

HDD 에서 언로드 성능향상을 위한 디스크 범프의 설계 및 실험 연구

Design and Experiment investigation of disk bump to improve unload performance in HDD

이형준† · 이용현** · 박경수*** · 박노철* · 박영필**

Hyung-Jun Lee†, Yonghyun Lee*, No-Cheol Park** and Young-Pil Park*

Key Words : Disk bump(디스크 범프), Unload(언로드), Slider-disk contact(슬라이더-디스크 컨택),

ABSTRACT

Load/Unload technology has more benefits than the conventional CSS technology. However, it remains unsolved technical problem 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. This paper focuses on no slider-disk contact. To prevent the slider-disk contact, we apply the disk bump on disk outer edge proceeding unload. Firstly, in the simulation, the bump dimension is determined by changing bump design parameters. Secondly, dynamic stability of slider have to be checked on disk bump before unload analysis, and unload analysis is performed by applying stable bump shapes to unload simulation. Thirdly, we select optimal bump shape to improve unload performance by unload analysis. Finally, in the experiment, the disk bump is mechanically manufactured by pressing disk surface using diamond tip. That is variously processed by changing pressing pressure. After confirming bump shape by nano-scanner, proper bump shape is applied to real experimental unload process. Through this investigation, we propose the optimal bump design to prevent the slider-disk contact, and then we can realize improved unloading performance.

1. 서 론

정보저장장치의 대표격인 하드디스크 드라이브는 높은 기록밀도, 높은 데이터 전송속도, 빠른 접근시간 및 낮은 가격 등으로 인하여 널리 사용되고 있다. 현재 하드디스크 드라이브의 구동 방식은 종전의 CSS(Contact Start Stop) 기술방식에서 진보한 로드/언로드 구동방식을 채택하고 있다. 램프를 디스크 외주 끝에 설치하고 랜딩존을 제거함으로써 기록용량의 증가는 물론 디스크 구동 시 슬라이더-디스크 마찰 및 마모, 비구동시 외부 충격에 의한 슬라이더-디스크간의 충돌을 방지할 수 있게 되었다. 따라서 미디어의 손상을 막고 부드럽고 짧은 언로딩 과정을 구현할 수 있게 되었다. 그러나 언로드 시 슬라이더-디스크간의 충돌현상을 개선 해야 하는 기술적인 문제점이 여전히 존재한다. [1-2]

로드/언로드 시스템은 디스크가 작동하는 동안에는 슬라이더가 디스크 표면에 닿지 않도록 설계

되어야 하지만 실제로는 슬라이더가 로드/언로드 과정 중에 순간적으로 디스크에 충돌하는 경우가 발생한다.

슬라이더가 디스크에서 램프위로 언로드 할 때 슬라이더의 위치와 공기 베어링 압력상태의 변화가 생긴다. 이 같은 변화는 리프트 탭, 덤플, 리미터의 역학 관계에 의해 생기는데, 상태에 따라서 네 단계로 구분한다.[3] 슬라이더-디스크 충돌 관점에서 첫 번째, 언로드 과정 중 리미터가 서스펜션에 걸리게 되면 공기 베어링 힘이 현저하게 커지게 되는데 최대 힘을 리프트오프 힘이라고 한다. 이 힘이 커지게 되면 슬라이더-디스크 충돌 가능성이 커진다. 두 번째, 슬라이더가 상승하면서 덤플과 슬라이더 사이의 충돌로 인하여 슬라이더의 바운딩 현상이 일어나는데, 과도한 리바운드에 의하여 디스크와 충돌이 일어난다.[4-5]

슬라이더 공기 베어링 형상, 서스펜션 설계 변수, 리미터, 램프형상 등을 언로드 성능을 향상시키기 위한 파라미터로 한 연구들이 많이 소개되었다. 본 연구는 디스크 범프의 개념을 도입하여 언로드 과정에서 치명적인, 리바운드에 의한 충돌을 예방하고자 한다. 시뮬레이션에서 언로드 존에 다양한 범프를 적용하고 다이내믹, 언로드 해석을 통하여 최상의 범프형상을 도출한다. 실험과정에서 시뮬레이션에서 도출된 범프형상을 구현하여 실제 언로드실험을 통하여 리바운드에 의한 슬라

† 연세대학교 기계공학과 대학원

E-mail : leehyungjun@yonsei.ac.kr

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

* 연세대학교 정보저장협동과정

** 연세대학교 기계공학과

*** 삼성전자 스토리지사업부

이더-디스크 충돌방지를 입증하도록 한다. [6-7]

2. 슬라이더 언로드 역학

1.1 언로드 과정 해석

Fig 1. 은 서스펜션의 리프트 탭이 언로드하는 과정에서 램프를 따라 상승하는 것을 보여주며, 슬라이더와 리미터, 덤플의 관계에 따라 슬라이더와 서스펜션의 형세에 대하여 보여주고 있다. 상태 1 은 슬라이더가 램프를 타기전의 상태를 보여주고 있다. 상태 2 는 리프트탭이 램프를 타고 진행하고 있고, 상태 3 은 슬라이더와 덤플이 분리되는 모습이다. 상태 4 는 리프트 탭이 계속 상승하면서 서스펜션에 리미터가 걸리는 모습을 보여주고 있는데 이후 슬라이더는 디스크와 완전히 떨어지면서 언로드 된다.

1.2 슬라이더-디스크 충돌 해석 및 대책

언로딩 과정에서 발생하는 슬라이더-디스크 충돌은 리프트오프 힘의 증가로 인하여 발생하는 경우와 슬라이더가 덤플에 부딪힌 후 리바운드 되면서 충돌하는 경우 두 가지로 나눌 수 있다.(Fig. 2. a) 리바운드에 의한 슬라이더-디스크 충돌은 많은 위험성을 내포하는데, 덤플과 슬라이더의 충돌로 인한 과도한 변동은 슬라이더에 많은 손상을 초래할 수 있다. 따라서 리바운딩 충돌을 방지하기 위해서 리바운드 될 때의 슬라이더-디스크 사이의 간격을 늘이는데 초점을 두고 사전에 슬라이더의 상승 높이를 증가 시켜야 한다. 슬라이더와 디스크 사이의 최단 간격을 최소 클리어런스라고 하는데 리바운딩 되기 전의 최대 클리어런스 지점 앞쪽으로 범프를 설치함으로써 슬라이더가 범프를 따라 부드럽게 상승하게 한다. 이 후 슬라이더가 리바운딩을 하게 될 때 슬라이더와 디스크가 이루는 최소 클리어런스는 증가하게 되고 슬라이더-디스크 충돌을 미연에 방지할 수 있다.(Fig. 2. b)

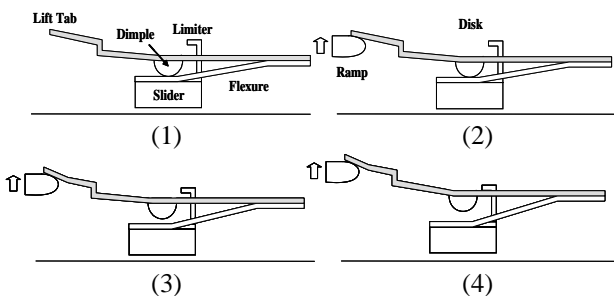


Fig. 1. 언로드에서의 네가지 상태

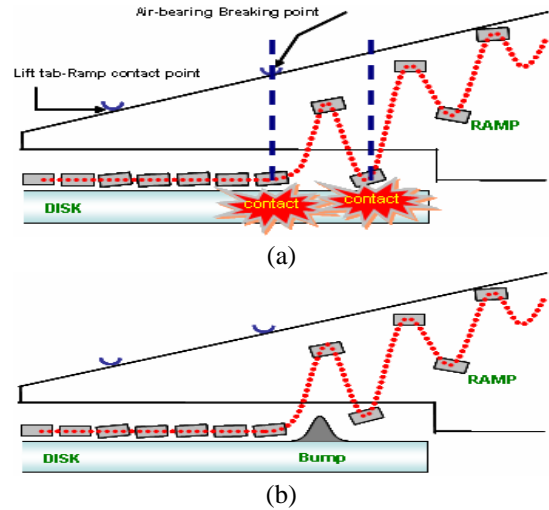


Fig. 2. 언로드 시 발생하는 충돌현상과 범프효과

2. 시뮬레이션

2.1 다이내믹 해석

디스크에 사용될 범프의 크기를 결정하고, 다양한 범프 형상을 슬라이더 다이내믹 환경에 적용하여 범프에 대한 슬라이더의 안정성을 고려한다.

(1) 범프 설계

범프의 설계를 위해 초기 범프 형상을 결정해야 한다. 범프는 사인파형상과 가로 세로 크기와 높이는 초기 $50\mu\text{m} \times 50\mu\text{m}$, 20nm 로 정한다. 범프의 초기 형상이 결정되면 범프의 크기와 높이에 따른 영향을 조사하기 위해 순차적으로 크기 변화를 시도한다. 크기는 $50\mu\text{m}$ 단위로 증가시켜 $1300\mu\text{m}$ 까지 늘이고, 높이는 20nm 씩 증가시켜 200nm 까지 변화하여 다이내믹 해석에 적용한다.

(2) 다이내믹 해석의 주요인자 및 결과

범프가 슬라이더 밑으로 진입할 때 슬라이더는 피치가 증가하면서 상승 높이가 감소하는 현상을 볼 수 있다.(Fig3) 그리고, 범프의 크기와 높이가 증가할수록 슬라이더의 피치가 증가하여 슬라이더의 헤드와 디스크 면과 이루는 거리(I)가 낮아진다. 일정 높이 이상 감소하게 되면 불안정성이 커지게 되면서 슬라이더 디스크 충돌 발생할 가능성이 높아지므로, 제한 높이(4nm)를 맞춰주는 것이 필요하다. 그리고, 슬라이더가 범프 상부에서 최대 상승높이(II)가 되는데 이 높이가 높을수록 우수한 안정성을 보장하게 된다. (I, II)사이의 간격을 상승시간(III)이라고 하는데, 이 상승시간이 짧을수록 언로드 시 빠른 부상을 하게 되어 언로드 성능 향상에 주요 인자로 작용한다.

Fig.4.는 범프의 사이즈를 변화하여 다이내믹

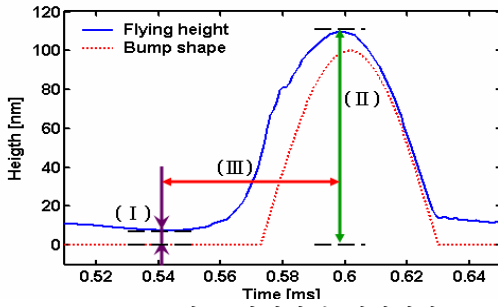


Fig. 3. 범프 다이내믹 해석인자

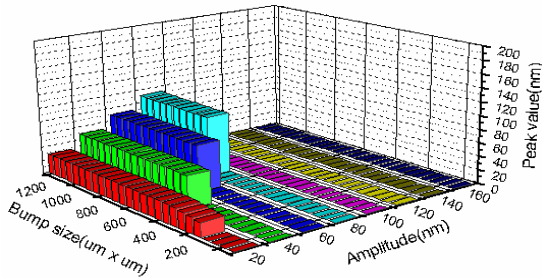
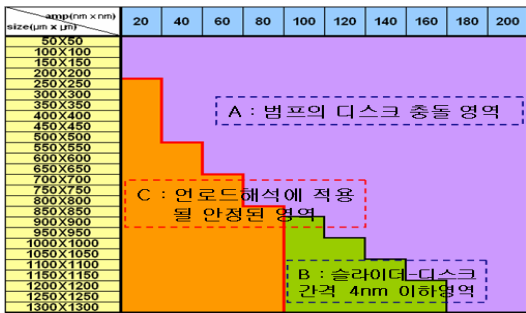


Fig. 4. 범프 다이내믹 해석 결과 및 언로드 해석시 유용한 범프 크기의 구간

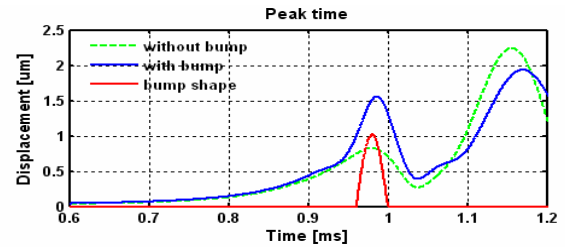
해석을 한 결과를 보여주고 있다. 시뮬레이션 중 슬라이더가 범프와 충돌이 일어난 A 부분을 제외한 범프의 영역에서는 안정성이 확인되었다. 그러나 Fig.3.(I)을 고려하여 B 영역을 배제하고 C 영역을 언로드 해석에 사용하도록 한다. 아래그림은 C 영역에서 Fig.3.(II)를 도식화하였다.

2.2 언로드 해석

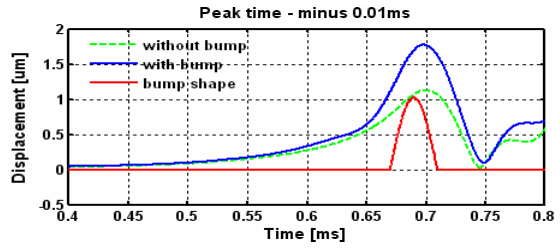
(1) 언로드 과정에서의 범프 형상 적용

다이내믹 해석과정에서 도출된 범프의 사이즈를 언로드 시뮬레이션에 적용할 때에는 범프 높이를 수정할 필요가 있다. 언로드 시 슬라이더는 클리어런스가 서서히 증가하다가 리미터-스프렌션 걸림이 일어난 후 수직방향으로 과도한 클리어런스 증가가 진행된다. 따라서 범프가 적용될 위치(리바운딩 되기 전 최대 클리어런스 앞)에서의 클리어런스 만큼 범프의 높이를 변경해야 한다.

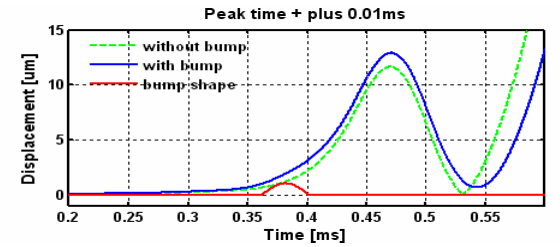
언로드에서 범프 적용의 목적은 슬라이더-디스크 충돌의 발생가능성을 줄이는데 있다. 기존 모



(a)



(b)



(c)

Fig. 5. 최적범프형상을 이용한 슬라이더-슬라이더 비충돌 상황과 충돌 상화에서의 언로드 해석결과 (a)초기 속도 (b)초기속도+1ips (c)초기속도+5ips

델의 경우 언로드시 슬라이더-디스크 충돌이 발생하지 않지만 안정된 언로드 구현을 위해 기존 속도에 범프를 적용하는 것이 필요하다. 또한 슬라이더-디스크 충돌이 발생하는 속도에서는 범프를 적용하여 충돌이 발생하지 않음을 보이는 것이 필요하다.

범프의 위치는 리바운드 되기 전의 최대 클리어런스 지점에 위치하도록 하고, 전후로 몇 개의 구간을 나누어 우수한 성능이 발휘되는 지점을 찾아 성능을 입증한다.

(2) 언로드 해석결과

첫째, 초기속도에서 최대 클리어런스 지점 전후로 여섯 구간에 걸쳐 범프를 적용하였다. 범프 적용 위치마다 리바운드 때의 클리어런스 크기는 틀려졌지만, 최대 클리어런스 위치를 포함하여 앞의 세 구간에서 범프적용 전보다 향상된 결과를 얻을 수 있었다. 둘째, 초기속도보다 추가로 1ips 증가된 언로드 속도에서는 리바운딩 충돌이 발생한다. 초기속도에서와 같은 방법으로 범프를 적용시킨 결과 두 구간에서 클리어런스가 증가하였고, 충돌 발생을 제거할 수 있었다. 셋째, 초기속도보다

5ips 증가된 속도에서는 슬라이더-디스크 충격(리바운딩 충돌)이 1ips 증가시킨 경우보다 크다. 5ips 증가된 경우는 바운딩 전의 최대 클리어런스가 앞선 속도에서의 클리어런스보다 크다. 그리고, 전 속도 영역에서 동일한 범프 형상을 적용하기 위해서 클리어런스 높이가 비슷한 지점에 범프를 위치시켰다. 마찬가지로 구간을 나누어 수행한 결과 네개의 구간에서 클리어런스가 증가하여 충돌현상이 발생하지 않았을 뿐만 아니라 향상도도 아주 높았다.

언로드 구간에서 언로드 높이에 맞추어 범프 사이즈를 수정하였고, 충돌 비충돌 상황에서 시뮬레이션을 수행한 결과 범프의 크기를 도출할 수 있다. 범프 적용으로 충돌 현상이 제거되고, 적용 전보다 성능이 향상된 모델로 범위를 압축하는데, 사이즈가 작을수록 우수한 성능을 발휘하는 것이어야 한다. 종합적으로 가로와 세로가 700 μ m x 700 μ m, 높이가 1000nm의 범프로 결정한다.

3. 실험

3.1 범프 제작(디스크 압입법)

실제 디스크 범프 제작은 실험환경을 고려하여 기계적인 방법으로 제작한다. 디스크 로드/언로드 존 표면에 커터칼로 압입하는 경우 소성변화에 의해 압입부 주위로 수십 마이크로미터 정도의 버어(burr)가 형성된다. 이 압입 흔적의 실험 전후의 변화를 통해 실험 경과에 따른 표면경계의 변화를 조기에 평가하도록 한다.

우선 X-Y-Z 스테이지에 가공공구를 고정하여 디스크 위에서 수직으로 가공할 수 있는 지그를

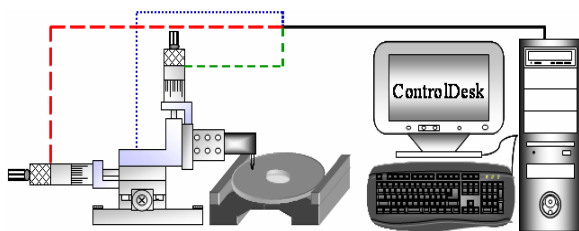


Fig. 6. 범프제작 시스템 구성도

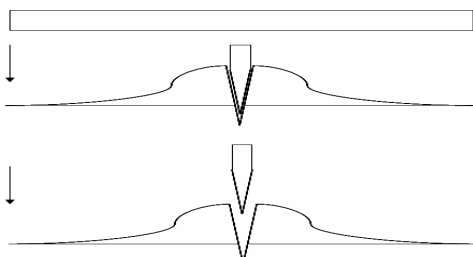


Fig. 7. 디스크 범프제작 공정

제작한다. 이 때 공구고정부위에 로드셀을 연결하고, 실험 중 공구에 힘이 전해질 때 힘의 크기를 잴 수 있는 디지털 인디케이터를 설치한다. 그리고 디스크를 고정할 수 있는 선반을 준비하여 실험환경을 구축한다.

3.2 압흔 디스크 실험

공구 고정지그 끝단에 커터팁을 부착하여 디스크 표면에 압입을 시도한다. 선반 위에 디스크를 올려놓고 X-Y-Z 스테이지로 10 μ m 씩 이송하여 압입 위치를 정할 수 있다. 압입하중은 원하는 값으로 정할 수 있으며 커터팁의 두께를 달리하여 정해진 압입 위치에 범프 가공을 시행한다. 이와 같이 디스크 로드/언로드 존에 범프를 가공하며 범프의 높이 및 크기는 압입 하중을 조절함으로써 조절할 수 있다. 생성된 범프 모델은 나노스케너를 이용하여 3 차원 판독을 거친 후 실제 언로드 실험에 이용한다.

4. 결론

언로드 시 리바운드에 의한 슬라이더-디스크 충돌발생시 언로드 존에 범프형상을 도입하여 다이 나믹, 언로드 시뮬레이션을 수행하였다. 충돌상황에서 비충돌 결과를 구현하였고, 비충돌에서는 언로드 성능향상 또한 증가하였다. 최적범프를 도출하여 실제 기계적 압흔디스크를 제작하였고, 이를 실제 언로드 실험에 적용하여 리바운드에 의한 슬라이더-디스크 충돌발생을 제거하는데 도움을 줄 것이다.

참고문헌

- (1) T. R. Albrecht and F. Sai, March 1999, Load/Unload Technology for Disk Drives, IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 35, No. 2
- (2) M. Suk and T. Albrecht, 2002, "Evolution of Load/Unload Technology", Microsystem Technologies-MEMS, Systems for information Storage & Processing
- (3) T. Hideaki, K. Hidekazu and M. Masaaki, 2001, "Effect of Air-Bearing Design on Slider Dynamics During Unloading Process" IEEE Trans. Magn, vol. 37, No. 4,
- (4) Y. Shinji, S. Weissner, L. Zhou, F.E. Talke, 2005, "Investigation of disk damage caused during load/unload using a surface reflectance analyzer", Tribology International 38
- (5) D.B. Bogy and Q.H. Zeng, 2000, "Design and operating conditions for reliable load/unload systems," Tribology International 33
- (6) Q.H. Zeng and D.B. Bogy, 2000, "Effect of Certain Design Parameters on Load/Unload Performance," IEEE Trans. Magn., vol. 36, No. 11,
- (7) B. Liu and L.Y. Zhu, 2001, "Experimental Study on Head Disk Interaction in Ramp Loading Process," IEEE Trans. Magn., vol. 37, No. 4,