

환경에 따른 헤드/디스크 인터페이스의 마찰 특성

Tribological Characteristics of Head/disk Interface under Various Environmental Conditions

박용식 (연세대학교 대학원), 김대은 (연세대학교 기계공학과)

Yong-Shik Park (Graduated school of Yonsei Univ.), Dae-Eun Kim (Yonsei Univ.)

ABSTRACT

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

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

1. 서론

각종 산업계에 컴퓨터의 사용이 보편화 되면서 대표적인 정보저장 장치인 하드디스크는 다양한 환경에서 작동이 요구되게 되었다. 일반적으로 하드디스크는 외부 공기와 밀폐되어 있지 않고 외부의 공기의 유입이 가능하여 주변환경에 따라 온도, 습도, 그리고 고도 등의 영향을 받게 된다. 이러한 영향으로 인하여 헤드/슬라이더와 디스크간의 마찰 특성이 달라지면서 하드디스크의 신뢰성과 내구성이 떨어질 수 있다. 대표적인 예로 환경변화에 의한 마찰력의 증가는 표면 파손을 가속화시킨다.

따라서 슬라이더와 디스크 인터페이스의 마찰 특성을 파악하면 하드디스크의 내구성과 신뢰성을 높일 수 있을 것이다 [1]. 본 연구에서는 환경변화에 대한 하드디스크의 헤드/슬라이더와 디스크간의 마찰현상을 파악하고자 한다.

2. 실험 방법

일반적으로 하드디스크의 신뢰성 평가를 위하여 가장 널리 사용되고 있는 시험방법인 CSS (Contact-Start-Stop) 실험을 다양한 작동조건에서 실험하였으며, 이를 통하여 디스크의 내구성과 신뢰성을 평가하기 위한 방법

으로 각종 측정 방법 중 마찰력 신호를 중점적으로 사용하였다. 특히 하드디스크가 정지 순간에서 디스크가 회전하기 시작할 때 발생하는 마찰력을 stiction이라 하고 이것은 하드디스크의 파손의 주요 원인이 되며 그에 따라 이것을 중점적으로 관찰하였다.

2.1 실험 장치

CSS 실험은 헤드/슬라이더가 디스크가 정지 시 디스크의 landing zone에 놓여 있다가 디스크가 회전하게 되면 슬라이더 표면에 있는 공기 베어링 표면(Air bearing surface)에 의하여 수십 nm로 부상하게 되고 디스크가 일정 속도로 회전하고 있는 동안은 일정한 높이로 유지된다. 그 후 다시 디스크를 정지시키면 슬라이더는 디스크위로 착륙하게 되는데 이러한 방법을 반복하는 실험이다.

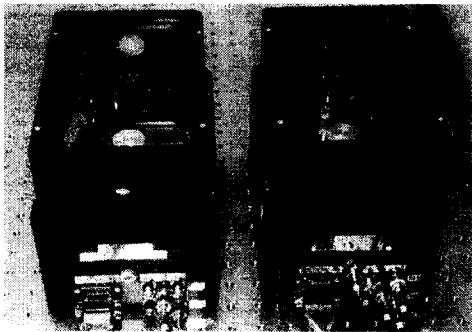


Fig. 1 CETR CSS tester

CSS 실험은 상용화 되어있는 Fig. 1과 같은 CETR CSS tester를 사용하였으며 ‘정지에서 정속에 이르는 시간, 정속 유지 시간, 정속에서 정지에 이르는 시간 그리고 정지 유지 시간 (soaking time)’에 해당하는 CSS 횟수 (cycle)를 결정한 후 횟수를 증가시키며 실험을 진행하였다. 일정 CSS 횟수에서의 마

찰력을 측정하여 하드디스크의 내구성과 신뢰성 평가를 위한 마찰력의 신호특성을 분석하고자 하였다. CETR CSS tester는 Fig. 1와 같이 class 100의 청정환경을 유지시켰으며, 진동 절연을 위한 방진 테이블 위에 설치하였다. 마찰력과 AE 신호를 비롯한 트랙 찾기 (arm seeking), ramp loading/unloading, 자기신호 (magnetic signal) 측정, 고도실험 (altitude test)이 가능하도록 구성되어 있다.

마찰력을 측정하기 위한 load beam의 민감도는 $2 \mu\text{m}/\text{gram}$ 이며 스트레인-게이지가 부착된 load beam의 공진 주파수는 3.2 kHz이다. AE 신호를 측정하기 위한 센서는 스트레인 게이지가 부착된 load beam의 윗면에 부착되어 있어서 하드디스크와 슬라이더와의 접촉으로부터 발생하는 탄성파를 load beam을 통해 전달받아 감지할 수 있도록 설계되어 있다. AE 센서는 슬라이더의 진동모드를 고려하여 200 kHz ~ 1.2 MHz 대역의 탄성파를 감지할 수 있다.

또한 온도와 상대 습도의 영향을 살펴보기 위하여 실험은 온도와 상대 습도를 임의로 조절할 수 있는 환경 장치 내에서 이루어졌고 이 장치는 온도는 5°C - 80°C , 상대습도는 10%-99%까지 조절 가능하다. 고도실험의 경우는 CSS 실험 장치에 부착된 공기 펌프를 이용하였고 이것은 고도 0km에서 10km까지 조절 가능하다.

2.2 실험 시편

실험에 사용된 헤드/슬라이더는 Fig. 2와 같은 자기 박막 헤드(thin film inductive)를 가진 $1.25\text{mm} \times 1\text{mm}$ 의 크기를 가진 피코-슬라이더(pico-slider)를 사용하였다. 자기박막 헤드/슬라이더는 실리콘 기저 (substrate)에 약 20 nm의 DLC 코팅이 이루어져 있고 Fig. 에서 확인 할 수

있는 것처럼 양쪽과 중앙에 디스크 회전시 양력을 받기 위한 공기 베어링 표면이 존재한다. 읽기/쓰기를 위한 헤드는 중앙 공기베어링 표면에 존재하는 평면형 (planar type) 헤드이다.

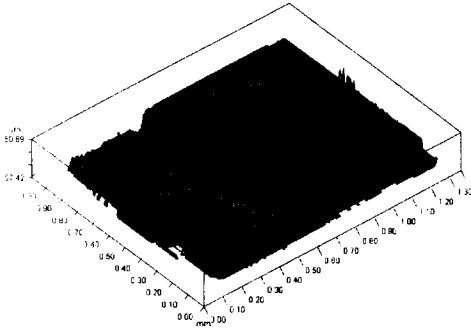


Fig. 2 3D topography of pico slider

디스크 미디어는 디스크가 정지시 헤드/슬라이더가 놓여지는 위치인 landing zone이 기계적으로 가공된 MZT (Mechanical Zone Textured) 디스크이고, 데이터 영역과 비교하여 볼 때 표면 거칠기가 좀 더 크다. MZT 디스크 시편은 0.8 mm의 두께를 가지며 상하로 Fig. 3과 같은 코팅층을 이루고 있다. Fig. 3에 나타난 코팅층의 두께는 대략적인 것이며 탄소층, 코발트층, 크롬층, Ni-P층 그리고 Al 기저가 디스크 앞뒷면에 대칭으로 위치하고 있다. AFM으로 데이터 영역과 landing zone을 측정 한 결과는 Fig. 4에 3차원 형상으로 나타내었다. 그 밖의 MZT 디스크 미디어에 대한 각종 표면정보는 Table 1에 정리하였다.

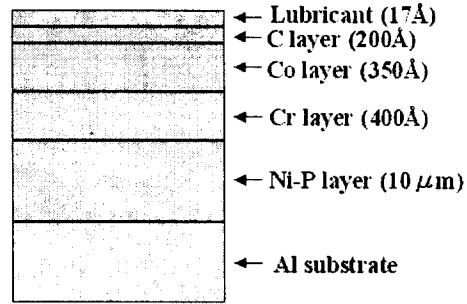
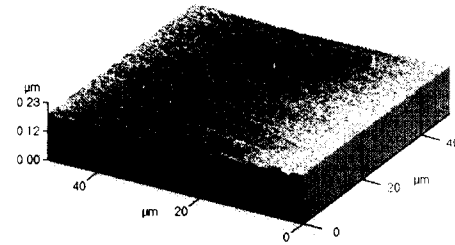
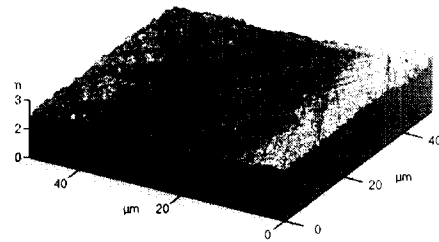


Fig. 3 Coating layer of disk media



(a) Data zone



(b) Landing zone

Fig. 4 3-D AFM surface topography of MZT disk media

Table 1. MZT disk media

ID	25.00 +0.05, -0.00 mm	
OD	95.00 ± 0.10 mm	
thickness	0.800 ± 0.025 mm	
Surface roughness	data zone	Ra = 1.0 ± 0.3 nm
	landing zone	Ra = 2.5 ± 0.3 nm
Axial runout	0.013 mm Max.	
Glide height	27.9 nm Max.	
Flatness	10 μm Max.	
Coercivity	2350 ± 50 Oe	
Landing zone	16.5 ~ 20.3 mm	
Data zone	21.6 ~ 46.7 mm	

2.3 실험 조건 및 측정 방법

MZT 디스크에 대하여 마찰력의 특성을 알아보기 위한 방법으로 하드디스크의 실제 작동조건과 동일한 조건을 만들어 줄 수 있는 CSS 실험을 진행하였다. CSS 실험은 실제 하드디스크의 내부상태의 환경을 유지할 수 있도록 class 100의 청정조건과 2.5gf의 서스펜션 preload를 기본적으로 설정하였고 실제 하드디스크가 헤드/슬라이더와 접촉하는 디스크의 landing zone에서 실시하였다. 또한 CSS cycle은 정지상태에서 정속에 이르는 시간을 3초, 정속 시간은 3초, 정속에서 정지에 이르는 시간은 3초, 그리고 정지상태에 있는 시간을 3초로 설정하여 각 조건마다 20000번을 실시하였다.

다양한 환경 변화에 대한 마찰 특성을 살펴보기 위하여 설정한 실험 변수는 온도, 습도, 그리고 고도로 하였다. 온도는 여러 환경 조건을 고려하여 상온인 25℃부

터 40℃, 55℃까지 로 설정하였고 상대습도는 20%, 50%, 80%로 하였다. 또한 고도 변화의 영향을 살펴보기 위하여 실험 변수를 0m, 3000m, 6000m, 그리고 9000m로 하여 각각 변수의 변화에 대한 마찰력의 영향을 살펴보았다. Table 2에 각 실험조건을 정리하였다.

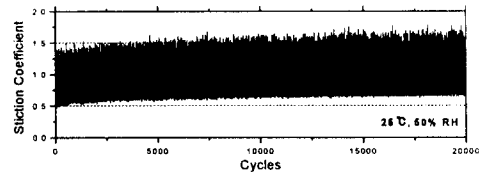
Table 2. Experimental conditions

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

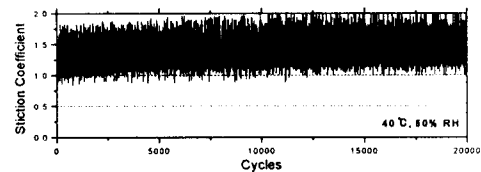
3. 실험 결과 및 고찰

3.1 온도 변화에 따른 stiction의 변화

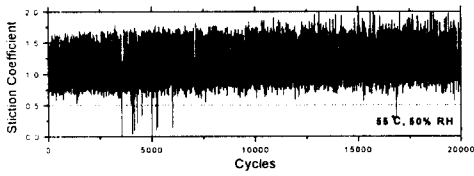
온도를 25℃, 40℃, 55℃로 변화시켰을 때 각 CSS cycle마다 측정된 stiction의 값은 다음과 같다.



(a) 25°C, 50% RH



(b) 40°C, 50% RH



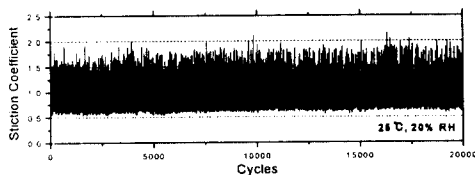
(c) 55°C, 50% RH

Fig. 5 Stiction variation with respect to temperature

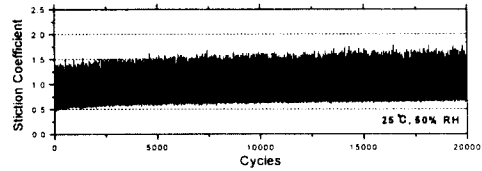
Fig. 5와 같이 상대습도는 고정시킨 채 온도만을 증가시키면 stiction의 값이 증가하는 것을 관찰할 수 있다. 이에 대한 원인은 첫 번째로 디스크와 슬라이더 표면에서 온도의 증가에 따른 표면 에너지의 증가로 인한 adhesion의 증가에 의한 것과 상대습도를 50%로 고정하였다는 것은 온도를 상승시킬수록 절대 습도는 증가하는 것이므로 그에 따라 대기 중에는 수증기 입자가 더 많이 존재하게 되어 저온에서보다 고온에서 meniscus가 발생할 확률이 더 높아지게 될 수 있다. 그에 따라 온도가 높아질수록 stiction이 증가하고 그 변화폭도 커지게 되는 것이다.

3.2 습도 변화에 따른 stiction의 변화

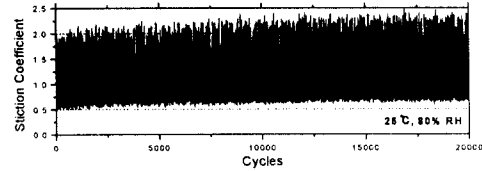
온도는 25°C로 고정시키고 상대습도를 20%, 50%, 80%로 변화시켰을 때의 stiction은 다음 Fig. 6과 같다.



(a) 25°C, 20% RH



(b) 25°C, 50% RH



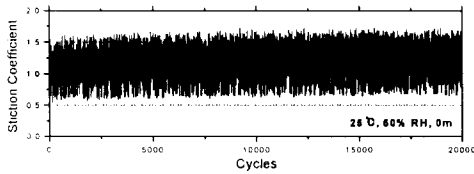
(c) 25°C, 80% RH

Fig. 6 Stiction variation with respect to relative humidity

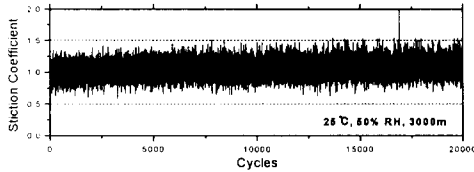
Fig. 6에서 그 경향을 살펴보면 상대습도 20%에서는 50%일 때 보다 stiction이 조금 큰 경향을 보이고 있는데 그 이유는 디스크의 윤활제보다 표면장력이 3-4배정도 강한 공기중의 물 입자가 상대습도 50%이상에서는 윤활제와 희석되어 그 표면 장력이 작아지나 저습 상태에서는 서로 섞이지 못하고 물에 의한 meniscus가 강하게 작용하기 때문이다. 고습 상태인 80%에서는 stiction의 값이 크고 그 변화폭도 매우 큼을 볼 수 있는데 이는 과도한 습도의 증가로 인하여 디스크 표면에 많은 물 입자들이 존재하게 되어 윤활제와 희석되지 못한 입자들에 의해서 디스크 표면의 상태는 불 균일하게 되고 이에 따라 강한 meniscus를 발생하게 되어 stiction이 증가하게 되는 것이다 [2-4].

3.3 고도 변화에 따른 stiction 및 TOV의 변화

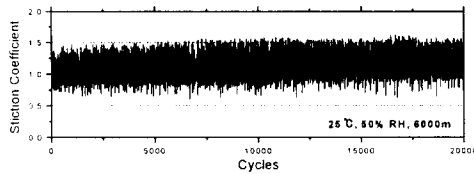
고도가 증가하게 되면 대기압이 감소하게 되는데 이러한 현상을 이용하여 CSS tester 내의 공기를 일정한 압력으로 조절하여 altitude test를 수행한다.



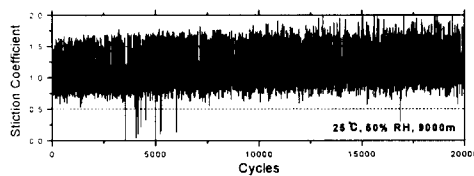
(a) 25°C, 50% RH, 0m



(b) 25°C, 50% RH, 3000m



(c) 25°C, 50% RH, 6000m



(d) 25°C, 50% RH, 9000m

Fig. 7 Stiction variation with respect to altitude

온도와 상대습도를 25°C, 50% RH로 고정시키고 고도를 0 m(760 Torr), 3000 m(516 Torr), 6000 m(361 Torr), 9000 m(252 Torr)로 변화시켰을 때 stiction의 변화는 Fig. 7과 같다.

Fig. 7에서 그 경향을 살펴보면 고도 0 m에서 3000 m로 증가하면 stiction의 평균 값은 비슷하나 그 폭이 작아진다. 이는 대기압이 약 0.7배 정도로 낮아지면서 일정한 공간에서 수증기량의 감소로 인하여 슬라이더와 디스크사이 수증기 입자가 유입되는 양이 줄어들고 이에 따라 meniscus가 발생할 확률이 작아지면서 일어나는 것이라 여겨진다. 그리고 고도가 증가할수록 다시 stiction의 폭이 점차 커짐을 볼 수 있다. 이는 공기입자가 희박해짐에 따라 두 표면간의 실접촉 면적이 증가하면서 adhesion이 증가하게 되는 것이다.

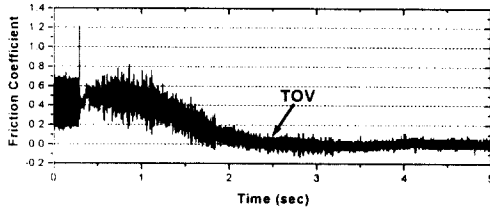
고도가 증가하게 되면 공기가 희박해짐에 따라 공기 베어링에 의한 슬라이더의 부상이 어려워지게 된다 [5]. Fig. 8은 CSS 시의 friction 신호를 나타낸 것으로 디스크가 회전하기 시작하면서 정속에 이를 때까지의 과정을 나타낸 것이다. 디스크의 회전속도가 증가하면 그에 따른 공기의 유동이 슬라이더를 부상시키는데 이때 슬라이더와 디스크가 완전히 분리되는 시점을 TOV(take off velocity)라고 하며 이 시점에서는 friction이 0이 되게 된다. 따라서 고도가 높아질수록 공기입자가 희박해짐에 따라 TOV가 늦어지게 된다. 따라서 고도가 높아질수록 그만큼 슬라이더 표면과 디스크간의 상대 마찰 운동이 많아지게 되고 그에 따른 슬라이더와 디스크에서의 표면 파손이 가속될 것이다 [6]. 따라서 고도가 높은 지역에서는 하드디스크의 수명이 고도가 낮은 지역에 비해 짧을 것이고, 그곳

에서 하드디스크를 사용하기 위해서는 하드디스크가 외부 대기가 유입되거나 새지 않도록 밀폐시켜 사용해야 할 것이다 [5].

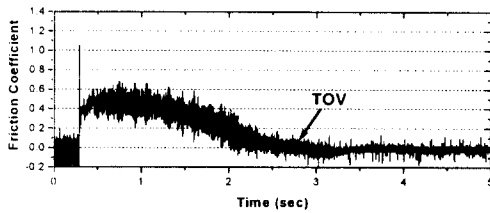
4. 결론

본 연구에서는 환경 변화에 따른 헤드/슬라이더와 디스크간의 마찰 현상에 대하여 살펴보고 그 경향 및 상관 관계가 어떠한지 알아보았으며 그에 따른 결론은 다음과 같다.

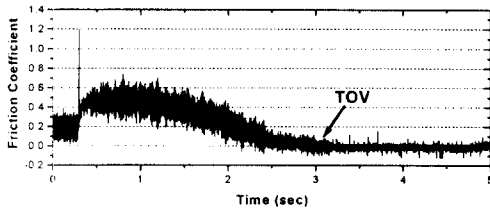
1. 상대습도를 고정시킨 채 온도를 증가시키면 stiction과 그 변화 폭은 증가한다.
2. 온도를 고정시킨 채 상대습도를 증가시킨 경우 습도가 너무 낮거나 너무 높으면 stiction은 증가하고 또한 그 변화폭도 크다.
3. 고도가 증가할수록 stiction의 변화폭이 커지게 되고 슬라이더의 부상시점은 늦어지게 되어 표면 파손이 가속된다.



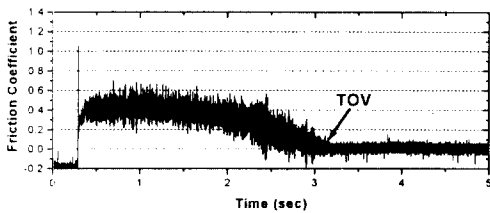
(a) 25°C, 50% RH, 0m



(b) 25°C, 50% RH, 3000m



(c) 25°C, 50% RH, 6000m



(d) 25°C, 50% RH, 9000m

Fig. 8 TOV variation with respect to altitude

후기

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

참고문헌

- [1] H. Kohira, H. Tanaka, H. Tokisue, and M. Matsumoto, "Friction force of negative pressure sliders for proximity recording", IEEE trans. Mag., Vol. 33, No. 5, pp 3157-3159, 1997.
- [2] Z. Zhao, B. Bhushan, "Humidity effect on friction/stiction and durability of head-disk interface with

polar perfluoropolyether lubricant",
Journal of Applied Physics, Vol. 81,
No. 8, pp 5387-5389, April, 1997.

- [3] B. Knigge, Q. Zhao, and F. E. Talke,
"Tribological properties and environ-
mental effects of nano and pico
sliders on laser textured media",
IEEE trans. Mag., Vol. 34, No. 4, pp
3112-3114, 1998.
- [4] B. Liu, G. Sheng, S. T. Lim,
"Meniscus force modeling and study
on the fluctuation of stiction/friction
force in CSS test process", IEEE
trans. Mag., Vol. 33, No. 5, pp
3121-3123, 1997.
- [5] E. Cha, C. Chiang, J. Enguero, and J.
J. K. Lee, "Effect of temperature and
altitude on flying height", IEEE
trans. Mag., Vol. 32, No. 5, pp
3729-3731, 1996.
- [6] B. Liu, K. T. Soo, C. S. Lee,
"Contamination build-up on ABS
and its effects on read/write
performance of near-contact
recording systems", IEEE trans. Mag.
Vol. 32, No. 5, pp 3884-3886, Sept,
1996.

P