

엔로드 성능 향상을 위한 디스크 범퍼의 제작 및 실험 연구

Fabrication and Experimental Research of the Disk Bump to Improve the Unloading Performance

이용은†·이용현*·이형준*·박노철**·박경수***·박영필*

Yongun Lee, Yonghyun Lee, Hyungjun Lee, Nocheol Park, Kyungsu Park and Youngpil Park

Key Words : 디스크 범퍼, 엔로드, 리바운드 충돌, 슬라이더-디스크 충돌

ABSTRACT

The main objectives of the Load/Unload are no slider-disk contact and no media damage. But, it remains unsolved technical problems on the unloading process. While the slider climbs up the ramp at the outer edge of the disk, the possibility of the slider-disk contact by lift-off force and rebound of the slider increases. Keeping in mind of these points, to prevent the slider-disk contact, we apply the disk bump on disk outer edge proceeding unload. First, referring to the simulation results, we select the optimal bump shapes to improve unload performance by unload analysis. Second, the disk bump is mechanically manufactured by pressing disk surface using tungsten tips. The bumps are variously processed by changing pressing pressure of tungsten tips. After confirming bump shape by nano-scanner, the optimal bump shape is applied to experimental unload process. Through this experiment, it is conformed that the unload performance was improved by using the optimal disk bump to prevent the slider-disk contact.

1. 서론

정보저장기기중의 하나인 하드 디스크 드라이브(HDD)는 용량, 성능 및 가격 등에서 다른 정보 저장 기기 보다 우세하여 널리 사용되고 있다. 이러한 하드 디스크 드라이브의 성능을 향상시키기 위해 슬라이더와 디스크의 간격은 더욱더 좁아지고 있으며, 그에 따른 슬라이드의 부상에 대한 신뢰성 확보가 중요해지고 있다. 특히, 대용량 초소형 HDD 를 개발하는데 있어 비동작시 충격에 강하고 낮은 소비전력을 사용하며, 슬라이더의 내구성을 증가시킬수 있는 로드/엔로드(L/UL) 기술이 반드시 필요하다.

L/UL 시스템의 적용을 위해 Yamada 와 Bogy 는 슬라이더의 동적 해석을 연구하였다[1]. 그리고 L/UL 성능 향상을 위해 Zeng 과 Bogy 는 특정 설계 변수에 대해 연구를 수행하였고, 또한 신뢰할 수 있는 L/UL 시스템을 위해 설계 및 운영 조건에 대해서도 연구를 수행하였다[2],[3].

LDV(Laser Doppler Vibrometry)와 AE(acoustic emission) 센서를 이용한 L/UL 측정 실험은 Weissner 와 Talke 에 의해 이루어졌다[4]. 그리고 레이저 범퍼를 사용하여 부상 높이 측정에 관한 실

험은 Zhang 과 Sheng 에 의해 연구가 진행되었으며[5], 광학 시스템으로 이루어진 3D 시스템을 사용하여 슬라이더-범퍼의 충돌 및 부상 높이 측정에 대해 Mad 와 Liu 에 의한 실험 연구가 진행되었다 [6].

L/UL 시스템에 대한 시뮬레이션 및 실험 방법의 발전은 L/UL 시스템의 안전성 향상과 슬라이더의 부상 특성을 향상시켰다. 그러나, 엔로드 시 발생하는 슬라이더-디스크 간의 충돌현상은 여전히 존재하고 있다. 이러한 엔로드시 발생하는 슬라이더와 디스크의 충돌은 2 가지의 원인으로 설명할 수 있다. 첫 번째는 Zeng 과 Bogy[7]가 설명한 4 번째 상태에서 발생하는 리프트-오프 힘의 증가로 인해 충돌의 가능성이 높아 지는 것이며, 두 번째는 4 번째 상태 이후, 리프트 탭이 램프의 경로를 따라 이동하면서 슬라이더가 덤플에 부딪힌 후 리바운드에 의해 디스크-슬라이더 충돌의 가능성이 증가하는 것이다. 이중 리바운드에 의한 충돌 가능성을 예방하기 위해서 범퍼를 도입하고자 한다.

2. 디스크 범퍼의 제작 방법

2.1 디스크 범퍼 효과

엔로드시, 서스펜션 리프트 탭은 램프의 경로를 따라 엔로딩을 하게 된다. 이 과정에서 리프트 오프 힘이나 슬라이더의 리바운드에 의해 슬라이더-디스크 충돌의 가능성이 증가한다. 공기 베어링의 효과가 끝나는 위치와 리바운딩이 발생하는 위치

† 연세대학교 기계공학과 대학원

E-mail : lyemech@yonsei.ac.kr

Tel : (02) 2123-4677, Fax : (02) 365-8460

* 연세대학교 기계공학과

** 연세대학교 정보저장기기 연구센터

*** 삼성전자 스토리지사업부

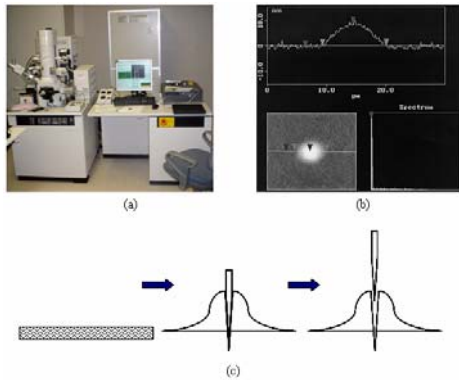


Fig.1. 디스크 범퍼 생성 방법: (a) 이온 빔 장비 (b) 레이저 빔을 사용한 범퍼 형상 (c) 기계적인 압입을 이용하는 방법

사이에 범퍼를 생성시키면, 범퍼의 효과로 인해 슬라이더는 좀 더 높게 부상한다. 따라서 리프트 오프 힘이 발생하거나 리바운딩이 발생하더라도 슬라이더-디스크의 최소 부상 높이는 확보되어 충돌의 가능성을 방지하게 된다[8].

본 논문은 언로드시 발생하는 슬라이더-디스크 충돌 현상을 개선하고자 디스크의 표면에 시뮬레이션으로 검증된 범퍼를 제작하여 실험을 수행하였다. 시뮬레이션의 동적 해석 결과 및 최적의 범퍼 형상은 Yonghyun Lee 와 Hyungjun Lee 의 논문 [8]을 참고하였다.

2.2 디스크 범퍼의 생성 방법

디스크 표면 위에 범퍼를 생성하는 방법으로는 이온 빔을 사용하는 방법, 레이저 빔을 사용하는 방법, 기계적인 압입을 이용한 방법이 있다. 본 연구에서는 Fig.1(c)와 같은 기계적인 압입을 이용한 방법을 사용하여 범퍼를 생성하였다.

디스크 표면 위에 범퍼를 생성하기 위해서 날카로운 끝을 제작할 수 있는 재료가 필요하다. 따라서, 고 강도와 저 마찰 특성을 가지는 텅스텐 재료를 사용하였다.

텅스텐 팁을 제작하기 위해 약 25.4mm 길이와 1mm 직경을 가진 텅스텐 와이어가 필요하다. 이 텅스텐 와이어의 끝을 날카롭게 만들기 위해 Fig.2 와 같이 에칭 장치를 준비하였다. 에칭 장비에서 팁 용기의 중심에 텅스텐 와이어를 결합시킨다. 일반적으로 사용되는 텅스텐 에칭 전해물로 NaOH 와 KOH 가 있으며, 본 연구에서는 7.5mol/L KOH 용해를 사용하였다. 그리고 팁과 반대편 전극을 제어기에 연결하여, 와이어의 끝이 전해물과 닿았는가를 LED 신호를 통해 확인한다. 또한, 에칭이 완료되었을 때, 에칭 회로의 전류를 차단할 수 있도록 양극과 음극 사이의 전류를 확인한다. Fig.3 은 텅스텐 팁이 생성되는 과정을 보여준다.

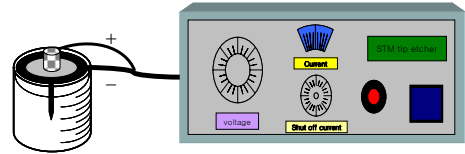


Fig.2. 에칭 생성 장치

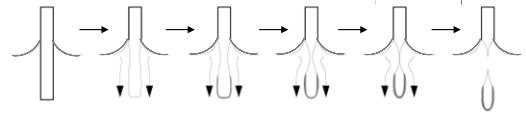


Fig.3. 텅스텐 팁의 생성 과정의 모습

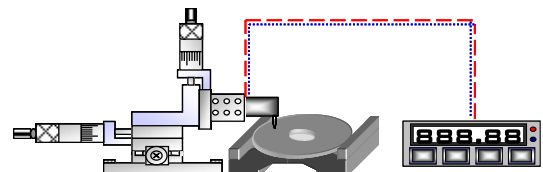


Fig.4. 범퍼 제조 장치

2.3 디스크 범퍼의 제작 및 측정

텅스텐 팁을 사용하여, 디스크 표면에 범퍼를 제작하기 위해 텅스텐 팁을 임의의 힘으로 일정하게 가할 수 있는 Fig.4 와 같은 범퍼 제조 장치를 제작하였다. 이 장비는 5g 와 300g 사이의 힘을 5g 단위로 조절 가능하며, 마이크로 단위로 위치 제어가 가능하다. 이 장치를 사용하여, 10 μ m, 30 μ m 의 곡률 반지름을 가진 텅스텐 끝을 이용해 범퍼를 제작하였다.

Fig.5 는 제작 된 범퍼를 측정하기 위해 사용된 나노 스케너의 출력 화면이다. Fig.5(b)의 2D 형상을 통해 범퍼의 형상에 필요한 변수 값을 측정한다.

Fig.6 과 Fig.7 은 텅스텐 팁의 종류에 따라 힘과 범퍼의 형상의 관계를 나타낸 것이다. 즉, 가해진 하중에 따라 범퍼의 높이와 크기가 선형적으로 비례하고 있음을 나타내고 있다. 이 결과를 이용하여 원하는 범퍼의 높이와 크기를 제작할 수가 있다.

3. 디스크 범퍼의 실험 결과

3.1 실험 방법

실험 셋팅은 Fig.8 과 같이 2.5inch 하드 디스크 드라이브, LDV, 수평 LDV, 그리고 센서로 구성되어 있다. 수직 LDV 는 L/UL 의 시작점과 끝점을 측정하는 트리거로 사용 된다. 수평 LDV 는 액츄에이터의 횡 방향 속도를 측정하며, 속도 분해능은 0.025mm/s/V 를 사용하였다. 그리고 AE 센서는 슬라이더-디스크 충돌 시 발생하는 탄성파의 유무

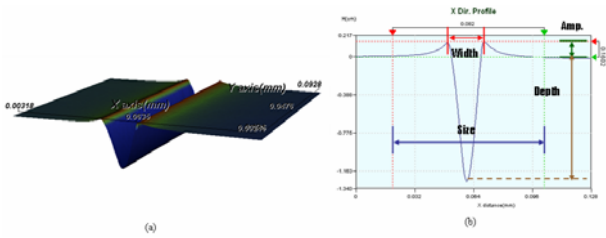


Fig.5. 나노 스캐너의 출력 화면: (a) 측정된 범퍼의 3D 형상 (b) 측정된 범퍼의 2D 형상과 변수 값 측정

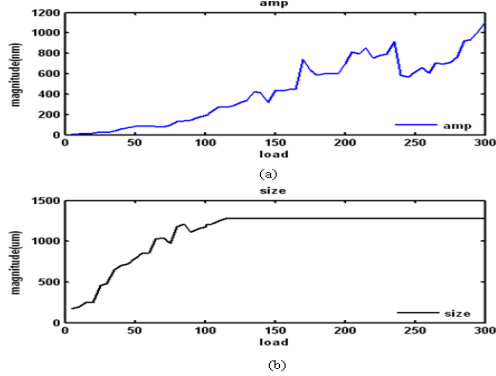


Fig.6. 곡률 반지름 10µm 끝을 사용한 범퍼의 형상: (a) 범퍼의 높이 (b) 범퍼의 크기

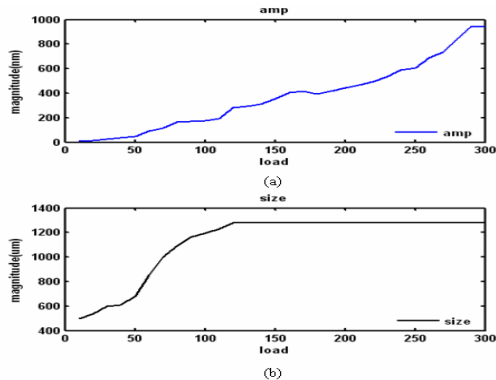


Fig.7. 곡률 반지름 30µm 끝을 사용한 범퍼의 형상: (a) 범퍼의 높이 (b) 범퍼의 크기

를 확인하기 위해 사용한다.

실험 방법은 모터 드라이브를 통해 디스크를 구동하고, 파워 서플라이를 사용하여 슬라이더를 원하는 위치로 움직인다. 언로딩을 위한 지정된 위치에서 전압을 변화시켜 언로드를 수행한다. 이때, 수평 LDV 는 액추에이터의 횡 방향 속도를 측정하게 되며, AE 센서는 트리거 된 AE 신호를 저장하게 된다. 이 AE 신호를 FFT(Fast Fourier Transform) 하여 주파수 분석을 통해 슬라이더-디스크의 충돌 유무를 확인할 수 있다.

3.2 실험 조건

본 실험에서 사용한 HDD 는 삼성전자의 2.5inch 모델이다. 범퍼의 효과를 입증하기 위해서, 범퍼를 생성하지 않은 HDD 와 범퍼를 생성한 HDD 를 대

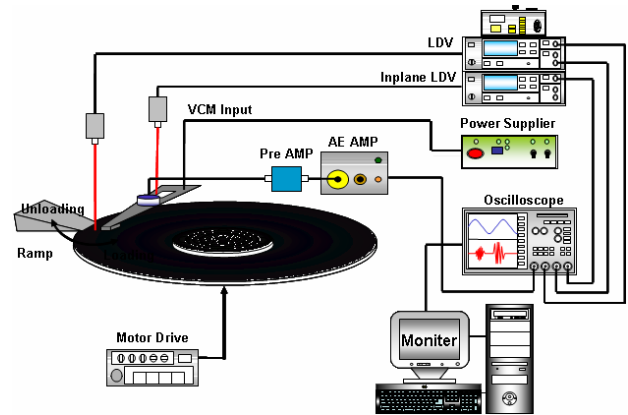


Fig.8 실험 장치의 개략도

상으로 실험하였다.

액추에이터에 350mV, 850mV 의 전압을 인가하여 약 6ips, 19.7ips 의 언로드 횡 방향 속도로 하여 실험을 수행하였다.

이 HDD 의 pemto 슬라이더의 모드는 롤(120kHz), 1 차 피치(146kHz), 2 차 피치(273kHz), 그리고 공기 베어링(235kHz)를 가진다. 슬라이더-디스크의 충돌 측정 방법은 AE 버스트 신호와 조화진동, FFT 를 통한 공기베어링 주파수 조사를 통한 방법이다. 그리고 범퍼의 형상은 앞선 시뮬레이션에서 최적의 결과가 도출되었던 크기 700µm, 높이 1000 nm 를 제작하여 실험하였다. [8]

3.3 실험 결과

Fig.9 와 Fig.10 은 각각 350mV, 850mV 의 전압에 대한 언로드 결과이다.

Fig.9(a)(c)(e)와 Fig.10(a)(c)(e)는 범퍼가 없는 디스크의 언로드에 대한 속도 별 결과이다. Fig.9(a) 와 Fig.10(a)에서 A 부근이 언로드의 시작점이기에 이 부분을 확대하여 나타내면, Fig.9(c)와 Fig.10(c) 와 같다. 슬라이더-디스크 충돌 AE 기준 신호 값은 ±2mV 이상이므로, 두 개의 결과를 보면 둘 다 기준 값 이상으로 신호가 발생함을 알 수가 있다. 즉, 슬라이더-디스크의 충돌이 일어난 것이다. 또한, A 부근에 해당되는 샘플링 시간 0ms~10ms 에서 FFT 를 수행하였다. 각각의 FFT 결과는 Fig.9(e)와 Fig.10(e) 이다. 여기서 Fig.9(e)의 주파수를 보면 롤 모드가 있으며, Fig.10(e)의 주파수에서는 롤과 공기 베어링 모드가 있음을 확인할 수 있다.

Fig.9(b)(d)(f), Fig.10(b)(d)(f)는 범퍼가 생성된 디스크의 언로드에 대한 속도 별 결과이다. Fig.9(b) 와 Fig.10(b)에서 A 부근이 언로드의 시작점이기에 이 부분을 확대하여 나타내면, Fig.9(d)와 Fig.10(d) 와 같다. 슬라이더-디스크 충돌 AE 기준 신호 값

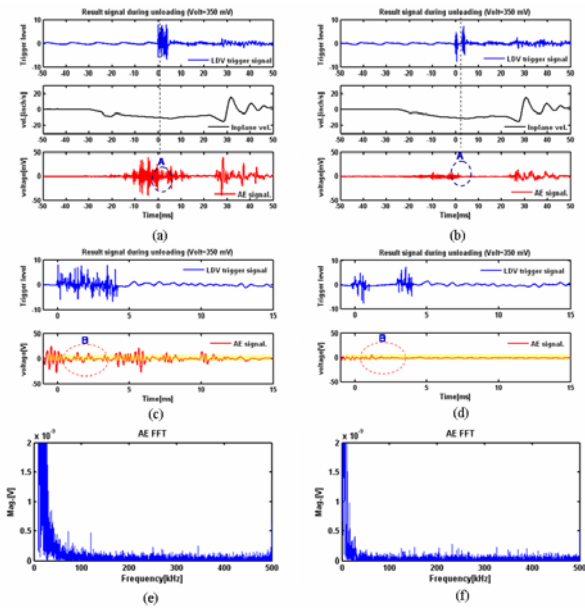


Fig.9. 350mV 를 인가한 언로드 실험 결과: (a) 평평한 디스크에 대한 언로드 결과 (b) 범퍼가 생성된 디스크에 대한 언로드 결과 (c) (a) 그래프에서 A 부근을 확대한 그래프 (d) (b) 그래프에서 A 부근을 확대한 그래프 (e) 평평한 디스크에 대한 FFT 결과 (f) 범퍼가 생성된 디스크에 대한 FFT 결과

은 $\pm 2mV$ 이상이므로, 두 개의 결과를 보면 둘 다 기준 값 이하의 신호가 발생함을 알 수가 있다. 즉, 슬라이더-디스크의 충돌이 없는 것이다. 또한, A 부근에 해당되는 샘플링 시간 0ms ~10ms 에서 FFT 를 수행하였다. 각각의 FFT 결과는 Fig.9(f)와 Fig.10(f) 이다. 여기서 Fig.9(f)의 주파수를 보면 범퍼가 없는 디스크에서 발생한 롤 모드가 없어졌으며, 또한 Fig.10(f)의 주파수에서는 롤과 공기 베어링 모드가 없어졌음을 확인할 수 있다. FFT 의 결과를 통해서 슬라이더-디스크 충돌이 일어나지 않음을 확인할 수 있다.

4. 결론

본 연구의 목적은 언로드 과정에서 슬라이더-디스크의 충돌을 방지하기 위해 범퍼를 도입한 것이다. 기존에 연구된 시뮬레이션 결과를 바탕으로 범퍼를 직접 제작하여 실험을 수행하였다. FFT 결과를 보면, 범퍼의 효과로 인해 범퍼가 없을 때 발생했던 각각의 모드들이 없어졌음을 확인할 수 있었으며, 또한 시간 영역에서 AE 신호 모두 기준 값 이하로 신호가 발생함을 확인할 수 있다.

본 실험은 OGB 영역에 범퍼를 생성하여 실험을 하였으며, 그 결과 언로드 성능이 개선되었으며, 또한 언로드 안전성이 전 보다 더 좋아졌음을 확인하였다.

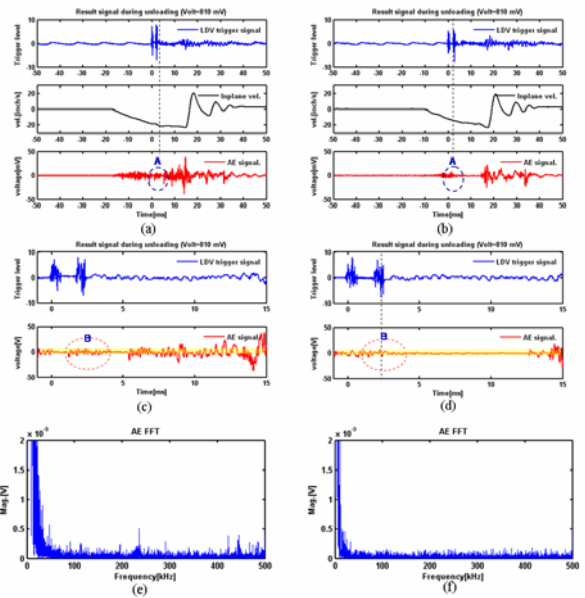


Fig.10. 850mV 를 인가한 언로드 실험 결과: (a) 평평한 디스크에 대한 언로드 결과 (b) 범퍼가 생성된 디스크에 대한 언로드 결과 (c) (a) 그래프에서 A 부근을 확대한 그래프 (d) (b) 그래프에서 A 부근을 확대한 그래프 (e) 평평한 디스크에 대한 FFT 결과 (f) 범퍼가 생성된 디스크에 대한 FFT 결과

후기

본 연구는 연세대학교 대학부설 연구기관인 CISD(Center for Information Storage Device)와 삼성전자의 지원을 받아 수행하였다.

참고문헌

다음의 양식을 참고해서 작성해 주시기 바랍니다.

- (1) T. Yanmada, D.B. Bogy, 1988, "Load-Unload Slider Dynamics in Magnetic Disk Drives", IEEE Trans. Magn. 24(6), pp. 2472~2744.
- (2) D.B. Bogy, Q.H. Zeng, 2000, "Design and Operating Conditions for Reliable Load/Unload Systems", Tribology International 33, pp. 357~356
- (3) D.B. Bogy, Q.H. Zeng, 2000, "Effects of Certain Design Parameters on Load/Unload Performance", IEEE Trans. Magn. 36(1), pp. 140~147
- (4) Stefan Weissner, Frank E. Talke, 2000, "Load/Unload measurements using laser Doppler vibrometry and acoustic emission", Tribology International 33, pp. 367~372
- (5) J. Zhang, G. Sheng, 2003, "Calibration of Sub-10-nm Flying Height Using the Bump Respose", IEEE Trans. Magn. 39(5), pp. 2474~2476
- (6) Y.S. Ma, B. Liu, W.J. Wang, K.D. Ye, 2006, "Slider-bump contact and flying height calibration", Tribology Letters. 23(1), pp. 83~91
- (7) Q.H. Zeng, D.B. Bogy, 2000, "A Simplified 4-DOF Suspension Model for Dynamic Load/Unload Simulation and Its Application", Transactions of the ASME, 122, pp. 274~279
- (8) Yonghyun Lee, Hyungjun Lee, 2007, "Design and Analysis of Disk Bump to Improve the Unloading Performance in Hard Disk Drives", IEEE Trans. Magn. 43(9), pp. 3744~3749