaga, 2006, "Nanodomain manipulation for ultrahigh density ferroelectric data storage", Nanotechnology, Vol.17, pp.137-141.
- [4] D.-E Kim, J.-W Park, D.-K Han, Y.-S Park, K.-H Chung and N.-Y Park, 2001, "Strategies for Improvement of Tribological Characteristics at the head/disk interface", IEEE TRANSACTION ON MAGNETICS, Vol.37 No.2, pp.912-917.
- [5] L Zhou, K Kato, N Umehara and Y Miyake, 1999, "Nanometer scale island-type texture with

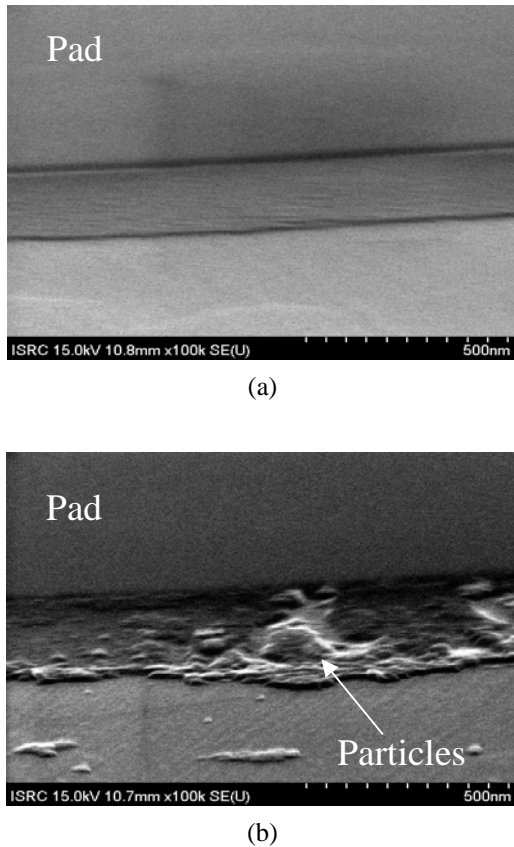


Fig. 5 SEM micrographs of slider pad (a) before and (b) after wear test

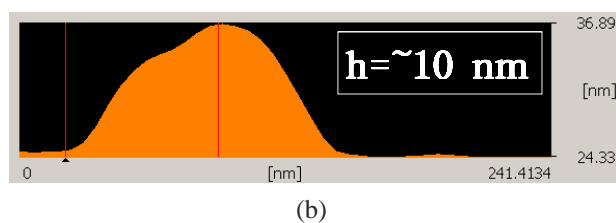
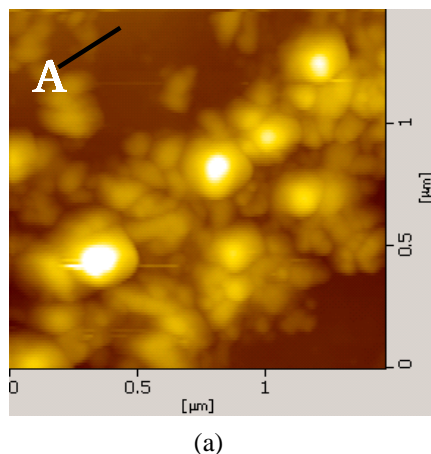


Fig. 6 (a) AFM image of wear particles (b) Cross section of region 'A' in (a)

controllable height and area ratio formed by ion-beam etching on hard-disk head sliders", *Nanotechnology*, Vol.10, pp.363-372.

[6] S. Takagi, 2005, "Study of the stiction free magnetic recording head with DLC pad", *Microsyst. Technol.*, Vol. 11, 970-913.

[7] T. Yamamoto, Y. Kasamatsu, H. Hyodo, 2001, "Advanced stiction-free slider and DLC overcoat", *Fujitsu Sci. Tech. J.*, Vol.32 No.2, pp.201-211.

[8] B. Bhuchan, B.K. Gupta, M. H. Azarian, 1995, "Nanoindentation, microscratch, friction and wear studies of coatings or contact recording applications", *Wear*, Vol.181-183, pp.743-758.

[9] S. Chandra, B. Bhushan, 2000, "Effect of Particulate contamination on the friction and wear of a magnetic head-rigid disk interface", *Proc. Instn. Mech. Engrs*, Vol.214 part j, pp.493-505.

[10] J-H Han, R-J Lee, D-E Kim, T-S Kang and K-Y Cho, 2005, "Study on the Effect of Particles Injected Into Head Disk Interface", *proceeding of SISS*, Fall, pp.179-183.