

1 인치 마이크로 드라이브의 동특성 해석

Dynamic Analysis for 1inch micro-drive

황창호*·박경수**·전정일** 박영필*** 박노철****

Chang-Ho Hwang, Kyoung-Su Park, Jung-Il Chun, Young-Pil Park, No-Cheol Park

Key Words : micro-drive, load/unload, slider body mode, lateral speed, ramp profile

ABSTRACT

To solve a problem of micro drive due to small size and portability, it is necessary to understand and to investigate micro drive widely, deeply. So, we performed modal analysis of suspension of micro drive, and load/unload experiment for Input current to VCM coil and disk speed. To determine the effect of ramp profile, curve fitting of lateral speed is performed with equation of speed.

The results indicate that small load/unload speeds decrease the number of head/disk contacts, and during unloading process, low disk speed increase the number of head/disk contacts.

1. 서론

디지털 시대의 도래로 모든 정보들이 디지털화 되고, 이렇게 변환된 정보의 전달 및 저장을 위한 휴대용, 고용량의 정보저장기에 대한 필요성이 증가하고 있다. 이러한 디지털 시대의 발달로 인하여 디지털 카메라, 캠코더, 노트북등의 정보의 저장량 또한 증가하고 있고 이러한 필요성과 욕구를 충족시키기 위해서 많은 노력들이 이루어지고 있다. 이러한 측면은 크게 3 부분에서 연구가 진행되고 있다. 그 하나는 메모리 부분의 발전이고, 다른 부분은 하드디스크, 그리고 나머지는 광저장 장치의 개발이다. 메모리 부분은 많은 기계적 측면에서 장점을 가지고 있고, 데이터 전송속도 또한 큰 장점을 가지고 있다. 그러나 메모리당 가격이 너무 비싸다는 단점을 지니고 있다. 그러므로 고용량의 저장장치에서는 적용하기가 어렵고 광저장 장치는 메모리당 가격이 싸다는 장점을 가지고 있지만, 고용량의 저장장치의 개발에 큰 어려움을 가지고 있고, 기계적인 큰 단점들을 가지고 있기 때문에 휴대용 저장장치에서는 어려움을 가지고 있다. 그래서 현재 이러한 휴대용 고용량의 정보 저장기에 적합한 것은 마이크로 드라이브이다. 이것은 5Gb/in² 정도의 정보 저장능력을 가지고 있음과 더불어 기계적인 측면에서도 광저장장치보다 우수한 면을 보여주고 있다. 또한 가격적인 측면에서도 장점을 가지고 있다.

이러한 1inch 마이크로 드라이브에 대한 연구는 1999 년 IBM 에서 마이크로 드라이브 (Microdrive)라는 이름으로 350MB 용량의 1 인치 하드디스크를 시판하면서 더욱 구체화되었다. 그리고 현재 2003 년도 8 월 경에는 4Gb/in² 이상의 제품을 출시할 예정이다. 그러나 이러한 마이크로 드라이브도 초소형 및 휴대성의 특징 때문에 몇 가지의 문제점을 가지고 있다. 그 중에서 각 부품의 슬림화로 발생하는 기계적 진동문제와 외부 충격에 대한 내충격성의 확보 문제가 중요한 이슈가 되고 있다. HSA(Head Stack Assembly)는 슬림화로 인해 그 두께가 매우 얇아짐으로 기계적 진동이 서보의 고 정밀 위치 결정에 큰 악영향을 미치므로 이의 설계가 중요하다. 그리고 내충격성을 확보하는 방안으로 헤드 슬라이드를 미디어의 외부로 이동시키는 load/unload 방법이 제안되었고 이용되고 있다. 그러나 이 시스템의 구현은 하드디스크 드라이브에 대한 폭 넓은 이해와 심도있는 연구가 수반되어야 한다. 이를 위해 마이크로 드라이브에 사용된 서스펜션의 모달 해석을 수행하여 그 특성을 알아보았고 모든 어셈블리가 부착되어있는 제품자체를 가지고 load/unload 실험을 수행하여 VCM 코일에 가해지는 전류의 크기와 디스크 회전속도의 차이에 따른 디스크와 슬라이드 간의 충돌(contact) 여부를 판별하였다. 그리고 loading/unloading 과정에서 수평방향으로의 크기를 측정하여 ramp profile 이 특성을 살펴보았다. 이는 실험된 값과 시뮬레이션에 의한 값의 curve fitting 에 의해 구하였다.

* 연세대학교 기계공학과 대학원
E-mail : h5c5h2@naver.com
Tel : (02) 2123-4677, Fax : (02) 365-8460

** 연세대학교 기계공학과 대학원

*** 연세대학교 기계공학과 정교수

**** 연세대학교 정보저장 협동 과정 조교수

2. 본론

2.1 Modal Analysis in Unloading

1 인치 마이크로 드라이브 액츄에이터의 동특성을 알아보기 위해서 먼저 서스펜션에 대한 모드 해석을 수행하였다. 실험은 자유상태에서의 서스펜션의 동특성을 0Hz~12.5kHz 까지의 영역에 대해서 수행되었다. 더욱 정확한 모드들에 대한 주파수를 구하기 위해서 각 모드들이 나오는 구간에 대하여 resolution 을 높이는 실험을 하였다. 그러므로, slider-rolling, slider-pitching, 1st 비틀림 모드를 구하기 위해서는 2kHz~3.2kHz 의 주파수 범위에 대해서 periodic chirp 소스에 0.5V 의 가진력으로 베이스를 가진하여 모드를 구하였다. 그리고 1st 굽힘 모드를 구하기 위해서 3kHz~5kHz 의 영역에 대해서 0.6V 의 가진력으로 가진을 하여 FFT 를 구하였다. 마지막으로 고차의 주파수들의 특성을 알아보기 위해서 8~12.5kHz 의 영역에 대해서 1.0V 의 가진력을 사용하여 주파수 응답함수를 구하였다. 이처럼 주파수 범위를 나누고, 가진력을 변화시키는 이유는 고유주파수성분이 존재하는 범위에 대해서 범위를 좁힘으로써 더욱 정확한 resolution 을 가지기 때문이고, 고주파로 갈수록 주파수응답함수의 coherence 를 높이기 위해서는 큰 가진력이 요구되기 때문에 각 범위에 맞는 가진력을 사용하였다. 결과는 아래와 같다.

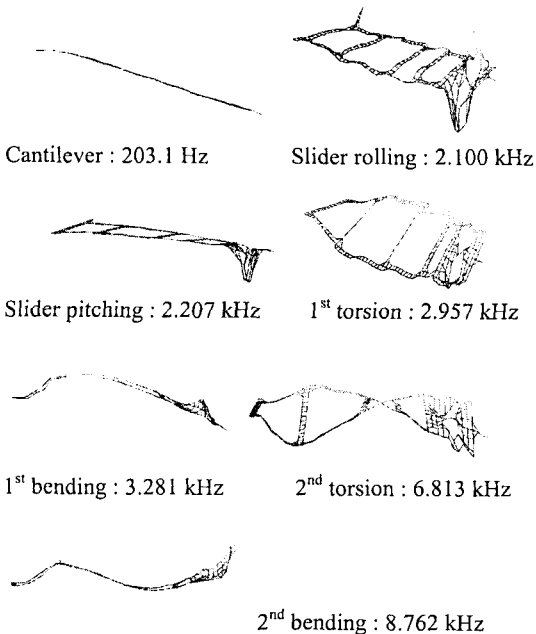


그림 1. Mode shape of IBM suspension

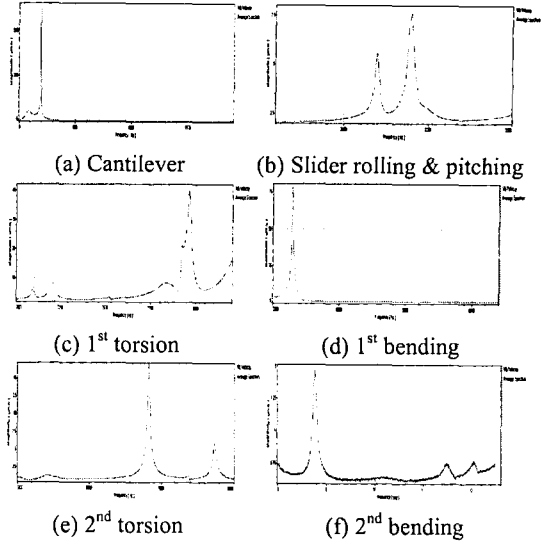


그림 2. FRF of IBM suspension

2.2 Load/Unload Experiment

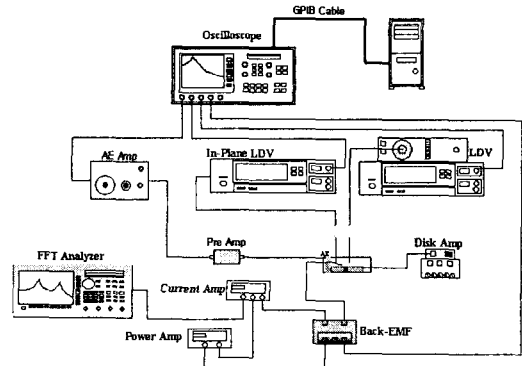


그림 3. Setting of experiment

loading/unloading 과정에 대해 각각 2 가지 측면에서 실험을 수행하였다. 먼저 VCM 코일에 가해지는 전류의 크기를 변화시켜 loading/unloading 속도에 따른 디스크와 슬라이더의 충돌 여부를 실험하였고, 다른 하나는 디스크의 회전속도에 따른 영향을 살펴보았다. 실험의 방법은 다음과 같다. 측정장비로는 그림 3 에서와 같이 LDV(Laser-Doppler Vibrometer), In-Plane LDV, AE(Acoustic Emission) Sensor 를 사용하였다. LDV 는 트리거 신호로써 사용하였는데 LDV 를 램프가 끝나는 지점의 디스크 위의 슬라이드가 지나가는 곳에 위치시켰다. In-Plane LDV 는 슬라이드의 수평방향으로의 속도를 측정하기 위해 사용하였다. 측정위치는 피벗 베어링(pivot bearing) 에서 슬라이드 쪽으로 약간 이동

된 서스펜션의 베이스 블록(base-block) 위이다. 슬라이더가 플렉서에 붙어서 측방향으로 거의 움직이지 않으므로, 서스펜션의 속도가 슬라이더의 속도라는 가정을 하였다. 여기서 측정된 값을 이용하여 이 위치와 탭까지의 위치의 비를 이용하여 그 값을 구하였다.

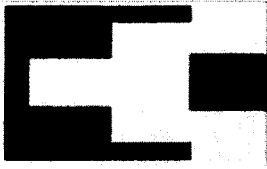


그림 4. 3pad pico-negative slider for load/unload

그림 4 는 마이크로 드라이브에 사용되는 3 개의 패드를 가지면 중앙에 음압을 발생시키는 load/unload 용 슬라이더의 형상이다.

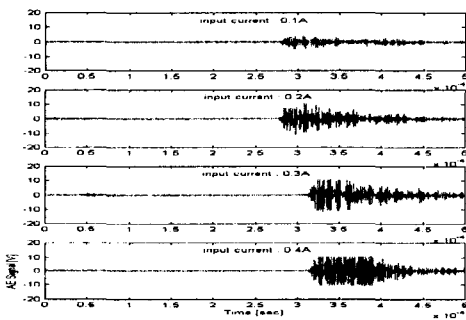


그림 5. AE signal for loading vs. input current

그림 5 는 VCM 코일에 가해지는 전류의 크기에 따라서 loading 과정에서 측정된 AE 시그널이다. 그림 6 은 디스크의 속력에 따라서 unloading 과정에서 측정된 AE 시그널이다. 그림 5 에서 보는 것과 같이 VCM 에 가해지는 전압의 크기 즉 전류의 세기가 커져 빠르게 loading 이 되는 경우에 AE 피크(peak)가 더 큰 값을 보여주고 있다. 이는 이러한 경우에 슬라이더와 디스크 사이의 충돌에 의한 경우도 있고, 빠른 loading 시에 덤플(dimple)과 로드빔(load beam)사이에 작용하는 마찰력이 커져 보여지는 경우도 있다. 이를 식별하기 위해서 이번 실험에서 사용된 방법은 각 경우에 대해서 슬라이더와 디스크의 충돌시 발생하는 슬라이더 바디(body) 주파수의 검출을 통해서 이루어졌다. 그러나 이러한 load/unload 실험이 반복성이 떨어지는 관계로 이를 통계적 분석에 의해서 접근하였다.

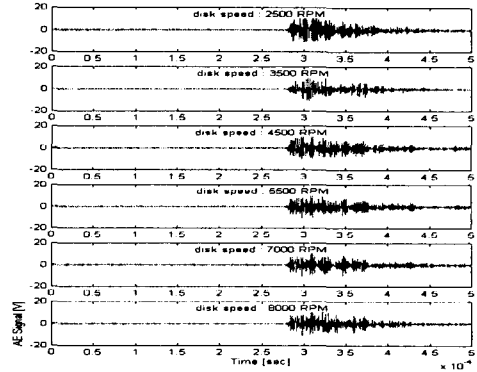


그림 6. AE signal for unloading vs. disk speed

그림 7 은 loading 과정에서 VCM 코일에 가해지는 전류의 크기에 따라 총 9 가지의 종류에 대해 40 번의 반복 실험을 한 결과이다. 각각의 시그널에 대해 주파수 분석을 하여 그림 12 와 같은 슬라이드 모드 중 하나인 비틀림 모드가 나타나는지를 가지고 충돌 여부를 판단하여 나타낸 그래프이다. 코일에 가해지는 전류의 세기가 증가함에 따라 수평방향으로의 loading 속력이 증가하게 되어 충돌이 일어날 확률도 높아지게 된다. 그림에서 0.45A 이상에서는 100% 충돌이 일어남을 알 수 있다.

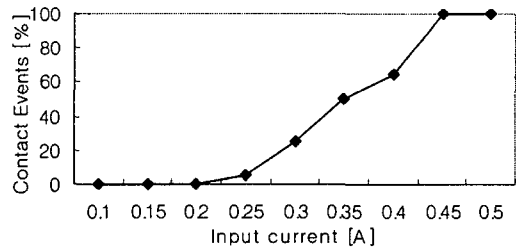


그림 7. Contact events during loading vs. input current

그림 8 은 디스크 속력에 따른 충돌이 일어날 확률을 보여주고 있다. 디스크 속력이 증가함에 따라 충돌이 일어날 확률도 약간씩 증가함을 알 수 있다. 이는 디스크의 속도가 적음에 따라서 loading 시에 슬라이더의 공기유동이 안정되게 형성됨을 보여준다. 그래서 loading 특성에 대해서는 디스크의 속도가 적은 경우가 유리함을 보여주고 있다.

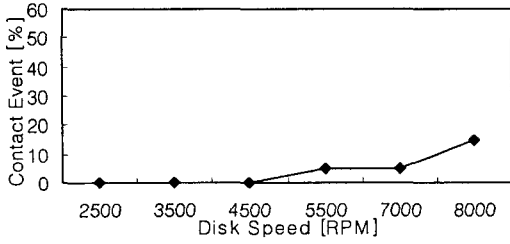


그림 8. Contact events during loading vs. disk speed

Unloading 과정에 대해서는 좀더 세밀한 결과를 얻기 위하여 head slap 이 일어나는 동안의 시그널에 대하여 적분을 통하여 에너지 값을 구하였다. 그림 9 는 디스크의 회전 속력에 따른 AE 시그널의 전압 값을 적분한 결과를 보여주고 있고 그림 10 은 코일에 가해지는 전류의 크기에 따른 결과를 보여주고 있다. 각각 50 번씩 실험을 하여 그 평균값을 보여주고 있다. 디스크의 회전속력의 증가에 따라 그 값이 크게 감소함을 알 수 있다. 그리고 코일에 가해지는 전류의 크기가 증가함에 따라 그 값은 크게 증가함을 알 수 있다. 이는 디스크의 속도가 증가함으로써 슬라이더는 더욱 안정된 unloading 특성을 보여주고 있음을 보여주고 있다.

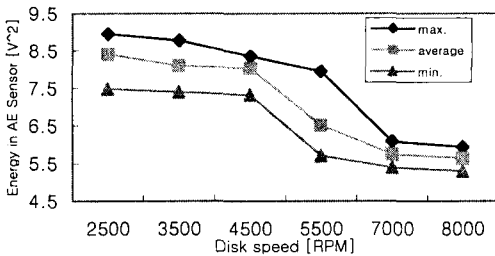


그림 9. AE energy during unloading vs. disk speed

그림 10 은 4500rpm 으로 회전하고 있는 디스크에 VCM 의 수평, 수직방향의 속도를 증가시킴에 따라서 나타나는 특성을 보여주는 그래프이다. 그림에서 보는 바와 같이 빠르게 unloading 을 시키는 경우에는 슬라이더와 디스크의 충돌 또는 덤플과 로드빔에 작용하는 마찰력의 결과로 큰 피크가 보여짐을 알 수 있다. 이는 슬라이더와 디스크 그리고 서스펜션의 측면에서 악영향을 주는 부분이므로, 이에 대해서는 적절한 속도 형상의 선택이 필요하다.

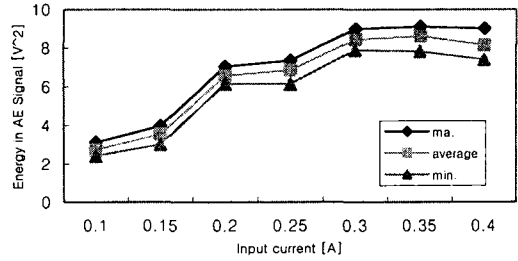


그림 10. AE energy during unloading vs. input current

그림 11 은 슬라이더와 디스크 사이에 충돌이 발생하였을 때의 주파수 해석의 결과를 보여주고 있다. 그림 12 는 FEM 해석에 의해서 구해진 IBM 슬라이드의 비틀림 모드의 값은 약 1.27MHz 정도 이고, 이것과 그림 11 에서 구해진 주파수 피크와 일치하는 것을 볼 수 있다. 따라서 이 주파수 값이 슬라이더가 디스크와 충돌을 함으로써 강제인 슬라이더가 가진되어 나타나는 모드로 간주할 수 있고, 이는 디스크와 슬라이더가 충돌했음을 보여주는 좋은 기준이 된다.

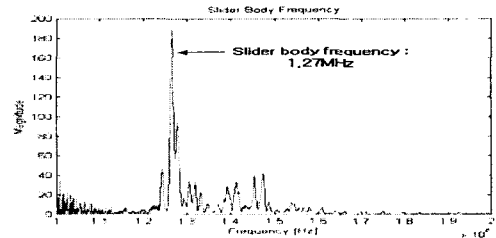


그림 11. Slider body frequencies for loading



그림 12. IBM Slider torsion mode (1.27MHz)

2.3 Ramp characteristic

2.3.1 simulation

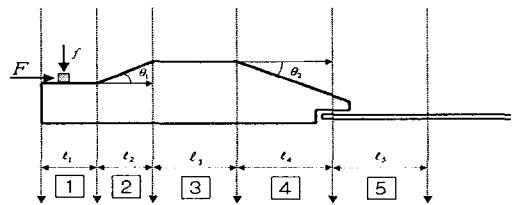


그림 13. ramp profile

램프의 높이는 램프와 디스크 사이의 공간의 크기이다. 이 램프의 높이가 load/unload 과정에서 어떤 영향을 주는지에 대해 알아 보기 위해 그림 13 과 같이 총 5 단계로 나누어서 생각하였다. 여기서 F 는 VCM 코일에 의해 발생하는 힘이고 f 는 서스펜션과 탭의 수직 강성에 의해 발생하는 힘이다. 그리고 k 는 서스펜션의 수직 강성이다. 그 결과는 다음과 같다.

수평방향으로의 전체 힘 :

1st step :

$$F_{total} = F - f\mu$$

$$f = (h_1 + 0.00152)k$$

2nd step :

$$F_{total} = \cos \theta_1 [F \cos \theta_1 - f \sin \theta_1 - (F \sin \theta_1 + f \cos \theta_1)\mu]$$

$$f = (h_1 + 0.00152 + l \tan \theta_1)k$$

3rd step :

$$F_{total} = F - f\mu$$

$$f = (h_1 + h_2 + 0.00152)k$$

4th step :

$$F_{total} = \cos \theta_2 [F \cos \theta_2 + f \sin \theta_2 - (F \sin \theta_2 - f \cos \theta_2)\mu]$$

$$f = (h_1 + h_2 + 0.00152 - l \tan \theta_2)k$$

5th step :

$$F_{total} = F$$

표 1. Parameter value

| | | | |
|------------------|---------|-------------------|-----------|
| Length l_1 [m] | 0.00074 | Mass m [kg] | 5.9387e-6 |
| Length l_2 [m] | 0.00044 | Force F [N] | 4.9365e-2 |
| Length l_3 [m] | 0.00173 | Stiffness k [N/m] | 9.6711 |
| Length l_4 [m] | 0.00103 | Height h_1 [m] | 0.00033 |
| Length l_5 [m] | 0.00296 | Height h_2 [m] | 0.0001515 |

2.3.2 Experiment

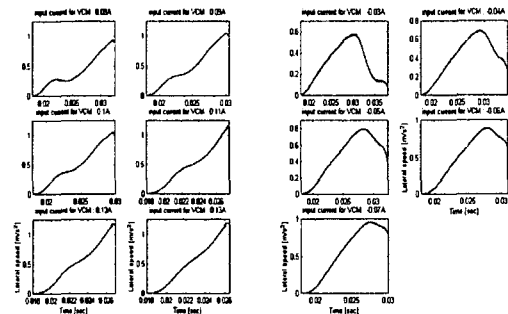


그림 14. Lateral speed during loading & unloading

그림 14 는 in-plane LDV 에 의해 측정된 수평방향으로의 속도이다. 그림에서 보면 중간에 한번 가속도의 크기가 많이 작아지는 경우가 있다. 이것은 그림 13 에서 3 번째 단계에 해당된다. 이 단계에서는 서스펜션의 수직강성 k 의 값이 최대가 되는 지점이기 때문에 큰 마찰력이 작용하게 된다. 그 결과로 가속도의 크기가 작아 지게 된다. 하지만 코일에 가해지는 전류의 세기가 커지면 마찰력의 증가 값의 영향을 받지 않을 것이다.

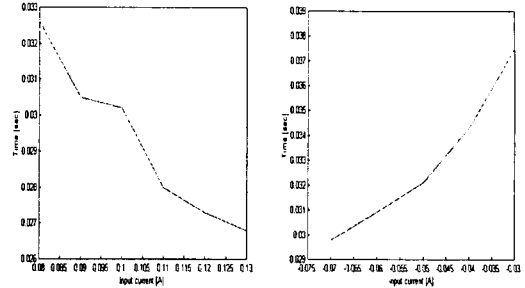


그림 15. Loading & unloading time

그림 15 는 loading/unloading time 을 나타내고 있다. 코일에 가해지는 전류의 크기가 증가함에 따라 loading/unloading 시간이 짧아짐을 알 수 있다.

2.3.3 curve fitting

그림 14 에서의 결과 중 가해지는 전류가 0.1A 일 때의 loading 과정에서의 속도그래프를 총 4 단계로 나누어 curve fitting 을 실시하였다. 그 결과 다음과 같은 각 단계에서의 기울기 값을 구 할 수 있었다. 그림에서 알 수 있듯이 가속도의 크기는 시간의 함수로서 비선형이지만 여기서는 각각의 단계에서의 가속도의 크기를 일정한 값으로 가정하였다.

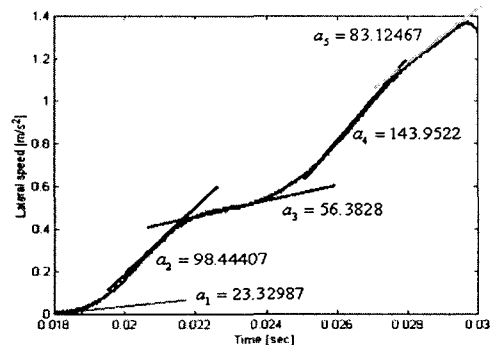


그림 16 curve fitting

3. 결론

마이크로 드라이브의 초소형 및 휴대성의 특징 때문에 발생하는 문제점을 해결하기 위해서는 마이크로 드라이브에 대한 폭 넓은 이해와 심도있는 연구가 수반되어야 한다. 이를 위해 먼저 마이크로 드라이브에 사용된 서스펜션의 모달 해석을 수행하였다. 그리고 VCM 코일에 가해지는 전류의 크기와 디스크의 회전속도에 따른 load/unload 과정에서의 디스크와 슬라이더의 충돌 여부를 실험적으로 구하였다. Loading 과정에서는 가해지는 전류의 세기가 클수록 그리고 디스크의 회전속력이 높을수록 충돌이 발생할 확률이 높았고 unloading 과정에서는 가해지는 전류의 세기가 클수록 그리고 디스크의 회전속력이 낮을수록 에너지가 더 크게 나타났다. 마지막으로 램프형상의 특성을 살펴보기 위하여 수평 방향으로의 속력을 램프형상과 연결하여 그 속력을 수식으로 풀어 보았다.

후 기

본 연구는 과학재단 지정 정보저장기기 연구센터의 지원 (R11-19997-042-11001-0)을 받아 이루어졌으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

(1) T. G. Jeong and D. B. Bogy, 1991, "Measurements of slider-disk contacts during dynamic load-unload", IEEE Transaction on magnetics, ,Vol. 278, No. 6, pp. 5073-5075

(2) P. G. Levi and F. E. Talke, 1992, "Load/Unload Investigations on a Rotary Actuator Disk Drive", IEEE Transaction on magnetics, Vol. 28, No. 5, pp. 2877-2879

(3) T. G. Jeong, D. B. Bogy, 1992, "An Experimental Study of the Parameters That Determine Slider-Disk Contacts During Dynamic Load-Unload", Journal of Tribology, Vol. 114, pp. 507-514

(4) T. C. Fu and D. B. Bogy, 1994, "Slider Vibration Induced by Ramp-Suspension Interaction During the Ramp Loading Process". IEEE Transaction on magnetics, Vol. 30, No. 6, pp. 4170-4172

(5) Q. H. Zeng, D. B. Bogy, 1999, " Stiffness and Damping Evaluation of Air-Bearing Sliders and New Designs with High Damping ", Journal of Tribology, Vol. 121, pp. 341-346

(6) Q. H. Zeng, Mark Chapin, and D. B. Bogy, 2000 " A force identification method for slider/disk contact force measurement", IEEE Transaction on magnetics, , Vol. 36, No. 5, pp. 2667-2670

(7) S. Weissner, F. E. Talke, 2000, "Load/unload measurements using laser Doppler vibrometry and acoustic emission", Tribology International 33, pp. 367-372

(8) G. Sheng, Q. Chen, W. Hua and B. Liu, 2001, " An Experimental study of dimple separations and head-disk impacts of negative pressure slider in unload process", IEEE Transaction on magnetics, Vol. 37, No. 4, pp. 1859-1862

(9) S. Tambe, B. Bhushan, 2002, " Effect of load/unload process on friction/stiction and durability of head-disk interface", Microsystem Technologies, pp. 409-418

(10) J. R. Yaeger, B. Hiller, 2002 " Ramp loading sweet spots", Microsystem Technologies, , pp. 41-46