

# Rounded-edge 슬라이더를 이용한 하드디스크의 표면 스크래치 저감에 관한 연구

## Study on Scratch Reduction of HDD using Rounded-edge Slider

신일섭\*, 김영태\*, 한계희\*, 김대은†, 강태식\*\*

Il-Sup Shin\*, Young-Tae Kim\*, Je-Hee Han\*, Dae-Eun Kim† and Tae-Sik Kang\*\*

### Abstract

In recent years the flying height of the head/slider has been decreasing in order to increase the recording density of hard disk drive (HDD). Accordingly, it was predicted that direct contact between slider and disk surface (slider slap) can cause defects on the disk such as scratch and particle generation. In this work, we theoretically demonstrate the effect of rounded-edge slider using Hertzian contact theory. Depth and width of scratch were predicted by plowing model. Furthermore, as we fabricated rounded-edge slider, rounded-edge slider was tested and compared with sharp-edge slider. The experimental results show rounded-edge was effective for reducing scratch depth.

**Key Words :** HDD, Slider slap, Scratch, Rounded-edge slider.

### 기호설명

- a = contact radius
- r = radius
- w = width of scratch
- d = depth of scratch
- p = normal pressure
- N = normal force
- $P_m$  = maximum contact pressure
- $E^*$  = composite modulus
- $E_1$  = young's modulus of slider
- $E_1$  = young's modulus of DLC
- $\nu_1$  = poisson's ratio of slider
- $\nu_1$  = poisson's ratio of DLC
- h = vertical length of contact area between slider and disk

### 1. 서론

하드 디스크의 기록 밀도를 증가시키기 위해

서 디스크의 트랙 피치가 가늘어지고 디스크와 슬라이더 간의 간격이 점차적으로 줄어들고 있다. 현재 상용되는 하드 디스크의 경우 디스크와 슬라이더와 헤드 간의 간격(flying height)이 약 10 nm 이고, 트랙 피치의 경우 300 nm 수준이며, 개인용 컴퓨터로서 노트북의 수요가 늘어나는 등, 외장 휴대용 저장 장치로서 하드 디스크의 사용 범위가 넓어짐에 따라 충격에 대한 내구성이 더욱 절실히 요구 되고 있다.[1-3] 따라서, 하드 디스크에 가해지는 작은 충격에 의하여 디스크와 슬라이더 간의 직접적인 접촉(slider slap)이 발생할 수 있으며, 이로 인해 디스크 표면에 손상이 일어날 수 있다. 이는 궁극적으로 하드 디스크 전반에 걸쳐 신뢰성 및 내구성 등의 문제를 야기 시킨다. [4-5] 즉 충격에 의해 head disk interface(HDI) 상에서 발생하는 디스크와 슬라이더간의 직접적인 접촉으로 인해 디스크 표면에 스크래치를 발생 시킬 수 있고, 데이터 손실을 야기 시킨다. 또한 이렇게 발생한 스크래치와 헤드가 접촉할 경우 헤드/슬라이더의 파손을 초래할 수 있으며, 이로 인해 thermal asperity(TA)를 유발 시키게 된다.[2] 본 연구에서는 디스크와 슬라이더 간의 접촉을 가정하고 스크래치를 저감하기 위하여 rounded-edge slider 를 설계 하였다. 또한 디스크에 발생하는 이러한 스크래치를

† 연세대학교 기계공학과  
E-mail : kimde@yonsei.ac.kr  
TEL : (02)2123-2822

\* 연세대학교 기계공학과  
\*\* 삼성전자 스토리지 사업부  
논문접수일 (2006년 6월 8일)

atomic force microscopy(AFM)을 이용하여 분석하고 이를 Hertzian contact theory 와 plowing model 을 통한 이론적 접근에 활용하였다.

## 1. 실험장치 및 시편

### 1.1 Rounded-edge 슬라이더

현재 실제 하드디스크에 사용되는 피코 슬라이더를 가공하여 스크래치 테스트를 하였다. 슬라이더의 크기는 1.25 mm×1 mm×0.3 mm 이며, 슬라이더의 모든 모서리 중 한 부분만을 polisher 를 이용하여 동글게 가공하였다. Fig 1 은 일반적인 슬라이더와 동글게 가공을 한 슬라이더의 scanning electron microscopy(SEM) 이미지를 보여준다.

### 1.2 실험 장치

슬라이더와 디스크의 직접적인 접촉 시 슬라이더 모서리의 형상에 따른 디스크의 표면손상 정도를 보기 위해 직접 스크래치 테스터를 구성하였다. Fig. 2(a)는 본 연구에서 사용한 실험 장치를 보여주며 Fig. 2(b)는 장치에 부착된 슬라이더와 디스크의 Schmetc 을 보여준다. 날카로운 모서리와 동글게 가공한 모서리를 가지는 두 개의 슬라이더를 팁 끝 단에 일정한 각도 (17°)로 부착시켰으며, 이때 두 슬라이더의 끝 단 반경은 대략 적 각각 4 μm 와 80 μm 이며, 경도는 약 2,200 HV(Kg/mm<sup>2</sup>)<sup>1</sup> 이다. 스크래치 테스터는 X, Y, Z 축으로 이송할 수 있는 3 축 액추에이터를 사용하였다. 또한 C 프로그래밍을 이용한 ramp lading 방식을 사용하였으며, 최대하중이 100 mN 미만에서는 라운딩 가공된 슬라이더에 의한 스크래치가 일정하게 발생하지 않음으로 인해 스크래치가 일정하게 발생하기 시작하는 100 mN 의 최대하중을 적용시켰으며, 10 μm/s 의 속도로 디스크 표면에 인위적으로 스크래치를 발생시켰다.

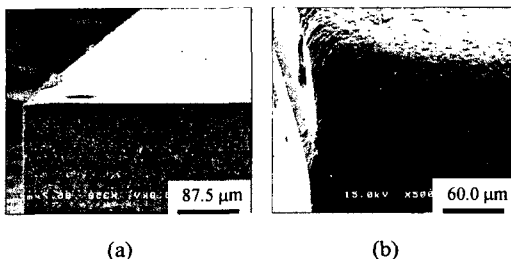
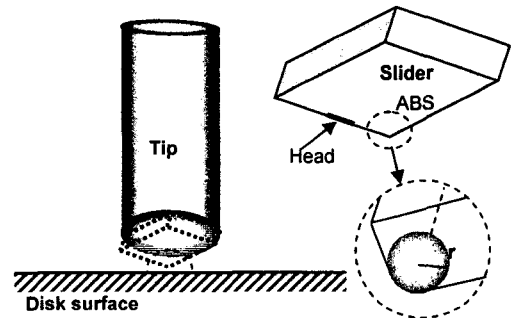


Fig. 1 SEM Images of (a)edge of slider and (b)rounded edge slider



(a)



(b)

Fig. 2 Image of (a)scratch tester and (b)schematic of mounted slider

## 2. 실험 결과 및 고찰

### 2.1 스크래치 테스트 실험 결과

Fig. 3 은 각각의 슬라이더를 이용하여 ramp loading 방법으로 최대 하중 100 mN 를 적용하여 만든 스크래치를 광학 현미경을 통하여 촬영한 이미지 이다. 스크래치의 길이는 약 200 μm 정도 이다. 또한, 각각의 스크래치의 깊이와 너비를 분석하기 위해 70×70 μm 의 샘플링 사이즈로 AFM 을 이용하여 두 가지 종류의 슬라이더에 의해 형성된 스크래치의 삼차원 형상과 단면형상을 얻을 수 있었다. Fig. 4 는 3 차원 형상을 보

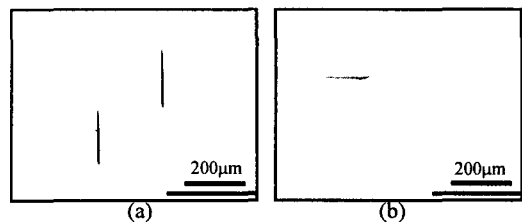


Fig. 3 Optical microscopy images of scratch using (a)sharp edge slider and (b)rounded edge slider

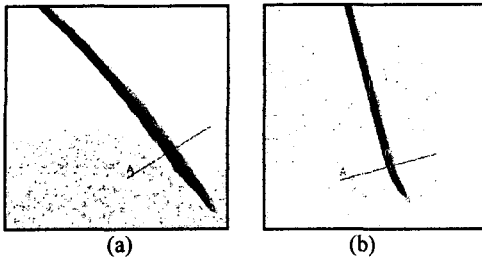


Fig. 4 AFM images of each scratch (a)sharp edge slider and (b)rounded edge slider

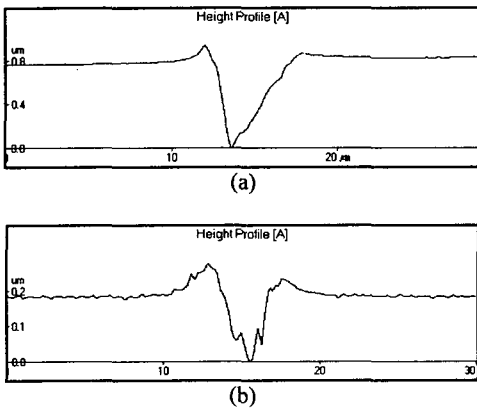


Fig. 5 2D profile of each scratch (a)sharp edge slider and (b)rounded edge slider

여주며, Fig. 5 는 100 mN 의 하중에서 발생된 두 가지 슬라이더에 대한 각각의 스크래치의 단면형상을 보여준다. Table 1 은 Fig. 5 에서 알 수 있는 각각의 스크래치의 깊이와 너비를 비교 해 놓았다. 각각의 값은 같은 조건하에 만들어진 10 개의 스크래치의 깊이와 너비의 값이다. 스크래치 깊이의 경우 날카로운 모서리에 의해 발생 된 스크래치의 깊이가 둥글게 가공된 모서리에 의해 발생된 스크래치의 깊이 보다 4 ~ 5 배 정도 깊게 나타났으며, 스크래치의 너비의 경우 깊이에 비해 너비가 크게 차이를 보이지 않는다. 하지만 깊이 대비 너비의 경우를 비교해 보았을 경우 그 비가 두 배 가량 차이를 보였으며, 따라서 가공된 슬라이더의 경우 더 뭉툭하게 스크래치가 발생함을 볼 수 있었다.

3.2 Hertzian contact theory 를 통한 분석

각각의 슬라이더와 디스크간의 접촉 면적 및 최대 압력을 Hertzian contact theory 를 이용하여 규명

Table 1 Depth and width of each scratch

	Depth	Width
Sharp edge slider	0.88 μm ± 5%	6.30 μm
Rounded edge slider	0.19 μm ± 5%	5.12 μm

해 보았다. Hertzian contact theory 는 실제와는 달리 많은 가정을 포함하고 있지만 마이크로 스케일의 시각에서 접촉 면적과 최대 압력 분포를 예상하는데 있어서 그 식이 매우 간단하기 때문에 가장 많이 응용되는 해석 법이다. Hertzian contact theory 를 적용하기 위해 먼저 날카로운 모서리와 둥글게 가공한 모서리의 끝 단을 볼로 가정 한 후 각각 전자는 4 μm 후자는 80 μm 의 반경을 가진 볼로 가정 하였다. Fig. 6 은 디스크와 슬라이더의 접촉 형상을 개략적으로 보여주고 있다. 접촉부의 최대 압력  $p_m$  와 접촉 반경  $a$  는 Eq 1 과 2 로 구할 수 있다. 여기서  $N$  은 최대하중으로 100 mN 을 적용하였으며,  $E_1$  과  $E_2$  는 각 슬라이더와 디스크의 diamond like carbon(DLC)의 탄성 계수로서  $E_1$  는 407 Gpa,  $E_2$  는 237 GPa 을 적용하였다. 또한  $\nu_1$  과  $\nu_2$  는 각각의 푸아송비로서  $\nu_1$  는 0.2,  $\nu_2$  는 0.07 이다.

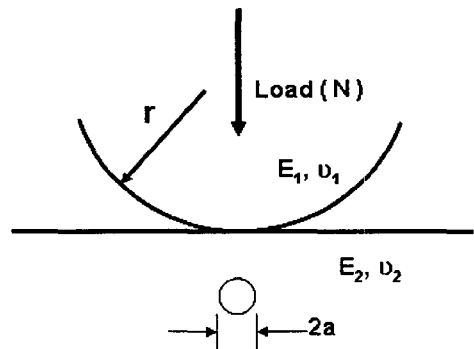


Fig. 6 Contact geometry of slider edge and disk<sup>6</sup>

$$p_m = \frac{3N}{2\pi a^2} \tag{1}$$

$$a = \left( \frac{3Nr}{4E^*} \right)^{\frac{1}{3}} \tag{2}$$

Table 2 는 수식 (1) 과 (2)를 이용하여 최대압력과 접촉 면적을 나타내고 있으며, 둥글게 가공한 모서리를 이용한 슬라이더의 경우 날카로운 모서리를 가지는 슬라이더 보다 최대 압력이 약 8 배 정도 작았으며, 접촉 면적은 약 3 배 정도 커짐을 알 수 있었다.

**Table 2** Maximum pressure and contact area of Slider and disk using Hertzian contact theory

	$P_m$ (최대압력)	$a$ (접촉반경)
Sharp edge slider	30 GPa	1.25 $\mu\text{m}$
Rounded edge slider	4 GPa	3.38 $\mu\text{m}$

**Table 3** Hardness values of disk using nano-indenter

Position (from surface)	NiP 80 nm	NiP 180 nm	NiP 230 nm	NiP 460 nm
Hardness ( $\text{Kg}/\text{mm}^2$ )	886.1	834.6	828.4	803.9

**3.3 Plowing model 을 통한 분석**

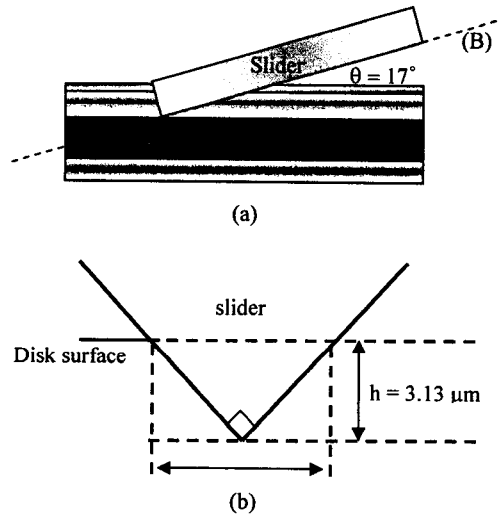
슬라이더 모서리를 이용한 스크래치 실험에서 발생한 스크래치의 폭과 깊이를 이론적으로 예상해 보기 위해 plowing model의 적용을 시도 해보았다. 수식(3)에서 압입된 폭을  $w$  라 하며, 접촉 압력  $p$ 를 갈려지는 재료의 경도 값으로 하였다. [6-7]

$$w = \left( \frac{8N}{\pi p} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

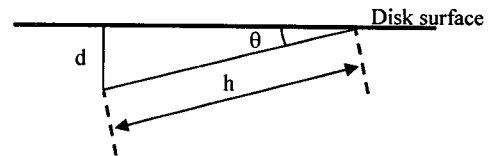
또한, 수식(3)을 적용시키기 위해 디스크의 경도 값은 둥글게 가공된 슬라이더의 경우 Table 3에서 NiP180nm의 경도 값을 사용하였으며, 날카로운 모서리의 슬라이더의 경우 일반적인 NiP film의 경도 값인  $650 \text{ kgf}/\text{mm}^2$ 을 적용하였다.[8] 얇은 박막의 경우 막의 두께나 측정 방법 등의 여러 조건에 따라 그 값이 많이 변한다. 따라서 둥글게 가공한 슬라이더에 의해 발생한 스크래치의 깊이와 날카로운 슬라이더에 의해 발생한 깊이 각각의 경도 값을 사용하였다. Table 3의 경도 값은 각각 10번 측정 후 평균 값을 나타낸 것이다.

슬라이더를 이용하여 발생 되는 스크래치의 폭을 각각의 경도 값을 사용하여 수식(3)을 적용시켜 본 결과 날카로운 슬라이더에 의해 발생한 스크래치의 폭은  $6.26 \mu\text{m}$ 이며, 둥글게 가공한 스크래치의 경우  $5.52 \mu\text{m}$ 의 폭을 가졌다. 또한 폭에 따른 스크래치의 깊이를 두 슬라이더의 형상을 이용하여 예측 해보았다. Fig 7(a)은 날카로운 모서리를 가진 슬라이더가 디스크에 압입된 모습을 나타내는 이미지이며, (b)는 B 축을 기준으로 절단한 단면의 그림이다. 각  $\theta$ 와 스크래치의 폭을 이용하여 깊이를 예상해 보았으며 Fig 7 (b)에서와 같이

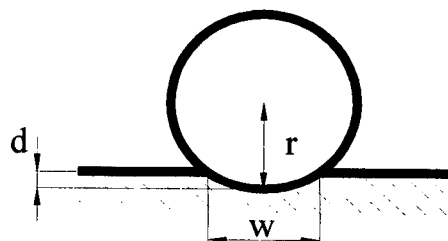
슬라이더의 모서리 양면이 일정하게 접촉하였다고 가정하였다. Fig.8에서  $h$ 는 접촉하고 삼각형의 면의 수직 높이를 나타내며, 스크래치 쪽으로부터 구해진다.  $\theta$ 는  $17^\circ$ 이다 따라서  $h$ 와  $\theta$ 로부터  $d$ 는  $0.92 \mu\text{m}$ 이며, 이는 실험 데이터로 얻은 값과 유사함을 알 수 있었다. 둥글게 가공한 슬라이더의 경우 슬라이더를 Fig. 9에서와 같이 볼로 가정하여 수식(4)를 이용하여 계산해 보았다. 반지름  $r$ 이



**Fig. 7** Schematic of contact between slider and disk (a)side view and (b)front view at B axis



**Fig. 8** Schematic of side view



**Fig. 9** Idealized model of spherical tip

$$r^2 = \left(\frac{w}{2}\right)^2 + (r-d)^2 \quad (4)$$

80 μm, w 는 plowing model 을 이용하여 구한 5.52 μm 를 이용하였다. 계산된 스크래치의 깊이는 거의 0 에 가까웠으며 이는 가공된 슬라이더의 표면이 완벽하게 평탄하지 못함으로 인해 표면에 존재하는 asperity 에 의해 스크래치가 발생되었을 것으로 판단된다. 따라서, 슬라이더 형상뿐 아니라 슬라이더 표면의 거칠기를 매우 작게 함으로써 디스크에 가해지는 표면손상을 크게 줄일 수 있을 것이다.

### 3. 결론

1. 접촉 이론을 통하여 형상변화에 의해 접촉압력을 줄일 수 있음을 실험적으로 보일 수 있었다.
2. Plowing model 을 이용하여 스크래치의 깊이와 너비를 계산할 수 있었으며, 슬라이더 형상뿐 아니라 표면 거칠기를 작게 할 경우 디스크 표면의 손상을 크게 줄일 수 있음을 알 수 있었다.
3. 슬라이더의 형상변화를 통해 향후 스크래치 발생이 크게 저감될 수 있는 슬라이더를 설계할 수 있을 것으로 판단된다.

### 후 기

본 연구는 삼성전자 스토리지 사업부의 지원(과제번호:2005-8-1588)과 한국과학재단지정 연세대학교 정보저장기기연구센터(R11-1977-042 -12001-0)의 지원을 받아 이루어졌으며 이에 관계자 여러분께 감사 드립니다.

### 참고문헌

[1] Cho, S.H., Sharma, V., 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] Zeng, Q., Pit, R., Payne, R., Baumgart, P., and Huang, F., 2005, "Modeling and Simulation of Hard-Particle Interaction in Head/Disk Interfaces", *IEEE Transactions on Magnetics*, Vol.42, No.2, pp.604-609.

[3] Ji, R., Liew, T., and Chong, T.C., 2003, "A Study of Contact-Start-Stop Wear Tracks by TOF SIMS", *Tribology International*, Vol.36, pp.883-888.

[4] Jayson, E.M., Murphy, J., Smith, P.W., and Talke, F.E., 2003, "Head slap simulation for linear and rotary shock impulses" *Tribology International* Vol.36, pp. 311-316.

[5] Honchi, M., Kohira, H., Matsumoto, M., 2003, "Numerical Simulation of Slider Dynamics during Slider-Disk Contact" *Tribology International* Vol.36, pp.235-240.

[6] Sin, H., Saka, N., and Suh, N. P., 1979, "Abrasive Wear Mechanism and the Grit Size Effect", *Wear*, Vol. 55, pp.163-190.

[7] Komvopoulos, K., Saka, N., and Suh, N. P., 1985, "The Mechanism of Friction in Boundary Lubrication", *Journal of Tribology*, Vol.107, pp.452-462.

[8] Bharat B., 2003, "Springer Handbook of Nano-Technology", pp.770.