

## Contact Start-Stop 방식에서의 극저부상 높이에서 Head-Disk Interface Interactions 연구

조 언 정<sup>†</sup>

한국산업기술대학교 기계공학과

### A Study on Head-Disk Interactions at Ultra-low Flying Height in Contact Start-Stop

Unchung Cho<sup>†</sup>

*Department of Mechanical Engineering, Korea Polytechnic University, Korea*

**Abstract** – The height of laser bumps has been considered as the limit of the minimum flying height in the contact start-stop (CSS) of hard disk drives. In this paper, tribological interactions at flying height under laser bumps are investigated in a spin stand for development of ultra-low flying head-disk interface. With the reduction of the spinning speed in a spin stand, the flying height is decreased under the height of laser bumps and, then, head-disk interactions are investigated using AE and stiction/friction signals. During seek tests and 20000 cycle-sweep tests, AE and stiction/friction signals are not significantly changed and there are no catastrophic failures of head-disk interface. Bearing analysis and AFM analysis show that there are signs of wear and plastic deformation on the disks. It is suggested that flying height could be as low as and, sometimes, lower than laser bump height.

**Key words** – micro-&nano-tribology, head-disk interface, flying height, laser bump, contact start-stop (CSS), hard disk drive

#### 1. 서 론

1957년에 하드디스크 드라이브가 발명된 후 정보장에 대한 수요팽창을 충족하고자 먼기록밀도는 무어의 법칙에 따라 연간 60% 이상 증가되고 있다. 먼기록밀도를 높이기 위해서는 GMR Head, Thin Film Media, Head-Disk Interface, 신호처리, 제어 등의 발전이 이루어져야 하고, 그 중 가장 중요한 요소 중에 하나는 Head-Disk Interface의 간격을 줄이는 것이다.

본 논문은 Contact Start-Stop (CSS) 방식에서 최저 부상높이를 달성하기 위한 방법을 논의하였고, 슬라이더의 부상높이가 레이저 범프 높이 이하로 설정될 경우에 Head-Disk Interface에서 발생하는 현상에 대해서 AE 신호, Stiction/Friction 신호, 베어링 분석, AFM 관찰로 연구하였다.

#### 2. Winchester 방식 Head-Disk Interface에서 최저 부상높이

1970년도 초반에 개발된 Winchester 기술에서 유래된 Contact Start-Stop (CSS)방식은 아직까지 하드디스크 드라이브에 적용되고 있다[1]. Winchester 방식의 Head-Disk Interface인 CSS 방식을 적용하는 하드디스크 드라이브를 생산하는 업체의 가장 큰 어려움은 Stiction 현상이었는데, 1990년도 초반에 개발된 Laser Zone Texturing 방법으로 제작된 레이저 범프가[2] 우수한 윤활특성을 보여줌에 따라서 디스크의 Landing Zone에 레이저 범프를 만들어서 Stiction을 방지하고 있다[Fig. 1(a)].

하드디스크 드라이브의 먼기록밀도를 증가시키기 위해서는 Head-Disk Interface에서 슬라이더의 부상높이가 더욱 낮추어져야 하며 점차로 낮아지는 슬라이더의 부상높이에 맞추어 레이저 범프의 높이가 점차로 줄어들

<sup>†</sup>주저자 · 책임저자 : cho@kpu.ac.kr

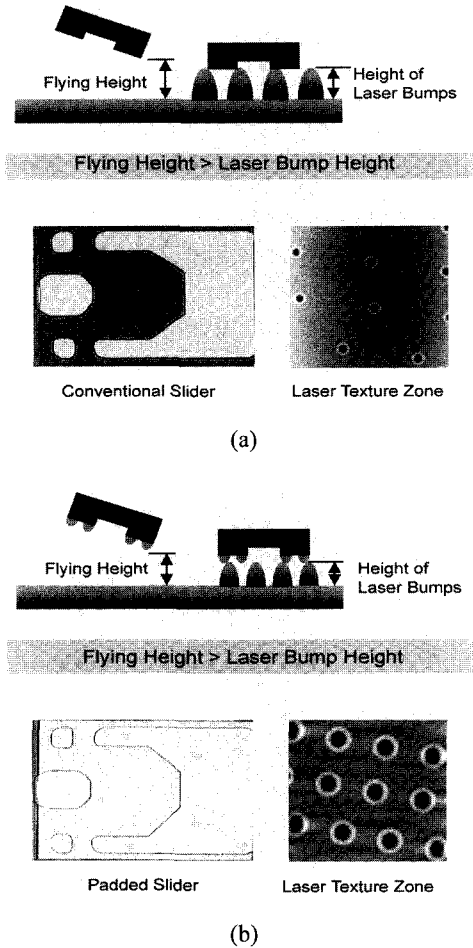


Fig. 1. Head-disk interface in CSS with (a) a conventional pico slider and (b) a padded pico slider.

면서 Stiction이 증가하는 현상[3-5]을 극복하기 위해서 최근 슬라이더의 면에 마이크로 패드를 부착한 슬라이더가 레이저 범프가 있는 디스크와 같이 사용되는 방식이 적용되고 있다[Fig. 1(b)]. 최근 10 nm 이하로 내려가고 있는 부상높이에 맞추어 레이저 범프의 높이를 더욱 낮추면 가공이 힘들어지고, 레이저 범프의 형상, 피치, 높이의 편차가 커져서 보다 낮은 레이저 범프 제작에 어려움이 있다[Fig. 2]. CSS 방식의 최저 부상 높이를 달성하기 위해서는 레이저 범프가 없는 디스크에서 슬라이더를 부상시키는 방법과 낮은 레이저 범프가 있는 디스크와 마이크로 패드를 부착한 슬라이더를 사용하여 레이저 범프의 높이보다 낮게 부상높이를 설정하는 방법이 적용될 수 있다[6], [Fig. 3]. 현재,

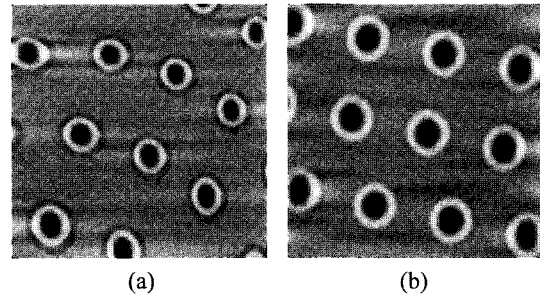


Fig. 2. 2-D AFM images of (a) irregular laser bumps and (b) conventional laser bumps.

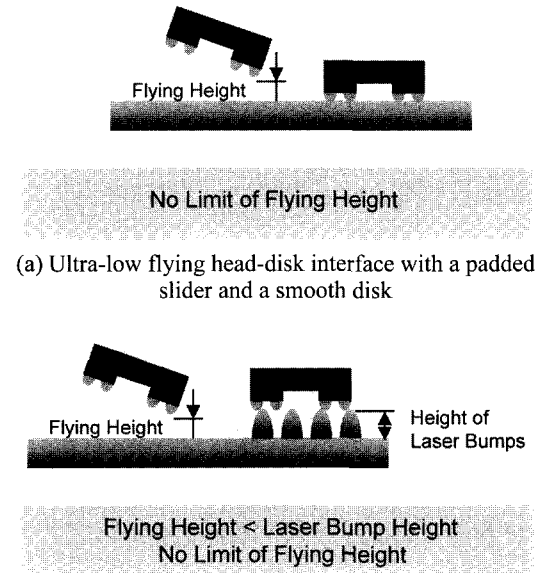


Fig. 3. Ultra-low flying head-disk interface in CSS. (a) Ultra-low flying head-disk interface with a padded slider and a smooth disk (b) Ultra-low flying head-disk interface with a padded slider and a laser textured disk

Fig. 3. Ultra-low flying head-disk interface in CSS.

Fig. 3(a)에서 보여주는 것과 같이 레이저 범프가 없는 디스크에서 슬라이더를 부상시킬 수 있는 구체적인 방법이 제시된 사례는 없고, 본 연구에서는 Fig. 3(b)에서와 같이 슬라이더의 부상높이를 레이저 범프의 높이 이하로 낮출 수 있는 가능성을 타진하기 위해서 부상 높이가 레이저 범프보다 낮아질 경우 발생하는 슬라이더와 디스크의 Interaction에 대해서 분석하였다.

### 3. 실험

본 연구에서 사용된 실험장치는 Stiction/Friction, AE-rms의 측정이 가능한 Spin Stand이다. 사용된 슬

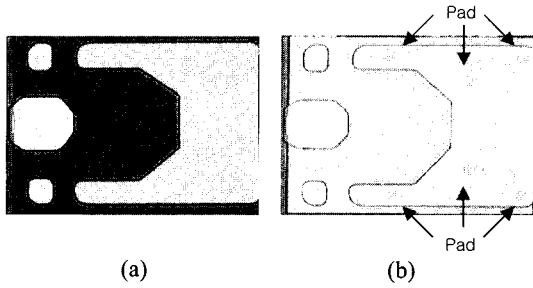


Fig. 4. Optical micrographs of (a) a conventional pico slider and (b) a padded pico slider.

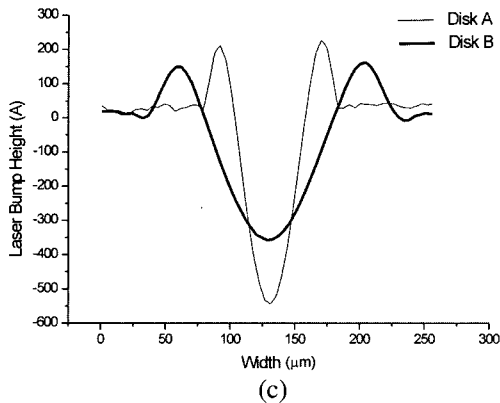
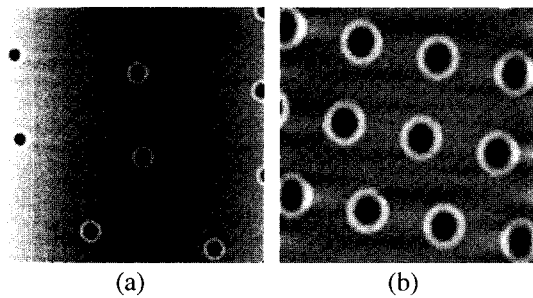


Fig. 5. AFM image of landing zone on disk (a) A, (b) B and (c) shape of a laser bump on disk A and B.

라이더는 크기  $1\text{ mm} \times 1.235\text{ mm} \times 0.305\text{ mm}$ 의 Pico 슬라이더와 Micro-pad가 달린 Padded Pico 슬라이더이다[Fig. 4]. 사용된 디스크 A와 B의 Data Zone에서 평균조도(Ra)는  $6.5 \pm 2.0 \text{ \AA}$ ,  $5.5 \pm 2.0 \text{ \AA}$ 이고, Landing Zone에서 레이저 범프의 높이는  $165 \pm 20 \text{ \AA}$ ,  $115 \pm 20 \text{ \AA}$ 이다[Fig. 5]. 모든 실험은 온도  $25 \pm 3^\circ\text{C}$ , 상대습도  $50 \pm 5\%$ , Class 1000의 Clean Room에서 실시되었다. 본 연구에서 수행한 실험은 극저부상에서 슬라이더와 디스크의 Interaction 현상을 연구하기 위한 Landing Zone과 Data Zone 사이의 Seek실험과 Head-Disk

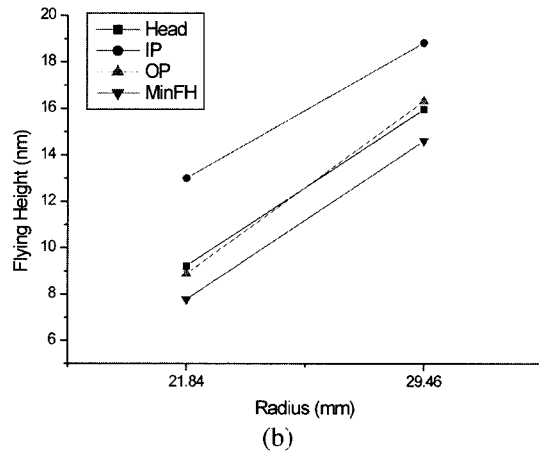
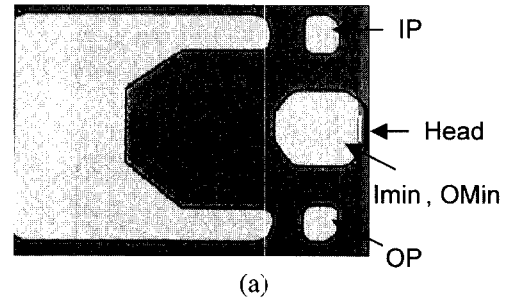


Fig. 6. (a) Head, IP, OP, IMin, OMin and (b) flying heights of a conventional pico slider.

Interaction이 CSS의 특성에 미치는 영향을 파악하고 내구성을 평가하기 위한 20000회 Sweep 실험이다.

ABS simulation을 실시한 결과 Pico 슬라이더와 Padded Pico 슬라이더는 900 rpm와 2700 rpm에서 최저 부상 높이가 레이저 범프 높이 이하로 낮게 내려갔으므로[Fig. 6, 7], Seek 실험과 Sweep 실험에서 슬라이더의 부상높이를 레이저 범프높이 이하로 낮추기 위해 디스크의 회전속도를 Pico 슬라이더와 디스크 A의 경우는 900 rpm으로, Padded Pico 슬라이더와 디스크 B는 2700 rpm 낮추었다. Seek실험에서는 5400 rpm까지 가속 3초, 정속 2초, 900 rpm과 2700 rpm까지 감속 3초, 정속 2초, 반경 2.54 mm와 10.16 mm까지 Seek 동작, 정속 2초, Landing Zone으로 Seek동작, 정속 2초, 감속 1초, 정지 1초를 실시하였다. Sweep실험에서는 5400 rpm까지 가속 3초, 정속 1초, 900 rpm과 2700 rpm까지 감속 3초, 정속 2초, Landing Zone과 Data Zone 사이의 반경 19.3 mm와 21.8 mm 구간을 15 Hz와 45 Hz로 Sweep 2만회, 감속 7초, 정지 1초를 실시하였고, 2만회 Sweep을 실시하기 전후에 가

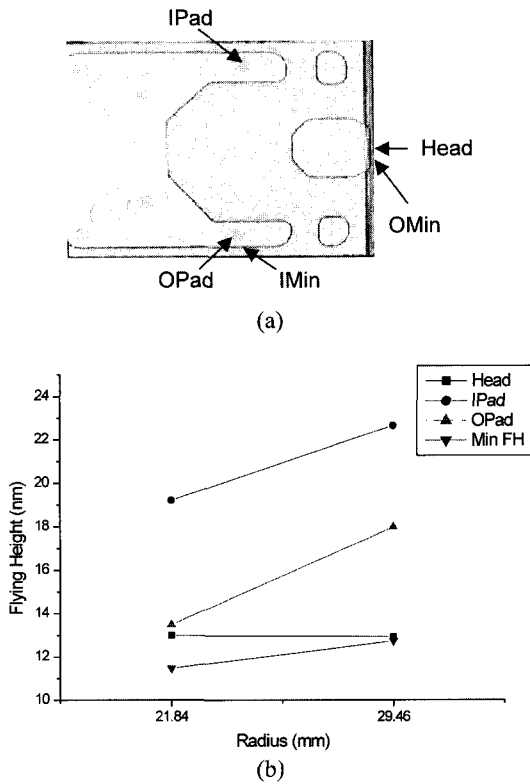


Fig. 7. (a) Head, IPad, OPad, IMin, OMin and (b) flying heights of a padded pico slider.

속 3초, 정속 1초, 감속 7초, 정지 1초의 CSS를 실시하여 20000회 Sweep실험이 CSS의 특성에 미치는 영향을 조사하였다.

#### 4. 결과 및 고찰

Figs. 8, 9는 슬라이더의 부상높이가 레이저 범프보다 낮을 경우에 2.54 mm와 10.16 mm의 Seek 구간에서 Pico 슬라이더와 Disk A, Padded Pico 슬라이더와 Disk B사이의 Interaction을 AE 신호, Stiction/Friction 신호로 관찰한 결과이다.

Pico 슬라이더와 Padded Pico 슬라이더는 Landing Zone과 Data Zone사이를 이동할 때 슬라이더와 디스크가 부딪치는 Ding 현상이 일어난다. 2.54 mm의 Seek 범위의 경우 Data Zone에서 정속시 접촉이 발생하지만, 10.16 mm의 Seek 범위에서는 접촉이 발생하지 않았다. 이는 슬라이더의 부상높이가 디스크의 안쪽반경보다 바깥반경에서 높아져서 접촉이 발생하지 않은 것으로 추측된다. Pico 슬라이더가 Landing Zone에

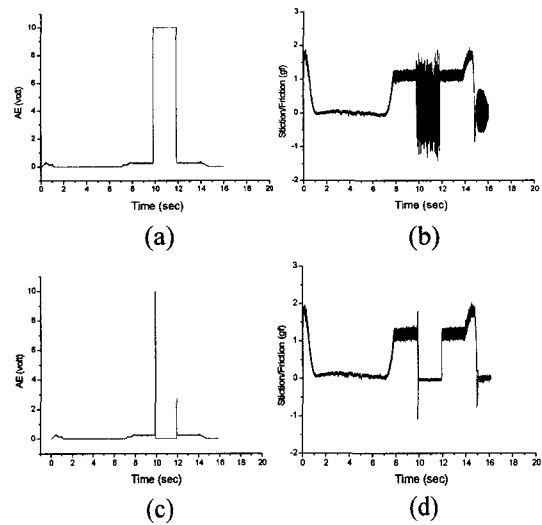


Fig. 8. AE and stiction/friction signals in the seek tests of 2.54 mm stroke (a), (b) and 10.16 mm stroke (c), (d) for the conventional pico slider and disk A.

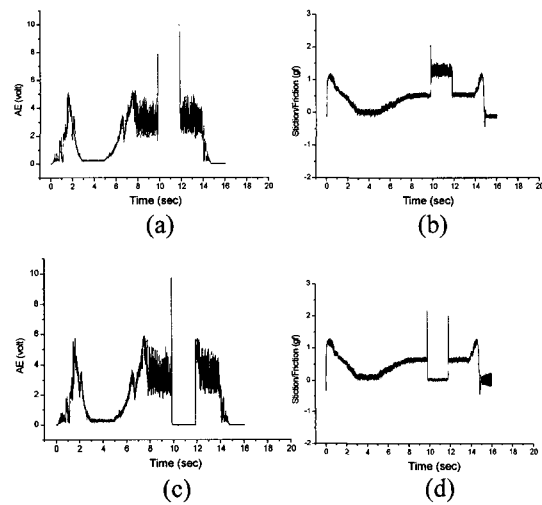


Fig. 9. AE and stiction/friction signals in the seek tests of 2.54 mm stroke (a), (b) and 10.16 mm stroke (c), (d) for the padded pico slider and disk B.

접촉할 때는 레이저 범프가 Stiction을 줄여서 Data Zone에 비해 최대 Friction이 낮고, 동적거동이 훨씬 안정적이지만, Data Zone에서는 Stick-Slip현상이 일어난다. Padded Pico 슬라이더는 Landing Zone에서 일반 Pico 슬라이더에 비해서 Micro-pad가 접촉면적을 줄일 수 있어서 Stiction/Friction이 낮지만 Micro-pad와 레이저 범프의 충돌로 동적거동이 다소 불안정적이고, Data Zone에서는 Micro-Pad에 의한 영향으로 슬

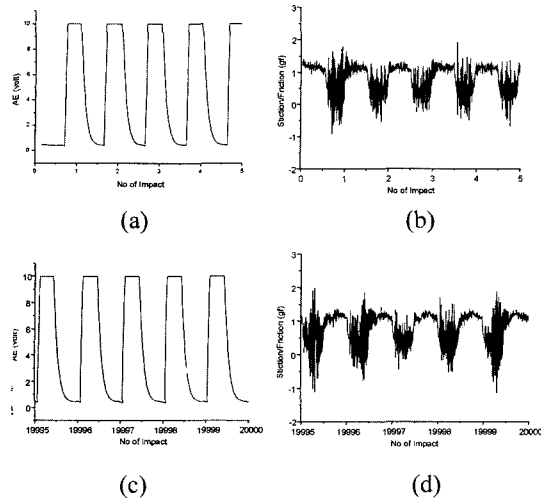


Fig. 10. AE and stiction/friction signals in the beginning (a), (b) and ending (c), (d) cycles of the 20000 cycle-sweep test of 2.54 mm stroke for the conventional pico slider and disk A.

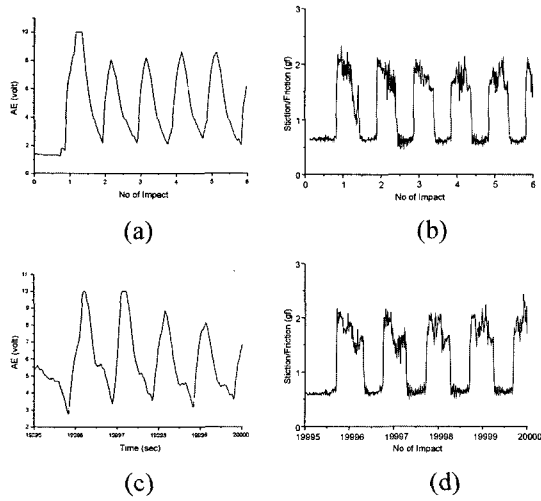


Fig. 11. AE and stiction/friction signals in the beginning (a), (b) and ending (c), (d) cycles of the 20000 cycle-sweep test of 2.54 mm stroke for the padded pico slider and disk B.

라이더와 디스크의 접촉이 일어날 때 비교적 안정된 Stiction/Friction 값을 보여준다.

Figs. 10, 11은 20000회 Sweep동작시의 Pico 슬라이더, Padded Pico 슬라이더와 Disk A와 B의 Interaction을 AE, Stiction/Friction으로 관찰한 결과이다. Figs. 8, 9에서 나타난 것처럼 Landing Zone으로부터 2.54 mm Seek 후에 정속 2초 구간에서 Pico 슬라이

더와 Padded Pico 슬라이더가 Data Zone과 접촉된 것을 고려하면, 2.45 mm Stroke의 Sweep중에도 Data Zone과 접촉이 발생되었다고 판단된다. Pico 슬라이더와 Padded Pico 슬라이더가 Data Zone으로 이동시에는 Data Zone과 Ding이 발생하고, Landing Zone으로 복귀시에는, Data Zone과 Ding이 발생한 후 레이저 범프와 다시 Impact이 발생된 것으로 생각할 수 있다. Pico 슬라이더는 Micro-Pad의 존재에 따라 Sweep할때

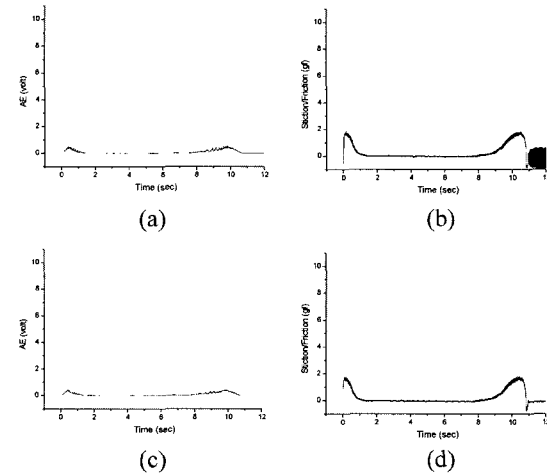


Fig. 12. AE and stiction/friction signals versus time during contact start/stop before (a), (b) and after (c), (d) the 20000 cycle-sweep test for the conventional pico slider on disk A.

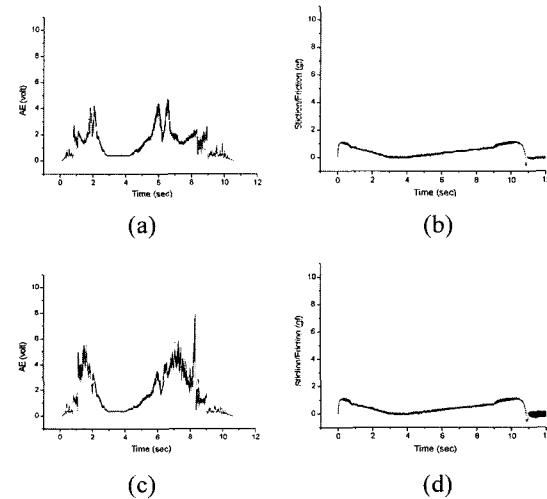


Fig. 13. AE and stiction/friction signals versus time during contact start/stop before (a), (b) and after (c), (d) the 20000 cycle-sweep test for the padded pico slider on disk B.

디스크와의 Interaction이 달라지지만, 20000회 Sweep 동안 AE와 Stiction/Friction 신호의 특성이 크게 변하지 않았다. Figs. 12, 13은 20000회 Sweep 실험 전후의 CSS 결과로서 AE, Stiction/Friction 특성에 큰 변화가 없음을 보여준다.

Figs. 14, 15는 Pico 슬라이더, Padded Pico 슬라이더와 디스크 A, B의 20000 Sweet Test 전후에서 Landing Zone에 있는 레이저 범프의 베어링분석 결과이다. Fig. 14(a), (b)의 Center Line Average (CLA)

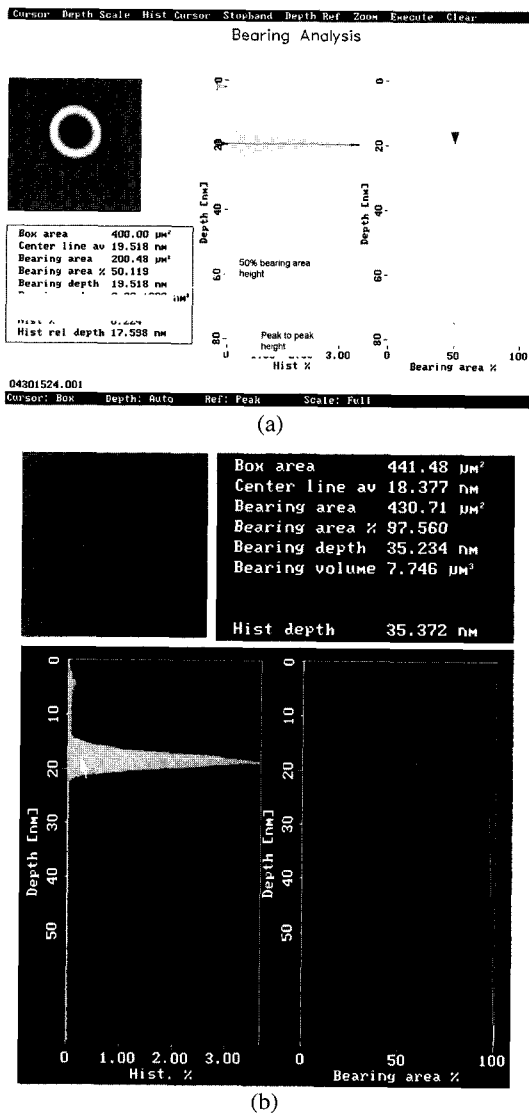


Fig. 14. (a) Before and (b) after the 20000 cycle-sweep test, bearing analysis of a laser bump on disk A.

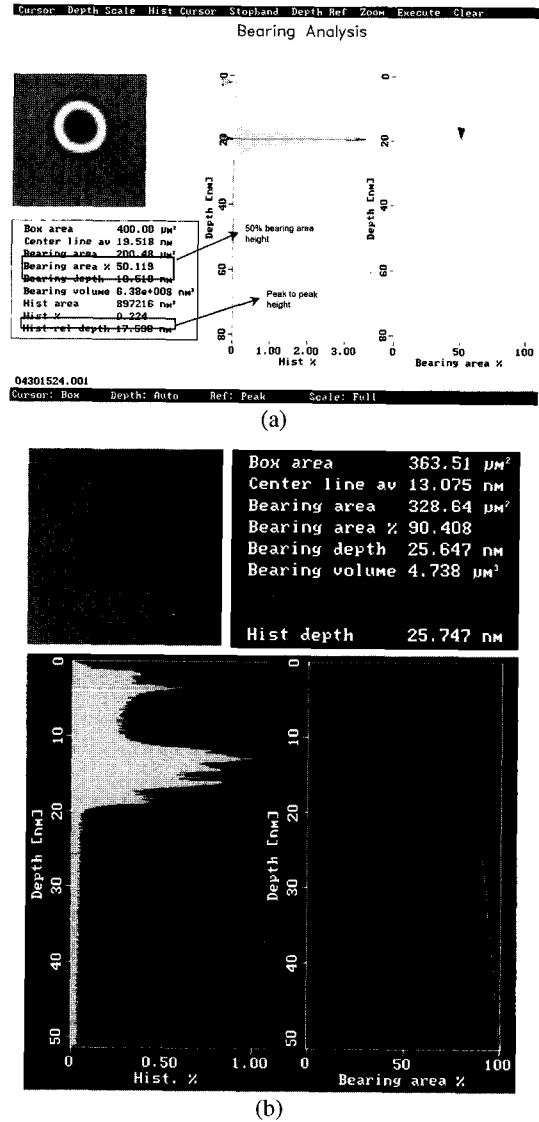


Fig. 15. (a) Before and (b) after the 20000 cycle-sweep test, bearing analysis of a laser bump on disk B.

를 비교해 보면 Fig. 14(b)의 경우 레이저 범프가 마모 또는 변형되어 CLA가 약간 낮아짐을 보여주고 있고, Fig. 15(a), (b)의 베어링분석 결과를 비교해 보면 Fig. 15(b)의 경우 레이저 범프의 마모 또는 변형을 보여준다. 베어링분석 결과는 20000회 Sweep 실험 후에 AE, Stiction/Friction 특성에 큰 변화가 없지만, 레이저 범프의 변형 또는 마모가 일어날 수 있음을 알 수 있다. 현재 CSS Component Test는 20000회 사이클 동안의 Stiction/Friction 신호에서 최대 Stiction값의

변화에 증점을 두고 있고, 변형 및 마모의 관찰은 비중 있게 다루어 지고 있지 않다. 본 연구결과는 레이저 범프 높이 이하의 부상높이에서 현재의 CSS Component Test 기준이상의 Tribological Failure가 발생하지 않았으므로 슬라이더의 부상높이가 레이저 범프의 높이 또는 그 이하로 낮추어 질 수 있다는 가능성을 보여주고 있으며, 부상높이가 레이저 범프의 높이 이하로 낮추어 질 경우 슬라이더와 미디어의 적합성 및 내구성을 판단하는 CSS Component Test에서 Stiction/Friction 신호 외에 변형 및 마모에 대한 평가기준을 엄격히 해야 함을 시사한다.

## 5. 결 론

CSS방식에서 최저부상높이를 달성하기 위해서 레이저 범프보다 낮은 부상높이에서 발생하는 Pico 슬라이더 및 Padded Pico 슬라이더와 디스크의 Interaction을 실험적으로 연구하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

Pico 슬라이더는 Landing Zone에서 접촉할 때 Stiction/Friction이 낮고, 안정적이었고, Data Zone과 접촉할 때는 Stick-Slip 현상이 발생했다. Padded Pico 슬라이더는 Landing Zone과 접촉할 때 Micro-Pad와 레이저 범프의 충돌로 약간의 Fluctuation이 발생했고, Data Zone과 접촉할 때는 Micro-Pad의 영향으로 안정적이고 낮은 Stiction/Friction이 유지되었다. 극저부상에서 디스크와의 접촉에서 일반적으로 Padded Pico 슬라이더가 일반 Pico 슬라이더보다 동적특성이 우수했다.

Pico 슬라이더와 Padded Pico 슬라이더가 디스크와의 접촉시 발생하는 AE와 Stiction/Friction의 특성은

20000회 Sweep 실험동안과 20000회 Sweep실험 전후에 실시된 CSS실험에서 크게 변하지 않았지만 베이킹 분석과 AFM으로 관찰한 결과 레이저 범프의 변형 또는 마모의 흔적이 나타났다. 이 결과는 하드디스크 드라이브의 부상 높이가 레이저 범프 높이 이하로 낮아질 경우에 현재의 CSS Component Test 기준이상의 Tribological Failure가 발생하지 않았으므로 슬라이더의 부상높이가 레이저 범프의 높이 또는 그 이하로 내려갈 수 있는 가능성을 보여주고 있으며, 부상높이가 레이저 범프의 높이 이하로 낮추어 질 경우 Head-Disk Interface의 적합성 및 내구성을 평가하기 위해 실시되는 CSS 실험에서 디스크의 Landing Zone에 있는 레이저 범프의 변형 및 마모에 대한 검사를 엄격히 해야 할 필요가 있다고 판단된다.

## 참고문헌

1. Bhushan, B., Tribology and Mechanics of Magnetic Storage Devices, Springer-Verlag, 1990.
2. Ranjan, R. and Lambeth, D. N., Selectively Textured Magnetic Recording Media, U.S. Patent 5,062,021, 1991.
3. Gui, J. and Marchon, B., Journal of Applied Physics, Vol. 78, No. 6, pp 4206-4217, 1995.
4. Kuo, D., Gui, J., Marchon, B., Lee, S., Boszormenyi, I., Liu, J., Rauch, G., Vierk, S. and Meyer, D., "Design of Laser Zone Texture for Low Glide Height," IEEE, Vol. 32, No. 5, pp 3753-3758, 1996.
5. Gui, J., Kuo, D., Marchon, B. and Rauch, G., "Stiction Model for a Head-Disk Interface: Experimental," IEEE, Vol. 33, No. 1, pp 932-937, 1997.
6. 조연정, 극저부상 HDI 개발을 위한 Head-Disk Impact 연구, 춘계윤활학회, 2001.