

환경에 따른 MZT/LZT 디스크의 tribological 특성

Tribological Behavior of MZT/LZT Disk under Various Environmental Conditions

박용식 (연세대학교 대학원), 김대은 (연세대학교 기계공학과)
Yong-Shik Park (Graduated school of Yonsei Univ.), Dae-Eun Kim (Yonsei Univ.)

ABSTRACT

As the flying height decreased, it is essential that hard disk drives perform reliable under various environmental conditions. In this paper the tribological characteristics of a head/disk interface are investigated under various temperature, relative humidity, altitude and outgas conditions. Specially, Contact-Start-Stop(CSS) tests were performed to assess the stiction, acoustic emission, slider take-off behavior, and track average amplitude(TAA). It is shown that the surface damage and head failure are accelerated by high temperature and humidity as well as low ambient pressure.

Keywords : hard disk drive, environment, stiction, acoustic emission, TAA, head/disk interface, surface damage

1. 서론

컴퓨터에서 가장 대중적인 저장 장치인 하드디스크는 그 용량이 급격히 증가하고 있고 그에 따라 헤드 슬라이더의 부상 높이는 점차로 감소하여 헤드/디스크 인터페이스에서의 특히 여러 가지 환경 변화에 대한 tribological 특성에 대한 중요성이 점차 강조되고 있다[1,2]. 하드디스크의 내구성을 증가시키기 위하여 헤드 슬라이더가 이착륙하는 영역인 landing zone에 디스크와 접촉 면적을 줄이기 위한 texturing을 하는데 가공 방법에 따라 기계적으로 가공한 MZT(Mechanical Zone Texturing)과

LZT(Laser Zone Texturing)로 나누어진다. 본 연구에서는 동일한 헤드 슬라이더를 이용하여 각종 환경 변화에 따른 두 디스크 대한 tribological 특성을 연구하고 그에 따른 하드디스크의 신뢰성과 내구성을 평가한다.

2. 실험 방법

일반적으로 하드디스크의 신뢰성 평가를 위하여 가장 널리 사용되고 있는 시험방법인 CSS (Contact-Start-Stop) 실험을 온도, 습도, 고도, 그리고 공기 조성 변화 등 다양한 환경 조건에서 실험하였으며, 이를 통하여 디

스크의 내구성과 신뢰성을 평가하기 위한 방법으로 각종 측정 방법 중 마찰력 신호, Acoustic Emission(AE), 그리고 Track Average Amplitude(TAA)를 사용하였다. 여기서 TAA는 CSS 실험 도중 디스크에 직접 자기 신호를 쓰고 읽는 과정이고 이를 통하여 헤드 슬라이더의 내구성을 판단한다.

2.1 실험 장치

본 연구에서 사용한 실험 장치는 상용화된 CETR CSS tester를 사용하였고 온도, 습도를 조절을 위한 환경 chamber와 고도를 조절하기 위한 고도 조절장치를 사용하였다. 또한 공기 조성 변화에 대한 영향을 살펴보기 위하여 99.9%의 N₂를 사용하였다. 전체적인 실험 장치의 구성은 Fig. 1과 같이 구성되었다.

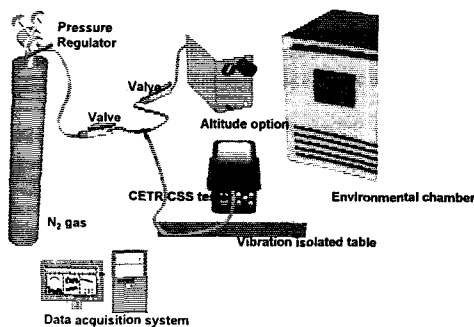


Fig. 1 Experimental set-up

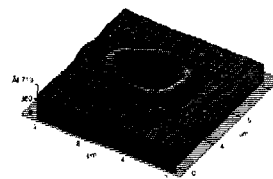
2.2 실험 시편

실험에 사용한 헤드 슬라이더는 1.25mm × 1.0mm의 크기를 가진 pico 슬라이더와 2.0mm × 1.6mm의 크기를 가진 nano 슬라이더를 사용하였다. Pico 슬라이더는 헤드가 Air Bearing Surface(ABS) 표면에 있는 평면형 헤드가 있고 Negative Pressure (NP) 슬라이더이고 부상 높이는 약 25nm이다. Nano 슬라이더의 경우는 헤드가

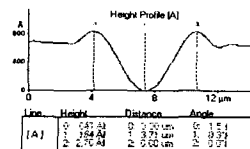
trailing edge의 중앙 pad에 위치하는 tri-pad 슬라이더이고 부상 높이는 약 40nm를 가진다. 두 슬라이더 모두 표면은 내구성의 향상을 위하여 DLC로 코팅되어 있다.

본 연구에 사용한 디스크는 landing zone이 기계적으로 가공된 MZT (Mechanical Zone Textured) 디스크와 laser로 가공한 LZT(Laser Zone Textured) 디스크를 사용하였다. MZT 디스크의 경우 정보를 쓰고 읽는 영역인 data zone의 평균 거칠기는 약 1nm이고 landing zone의 경우는 7nm정도이며 각 코팅층은 액체 윤활제인 PFPE(Perfluoropolyether)가 있는 윤활층, 보호층인 DLC층, 자성층인 Co/Cr층, NiP층, 그리고 substrate인 Al으로 이루어져 있다.

LZT 디스크의 경우 laser bump의 형상은 Fig. 2와 같다. Bump의 지름은 약 8 μ m이고 높이는 약 20nm이다. Bump간의 간격은 track 방향으로 25 μ m, sector 방향으로 40 μ m이다. 보호층인 carbon층의 두께는 약 15nm이고 윤활층의 두께는 1.4nm, 그리고 data zone의 평균 거칠기는 1.1nm이다.



(a) 3D view of laser bump



(b) 2D profile of laser bump

Fig. 2 AFM image of laser bump

2.3 실험 조건 및 측정 방법

실제 하드디스크의 작동 및 환경 조건을 동일하게 하기 위하여 Class 100의 청정 환경에서 실험을 하였고 pico 슬라이더의 경우 preload를 설계 기준인 2.5gf로, nano 슬라이더의 경우는 3.5gf으로 하여 실험을 하였다. CSS cycle은 정지상태에서 정속에 이르는 시간을 3초, 정속 시간은 3초, 정속에서 정지에 이르는 시간은 3초, 그리고 정지 상태에 있는 시간을 3초로 설정하여 각 조건마다 20000번을 실시하였다.

각종 환경 변화에 대한 헤드/디스크 인터페이스의 tribological 특성을 파악하기 위하여 온도, 습도, 고도, 그리고 공기 조성을 변화시켜 실험을 하였다. 온도, 습도 고도 실험의 경우는 pico 슬라이더를 이용하여 마찰력, AE 신호의 분석과 실험 전후의 슬라이더의 표면을 광학 현미경을 이용하여 관찰하였고 고도 실험의 경우 앞의 방법과 더불어 헤드를 사용할 수 있는 nano 슬라이더를 사용하여 디스크에 직접 자기신호를 쓰고 읽는 과정인 TAA를 실시하여 마찰력, AE 신호, 그리고 표면 파손과 비교하였다. 실험 조건에 대한 자세한 정보는 Table 1에 정리하였다..

Table 1. Experimental conditions

Temperature (°C)	25, 40, 55
Relative humidity (%)	20, 50, 80
Altitude (m)	0, 3000, 6000, 9000
Outgas	N ₂

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 온도 변화

① MZT disk

Fig. 3은 온도를 25°C, 40°C, 55°C로 변화시켰을 때 MZT 디스크에 대한 stiction과 AE peak의 변화를 나타낸 것이다. 여기서 각 조건마다 CSS 20000 cycle에 대한 stiction 및 AE의 결과의 평균과 표준 편차를 나타낸 것이고 stiction의 경우 preload인 2.5gf으로 나누어 무차원화 시켜 stiction coefficient로 나타내었다.

Stiction의 경우 온도 변화에 대하여 큰 경향성을 보이고 있지 않다. 그러나 AE peak의 경우 온도가 증가할수록 같이 증가하는 경향을 보이고 있다. 이는 온도가 증가할수록 헤드 슬라이더와 디스크간의 상대 마찰 운동이 심하게 일어나는 것을 의미하고 이것은 결국 표면 파손이 조기에 일어나게 할 것이라 예상되고 따라서 내구성이 감소하게 될 것이다.

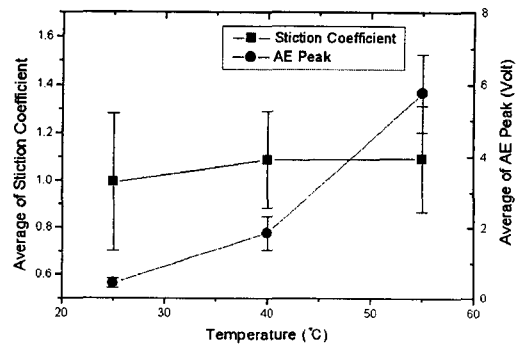


Fig. 3 Stiction coefficient and AE peak of MZT disk w.r.t. temperature

② LZT disk

온도 증가에 대한 LZT 디스크의 특성은 Fig. 4에 나타낸 것처럼 stiction 및 AE peak는 증가하는 경향을 보이고 55℃의 경우 CSS 20000 cycle을 채우지 못하고 조기 파손되는 것을 관찰할 수 있다. 이러한 이유는 온도 상승으로 인한 laser bump의 조기 파손이 발생하고 이로 인하여 접촉면적이 증가하여 발생하는 것으로 생각된다[3]. 따라서 본 실험에 사용한 LZT 디스크의 경우 온도 변화에 대하여 내구성이 좋지 않은 것으로 판단된다.

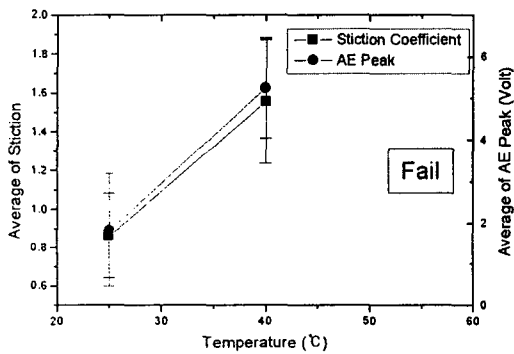


Fig. 4 Stiction coefficient and AE peak of LZT disk w.r.t temperature

3.2 습도 변화

① MZT disk

온도를 25℃로 고정시키고 상대 습도를 20%, 50%, 80%로 변화시켰을 때 stiction과 AE peak의 결과는 Fig. 5와 같다. Stiction의 경우 습도가 증가할수록 약간 감소한 후 50%이후에서는 증가하는 경향을 보이고 있고 AE의 경우는 상대 습도 50%에서 가장 낮은 값을 보이고 있다. 이

러한 이유는 습도가 증가할수록 헤드/디스크 인터페이스에서 meniscus film의 발생 확률이 높아지게 되어 stiction은 증가하게 되나 습기의 존재는 윤활제와 섞이면서 윤활제의 역할을 대신하게 되어 헤드 슬라이더와 디스크간의 상대 마찰 운동을 저감시켜 주어 AE peak의 값은 감소하게 되는 것이다. 그러나 과도한 습도의 증가는 기존의 윤활층을 오히려 벗겨내는 역할을 하여 고습상태에서 AE peak의 증가를 가져오게 된다. 따라서 중습 상태인 상대 습도 50%에서 하드디스크는 가장 좋은 내구성을 보인다[2,4,5].

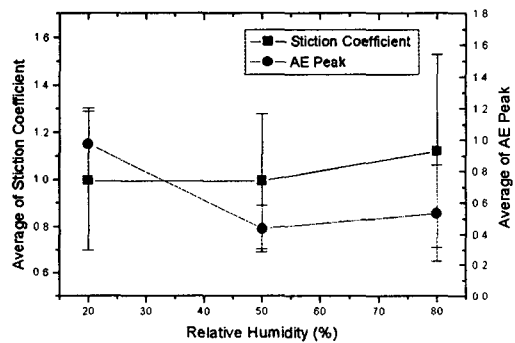


Fig. 5 Stiction coefficient and AE peak of MZT disk w.r.t relative humidity

② LZT disk

LZT 디스크의 경우 습도 변화에 대하여 MZT 디스크와 비슷한 경향을 보인다. 즉, Fig. 6과 같이 stiction 및 AE peak는 대 습도 50%이전에는 감소하는 경향을 보이다가 상대 습도 50%이후에는 증가하는 경향을 보이고 있고 이러한 이유는 앞에서 언급한 바와 같이 습도에 따른 습기와 윤활제의 관계 때문인 것으로 생각된다.

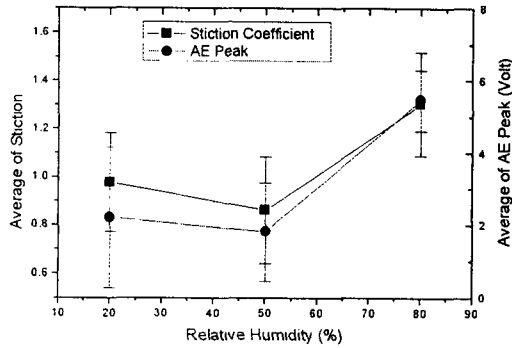


Fig. 6 Stiction coefficient and AE peak of LZT disk w.r.t relative humidity

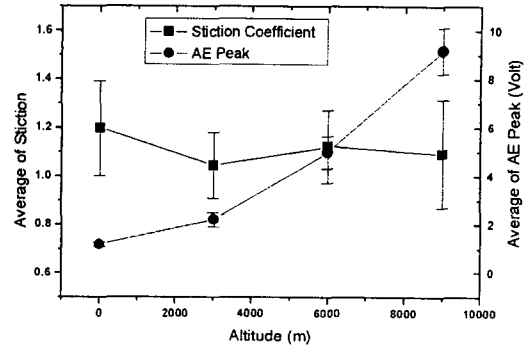


Fig. 7 Stiction coefficient and AE peak of MZT disk w.r.t altitude

3.3 고도 변화

① MZT disk

고도를 0m, 3000m, 6000m, 9000m로 변화시켰을 때 MZT 디스크에 대하여 stiction과 AE peak의 변화는 Fig. 7과 같다. 여기서 고도를 변화시킨다는 것은 실험 장치 내의 공기 압력을 변화시키는 것을 의미한다. Stiction의 경우 고도가 증가할수록 약간 감소하는 경향을 보이나 큰 경향성을 찾을 수는 없다. 그러나 AE peak의 경우 증가하는 경향을 보인다. 이는 고도의 증가로 인하여 공기가 희박해짐에 따라 헤드 슬라이더의 부상 높이가 낮아지게 되어 헤드 슬라이더와 디스크간의 상대 마찰 운동이 더 심하게 일어나게 됨을 의미한다. 따라서 고도의 증가는 하드 디스크의 내구성의 감소를 가져올 수 있다.

② LZT disk

LZT 디스크의 경우 MZT 디스크의 경우와 마찬가지로 Fig. 8과 같이 고도가 증가할수록 AE peak는 증가하는 것을 관찰할 수 있다. stiction의 경우는 감소하는 것을 볼 수 있는데 이는 공기가 희박해짐에 따라 습기의 양이 줄게되어 습기에 의한 meniscus film의 발생이 억제되기 때문으로 생각된다.

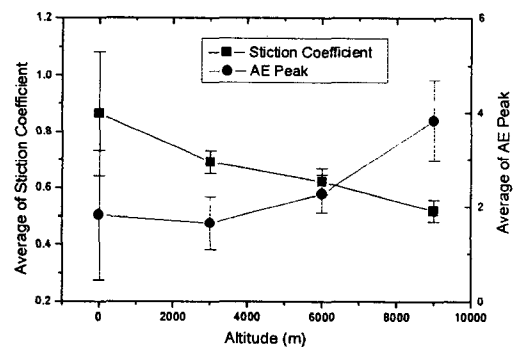


Fig. 8 Stiction coefficient and AE peak of LZT disk w.r.t altitude

디스크로부터 헤드 슬라이더가 완전히 부상하는 시점을 Take-Off Velocity(TOV)라 하고 마찰력이 0이 되는 지점으로 정의한다. Fig. 9는 고도변화에 따른 MZT 디스크와 LZT 디스크의 TOV의 변화와 대기압력의 변화를 나타낸 것이다. 고도가 증가할수록 공기 입자의 수가 감소하게 되어 대기압력은 감소하게 되고 이에 따라 헤드 슬라이더의 표면의 공기 베어링이 충분히 형성이 되지 않음으로 인하여 TOV가 증가하게 된다[6]. 이러한 TOV이 증가는 헤드 슬라이더와 디스크간의 미끄럼 거리의 증가를 가져오게 되고 결국은 내구성의 감소를 가져오게 된다.

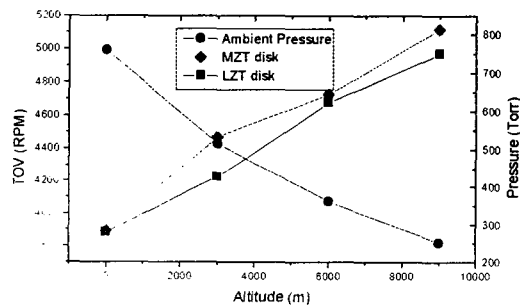


Fig. 9 TOV and ambient pressure variation w.r.t altitude

3.4 N₂ 환경

Pico 슬라이더와 LZT 디스크를 이용하여 CSS 실험을 할 때 99.9%의 N₂ gas를 계속 주입한 경우 stiction과 AE peak는 Fig. 10과 같이 나타났다. 실험 결과 CSS 230 cycle 만에 failure가 발생하였고 헤드 슬라이더의 부상이 더 이상 일어나지 않았다. 그에 따라 AE의 값은 증가하게 되고 마멸입자의 발생 및 헤드/디스크 인터페이스에 존재하게 됨에 따라 stiction은 낮

은 값을 갖게 된다. 이러한 조기 파손이 일어나는 이유는 상대 습도가 거의 0%로 감소하게 됨에 따라 윤활제 역할을 하던 습기가 없어지게 되어 내구성이 감소하게 되고 따라서 습도가 아주 낮은 경우나 앞의 습도의 결과처럼 높은 경우 하드디스크의 내구성은 감소하게 되므로 습도는 일반적인 상태인 50%정도로 유지되는 것을 것이다.

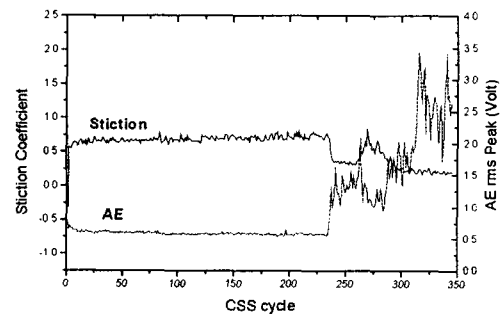


Fig. 10 Stiction coefficient and AE peak in N₂ environment

Fig. 11은 nano 슬라이더와 MZT 디스크를 이용하여 N₂ 환경에서 CSS 실험을 수행한 결과이다. 본 실험에서도 앞의 실험결과와 마찬가지로 약 CSS 500 cycle에서 조기 파손이 일어나는 것을 관찰할 수 있었다. 본 실험에서는 TAA를 사용하여 CSS cycle마다 디스크의 1.2" 지점에서 이 때 헤드 슬라이더의 헤드를 통하여 자기정보를 쓰고 난 뒤 읽을 때 reack-back 신호의 peak값의 평균을 내어 표시한 것이 TAA가 된다. 본 실험에서는 약 CSS 300cycle에서 stiction과 AE peak는 높은 값을 나타내기 시작하여 매우 큰 값을 나타내며 failure가 일어났다. TAA의 경우도 stiction 및 AE peak가 이상징후가 나타난 시점부터 값의 변동을 보인 후 약 CSS

800 cycle에서 헤드가 완전히 파괴되어 TAA신호가 더 이상 나오지 않게 된다. 따라서 과도한 stiction 및 AE peak는 헤드의 정상적인 작동을 방해하고 결국은 헤드의 파손을 초래하게 되므로 stiction 및 AE peak의 변화의 관찰을 통해서 하드디스크의 내구성을 평가할 수 있을 것이다.

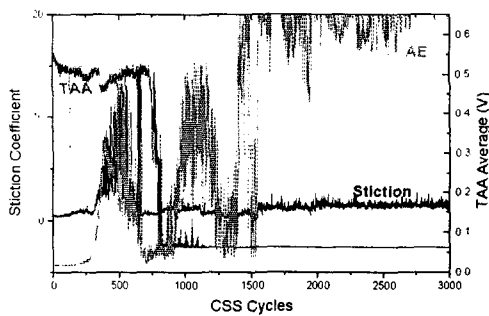


Fig. 10 Stiction coefficient, AE peak and TAA variation in N₂ environment

4. 결론

본 연구에서는 MZT와 LZT 디스크에 대하여 여러 가지 환경 조건에 대한 CSS 실험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 온도가 상승할수록 stiction과 AE peak는 증가하고 특히 본 실험에 사용된 LZT 디스크의 경우 고온에서 낮은 내구성을 가진다.
2. 고습 상태에서 stiction과 AE peak는 높은 값을 나타내고 중습 상태에서 가장 낮은 stiction 및 AE peak 값을 가진다.
3. 고도가 증가할수록 AE peak와 TOV는 증가하고 이로 인하여 표면 파손은 가속될 것이다.
4. 습도가 매우 낮은 경우 하드디스크의

내구성은 매우 낮게 나타나며 높은 stiction과 AE peak는 결국 헤드의 파손을 초래한다.

후기

본 연구는 한국과학재단 지정 정보저장기기연구센터(과제번호:97K3-0907-02-02-1)의 지원을 받아 이루어 졌으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

- [1] M. Yang and F. E. Talke, "Effects of Gas Composition, Humidity and Temperature on the Tribology of the Head/Disk Interface - Part I: Experiments", Tribology Transactions, Vol. 39, No. 3, pp. 615-620, 1996.
- [2] Frank E. Talke, "On tribological problems in magnetic disk recording technology", Wear, Vol. 190, pp. 232-238, January, 1995.
- [3] J. Xuan, C. Shih, et al, "A Study of Nano-Wear at Laser-Textured Bump Tips and The Failure Mechanism at the Head-Bump-Interface", IEEE Trans. on Magn., Vol. 33, No. 5, pp 3187-3189, September, 1997.
- [4] M. Yang and F. E. Talke, "Effects of Gas Composition, Humidity and Temperature on the Tribology of the Head/Disk Interface - Part 2: Model and Analysis", Tribology Trans., Vol. 39, No. 3, pp. 691-697, 1996.

- [5] Z. Zhao, B. Bhushan, "Humidity effect on friction/stiction and durability of head-disk interface with polar perfluoropolyether lubricant", *J. Appl. Phys.*, Vol. 81, No. 15, pp. 5387-5389, 1997.
- [6] E. Cha, C. Chinag, et al, "Effect of temperature and altitude on flying height", *IEEE Trans. of Magn.*, Vol. 32, No. 5, pp. 3729-3731, 1996.