

하드 디스크 드라이브 비 동작 충격 시에 내부 파트들의 동 특성에 대한 연구

A study on dynamic behavior of inner parts with non-operational shock in hard disk drive

최용호*, 최종학**, 임건엽**, 서준호**, 박노철†

Yong-ho Choi, Jonghak Choi, Gun-yeop Lim, Junho Seo and No-cheol Park

(2013년 9월 13일 접수; 2013년 9월 16일 심사완료; 2013년 9월 22일 게재확정)

Abstract

Nowadays, function related to anti-vibration and anti-shock of storage devices is required because of portability. Therefore, many hard disk drive (HDD) studies about external shock and vibration have been performed. Especially, many studies are performed with non-operational shock. Most studies have used the fixed condition between spindle system and base when they wanted to analyze dynamic behavior of inner parts in simulation. But spindle system has actually stiffness and damping coefficient. Maybe difference of value would be happened between fixed condition and spring condition. So, we measured FRF of spindle system to know stiffness and damping coefficient in HDD. And we studied on dynamic behavior of inner parts by using calculated stiffness and damping coefficient. As a result, we confirmed the difference as boundary condition of spindle system.

Key Words: Boundary condition, Spindle system, Non-operational shock

1. 서론

많은 연구자들은 하드 디스크 드라이브의 외부 충격에 대한 내부 파트들의 동특성 연구를 진행해 왔다. 실험적이나 계산적인 방법에 의한 충격 반응에 대한 연구[1], 비 가동 충격과 가진에서 서스펜션 디자인에 대한 연구[2], 비 가동 충격과 가진에서 수행된 실험[3], 외부 충격에서 덤플 효과를 헤드 슬랩 현상 연구[4] 등이 있다. 이 논문은 비 가동 상태에서 외부 충격에 대한 내부 파트들에 대한 연구를 통해 의미를 찾아보려고 한다. 사실 지금까지는 비 가동 상태에서 발생하는 손상에 대해서는 큰 고려 대상이 아니었지만 추후 고용량화 고집적화가 필요한 상황에서는 이 부분에 대한 정확한 논의가 필요한 시점이다. 또한 휴대성이 강조되고 있는 시기에 사용자의 실수에 의한

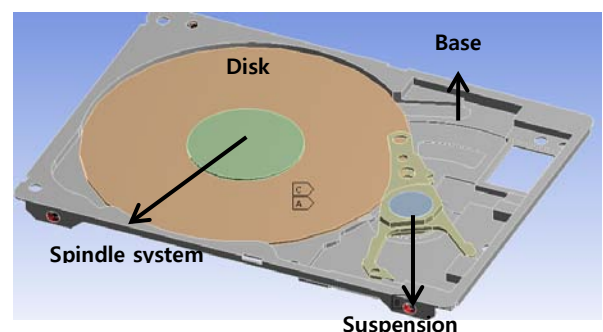


Fig. 1 Schematic of hard disk drive

충격은 빈번하게 일어날 가능성이 높다. 하드디스크 드라이브는 Fig. 1에서 볼 수 있듯이 내부는 디스크, 스피들 모터와 유압베어링으로 구성된 스피들 시스템, 베이스, 서스펜션 등으로 이루어져 있다. 이 논문에서는 비 가동 상태임을 고려하여 서스펜션 부는 고려하지 않았다. 외부에서 쇼크가 있을 경우 서스펜션을 제외한 내부 파트들이 어떤 동 특성을 보이는지 실험과 해석을 통해 규명해 보았다. 외부 충격에 대한 내부 거동에 대한

† School of Mechanical Engineering, Yonsei Univ.
E-mail : pnch@yonsei.ac.kr
TEL : (02)2123-4530

* School of Mechanical Engineering, Yonsei Univ

** School of Mechanical Engineering, Yonsei Univ

연구를 위해 스피들 상부에 Laser Doppler Vibrometer(LDV)를 이용하여 가진기를 통해 Random 가진 후 FRF 를 확인하는 실험을 반복 진행하는 중에 스피들 상부의 고유진동수가 바뀌는 현상을 발견하였다. 이 현상은 하드디스크 드라이브에 충격이 가해질 경우에 동 특성의 차이를 발생시키기 때문에 트랜지언트 해석을 통해 실제 어떠한 영향을 미치는지 파악해보았다. 또한 고유진동수가 변하는 이유에 대해 파악하기 위해 2 차원 유체 모델링을 구축하고 임의로 스피들 모터가 유체베어링 위에서 위치 이동이 있을 경우 베이스와 스피들 모터에 연결된 강성과 감쇠계수가 변하는지 유체 해석을 통해 알아보았다. 현재까지는 베이스와 스피들 모터부의 비 가동 상태의 해석 시에서는 경계조건을 고정구속조건을 이용하였다.[5],[6] 하지만 본 연구에 따르면 스프링 구조로 해석해야 하며 경계 조건에 따라 어느 정도 영향을 미치는지에 대해 논의해 보고자 한다.

2. 실험 및 결과 정리

2.1 고유진동수 측정 실험

스피들 시스템의 강성과 감쇠 계수를 알기 위해 Fig. 2 와 같이 실험환경은 구축하였다. 가진기를 통해 Random 가진을 만들고 LDV 를 이용하여 스피들 상부의 동일한 위치를 스피들 모터의 on/off 반복을 통해 반복값을 측정하였다. 반복 실험 중에 실험자에 의한 영향을 최소화 하기 위해 스피들 모터는 전기 신호에 의해 구동되도록 실험을 진행하였다.

2.2 실험 결과

LDV 측정 동일 포인트의 반복 실험을 진행하여 FRF 를 측정한 후에 도식화 하면 Fig 3 의 그래프를 얻을 수 있다. 5 회 이상 측정하였으나 도식화 하기 편하도록 5 회로 표현하였다. 그림에서 보이는 약 200Hz 영역의 값이 스피들 모터의 고유 진동수를 나타낸다. 약 20 Hz 에 해당하는 피크는 노이즈로 보이고 300Hz 에 해당하는 피크는 가진기와 하드 디스크 드라이브 연결하는 어댑터에 해당하는 피크이다. 그리고 나머지 피크들은 하드 디스크 드라이브 베이스에 해당하는 피크들이다. 그래서 200 Hz 영역에 해당하는 값들을 Table 1 에서 확인해 보면 최대와 최소값이 약 8 %의 차이를 나타내고 있다.

실험에서는 고유 진동수의 차이지만 실제로는 강성의 차이가 있는 것이다. 스프링과 댐퍼로 이루어진 1 자유도 모델로 단순화 하면 각 고유진동수에 해당하는 강성 값을 얻을 수 있다.

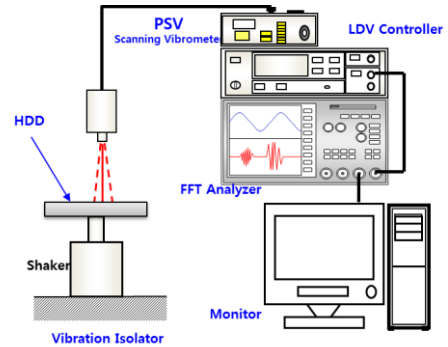


Fig. 2 Schematic of experiment

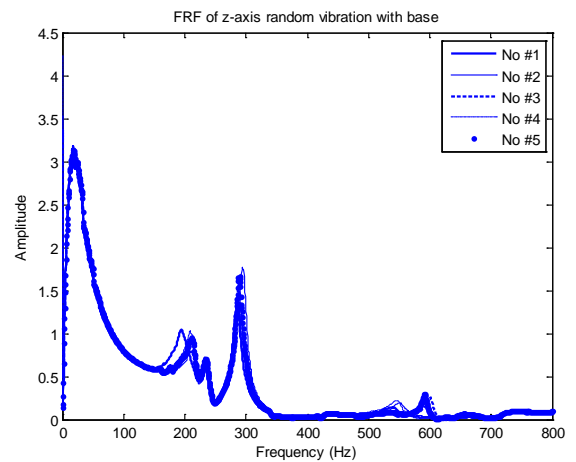


Fig. 3 FRF of spindle system

Table 1 First resonant frequency of spindle system

No	Frequency (Hz)
#1	198.5
#2	215.5
#3	210.0
#4	212.5
#5	211.5

2.3 강성 및 감쇠 계수 계산

고유진동수에 해당하는 각 강성과 감쇠 계수를 계산하기 위해서 실험 했던 모델을 단순화 하였다. Z 축으로 가진하고 Z 축에 변화에 대해 측정하였기 때문에 Fig.4 와 같이 1 자유도로 모델링 단순화 하였다. Eq. (1), (2) 를 이용하여 강성과 감쇠 계수를 계산하였다. 결과값은 Table 2 와 같다.

$$f = 1/2\pi (k/m)^{1/2} \quad (1)$$

$$c = 2(mk)^{1/2} \quad (2)$$

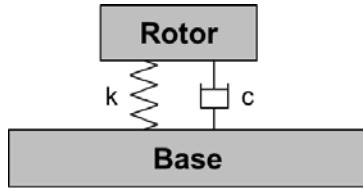


Fig.4 FRF of spindle system

Table 2 First resonant frequency of spindle system

No	Stiffness (N/m)	Damping coefficient
#1	2.33×10^4	1.32
#2	2.69×10^4	1.79
#3	2.62×10^4	1.98
#4	2.57×10^4	2.35
#5	2.65×10^4	1.97

f, c, k, m, ξ 는 각각 고유진동수, 감쇠 계수, 강성, 질량, 감쇠비이며 ξ 는 Q factor 를 이용하여 산출하였다.

3. 충격해석

3.1 유한요소 모델 검증

유한요소 모델링을 위해서 실험에 사용한 하드 디스크 드라이브의 모델을 검증 하였다. 일단 유한요소 모델은 디스크와 헤드짐벌 사이의 접촉에 대한 연구[7]에서 활용된 모델과 같다. 이 모델을 검증하기 위하여 모달 테스트를 진행하였으며 Table 3 에서 보이듯이 3 차 주파수까지 3 % 이내의 오차를 보이도록 모델 검증을 하였다. Fig. 5 는 각 주파수의 모드 형상이다.

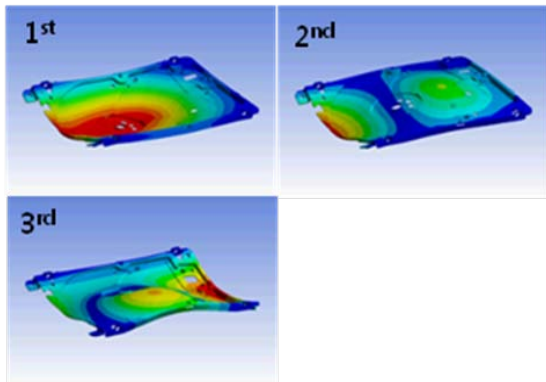


Fig. 5 Mode shapes of base

Table 3 Resonance frequencies of base

No	Simulation (Hz)	Experiment (Hz)	Error(%)
1 st	667	662	0.7
2 nd	1055	1032	2.2
3 rd	1523	1557	2.2

3.2 해석 방법 및 결과

Table 2 에서 산출한 강성과 감쇠계수를 가지고 Large mass method 의 충격 해석 방법을 이용하여 충격 가진 후 Fig. 6 에서 보이는 디스크 각 위치에서 디스크와 베이스의 접촉 여부를 확인하였다. Large mass method 충격 방법은 하드 디스크 드라이브 비 가동 충격 해석 시에 많이 활용하는 방법으로 하드 디스크 드라이브가 4 개 지점이 실제로는 볼트 구속이 이루어지기 때문에 해석 상에서 고정 구속 후에는 충격 가속도를 인가하기가 어렵다. 그래서 large mass method 방법을 이용하여 가상의 큰 질량을 가지는 지점을 지정하여 그 지점에 고정되는 4 점을 연결한다. 그 후에 그 지점에 충격을 인가하고 그 충격의 가속도가 우리가 원하는 4 개 지점으로 인가되는 방식이다. 실제로 이 방법을 활용하기 전에 실제 실험값과 해석값의 비교를 통해 해석 방법의 검증작업을 선행하였다. 드랍 테스터를 이용하여 하드디스크 드라이브의 측정을 원하는 지점에 가속도계를 부착 후에 자유 낙하하는 실험을 진행한 후에 실제 해석값과 비교하여 해석 방법을 검증하는 작업을 마쳤다.

서론에서 밝힌 대로 현재는 이러한 비 가동 충격 해석에서는 스피들 시스템과 베이스 사이를 고정하여 모두 해석을 진행 하였다. 여기서는 고정구속과 스프링 조건의 최대, 최소값을 이용한 스프링 구조의 조건 2 가지 총 3 가지 경우를 가지고 진행하였다. 원래 하드 디스크 드라이브의 비 가동 상태에서 확인 하는 기준은 1000G 이다. 다시 말해 1m 높이에서 하드 디스크 드라이브를 자유 낙하 시켰을 때 파손이 없어야 하는 것이 표준이다. 확인하는 내용은 디스크와 베이스간의 접촉 여부이다. 접촉이 바로 파손으로 이어지지는 않지만 파손의 가능성이 높아지기 때문에 기준 방법으로 삼았다. 실제 하드 디스크 드라이브를 1m 높이에서 자유 낙하 시키면 디스크와 베이스는 어떤 모델이든지 접촉이 일어난다. 그래서 해석 상에서도 1000 G 조건으로 해석 했을 경우에는 모든 경우에서 접촉이 일어났다. 상대적인 비교를 하기 위해서 Table 4 는 각 디스크 위치에서 베이스와 최초 충돌이 발생하는 최소 충격량을 나타내고 있다.

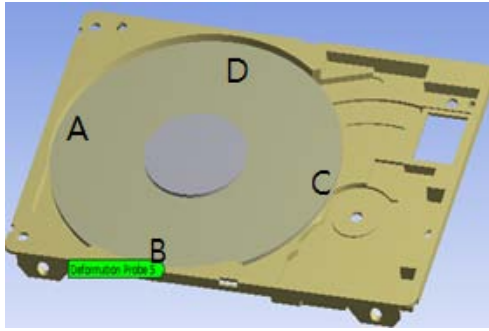


Fig. 6 Analyzed positions

Table 4 Comparison of shock acceleration

No	A	B	C	D
Fixed condition	980G	910G	720G	750G
Max stiffness	630G	600G	650G	610G
Min stiffness	600G	550G	570G	520G

해석된 값에서 알 수 있듯이 고정된 구속 조건을 사용할 경우 상대적으로 더 큰 충격에서도 접촉이 이루어 지지 않는 것으로 보인다. 이것은 많은 연구에서 사용되고 있는 고정 구속 조건은 실제 조건과 차이가 있으며 그 차이로 인해 설계치가 강건함과 거리가 멀어지는 결과이기 때문에 이 조건에 대한 사용을 고려해야 보아야 할 것이다.

4. 결론

저장 매체의 휴대성이 강조되고 있어 앞으로는 충격에 대한 고려 또한 더욱 강조될 것이다. 아울러 고용량과 되어가는 하드 디스크 드라이브는 현재 설계된 디자인 사양보다 더욱 엄격해질 것으로 예상된다. 이 논문에서 살펴 보았듯이 하드 디스크 드라이브 스피들 시스템은 유체 베어링 위에 떠있는 형태이다. 그러므로 스피들 시스템이 회전 후 멈출 경우 무작위 상태로 유체베어링 위에 자리하게 된다. 이것은 위에서 살펴본 대로 스피들 시스템의 고유진동수를 약 8%의 차이를 가지게 하는 현상을 만들었으며 이 고유진동수의 변화는 시스템의 강성을 변화시키기 때문에 외부 충격 시에 다른 거동을 나타내었다. 비 가동 상태에서 관심 영역인 디스크와 베이스 사이의 접촉 여부를 충격 해석을 통해 구현해 보았을 때 고정 구속의 경우 750G 에서 충돌이 일어났고 스프링을 가지는 구조로 해석 했을 경우 실험에서 구한 최대 강성의 경우 600G 에서 충돌이 일어났고 가장 약한 강성의 경우 520G 에서 충돌이 일어나는 것

을 확인하였다. 고정구속보다 스프링 구조가 더 실제 모델과 가까운 모델이기 때문에 지금까지 고정 구속으로 해석했을 경우는 많은 오차를 가지고 있다고 할 수 있다. 그럼에도 불구하고 지금까지 이 조건을 사용한 것은 비 가동 상태에서의 충격 해석이 가지는 의미가 작았다. 하지만 서두에 밝혔듯이 앞으로 고용량화 되는 하드 디스크의 경우 디스크와 베이스 사이의 유격 또한 더욱 작아 질 것으로 예상되며 다른 디자인 조건들 또한 더욱 작아질 것이다. 그래서 앞으로는 비 가동 충격상태의 해석 시에는 고정 구속 조건이 아닌 스프링 구조의 해석 조건이 더욱 정확한 디자인을 하는데 도움을 줄 것이다.

REFERENCES

- [1] A. N. Murthy, B. Feliss, D. Gillis and F. E. Talke, 2006, "Experimental and numerical investigation of shock response in 3.5 and 2.5 in. form factor hard disk drives", *Microsystem Technologies*, Vol. 12, Issue 12, pp.1109-1116
- [2] H. Zheng, A. N. Murthy, E. B. Fanslau Jr, F. E. Talke, 2006, "Effect of suspension design on the non-operational shock response in a load/unload hard disk drive", *Microsystem Technologies*, Vol. 16, Issue 1-2, pp.267-271
- [3] B. Feliss, A. N. Murthy and F. E. Talke, 2007, "Microdrive operational and non-operational shock and vibration testing", *Microsystem Technologies*, Vol. 13, Issue 8-10, pp.1015-1021
- [4] S. Sharma, M. Virmani and T.L. Geers, 2007, "Direct Comparison of Computational and Experimental Head-Slap Data for a Nonoperating Hard Disk Drive", *IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS*, Vol. 43, No. 3, pp.1093-1099
- [5] Gang Sheng Chen., and Cheng-fu Chen., Terrence Wilburn., 2012, "A study of non-operational dynamic responses of disk in 3.5 in. hard disk drive to impact load," *Microsystem Technologies*, Vol. 18, pp.1261-1266
- [6] en-Yuan Chang., and Rana Noman Mubarak., 2012, "Non-operational shock analysis and design of head gimbal assembly in spinning data storage devices," *Microsystem Technologies*, Vol. 18, pp.1463-1468
- [7] S. Kim, G. Lim, N.C. Park, Y.P. Park and K.S. Park, 2012, "Analysis of Touch Phenomena between Disk and Head Gimbal Assembly in Operational Shock", 2012 ASME-ISPS /JSME-IIP Joint International Conference on Micromechatronics for Information and Precision Equipment MIPE2012, pp.93-95