

HDD 에서 Smooth 디스크와 Texture 디스크가 HDI 의 마찰대전에 미치는 영향

이대영[†], 이래준*, 강필선*, 한제희*, 황정호*, 김대은*, 조궁연**, 강태식**

Effects of Smooth and Textured Disks on Tribocharge build-up at a Head Disk Interface of HDD

Dae-Young Lee, Rae-Jun Lee, Pil-Sun Kang, Je-Hee Han, Jungho Hwang,
Dae-Eun Kim, Keung-Youn Cho, Tae-Sik Kang

Key Words : HDD, Smooth disk, Textured disk, Tribocharge build-up, Head disk interface

ABSTRACT

The tribocharge build-up in the slider disk interface can cause ESD (electrostatic discharge) damage. In turn, ESD can cause severe melting damage to MR or GMR heads. We investigated the tribovoltage/current build-up with smooth and textured disks in HDD, operating at increasing disk accelerations. We found that tribovoltage/current were generated during pico-slider/disk interaction and those levels were about 0.1 ~ 0.3 V and 10 ~ 40 pA, respectively. Tribovoltage/current were abruptly increased and dissipated within the acceleration time in the case of textured disk but in the case of smooth disk, tribovoltage was continuously increased until the end of uniform velocity region and the tribocurrent did not dissipate within the acceleration time. In the case of textured disk, tribovoltage/current was reduced with increasing disk acceleration, but in the case of smooth disk it was increased.

1. 서 론

하드 디스크 드라이브 (HDD: hard disk drive)에서 저장 기록 밀도를 높이기 위해서는 헤드-디스크의 간극 (spacing or flying height)을 줄이거나, 헤드 자기 소자의 감도를 향상 시켜야 한다. 한편 헤드-디스크의 간극이 감소하면 헤드가 디스크 위를 부상하는 동안 또는 부상을 멈추는 과정에

서 헤드가 디스크면에 접촉할 가능성이 많아지고 그만큼 헤드의 손상을 초래할 수 있다.

하드 디스크 드라이브의 성능, 즉 읽고 쓰는 속도를 증가시키기 위해서는 스피들 모터의 속도를 증가시켜야 하며 최근 스피들 모터의 속도는 5400 rpm에서 15000 rpm 또는 그 이상의 속도가 요구되고 있다.⁽¹⁾ 디스크 속도의 증가는 디스크 가속도의 증가를 초래한다. Figure 1에서 보듯이 슬라이더-디스크 상호간의 작용은 많은 오염 입자를 발생시킬 수 있으며, 슬라이더-디스크 사이에서는 마찰대전 (tribocharging) 현상이 발생한다.⁽²⁾ 마찰대전은 고체와 고체 또는 고체와 유체

† 논문발표자의 소속

E-mail : bigglory@yonsei.ac.kr

TEL : (02)2123-4679 FAX : (02)365-8460

* 연세대학교 기계공학과

** 삼성전자 반도체총괄 스토리지사업부

간의 접촉 후에 표면에 존재하던 전하 (charge)에 의해 발생하는 현상이다. 마찰대전에 의한 최종 전하량은 두 과정에 의해 결정되는데 첫 번째는 대전 (charge transfer)으로서 슬라이더가 표면과의 접촉하고 미끄러지는 동안 발생하며 방전 (discharge)은 접촉되어 있던 물질들이 떨어질 때 발생한다.

슬라이더 디스크 인터페이스 내의 마찰대전현상에는 슬라이더 밑면에 전하가 축적되어 디스크 표면과 전위차가 발생하는 정전기적 (electrostatic) 특성과 슬라이더에 축적된 전하가 이동하여 미세 전류를 발생시키는 전기적 (electrodynamic) 특성이 있다. 마찰대전 현상에 의하여 발생된 전하의 크기는 자기 헤드가 ESD (electrostatic discharge) 현상에 의하여 손상을 받을 수 있는 한계점 보다는 작기 때문에 실제로 큰 문제가 되지 않았다. 그러나 최근 헤드-디스크의 부상 높이가 감소하고, 또한 헤드의 감도가 높아지면서 헤드가 ESD에 의하여 손상 받을 수 있는 가능성이 점점 높아지고 있다.⁽³⁾ Wallash⁽³⁾는 HDD의 GMR/MR 헤드가 손상을 받을 수 있는 ESD의 크기는 IC DRAM이 손상을 받을 수 있는 ESD의 크기 보다 수백 배 작다는 것을 발견하였다. 또한 헤드-디스크의 간극이 감소하면 헤드의 ESD 손상 전압이 감소할 수 있다는 것을 예측하였다.

이미 헤드-디스크의 트라이볼로지 및 신뢰성 관점에서 마찰대전에 대한 중요성은 여러 연구에서 언급이 되었다. 자기 헤드에서 발생하는 마찰대전 효과는 디스크 표면의 윤활막을 열화 시키며^(4,5) 또는 헤드-디스크 인터페이스의 오염을 가속화 한다.⁽⁶⁾ Nakayama와 Ikeda⁽⁷⁾는 헤드-디스크 인터페이스에서의 접촉 거동을 묘사하는 마찰대전/방전 (emission) 실험을 수행하였다. Nakayama⁽⁸⁾는 음극 또는 양극으로 대전된 입자의 마찰방전의 크기와 고체 표면의 저항과의 관계를 연구하였다. Brezoczky와 Seki⁽⁹⁾는 슬라이더 표면에 2.35 V의 마찰대전이 발생하면 슬라이더와 회전하는 디스크 사이에 인력 (attraction force)이 발생할 수 있다고 주장하였다. 이러한 주장은 가변 커패시터 모델을 사용하여 얻어진 마찰대전 밀도의 계산에 의한 것이었다. Feng 등⁽¹⁰⁾은 디스크 표면 위를 슬라이더가 부상하고 있을 때의 마찰대전/방전의 크기를 직접 측정하였다. 그들에 의하면 마찰대전/방전은 슬라이더-디스크의 접촉 정도에 관련이 있으며, 습도가 많은 환경 조건 하에서는

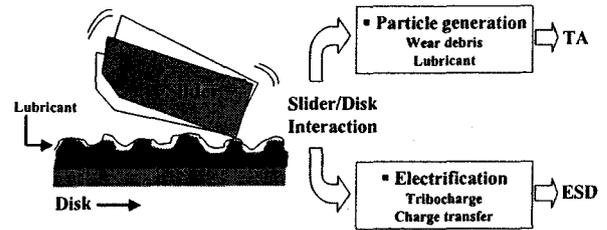


Fig. 1 Slider disk interaction in HDD

약 2 V의 전압이 발생된다고 하였다. 또한 마찰대전/마찰전류 (tribovoltage/current)는 슬라이더-디스크의 접촉 정도에 매우 밀접한 관련이 있으며, 디스크 표면의 윤활유 또는 슬라이더-디스크 저항 등에는 별로 관계가 없음을 밝혀내었다.

Park 등⁽¹¹⁾은 전기적으로 대전된 슬라이더-디스크 인터페이스에서 오염 입자의 거동 특성을 계산하였다. 그 결과에 의하면 슬라이더와 접지된 디스크 표면 사이에 1 V의 전기적 포텐셜이 발생한다면 슬라이더-디스크 인터페이스에서는 상당한 입자 오염이 발생될 수 있다. 또한 포텐셜 차이의 유지 시간이 입자 오염에 매우 중요한 인자로 작용한다. 습도 및 정지시간 (rest time)이 마찰, 점착 (stiction) 및 그 밖의 헤드-디스크 인터페이스의 신뢰성에 미치는 영향에 대해서는 많은 연구가 진행되었다.^(12,13,14) Zhao와 Bhushan⁽¹⁵⁾에 의하면 윤활유가 있는 디스크의 경우 습도가 적은 상황에서는 습도의 존재가 마찰/점착 (stiction) 및 내구성에 좋은 효과를 발휘한다. 그러나 습도가 많은 경우 윤활유의 내구성이 감소되기 때문에 오히려 마찰 및 점착 현상이 증가한다. 기존의 연구 대부분은 Texture 디스크 구동환경에서 얻어진 결과이다. 최근에는 슬라이더의 부상높이를 감소시키기 위해 Smooth 디스크가 사용되고 있다. Smooth 디스크는 디스크 랜딩존 (landing zone)에 존재하는 범프 (bump)가 존재하지 않는다. 따라서 마찰, 슬라이더 부상 특성이 많이 다르므로 기존 결과를 이용해 Smooth 디스크 사용시 마찰전압/전류를 예측하는데 한계가 있다. 이와 관련된 연구가 거의 없는 실정이다. 본 연구에서는 Smooth 디스크와 Texture 디스크를 사용했을 때 발생하는 마찰대전 현상을 측정하였다. 시험은 전기적으로 절연된 챔버 내에서 수행되었으며 헤드의 충돌 및 접촉 거동을 측정하기 위하여 PZT 센서를 이용한 acoustic emission (AE) 신호를 동시에 측정하였다. 또한 습도와 온도를 고정한 상태에서 마찰전압 및 전류 (tribovoltage/

/current)의 발생량에 대해서 연구하였다.

2. 실험

본 연구에서는 슬라이더-디스크의 상호 접촉에 의하여 발생된 마찰대전/마찰전류 신호와 AE 신호를 동시에 측정하였다. 본 연구에서 사용된 실험 장치가 Fig. 2에 나타나 있다. 실험 장치는 청정공기공급기, 슬라이더-디스크 어셈블리 (assembly) 및 측정 시스템으로 구성되어 있다. 슬라이더-디스크 어셈블리는 전기적으로 절연된 상자 내에 위치하고 있다. 상자는 스테인레스강으로 만들어졌으며, 전기적 노이즈 및 오염을 방지하기 위하여 전기적으로 접지시켰다. 상자는 청정도가 100인 환경조절 챔버 내에 위치시켰다. 모든 실험에서 상자의 온도는 25°C로 항상 유지시켰으며, 상대습도는 20~25%로 고정하였다. 상자 내에 이미 존재하는 입자의 수를 최소화하기 위하여 우선 공기를 수분제거기 (water trap), 확산 건조기 (diffusion drier)와 HEPA 필터를 통과시킨 후 건조한 청정 공기를 불어 넣었다. 모든 실험에서 환경 조건의 오염도는 응축핵 계수기 (condensational particle counter, CPC)를 사용하여 모니터링 하였으며, 그 수준은 1000 particles/m³ 이하였다. 시험이 종료된 후에는 슬라이더의 air bearing surface (ABS) 표면의 상태를 현미경으로 관찰함으로써 슬라이더의 손상 및 오염의 여부를 확인하였다. 실험 중에 슬라이더의 심각한 손상이나 오염의 흔적은 발견되지 않았다.

본 실험에서는 Smooth 디스크와 Texture 디스크 사용시 발생하는 마찰 전압/전류를 측정하기 위해 Table 1과 같은 두 종류의 디스크를 사용하였다. 범프가 존재하는 Texture 디스크의 경우 랜딩존에 crater 타입의 laser zone texture (LZT)가 형성이 되어 있고, Smooth 디스크인 경우 범프가 표면에 존재하지 않는다.

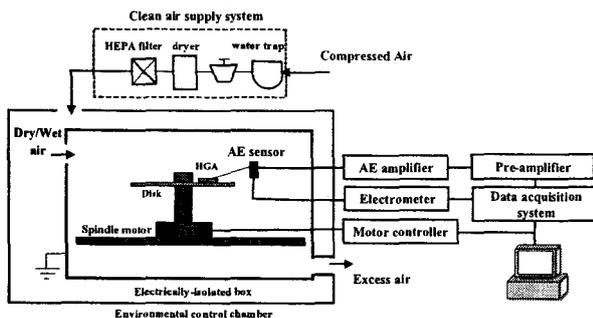
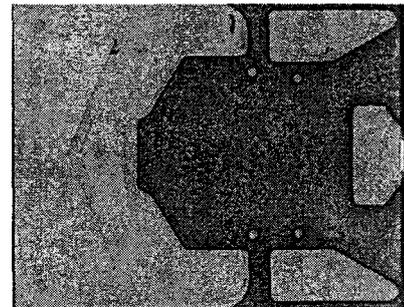


Fig. 2 Schematics of experimental setup

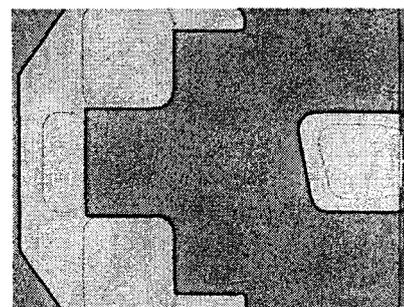
Table 1 Specifications of disks

	Textured disk	Smooth disk
DLC coating thickness (Å)	30	25
Lubricant thickness (Å)	12	18
Roughness (Å)	3.1	3.1
Bump height (Å)	50	none

실험에 사용된 슬라이더들은 Al₂O₃-TiC의 재료로 만들어진 30% 슬라이더 (pico-slider)였으며 슬라이더의 ABS 표면에는 DLC 막이 코팅되어 있다. 슬라이더와 디스크를 상용 제품인 tribotester (TTi Inc., T1000)에 장착하였다. AE 센서는 슬라이더-디스크 인터페이스의 기계적 접촉 및 상호작용을 모니터링 하기 위하여 사용되었다. AE 센서는 HGA (head gimbal assembly)에 부착되며 pre-amplifier를 통하여 PC에 연결된다. 슬라이더와 디스크 사이에서 발생하는 전류와 전압은 전압전류계 (electrometer) (Keithley 6517A)를 이용하여 측정하였다. 전압전류계는 HGA에 연결하였는데, 슬라이더의 마찰대전/마찰전류 신호를 감지하기 위하여 다른 부품들과는 전기적으로 절연시켰다.



(a) Slider used with smooth disk



(a) Slider used with textured disk

Fig. 3 Two kinds of sliders

스핀들 모터 컨트롤러를 이용하여 디스크의 회전 속도를 7200 rpm으로 고정시켰다. 슬라이더-디스크 인터페이스의 불필요한 손상을 최소화하기 위해서 슬라이더는 초기에 디스크의 중심으로부터 19 mm 떨어진 랜딩존 부근에 위치시켰다. 슬라이더-디스크 인터페이스에서 발생한 AE 신호 및 마찰전압/전류 신호는 스핀들 모터가 동작한 후 20 초가 될 때까지 동시에 측정하였다. 또한 디스크가 초기 회전하여 최대 속도가 되기까지의 시간을 각각 3초, 5초, 7초로 변화시키면서 시험하였다. 디스크는 초기 시동에서 일정하게 가속된다고 가정을 하면, 디스크 가속도의 크기는 각각 4.4, 2.6, 1.7 m/s²의 범위였다.

3. 결과 및 고찰

Smooth 디스크와 Texture 디스크가 슬라이더-디스크 인터페이스에서 마찰전압/전류 발생에 미치는 영향에 대해 관찰하였다. AE 신호는 낮은 상대습도와 정지시간이 거의 없는 0 초인 조건에서 얻어졌다. 각각의 실험은 3번씩 반복하였고, 얻어진 값들을 평균하였다.

3.1 디스크 가속도에 의한 AE 신호

Figure 4는 디스크의 구동시 AE 신호의 시간적 변화를 보여주고 있다. 일단 모터가 구동되면 슬라이더는 약간의 요동과 함께 슬라이딩을 시작하고, 곧 부상한다. 슬라이더가 완전히 부상하는 시간, 즉 부상 시간 또는 슬라이딩 시간 (take-off time)은 디스크의 가속도가 증가함에 따라 감소하였다. 유사한 결과가 Ravikiran 등⁽¹⁶⁾에 의하여 관찰된 바 있다. 슬라이딩의 거리 L 은 다음과 같은 수식에 의하여 계산될 수 있다.

$$L = \frac{1}{2}at^2 \quad (1)$$

여기서 a 와 t 는 디스크의 가속도와 슬라이딩 시간을 각각 나타내고 있다. Figure 5는 가속 시간에 따른 슬라이딩 거리를 보여준다. 슬라이딩 거리는 디스크의 가속도를 증가함에 따라 감소됨을 보여주고 있다. 본 실험에서는 Texture 디스크를 사용한 경우 슬라이딩 거리가 Smooth 디스크를 사용한 경우보다 더 길었다.

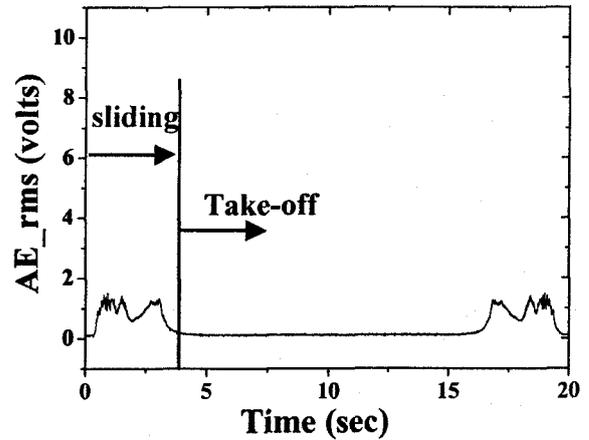


Fig. 4 Temporal distribution of AE signal

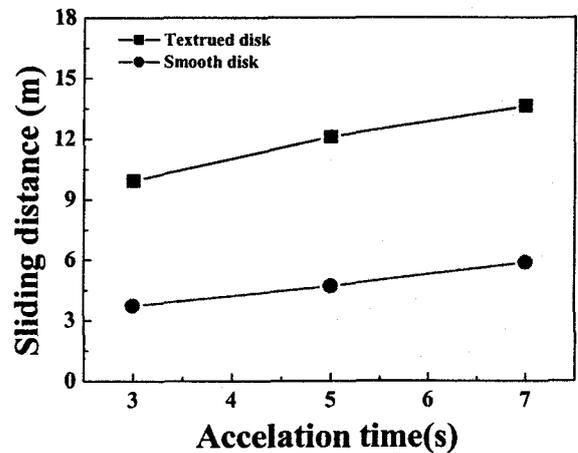


Fig. 5 Sliding distance with disk acceleration time

3.2 디스크 가속도에 의한 마찰전류/전압

하드 디스크 드라이브에서 Smooth 디스크와 Texture 디스크를 사용했을 경우 HDI (Head Disk Interface) 마찰대전을 디스크 가속도에 대해 측정하였다. Figure 6(a)는 Texture 디스크를 사용한 경우, Fig. 6(b)는 Smooth 디스크를 사용한 경우 발생한 마찰전압이다. 결과를 보면 마찰전압은 디스크의 종류와 관계 없이 모두 모터가 구동되는 즉시 증가하였음을 알 수 있다. 그리고 Texture 디스크의 경우 발생한 마찰 전압이 일정한 최대 값에 도달하면 감소하였음을 알 수 있다. 이는 HDI 부근에 마찰로 인해 발생한 전하들이 소산 (dissipation)된 것을 말한다. Figure 6(a)에서와 같이 Texture 디스크를 사용한 경우 디스크 가속도를 증가시키면 축적된 전하들이 더 빨리 소산됨을 알 수 있다. 이와 같은 경향은 Fig. 5의 결과와 매우 유사한 것으로 발생한 마찰전압이 슬라이더의 슬라이딩 거리와 관계있음을 말해주고 있

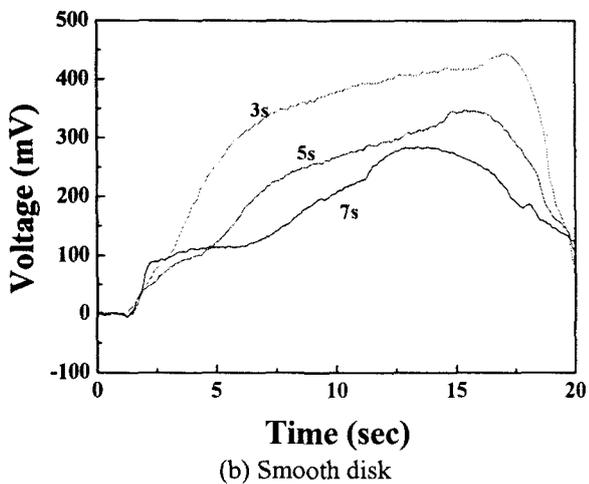
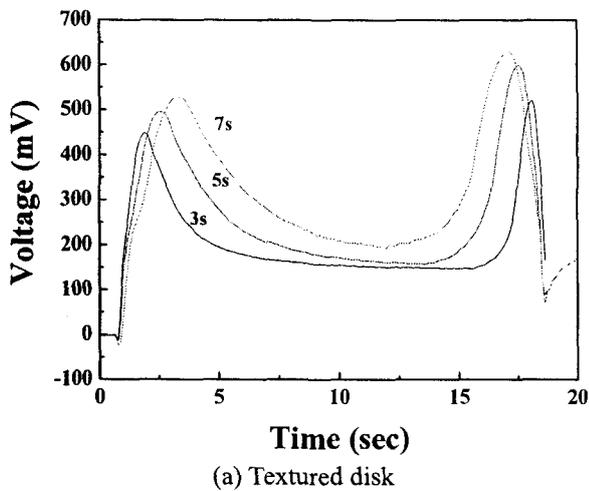


Fig. 6 Temporal distributions of tribovoltage with smooth and textured disks

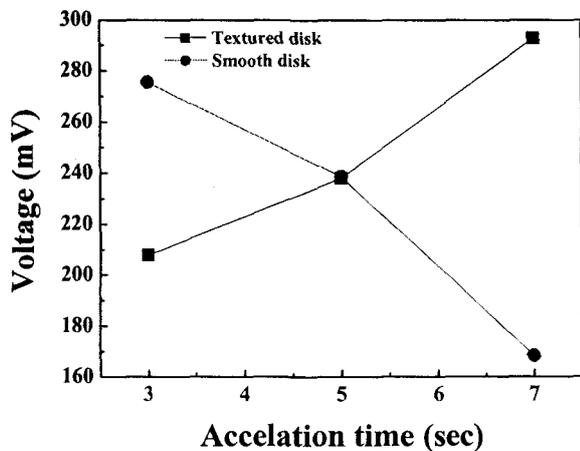


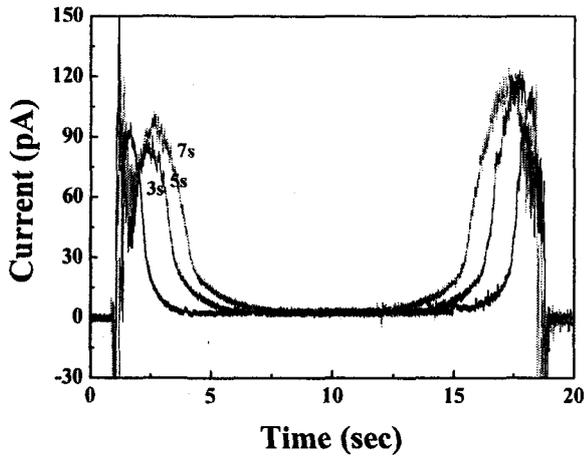
Fig. 7 Averaged tribovoltage with disk acceleration and relative humidity

다. 반면 Smooth 디스크의 경우 (Fig. 6(b)) 발생된 마찰전압 경향이 Texture 디스크의 경우와 다르다는 것을 알 수 있다. Smooth 디스크의 경우 발생된 마찰전압이 Texture 디스크 경우와 달리 지속적으로 증가하였고 이 현상은 모터의 정속 구간까지 지속되었다. 본 실험을 통해 슬라이더 표면에서 전하 레벨은 약 0.1~0.3 V 였으며, 이 결과는 Kiely 등⁽¹⁷⁾이 측정한 값 (0.2~0.4 V)과 유사함을 알 수 있었다. MR/GMR 헤드를 파괴할 수 있는 일반적인 파손 전압은 약 3 V 이기 때문에⁽³⁾, Texture 디스크의 경우 측정된 전압 레벨이 ESD 손상을 초래하지는 않는다고 생각된다. 하지만 Smooth 디스크의 경우 지속적으로 마찰전압이 증가하기 때문에 매우 높은 레벨의 전하들이 HDI에 축적될 수 있어 결과적으로 ESD 손상을 초래할 가능성이 크다.

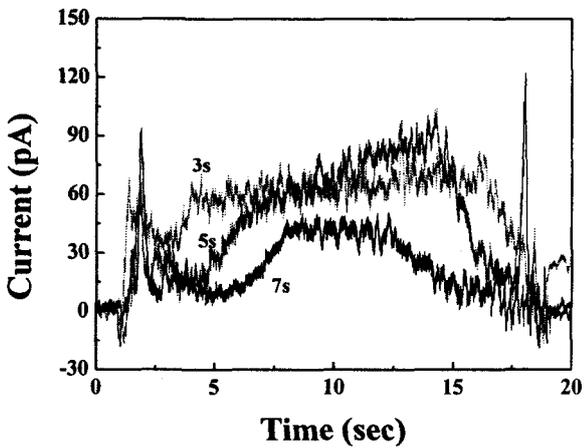
Figure 7은 가속도 변화에 의한 마찰전압의 평균값을 보여주고 있다. 결과를 보면 Texture 디스크의 경우 디스크의 가속도가 증가하면 평균 마찰전압이 감소함을 알 수 있다. 하지만 Smooth 디스크의 경우 반대로 가속도가 증가하면 마찰전압이 동시에 증가함을 알 수 있다. 이와 같은 결과는 Fig. 6(a), (b)에서도 확인할 수 있는데 Texture 디스크의 경우 디스크 가속시간이 감소하면 발생하는 마찰전압이 감소하는 반면 Smooth 디스크의 경우 가속시간이 감소하면 마찰전압이 Fig. 6(a)와 같이 증가함을 알 수 있다.

Figure 8은 20~25%의 상대습도 조건 하에서 디스크 가속도의 변화에 따른 마찰전류의 시간적 변화를 보여주고 있다. 마찰전압과 마찬가지로 모터가 구동되면 마찰전류가 발생함을 알 수 있다. Texture 디스크 결과의 경우 (Fig. 8(b)) 유사한 결과가 Feng 등⁽¹⁰⁾에 의하여 얻어졌는데, 그 연구 결과에 의하면 마찰전류의 발생은 슬라이딩 접촉 또는 슬라이더-디스크 사이의 접촉 또는 충돌 강도와 연관이 있다고 주장하였다. 또한 Fig. 8은 디스크 가속도가 증가함에 따라 마찰전류는 더 빠르게 소멸됨을 보여주고 있다. 하지만 Smooth 디스크의 경우 마찰전류가 바로 소멸되지 않고 오히려 증가되는 경향을 보이고 있다. 이는 기존의 연구와 다른 결과다.

Figure 9에 디스크 가속도 변화에 의한 마찰전류의 평균 값을 요약 하였다. 마찰전류는 약 10~40 pA의 수준으로, 이 결과는 Kiely 등⁽¹⁷⁾이 관찰한 50 pA의 값과 유사한 수준이다. 하지만 Texture 디스크의 경우 디스크의 가속도가 증가



(a) Textured disk



(b) Smooth disk

Fig. 8 Temporal distributions of tribocurrent with smooth and textured disks

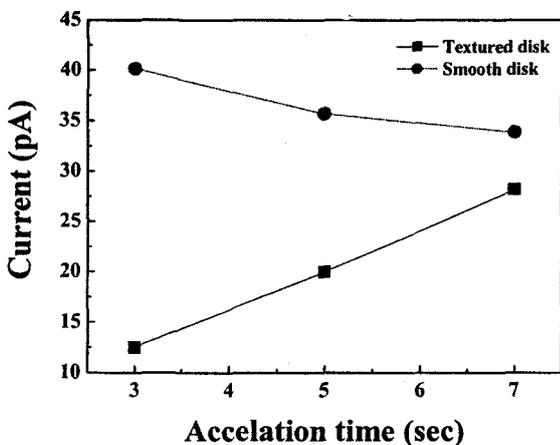


Fig. 9 Averaged tribocurrent with disk acceleration and relative humidity

함에 따라 마찰전류가 감소되었으나 Smooth 디스크의 경우 가속도가 증가함에 따라 마찰전류가 증가하였다.

4. 결론

HDI에서 발생된 마찰전류/전압의 축적을 전압전류계를 이용하여 측정하였으며, 디스크 가속도, 상대습도 및 정지시간이 마찰대전 축적에 미치는 영향을 관찰하였다.

(1) 마찰전류/전압은 슬라이더-디스크의 상호작용에 의하여 발생되며, 그 값들은 각각 약 10~40 pA와 0.1~0.3 V였다.

(2) Texture 디스크의 경우 마찰전류/전압이 디스크 가속도 증가에 따라 감소하였다. 하지만 Smooth 디스크의 경우 가속도 증가에 따라 증가하였으며 정속구간까지 지속적으로 증가하였다. 따라서 Texture 디스크의 경우 가속도를 증가 시킴으로써 HDI에서 발생하는 마찰대전의 크기를 감소시킬 수 있으나 Smooth 디스크의 경우 디스크 가속도를 증가시키면 오히려 마찰전류/전압을 증가시킬 수 있다.

후기

본 연구는 삼성전자와 한국과학재단지정 정보저장기기연구센터 (과제번호: R11-1997-042-12001-0)의 지원을 받아 이루어졌으며 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

- (1) Zhao Q., Talke F. E., 1999, "Experimental Investigation of the Effect of Disk Acceleration and Velocity on the Tribology of the Head/Disk Interface," IEEE Trans. Magnetics, Vol.35, pp.2406-2408.
- (2) Lee D. Y., Hwang J., Bae G. N., 2004, "Effect of Disk Rotational Speed on Contamination Particles Generated in a Hard Disk Drive," Microsystem Technologies, Vol.10, pp.103-108.
- (3) Wallash A., 2003, "ESD Challenges in Magnetic Recording: Past, Present and Future," IEEE 41st Annual

International Reliability Physics Sym Dallas Texas, pp.222-228.

(4) Sivertsen J. M., Wang G., Chen G. L., Judy J. H., 1997, "Evaluation of Amorphous Diamond-Like Carbon-Nitrogen Films as Wear Protective Coating on Thin Film Media and Thin Film Head Sliders," IEEE Trans. Magnetics, Vol.33, pp.926-931.

(5) Huang L. J., Hung Y., Chage S., 1997, "Surface and Lubricant/Overcoat Interface Properties of the Rigid Disks after Corrosion," IEEE Trans. Magnetics, Vol.33, pp.3154-3156.

(6) Park H. S., Hwang J., Choa S. H., 2000, "Numerical Investigations of Contamination Particles Trajectory in a Slider Disk Interface," IEEE Trans. Magnetics, Vol.36, pp.2739-2741.

(7) Nakayama K., Ikeda H., 1996, "Triboemission Characteristics of Electrons during Wear of Amorphous Carbon and Hydrogenated Amorphous Carbon Films in a Dry Air Atmosphere," Wear, Vol.198, pp.71-76.

(8) Nakayama K., 1999, "Triboemission of Charged Particles and Resistivity of Solids," Tribology Letter, Vol.6, pp.37-40.

(9) Brezoczek B., Seki H., 1990, "Triboattraction: Friction under Negative Load," Langmuir, Vol.6, pp.1141-1145.

(10) Feng Z., Shih C., Gubbi V., Poon F., 1999, "A Study of Tribo-Charge/Emission at the Head-Disk Interface," J. Appl. Phys., Vol.85, pp.5615-5617.

(11) Park H. S., Hwang J., Choa S. H., 2004, "Tribocharge Build-up and Decay at a Slider-Disk Interface," Microsystem Technol., Vol. 10, pp.109-114.

(12) Bhushan B., Dugger M. T., 1990, "Liquid-Mediated Adhesion at the Thin-Film Magnetic Disk/Slider Interface," Trans. ASME J. Tribology, Vol.112, pp.217-223.

(13) Li Y., Trauner D., Talke F. E., 1990, "Effect of Humidity on Stiction and Friction of the Head/Disk Interface," IEEE Trans. Magnetics, Vol.26, pp.2487-2489.

(14) Tian H., Matsudaira T., 1993, "The Role of Relative Humidity, Surface Roughness and Liquid Build-up on Static Friction Behavior of the Head/Disk Interface," Trans. ASME J. Tribology, Vol.115, pp.28-35.

(15) Zhao Z., Bhushan B., 1997, "Effect of Environmental Humidity on the Friction/Stiction and Durability of Lubricated Magnetic Thin-Film Disks," J. Engineering Tribology-Part I Vol.211, pp.295-301.

(16) Ravikiran A., Liew T., Low T. S., 1999, "Effect of Disk Acceleration on the Generation of Acoustic Emission Signal at the Head-Disk Interface," J. Appl. Phys., Vol.85, pp.5612-5614.

(17) Kiely J. D., Hsia Y. T., 2002, "Tribocharging of the Magnetics Hard Disk Drive Head-Disk Interface," J. Appl. Phys, Vol.91, pp.4631-4636.