

환경 조건에 따른 하드디스크의 Stiction 및 AE 특성

박용식[†] · 성인하* · 김대은**

삼성전기(주), *연세대학교 대학원 기계공학과, **연세대학교 기계전자공학부

Stiction and AE Characteristics of Hard Disk Drive under Various Environmental Conditions

Yong-Shik Park[†], In-Ha Sung* and Dae-Eun Kim**

Samsung Electro-Mechanics Co., *Graduate School of Yonsei Univ.,

**School of Electrical & Mechanical Eng., Yonsei Univ.

Abstract – Hard disk drives operate in various environmental conditions. Thus, it is necessary to assess the reliability of the head/disk interface under these conditions. In this work, stiction and acoustic emission signals were investigated under different temperature, humidity, and ambient pressure conditions. Also, track average amplitude was observed for disk failure in N₂ environment. It is shown that failure of the head/disk interface occurs more readily at high temperature and low ambient pressure conditions.

Key words – hard disk drive, stiction, acoustic emission, TAA, head/disk interface.

1. 서 론

컴퓨터에서 가장 대중적인 저장 장치인 하드디스크는 그 용량이 급격히 증가하고 있고 그에 따라 헤드 슬라이더의 부상 높이는 점차로 감소하여 헤드/디스크 인터페이스에서의 특성, 특히 여러 가지 환경 변화에 대한 마찰·마멸 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 디스크에 대한 마찰·마멸 특성을 연구하고 그에 따른 하드디스크의 신뢰성과 내구성을 평가하였다.

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 디스크의 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 슬라이더와 디스크의 내구성을 판단하였다.

2. 실험 내용 및 방법

본 연구에서 사용한 실험 장치는 friction과 AE (Acoustic Emission), 그리고 TAA(Track Average Amplitude)의 측정이 가능한 상용화된 CETR CSS 시험기를 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. 특히 N₂ 가스의 정화를 위하여 HEPA(High Efficiency Particulate Air)

[†]주저자 · 책임저자 : 박용식
E-mail : kimde@yonsei.ac.kr

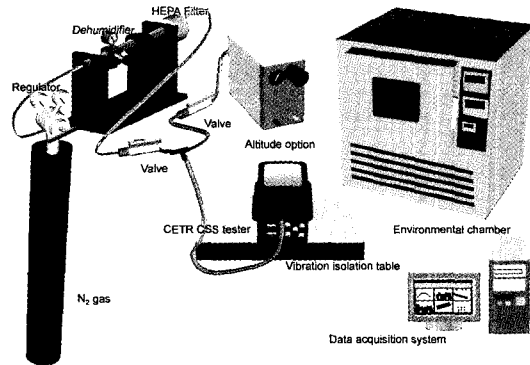


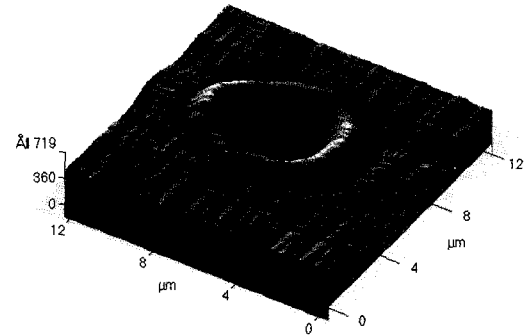
Fig. 1. Experimental set-up.

filter를 사용하였고 건조공기에 대한 영향을 평가하기 위하여 air pump와 제습제를 사용하였다. 모든 실험은 Class 100 이하의 청정 환경에서 수행되었으며 전체적인 실험 장치의 구성은 Fig. 1과 같다.

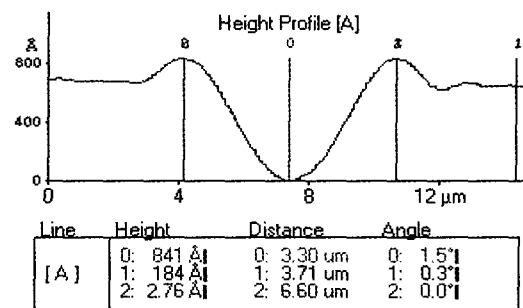
실험에 사용한 헤드 슬라이더는 1.25 mm 1.0 mm의 크기를 가진 pico 슬라이더와 2.0 mm 1.6 mm의 크기를 가진 nano 슬라이더를 사용하였다. Pico 슬라이더는 Negative Pressure (NP) 슬라이더로서 Air Bearing Surface(ABS) 표면에 평면형 헤드가 있으며 부상 높이는 약 25 nm이다. Nano 슬라이더의 경우는 헤드가 trailing edge의 중앙 pad에 위치하는 tri-pad 슬라이더이고 부상 높이는 약 40 nm를 가진다. 두 슬라이더 모두 표면은 내구성을 향상을 위하여 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 Atomic Force Microscopy(AFM) 측정 결과 약 1 nm로 나타났으며, landing zone의 경우는 7 nm 정도로 나타났다. LZT 디스크의 경우 레이저 범프 형상은 Fig. 2와 같고, 범프 지름은 약 8 μm , 높이는 약 20 nm로 나타났다. 또한, 범프간 간격은 track 방향으로 25 μm , sector 방향으로 40 μm 이었다. 그리고 disk 제공업체에 의하면 코팅층은 일반적인 hard disk와 마찬가지로 액체 윤활제인 PFPE(Perfluoropolyether)가 있는 윤활층, 보호층인 DLC층, 자성층인 Co/Cr층, NiP층, 그리고 모재인 Al로 이루어져 있다.

실제 하드디스크의 작동 및 환경 조건을 동일하게 하기 위하여 Class 100의 청정 환경에서 실험을 하였



(a) 3D view of laser bump



(b) 2D profile of laser bump

Fig. 2. AFM image of laser bump.

고 pico 슬라이더의 경우 예압을 설계 기준인 2.5 gf로, nano 슬라이더의 경우는 3.5 gf로 하였다. CSS cycle은 정지상태에서 정속에 이르는 시간을 3초, 정속 시간은 3초, 정속에서 정지에 이르는 시간은 3초, 그리고 정지상태에 있는 시간을 1초로 설정하여 각 조건마다 20000회를 실시하였다. Disk의 정상속도는 실제 HDD의 작동조건인 5400 rpm으로 하였다.

각종 환경 변화에 대한 헤드/디스크 인터페이스의 마찰·마멸 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 파손을 비교하였다. Stiction의 경우 슬라이더가 이착륙하는 지점인 landing zone에서, TAA는 측정은 data zone(중심에서 반경 약 3 cm 부근)에서 측정하였다. 마찰력 측정 센서의 분해능은 0.03 gf이며,

Table 1. Experimental conditions

| | |
|-----------------------|--------------------------|
| Temperature(°C) | 25, 40, 55 |
| Relative humidity (%) | 20, 50, 80 |
| Altitude(m) | 0, 3000, 6000, 9000 |
| Environment | N ₂ , Dry Air |

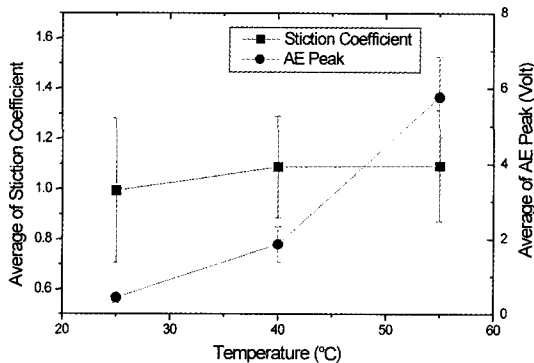


Fig. 3. Stiction coefficient and AE peak of MZT disk w.r.t. temperature.

AE 센서의 주파수 응답범위는 0.2~5.5 MHz이고, 8-pole filter를 거치게 된다. AE 신호는 각 cycle에서의 rms 값을 구하고 다시 peak 값을 취하여 cycle에 따른 변화 추이를 stiction force와 함께 비교하였다. 실험 조건에 대한 자세한 정보는 Table 1에 정리하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

3-1. 온도 변화

① MZT 디스크

Fig. 3은 온도를 25°C, 40°C, 55°C로 변화시켰을 때 MZT 디스크에 대한 stiction과 AE peak의 변화를 나타낸 것이다. 여기서 온도 및 습도가 내구성에 미치는 영향을 상대적으로 분석하는 동시에, 국부적인 온·습도 변화의 영향을 줄이기 위하여, 각 조건마다 CSS 20000 cycle에 대한 stiction 및 AE의 결과의 평균과 표준 편차를 나타내었으며, stiction의 경우에는 예압인 2.5 gf으로 나누어 stiction coefficient를 구하였다. 이때 stiction은 초기 마찰력을 나타내므로 디스크와 헤드 슬라이더의 초기 접촉력과 관련이 있고 AE peak의 경우 헤드 슬라이더에 공기 베어링이 충분히 발생하지 않은 상태에서 동작중인 디스크와 헤드 슬라이더의 상대운동과 관련이 있다.

Stiction의 경우 온도 변화에 대하여 큰 경향성을 보

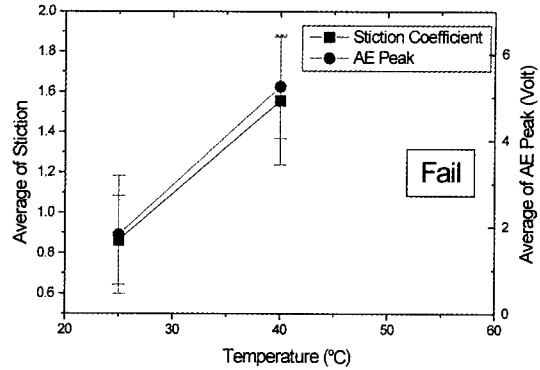
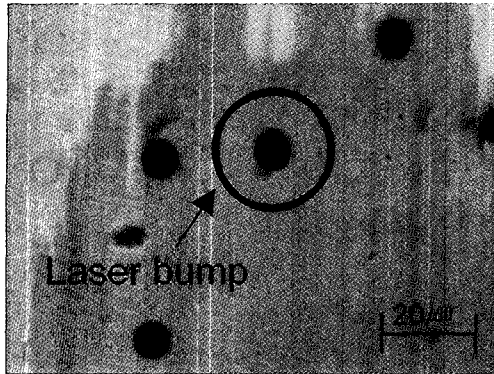


Fig. 4. Stiction coefficient and AE peak of LZT disk w.r.t. temperature.

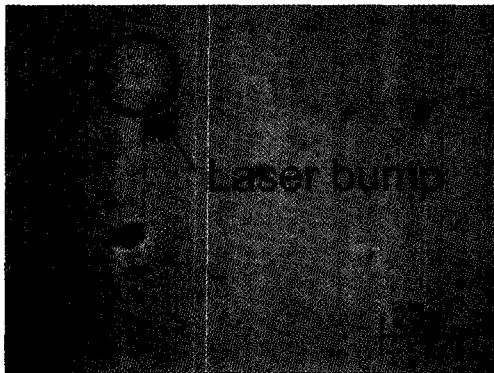
이지 않는다. 하지만 표준편차를 살펴보면 저온에서 보다 고온에서 더 작아지는 경향을 보이고 있는데 이것은 온도가 증가하면서 액체 윤활제의 viscosity와 표면장력은 작아지고 윤활제의 유동성이 향상되면서 고온에서 stiction이 안정된 양상을 나타내는 것으로 보인다. 그러나 AE peak의 경우 온도가 증가할수록 같이 증가하는 경향을 보이고 있다. 이는 온도가 증가할수록 헤드 슬라이더와 디스크간의 상대 마찰 운동이 심하게 일어나는 것을 의미하며 결국 표면 파손이 조기에 일어나게 할 것이라 예상되고 따라서 내구성이 감소하게 될 것이다.

② LZT 디스크

온도 증가에 대한 LZT 디스크의 특성은 Fig. 4에 나타낸 것처럼 stiction 및 AE peak는 증가하는 경향을 보이고 55°C의 경우 CSS 20000 cycle을 채우지 못하고 약 9300 cycle에서 조기 파손되는 것을 관찰할 수 있었다. Fig. 5는 실험에 사용한 슬라이더의 표면을 촬영한 것이다. 슬라이더 표면에 원 모양의 표시가 있는 것을 관찰할 수 있는데 원의 지름을 측정한 결과 약 8.2 μm으로 이것은 실험에 사용한 LZT 디스크의 레이저 범프의 지름이 8.5 μm이므로 슬라이더 표면에 생긴 흔적은 레이저 범프에 의한 것으로 생각된다. (a)의 경우 40°C에서 CSS 20000 cycle을 한 슬라이더 표면이고 (b)의 경우 55°C에서 CSS 2200 cycle을 한 슬라이더 표면이다. (a)의 경우 레이저 범프와 크기가 같은 원에 마멸 입자들이 붙어 있는 형태이다. (b)의 경우 마멸입자는 보이지 않으나 윤활제로 생각되는 물질이 묻어 있는 것으로 생각된다. 이것으로 미루어 온도가 상승할 때 조기 파손되는 이유를 다음과 같이 설명할 수 있다. 온도가 증가하게 되면 디스크 표면의



(a) 40 °C, 50% RH, after CSS 20000 cycles

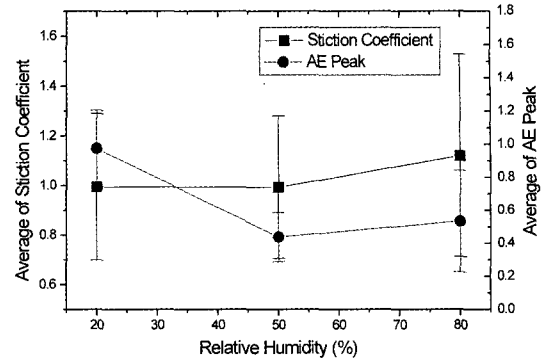


(b) 55 °C, 50% RH, after CSS 2200 cycles

Fig. 5. Laser bump mark on the air bearing surface of head slider.

윤활제의 점도와 표면 장력은 낮아지고 디스크와의 결합력이 약해지게 된다. 이러한 윤활제는 슬라이더가 디스크와 접촉해 있는 상태에서 Fig. 5(b)와 같이 슬라이더 표면에 묻게 된다. 반대로 디스크는 윤활제가 슬라이더 표면으로 옮겨지면서 레이저 범프의 윤활층이 없어지고 디스크가 회전하여 슬라이더와 동적 마찰이 되면 슬라이더와 디스크의 보호층이 직접 상대 마찰 운동을 하게 된다. 이로 인하여 마멸은 급속히 증가하게 되고 이러한 마멸 입자는 슬라이더 표면의 레이저 범프 형태의 윤활제에도 묻게 되어 Fig. 5(a)와 같은 모양을 나타내게 되는 것이다. 따라서 온도의 상승으로 인한 윤활제의 거동에 의하여 헤드/디스크 인터페이스의 수명이 감소하게 되는 것이다.

이러한 이유로 인해 온도 상승으로 인한 레이저 범프의 조기 파손이 발생하고 따라서 본 실험에 사용한 LZT 디스크의 경우 온도 변화에 대하여 내구성이 좋지 않은 것으로 판단된다. 일반적으로 LZT 디스크가

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

MZT 디스크에 비하여 내구성이 좋은 것으로 알려져 있으나 본 실험에서는 헤드 슬라이더와 디스크간의 조합이 좋지 않아 낮은 내구성이 발생하는 것이라고 예상된다 이에 따라 하드디스크 개발시 위와 같은 실험을 통하여 헤드 슬라이더와 디스크간의 조합을 점검을 해보아야 할 것이다.

3-2. 습도 변화

① MZT 디스크

본 실험에서는 온도를 25°C로 고정시키고 상대 습도를 20%, 50%, 그리고 80%로 변화시켜 CSS test를 20000 cycle을 실시하였다. Fig. 6은 상대 습도 변화에 따른 stiction coefficient와 AE peak의 변화를 나타낸다. Stiction의 변화를 살펴보면 상대 습도가 20%, 50%일 때는 차이가 거의 없으나 고습 상태인 80%로 증가하면 stiction도 증가하는 것을 관찰할 수 있다. 이것은 저습이나 상습 상태에서는 공기중에 존재하는 물 입자가 헤드/디스크 인터페이스에 유입되어도 윤활층과 많이 섞이지 않아 낮은 stiction의 값을 가지게 되나 고습 상태인 경우 물입자가 윤활층 일부를 대체하거나 부분적으로 윤활층 위에 존재하게 됨으로써 강한 meniscus film을 발생시켜 stiction 값이 증가하게 된다 [3,4].

AE peak의 경우 그 경향을 살펴보면 stiction과는 다른 결과를 나타내고 있다. 즉, 습도가 증가할수록 stiction은 증가하는 양상을 보이나 반대로 AE는 감소하는 것이다. 이러한 이유는 다음과 같이 설명할 수 있다. 습도가 낮은 경우는 물입자가 충분히 meniscus film을 형성하지 못해서 stiction은 낮은 값을 갖게 된다. 그러나 윤활층에 스며드는 물입자는 윤활층과 더

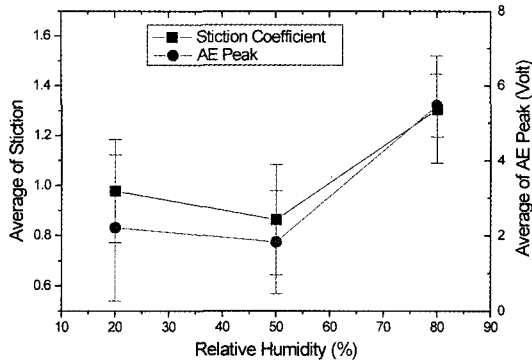


Fig. 7. Stiction coefficient and AE peak of LZT disk w.r.t relative humidity.

불어 윤활 역할을 해주는데 저습 상태에서는 이러한 효과가 없기 때문에 상습이나 고습 상태에서 보다 높은 AE 값을 나타나게 되는 것이다. 상대습도가 50%인 경우와 80%인 경우를 비교해보면 80%인 경우 AE가 약간 큼을 관찰할 수 있다. 이것은 고습 상태에서는 국부적으로 물입자가 윤활층을 뚫고 윤활제를 대신하는 경우가 있는데 이러한 지역에서는 stiction이 높게 형성되고 또한 윤활층 밑의 DLC 층이 노출되기 쉬워지므로 상습 상태에 비하여 약간 높은 AE 값을 갖게 되는 것이다.

상대 습도 변화에 따른 stiction과 AE 값의 추이를 살펴보면 상대 습도가 아주 높거나 낮은 경우는 stiction이 높게 발생하거나 AE가 높게 발생하는 경우가 발생하였고 표면 검사에서 AE peak와 비슷한 경향성을 가지고 마멸입자가 발견되었다. 따라서 일반적인 중습 상태에서 가장 우수한 tribology 특성을 나타내고 있다[2,4,5].

② LZT 디스크

Fig. 7은 상대 습도 변화에 따른 LZT 디스크의 stiction coefficient와 AE peak의 변화를 나타낸 것이다. 상대 습도 20%에서 50%로 변할 때 stiction은 감소하는 경향을 보이고 있고 80%로 변할 때는 다시 증가하는 경향을 보인다. 이것은 습도가 낮은 상태에서는 물방울이 아주 작은 형태를 지니고 있어서 윤활층 안으로 들어가지 않고 표면에 존재하게 되어 meniscus film을 형성하게 되나 상습 상태인 상대 습도 50%에서는 물방울의 크기가 충분히 커져 윤활층과 섞이게 되어 윤활층에 의하여 발생하는 meniscus film만 생기므로 stiction이 감소하게 된다[3,4]. 그리고 상대 습도가 80%로 증가하게 되면 윤활층의 일부가

물방울로 덮이거나 섞이면서 강한 meniscus film을 발생하여 stiction이 증가하게 된다[6]. 여기서 일반적으로 물의 표면 장력은 0.07 N/m이고, 윤활제로 사용하는 PFPE의 경우 표면 장력이 0.025 N/m로서 물의 의한 meniscus film이 더욱 강한 stiction을 발생하게 된다[7]. 이것은 MZT 디스크에서도 적용이 가능하여 Fig. 6에서도 그 크기는 작으나 상대 습도 20%인 경우가 50%인 경우보다 stiction이 큰 것을 확인할 수 있다.

AE peak는 상대 습도 50%에서 가장 낮은 값을 보이고 상대 습도 80%에서 가장 높은 값을 보이고 있다. 상대 습도 50%에서 AE peak가 가장 낮은 값을 보이는 이유는 앞서 언급한 MZT 디스크의 경우와 마찬가지로 윤활제의 역할을 하는 물입자들의 양과 관련이 있다. 즉, 습도가 낮은 경우 물방울은 작은 입자 형태이면서 소량이어서 윤활의 역할을 못해주어 CSS test 도중 윤활층은 상대 마찰 운동에 의하여 손상이 되어도 보관을 해줄 수가 없으나, 상대 습도 50%에서는 위와 같은 경우에서도 물입자가 윤활제가 제거된 영역에서 윤활제의 역할을 하기 때문에[8] AE peak의 값이 낮아지게 된다. 습도가 높은 상대 습도 80%의 경우는 MZT 디스크의 경우는 감소하는 경향을 나타냈으나 LZT의 경우는 다른 조건에 비하여 높은 값을 나타내었다. 이것은 높은 stiction에 의한 헤드 슬라이더와 디스크의 손상으로 인하여 높은 AE peak 값을 갖게 되는 것이다. 따라서 상대 습도 변화에 따른 LZT 디스크의 마찰·마멸 특성은 MZT 디스크의 경우와 마찬가지로 상습 상태인 상대 습도 50%에서 가장 좋은 특성을 보인다[1,5,6,7].

3-3. 고도 변화

① MZT 디스크

고도가 증가하게 되면 하드디스크의 내부의 압력은 감소하게 된다. 이러한 압력의 감소는 공기 분자수의 감소를 초래하여 mean-free-path, 즉 공기 분자간 거리가 증가하게 되어 공기 베어링에 의한 헤드 슬라이더의 부상 높이가 감소하게 된다. 본 연구에서는 고도를 0 m, 3000 m, 6000 m 9000 m로 변화시켰을 때 헤드/디스크 인터페이스에서 발생하는 마찰·마멸 현상을 분석한다.

Fig. 8에서는 각 고도에 따른 stiction의 변화와 AE peak의 변화를 나타내고 있다. 각 고도에 따라 stiction의 CSS cycle에 대한 변화는 점차 감소하는 경향을

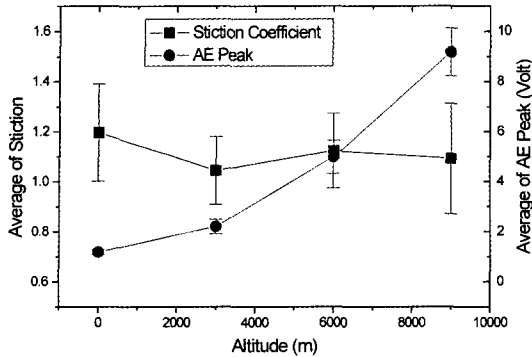


Fig. 8. Stiction coefficient and AE peak of MZT disk w.r.t altitude.

보인다. 이것은 stiction에 가장 많은 영향을 미치는 수 증기의 양이 적어지면서 stiction에 기여하지 못하기 때문이라고 생각된다. 즉, 고도가 0 m, 3000 m, 6000 m, 9000 m로 증가함에 따라 압력은 760 Torr, 516 Torr, 361 Torr, 252 Torr로 감소하게 되어 9000 m의 경우 0m의 경우보다 압력이 1/3으로 줄어들고 공기의 양도 1/3로 감소하게 되어 결국 절대 습도량이 작아짐에 따라 헤드/디스크 인터페이스에 유입되는 물입자의 양이 적어지기 때문에 meniscus film이 발생하는 확률이 작아진다. 따라서 고도가 증가할수록 stiction이 점차 감소하게 된다. 그러나 그 양은 그리 크지 않아 경향성을 단정하기는 어렵다.

그러나 AE peak의 변화는 CSS cycle이 증가할수록 점차로 증가하는 경향을 보이고 있고 고도의 증가에 따라 그 평균값도 증가하는 것을 볼 수 있다. 이것은 고도 증가에 따라 헤드 슬라이더의 부상높이가 감소하여 헤드 슬라이더와 디스크간의 간격이 줄어들고 이로

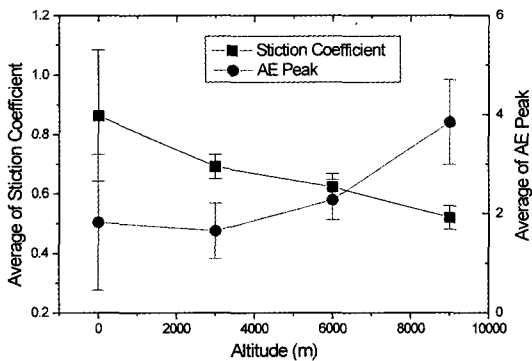


Fig. 9. Stiction coefficient and AE peak of LZT disk w.r.t altitude.

인하여 상대 마찰운동이 더 심하게 일어나기 때문이다. 따라서 고도가 증가할수록 하드디스크의 마모현상은 더욱 심해지며 하드디스크의 내구성과 신뢰성은 감소하게 될 것이다.

② LZT 디스크

Fig. 9는 각 고도에 따른 CSS test시 stiction의 변화와 AE peak의 변화를 나타낸 그래프이다. Stiction은 고도가 증가할수록 낮아지는 경향을 보이고 있고 대체적으로 CSS test 도중에 큰 값의 변화 없이 일정한 값을 나타내고 변동폭도 MZT 디스크에 비하여 작음을 관찰할 수 있다. 그러나 AE peak의 경우 고도가 증가할수록 증가하는 경향을 나타냈다. 이것은 앞의 MZT 디스크의 경우와 마찬가지로 고도가 증가함에 따라 헤드 슬라이더와 디스크간의 상대 마찰 운동이 많아지고 심해지면서 AE peak가 더 크게 나타나는 것이다. 따라서 고도가 증가할수록 LZT 디스크의 경우 stiction의 특성은 좋아지나 AE의 특성은 나빠지는 것을 관찰할 수 있다.

Fig. 10는 고도가 증가할수록 나타나는 마찰력에서 최초로 0이 되는 시점, 즉 헤드/슬라이더가 디스크위로 완전히 부상한 시점인 TOV(Take-Off Velocity)를 나타낸 것이다. Fig. 10을 관찰해보면 고도가 증가할수록 점차 TOV가 증가하는 것을 볼 수 있다. 즉, 헤드 슬라이더가 디스크위로 완전히 부상하려면 더 큰 디스크의 회전속도가 필요하므로 헤드 슬라이더가 완전히 부상하는 시점까지 디스크와 상대마찰 운동을 한다고 하면 고도가 증가할수록 헤드 슬라이더와 디스크간의 미끄럼 거리가 증가하게 되어 결국 내구성은 감소할 것이다[9].

고도 변화에 대한 MZT 디스크와 LZT 디스크의 결과의 공통점은 고도가 증가할수록 AE peak와 TOV는

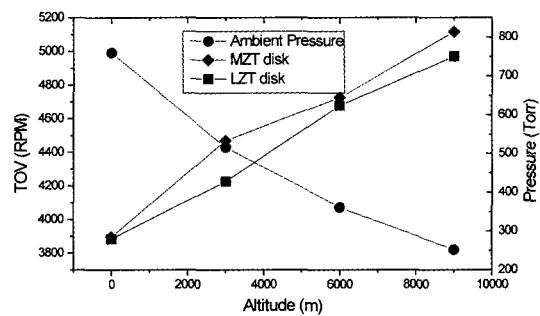


Fig. 10. TOV and ambient pressure variation w.r.t altitude.

증가한다. 그러나 Fig. 10에서 보는 것처럼 MZT 디스크와 LZT 디스크의 TOV를 살펴보면 MZT의 경우가 같은 고도에서 더 큰 것을 살펴볼 수 있다. MZT 디스크와 LZT 디스크의 고도에 따른 결과를 선형회귀를 하면 다음과 같은 식을 얻을 수 있었다.

$$\begin{aligned} \text{MZT 디스크 : TOV} &= 3963.7 + 0.1307 \text{ Altitude} \\ \text{LZT 디스크 : TOV} &= 3882.8 + 0.1237 \text{ Altitude} \end{aligned}$$

여기서 기울기가 MZT 디스크가 LZT 디스크 보다 더 큰 것은 고도에 대한 TOV가 더 큰 것을 의미한다. 즉, LZT 디스크가 MZT 디스크 보다 기울기를 기준으로 하여 약 5.6%의 더 빠른 부상 특성을 보이고 이것은 상대 마찰 운동을 줄여주게 되므로 MZT 디스크에 비하여 더 좋은 부상 특성을 보인다고 할 수 있다.

3-4. N₂ 환경

Fig. 11은 N₂ 가스를 HEPA(High Efficiency Particulate Air) filter를 사용한 경우와 사용하지 않은 경우

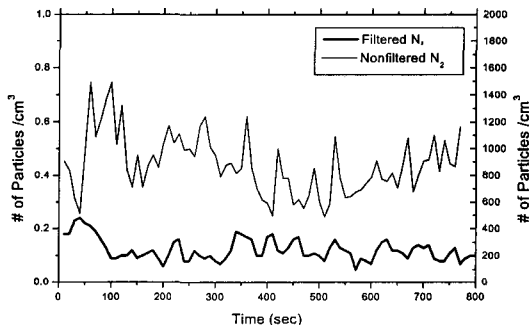


Fig. 11. Density of particles in N₂ gas.

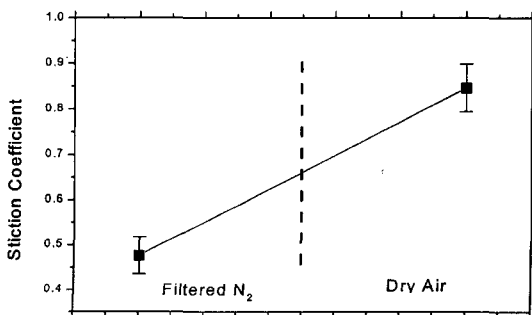


Fig. 12. Stiction coefficient variation in filtered N₂ and dry air.

의 공기중의 입자의 수의 밀도를 약 10분간 10초 간격으로 CPC(Compensation Particle Counter)로 측정하여 나타낸 것이다. Filter를 사용하지 않은 경우보다 filter를 사용한 경우 약 10배 정도 낮은 밀도를 보이고 있으며, 본 실험에서는 두 경우에 대하여 각각 CSS 실험을 한다. 또한 일반 공기를 정화시켜 같은 실험을 실시하여 두 결과를 서로 비교한다.

① Filterd N₂

Pico 슬라이더를 이용하여 정화된 N₂와 정화된 건조한 공기를 이용하여 CSS 실험을 하였을 때 stiction과 AE peak는 Fig. 12와 Fig. 13이다. N₂와 일반 공기를 이용하여 실험한 결과를 비교하면 N₂를 이용한 경우 stiction coefficient가 약 1/2배 작고 AE peak도 매우 작은 것을 관찰할 수 있다. 이와 같이 산소가 없이 질소만 존재할 경우 낮은 마찰 계수를 갖는 것은 Marchon등[10]이 발표한 바와 같이 마찰 계수는 산소의 함유와 관련이 있다는 것과 일치한다. 따라서 N₂ 환경에서 일반 공기보다 좋은 마찰·마멸 특성을 보인다. 단, Talke[2]가 발표한 바와 같이 습도가 존재하

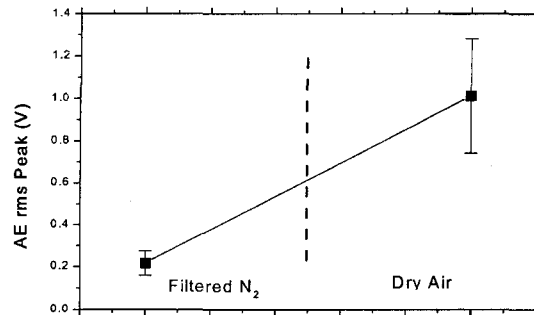


Fig. 13. AE rms peak variation in filtered N₂ and dry air.

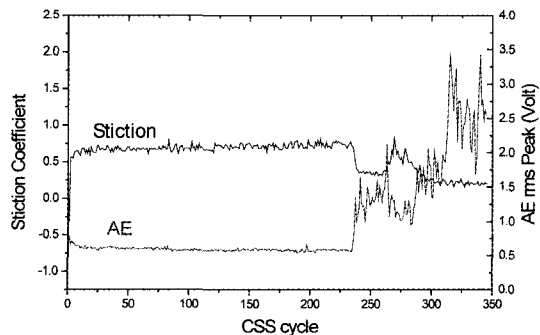


Fig. 14. Stiction coefficient and AE peak in N₂ environment.

는 경우에는 N_2 환경에서라도 그 마찰 저감 효과는 감소할 수 있다. 그리고 저 습도 상태에서는 내구성이 감소하므로 적절한 질소와 습도의 조성을 통하여 낮은 마찰계수와 높은 내구성을 동시에 만족시킬 수 있을 것이다.

② Nonfiltered N_2

Fig. 14에서는 정화되지 않은 질소 환경 내에서 피코슬라이더(pico slider)와 LZT 디스크의 stiction과 AE peak를 나타내고 있다. 그림에서 볼 수 있듯이 피코슬라이더는 약 CSS 230 cycle만에 fail이 일어나서 더 이상 부상이 일어나지 않았다. 그런데 stiction의 값이 오히려 감소하고 있는데 이것은 다량의 입자가 헤드/디스크 인터페이스에 유입되면서 초기 마찰력인 stiction이 감소하게 되었다. 그러나 AE peak는 230 cycle후 급격한 증가를 나타내었고 이것의 원인은 앞서 언급한 바와 같이 다량의 입자 유입에 의해서 발생하는 것이다. 이러한 입자들이 공기베어링 표면 여러 부분에 묻쳐있게 되면 정상적인 공기의 압력 형성이 안되어 디스크위로 헤드 슬라이더가 부상하지 못하게 된다.

따라서 정화되지 않은 N_2 환경에서 헤드/디스크 인터페이스에서는 매우 빠른 마모가 발생하였으며 이것은 공기중 외부의 많은 입자들이 헤드 디스크 인터페이스에 유입이 되어 마찰을 가속시키는 것과 동시에 슬라이더의 ABS에 존재하게 됨으로써 슬라이더의 정상적인 부상을 방해하게 된다. 따라서 하드디스크의 내구성을 증대시키기 위해서는 청정 환경을 유지하는 것이 매우 중요하다.

한편, Liu등[11]은 오염은 하드디스크의 신뢰성과 직접적으로 관련이 있다고 하였는데, 본 실험에서는 이러한 오염에 대한 하드디스크의 신뢰성을 평가하기 위하여 앞의 실험과 같은 방법으로 나노슬라이더(nano slider)에 대하여 MZT 디스크를 이용하여 정화되지 않은 N_2 환경에서 CSS test를 실시하였다. 그리고 실험 도중 디스크에 직접 자기 신호를 쓰고 읽는 과정인 TAA를 실시하여 stiction, AE peak, 그리고 TAA의 관계를 분석하였다.

Fig. 15는 CSS test시 stiction, AE peak, TAA average의 변화를 CSS cycle에 대하여 나타낸 것이다. 본 실험에서도 정화되지 않은 N_2 환경에서 조기 파손이 되는 현상이 발생했는데, 이로 인하여 약 CSS 300 cycle에서 stiction과 AE peak는 급격히 증가한다. 그리고 TAA average의 경우 CSS 300 cycle에서부터

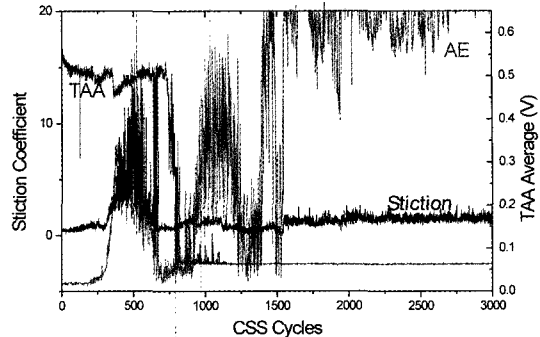


Fig. 15. Stiction coefficient, AE peak and TAA variation in N_2 environment.

그 값의 변화가 심해지기 시작하면서 CSS 700 cycle에서 큰 변화를 나타내고 점차 그 값이 감소하며 CSS 800 cycle 이후는 헤드가 완전히 파괴되어 더 이상 TAA의 신호가 나오지 않게 된다.

CSS 300 cycle 이후에서는 헤드 슬라이더의 공기 베어링 표면은 파괴가 되어 부상을 못하게 되는데 이때의 TAA의 신호는 변동이 있지만 약 CSS 700 cycle까지 지속이 되는 것을 볼 수 있다. 그러나 본 실험에 사용된 헤드는 thin film inductive head이기 때문에 그 수명이 길지만 현재 하드디스크에서 주로 사용하는 MR 헤드의 경우 미세 입자들에 대한 내구성이 매우 약하기 때문에 약 CSS 300 cycle 이전에 TAA의 신호가 감소할 것이라고 예상할 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 하드디스크에 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 가속화된다.
4. N_2 가스를 이용하면 일반 공기에서 보다 낮은 stiction과 AE peak를 얻을 수 있고 공기중의 입자들은 헤드/디스크 인터페이스의 내구성을 감소시킨다.

후 기

본 연구는 한국과학재단 지정 연세대학교 정보저장 기기 연구센터(과제번호:2000G0201)의 지원을 받아 이루어졌으며, 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 Trans.*, Vol. 39, No. 3, pp. 615-620, 1996.
2. F. E. Talke, "On tribological problems in magnetic disk recording technology," *Wear*, Vol. 190, pp. 232-238, 1995.
3. Z. Zhao and B. Bhushan, "Effect of environmental humidity on the friction/stiction and durability of lubricated magnetic thin-film disks," *Proc. Inst. Mecha. Engrs.*, Part J, Vol. 211, pp. 295-301, 1997.
4. Z. Zhao and B. Bhushan, "Humidity effect on friction/stiction and durability of head-disk interface with polar perfluoropolyether lubricant," *J. Appl. Phys.*, Vol. 81, No. 8, pp. 5387-5389, 1997.
5. 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.
6. H. Tian, and T. Matsudaira, "Effect of relative humidity on friction behavior of the head/disk interface," *IEEE Trans. on Magn.*, Vol. 28, No. 5, pp. 2530-2532, 1992.
7. H. Tian, and T. Matsudaira, "The Role of relative humidity, surface roughness and liquid build-up on static friction behavior of the head/disk interface," *J. of Tribology*, Vol. 115, pp. 28-35, 1993.
8. R. G. Walmsley, B. R. Natarajan and J., "Effects of temperature and humidity on thin film disk lubricant mobility," *Tribology Trans.*, Vol. 38, No. 1, pp. 137-145, 1995.
9. 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.
10. B. Marchon, N. Heiman, and M. R. Khan, "Evidence of tribochemical wear on amorphous carbon thin film," *IEEE Trans. on Magn.*, Vol. 26, No. 1, pp. 168-170, 1989.
11. B. Liu, K. T. Soo, and C. S. Lee, "Contamination build-up on ABS and its effects on read/write performance of near-contact recording systems," *IEEE Trans. on Magn.*, Vol. 32, No. 5, pp. 3884-3886, 1996.