

근 접촉 영역에서 부상중인 슬라이더의 Touch-Down 특성의 실험적 해석

Experimental investigation of TD characteristics of a flying head slider in the near-contact region

이용은*, 이상직**, 임건엽***, 박경수†

Yong-Eun Lee, Sangjik Lee, Geonyup Lim and Kyoung-Su Park

(2011 년 8 월 8 일 접수; 2011 년 9 월 6 일 심사완료; 2011 년 9 월 23 일 게재확정)

Abstract

Head Disk Interface (HDI) in a Hard Disk Drive (HDD) has decreased to achieve high areal density. Thus, the contact between a slider and a disk becomes more important. The contact between the slider and the disk can cause severe wear and damage of both the slider and the disk. Especially, Touch Down (TD) that the contact occurs continuously and repeatedly is extremely dangerous. Therefore, it is necessary to analyze the unstable bouncing vibration of the slider in head-disk interface. In this paper, we investigate the characteristic and causes of the Touch Down.

Key Words : Nanotribology, head disk interface, touch-down, slider dynamics, asperity contact, unstable bouncing vibration

1. 서론

하드디스크는 다른 저장 장치에 비해 뛰어난 기록밀도와 가격경쟁력 때문에 현재 가장 널리 사용되고 있는 정보저장기기이다. 높은 기록밀도를 위해서 하드디스크는 디스크의 고속회전으로 인해 발생하는 공기의 유동과 슬라이더의 표면형상을 이용하여 부상높이를 줄여나가고 있다. 디스크의 고속회전으로 인해 공기 부상력이 발생하는데 헤드는 이 부상력을 이용하여 디스크와 헤드 사이의 거리를 2nm 로 유지하면서 기록 및 재생을 담당한다. 슬라이더의 부상높이는 나노 단위의 매우 작은

거리로써 이러한 작은 공간에서 운동하는 시스템은 나노 단위에서 적용되는 다양한 힘의 영향을 받는다. 그 힘으로는 intermolecular force, meniscus force, eletro-static force 등이 있다. 또한 공기 부상력은 슬라이더와 디스크 사이의 거리에 반비례하며 비선형적 특징을 가지고 있기 때문에, 헤드의 동특성 또한 다양한 비선형적 특징을 가지게 된다. 이러한 헤드는 종종 디스크와 충돌을 하게 되는데 간헐적인 충돌인 contact 의 경우는 단순히 몇 개의 데이터에 문제를 발생시킬 수 있지만 그림 1 과 같이 touchdown(TD)이라고 말하는 TD 현상은 한번 발생하면 계속적인 충돌이 발생하는 현상으로 이러한 TD 가 발생하게 되면 기존에 저장되어 있던 데이터에 큰 피해를 주게 된다. 그래서 이에 대한 다양한 연구가 하드디스크 연구분야에서는 많이 진행되고 있다[1-5]. 그러나 이러한 TD 에서 발생하는 비선형적 특성들에 대해서 다양한 연구가 진행되어 왔지만, 아직도 TD 시에 발생하는 비선형적 특성의 원인에 대한 규명에는

† 연세대학교 기계공학부

E-mail : pks6348@yonsei.ac.kr

TEL : (02)2123-4677

* 한국항공우주연구원

** 현대 케피코

*** 연세대학교 기계공학부

분명한 답을 기대하기 어렵다. Boggy *et al.* 등은 TD 발생시 나타나는 비선형적 특징중에 하나인 super-harmonic vibration의 발생 원인으로 공기부상력 (air-bearing force)의 비선형성을 들었다[1]. 또한 이에 대한 다양한 시뮬레이션을 통해 파라미터 연구를 수행하였다. 그러나 Ono *et al.*은 이에 대한 원인으로 contact 및 meniscus에 의한 영향으로 규정하였으며, 이러한 영향에 대해서 실험과 시뮬레이션을 통하여 검증하였다[2,3]. 그러나 이러한 두 연구집단의 연구에도 불구하고 아직도 그 원인에 대한 확실한 규명이 이루어지지 않고 있다. 이에 본 연구에서는 TD 발생시의 비선형적 특징의 원인규명을 다양한 실험을 통하여 규명하였고, 이러한 TD의 2 자유도모델링을 통하여 다양한 원인에 대한 TD 특성을 분석하였다.

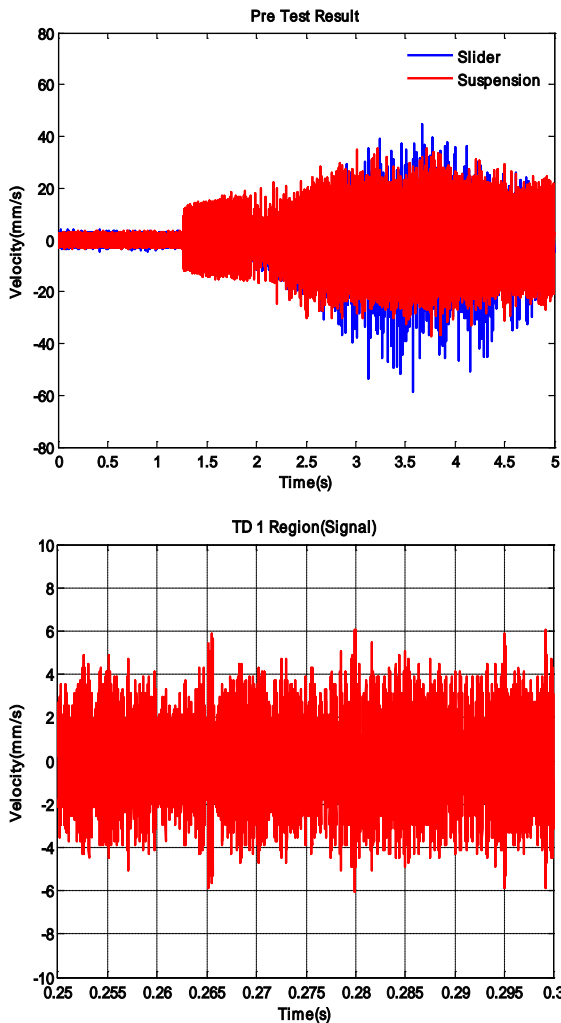
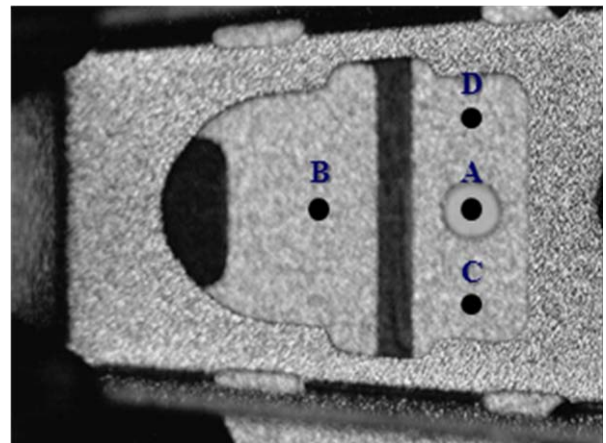
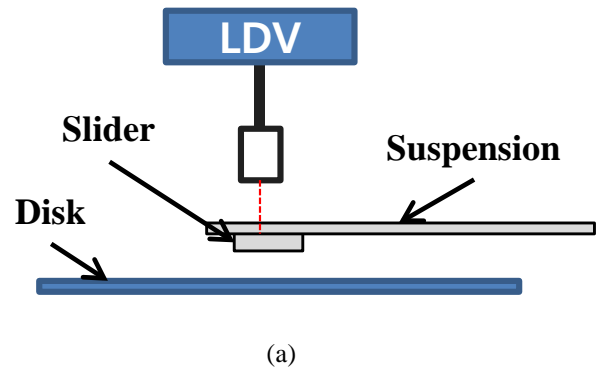


Fig. 1 Typical TD phenomenon

2. Touch-Down 원인

그림 2는 TD 발생시 slider의 거동을 측정하기 위한 실험 셋팅과 TD시 발생하는 비선형 진동이 어떤 특성을 가지고 있는지를 확인하기 위한 Laser Doppler Vibrometer (LDV)의 측정 위치를 나타낸다. 그림 2(b)와 같이 A,B,C,D 위치의 신호를 이용하여 roll, pitch와 같은 slider의 동특성을 측정할 수 있다. 측정결과, 그림 3에서 보는 것과 같이 A와 B 두 지점에서의 위상은 거의 동일하며, 크기는 A에서 약 50nm, B에서 22nm로 약 2배정도 차이가 발생하는 것을 측정하였고 이를 통해 헤드가 leading edge 부근을 기준으로 pitch 운동을 하는 것을 알 수 있다. 공기 부상력에 의해 발생하는 이러한 운동의 고유주파수는 약 200kHz가 넘는다[1,3]. 즉, 공기 부상력은 50~70kHz에서 발생하는 TD의 비선형특성에 영향을 주지 않는다는 것을 알 수 있다. 또한 그림 4에서 보는 것과 같이 C점과 D점의 크기는 40~60nm로 거의 동일하며 위상차이 또한



(b)

Fig. 2 TD measurement; (a)experiment setup, (b)LDV point

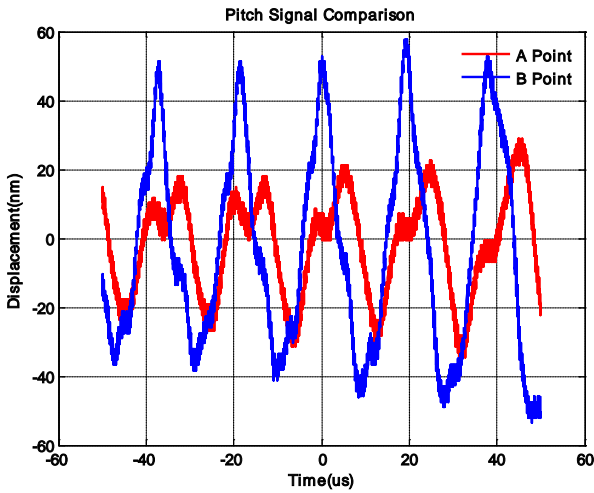


Fig. 3 Signal of slider(pitch angle)

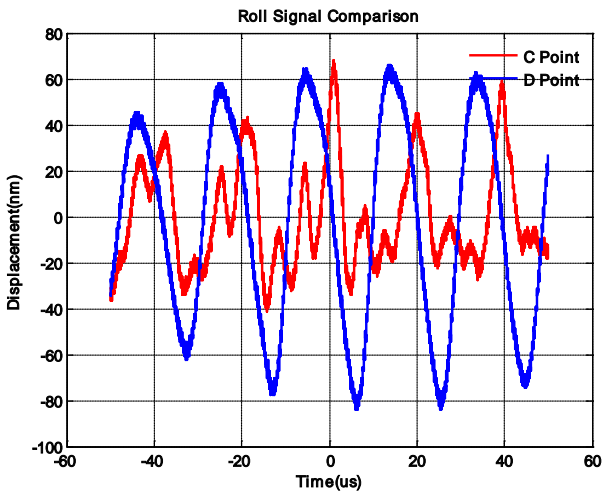


Fig. 4 Signal of slider(roll angle)

같은 특성을 가지고 운동하기 때문에 TD 시 발생하는 운동은 단순한 pitch 운동으로 볼 수 있다.

2.1 Disk effect 및 lube effect

공기 부상력은 디스크의 회전에 의해 발생하는 공기유동의 속도에 비례하여 증가하게 된다. 앞서 언급한 것처럼 TD 시에 발생하는 super-harmonic vibration 특성이 공기 부상력의 비선형성에 의한 것인지를 파악하기 위해서 디스크의 선속도를 변화시켜 실험을 하였다. 선속도가 약 2 배정도 되는 3.5inch disk, 5400rpm 의 Outer Disk(OD)와 2.5inch disk, 5400rpm 의 OD 에서 TD 실험을 수행하였다. 각 디스크 OD 에서의 선속도는 12.1m/s, 26.6m/s 이다. 또한, 서로 동일한 공기

부상력을 얻기 위하여 그림 5와 같은 동일한 디자인의 ABS 와 서스펜션을 사용하였다.

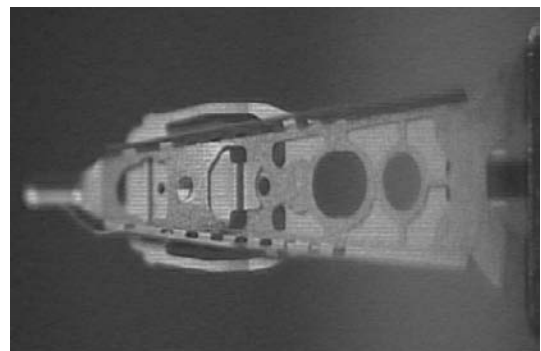
선속도에 변화를 주기 위하여 그림 6의 (a), (b)에서 보는 것과 같이 Inner Disk(ID), Middle Disk(MD), OD 의 서로 다른 위치에서 실험을 수행하였다. 그 결과 ID, MD, OD 와 같이 선속도가 변함에 따라 super-harmonic fundamental 주파수의 변화는 거의 없었다. 또한, 3.5inch 와 2.5inch 의 lubricant 특성이 크게 다른 것을 이용하여 TD 의 영향에 대하여 알아보았다. 이를 통해, 역시 영향이 거의 없는 것으로 확인하였다.

2.2 Preload 영향

Preload 의 변화에 따른 TD 특성 변화에 대한 실험을 수행하였다. 이는 앞선 실험결과에서 부상높이에 따른 TD 특성 변화에 대한 영향이 거의 없는 것을 바탕으로 이번엔 preload 의



(a)



(b)

Fig. 5 HGA; (a)slider ABS, (b)suspension

변화에 따른 TD 시의 contact force 의 영향을 알아보고자 실험을 수행하였다[2]. 그림 7 은 그 실험결과를 보여준다. 3.5inch disk 실험에서는 preload 를 2.0g-2.6g 로 증가시키면서 실험을 수행하였고, 2.5inch disk 실험에서는 2.2g-2.3g 로

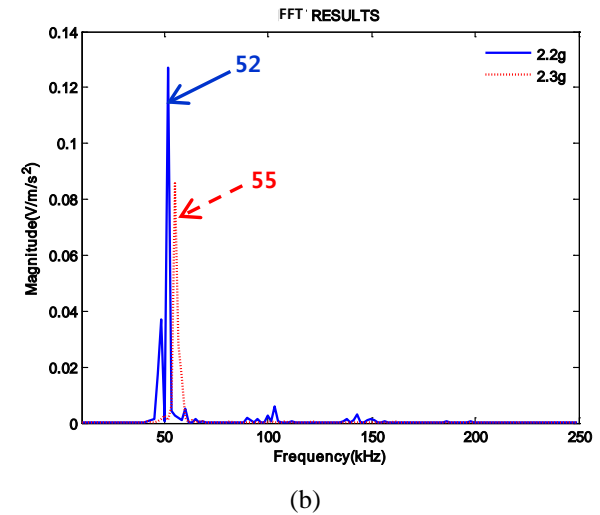
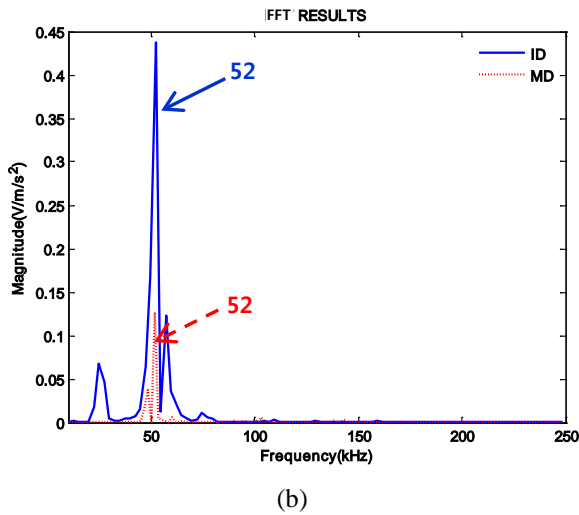
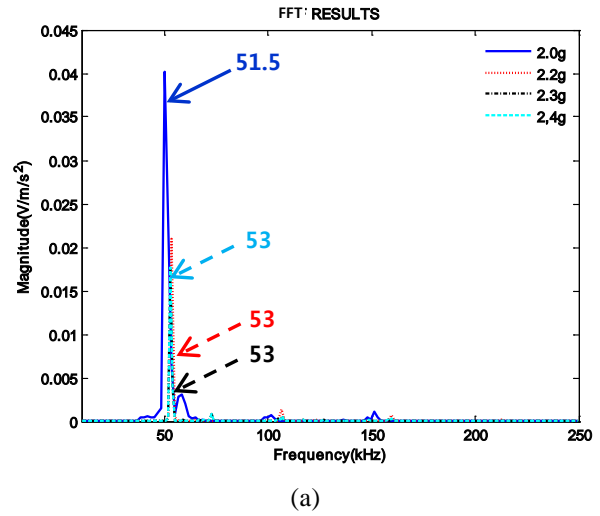
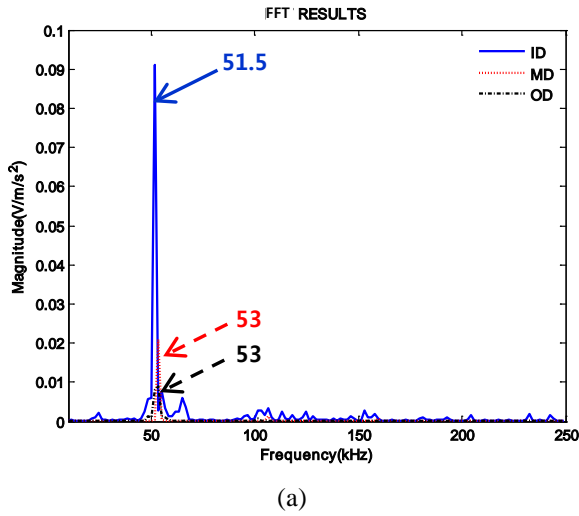


Fig. 6 Superharmonic frequency(disk);
(a)3.5inch disk, (b)2.5inch disk

Fig. 7 Superharmonic frequency(preload);
(a)3.5inch, (b)2.5inch

증가시키면서 실험을 수행하였다. 실험 결과 그림 7 에서 보는 것과 같이 preload 가 변화할수록 TD 시의 super-harmonic fundamental 주파수가 3.5inch disk 에서 51.5kHz 에서 53kHz 로 2.5inch disk 에서 52kHz 에서 55kHz 로 변화하는 것을 볼 수 있다. 이는 contact 특성이 TD 의 비선형에 영향을 주는 인자임을 보여주는 것이다.

결과 disk 의 선속도와 lubricant 는 주파수변화에 영향을 주지 않으며 TD 시에 발생하는 비선형적 특성의 원인이 되지 않는다는 것을 확인하였다. 하지만 preload 가 변화됨에 따라 주파수변화에 영향을 주며 이로 인해 TD 의 비선형적 특성의 영향을 주는 인자임을 확인하였다.

3. 결론

본 논문에서는 TD 시에 발생하는 비선형적 특성의 원인에 대해 알아보았다. Disk 의 선속도, disk lubricant, preload 에 대해 super-harmonic fundamental 주파수의 변화를 알아보았다. 실험한

참고문헌

[1] Brian H. Thornton and David B. Bogy, 2003, "Nonlinear Aspects of Air-Bearing Modeling and Dynamic Spacing Modulation in Sub-5-nm Air Bearings for Hard Disk Drives", IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS, Vol. 39, NO.2,

pp.722- 728

- [2] Kyosuke One, Masami Yamane, 2007, "Improved Analysis of Unstable Bouncing Vibration and Stabilizing Design of Flying Head Slider in Near-Contact Region", Journal of Tribology, Vol.129, pp.65-74
- [3] Kyosuke One, Masami Yamane, 2007, "Experimental and Theoretical Investigation of Bouncing Vibrations of a Flying Head Slider in the Near-Contact Region", Journal of Tribology, Vol.129, pp.246-255
- [4] K.Iida, K. Ono, 2003, "Design Consideration of Contact Near Contact Sliders Based on a Rough Surface Contact Model", Transactions of the ASME, Vol.125, pp.562-570
- [5] A. Khurshudov, P. Ivett, 2003, "Head-disk contact detection in the hard-disk drives", Wear, Vol.255, pp.1314-1322