

내충격 성능 향상을 위한 랩탑 하드디스크의 베이스 설계 Base Structure Design of Laptop HDD for Anti-Shock Performance

임승호*, 박노철*, 박영필*, 박경수†, 설웅*, 김경태**
Seungho Lim, No-Cheol Park, Young-Pil Park,
Kyoung-Su Park, Woong Seol and Kyungtae Kim

(2009년 8월 24일 접수; 2009년 9월 17일 심사완료; 2009년 9월 21일 게재확정)

ABSTRACT

Mobile devices have become an important part of daily life. This is especially true of laptop PCs, which are portable enough to be used almost anywhere. Laptop PCs, however, cannot be nomadic if each component is not robust enough to endure rugged laptop operating environment. Generally, external shock makes collision on head-disk interface and damage to read-write performance. To minimize the likelihood of failure, shock analysis must be incorporated into the design of hard disk drive in laptop. This research explores the structure modification of laptop HDD base, for improving shock performance using finite element analysis which considers the flexibility of whole HDD structure. FE model is verified by modal test and finely tuned. Then we obtained the transmitted acceleration of spindle and pivot and the relative displacement between disk and slider head as shock response. Based on shock simulation, the structural dynamics modification is performed and the primary design parameters are extracted.

Key Words : shock analysis(충격 해석), modal test(모달 테스트), structural modification(구조 변경)

1. 서론

최근 랩탑 컴퓨터 활용의 폭이 넓어져 기존의 단순 업무 용도에 벗어나 멀티미디어 매체로서 역할이 증대되고 있다. 특히 무선 네트워크 기술의 발전에 따른 넷북의 등장은 랩탑 컴퓨터 시장 규모의 확장을 가속화하고 있다. 이러한 랩탑 컴퓨터는 휴대성에 대한 소비자의 증가하는 요구 사항을 만족시켜야 하는 문제점을 갖고 있다. 그러나 주요한 정보저장매체인 하드디스크드라이브(HDD)는 경량화 및 슬림화에 따른 기계적 문제, 특히 진동 및 충격에 매우 취약한 단점을 가지고 있어 랩탑 컴퓨터의 사용 환경에 상당한 제약을 가지고 있다. 일반적으로 랩탑에 전달되는 외부 충격은 하드디스크의 헤드와 디스크의 충돌을 일으키며 이에 따라 저장신호의 기록 및 읽기 성능에 영향을 미친다. 따라서 이에 대한 충격 해석 및 내충격 설계를 수행할 필요가 있다.

하드디스크 드라이브의 충격 해석은 중요한 기술적 이슈이므로, 다양한 연구가 진행되어 왔다.

충격 응답을 얻기 위해 다양한 종류의 하드디스크에 대한 유한 요소 해석이[1]-[3]이 수행되었으며, 외연 유한요소 해석을 이용하기도 하였다[4]. 최근에는 비선형성과 접촉을 고려한 충격 해석이 발표되었고[5], 유한요소 충격 해석 결과를 낙하실험과 비교하여 해석의 유효성을 검증하기도 하였다[6]. 특히 초소형 하드디스크 드라이브는 충격에 취약하여 이에 대한 해석적/실험적 연구가 폭넓게 수행되었는데, 서스펜션의 설계에 따른 내충격 성능 향상을 꾀하기도 하였으며[7], 다양한 설계 변수에 따른 충격 응답을 고찰하기도 하였다[8]. 또한 하드 디스크 드라이브에 인가된 충격 파형[9],[10]과 공기 베어링[11],[12]이 충격 응답에 미치는 영향을 살폈다. 그러나 슬림화에 따라 하드디스크 드라이브 베이스 구조는 초박화되고 있고 동적응답에 영향을 미치고 있음에도, 베이스 형상이 충격 성능에 미치는 영향에 대한 연구는 미비하였다.

본 논문에서는 랩탑 하드디스크의 대부분의 부품을 유한요소로 모델링하여 유연 모드의 가진에 의한 충격 응답을 해석하였다. 유한요소 해석 모델은 단품별로 모달 테스트를 통해 동특성을 비교하였고, 접촉 조건 및 물성 정보를 튜닝하였다. 또한 베이스 구조의 형상을 변수화하여 유한요소 모델링하고 주요 설계 변수에 따른 충격 응답의 변화를 고찰하였다. 더불어 실험계획법에 따라 감도 해석을 수행하여 내충격 성능을 향상시키기 위한 구조 변경을 수행하였다.

† 연세대학교 기계공학과
E-mail : pks6348@yonsei.ac.kr
Tel : (02) 2123-4680, Fax : (02) 365-8460
* 연세대학교 기계공학과
** LIG 넥스원(주)

2. 유한 요소 해석 모델

2.1. 유한 요소 모델 구축

랩탑용 하드디스크는 그림 1 과 같이 베이스, 커버, 서스펜션, PCB 및 두 장의 기록 미디어로 구성되어 있다. 데스크탑 하드디스크와 달리 랩탑용 하드디스크 드라이브의 베이스는 슬림화에 따라 매우 얇게 되어 있고 생산성을 위하여 복잡한 형상을 지니고 있다. 또한 하드디스크는 모서리에서 볼트 혹은 탄성 마운트에 의해 지지되어 있기 때문에 이 부분을 통해 충격이 전달된다.

이러한 랩탑용 하드 디스크의 충격 해석을 위해 상용 유한요소 해석 프로그램인 ANSYS 를 사용하여 그림 2 와 같이 모델링하였다. 해석의 정확도 확보 및 해석 비용(시간)을 줄이기 위해 가급적 쉘요소와 6 면체 솔리드 요소를 사용하여 나타냈으며, 스피indle 모터 및 구동기 피봇의 베어링과 공기 베어링을 표현하기 위해 집중 파라미터 요소를 적용하였다. 표 1 은 유한요소 해석 모델에 사용된 요소의 종류 및 개수를 나타낸다. 요소망 생

성에 있어서 모달해석의 고유주파수 수렴성을 고려하여 요소 밀도를 조절하였다.

2.2. 모달 해석 및 검증

유한 요소 해석 모델의 유효성을 검증하기 위하여 각 단품 별 모달 해석을 수행하였다. 베이스 및 커버 구조는 임팩트 햄머와 초소형 가속도계를 이용하여 자유단 경계 조건에서 고유주파수를 측정하였으며, 디스크는 스피indle 모터에 고정시킨 후 임팩트 햄머와 레이저도플러 진동계(LDV)를 사용하여 응답을 측정하였다. 서스펜션 구조는 미니 가진기를 통해 가진되었으며, 스캐닝 레이저도플러 진동계를 이용하여 다양한 부분에서의 응답을 구하고 모달 파라미터를 추출하였다. 그림 3 은 모달 테스트를 위한 실험 장치를 나타낸다. HP35670 을 통해 측정된 주파수 전달함수는 상용 모달 해석 프로그램인 STAR Modal 을 이용하여 모드 형상 및 고유주파수를 구하였다. 각 단품은 고유주파수의 해석치와 실험치를 비교하여 영률 및 기하 형상을 튜닝하였으며, 표 2 는 각 단품에 대한 1-3 차 고유주파수를 나타낸다. 서스펜션 구조물의 고유주파수가 차이가 나지만 전체적으로 동특성이 잘 맞고 있음을 확인할 수 있다.

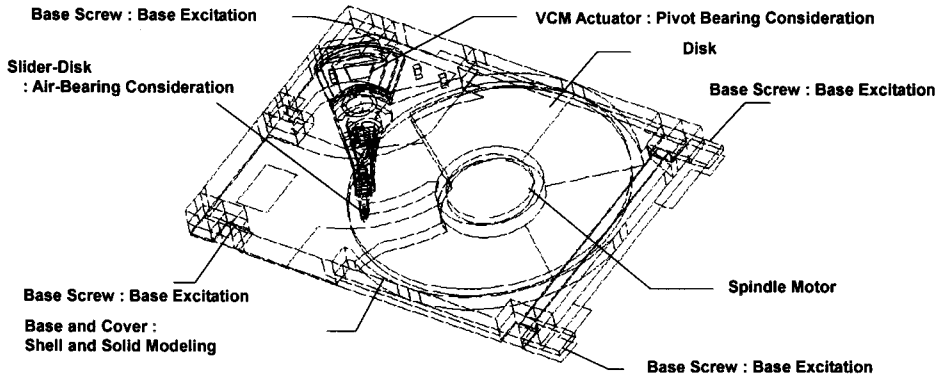


Fig. 1 랩탑용 하드 디스크 드라이브의 구조

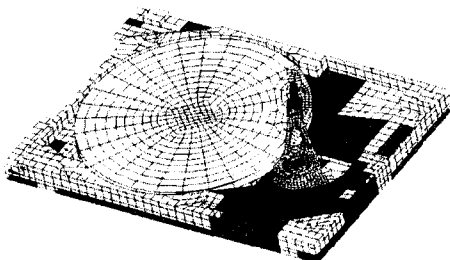


Fig. 2 유한 요소 해석 모델

Table 1 유한요소모델에 사용된 요소 종류와 개수

Type	Solid 45	Shell 63	Mass 21	Beam 4	Combin 14
Description	8 Nodes Solid	Bending and Membrane	Concentra- ted Mass	3D Elastic Beam	Lumped Parameter Element
Number	6886	12616	21	32	32

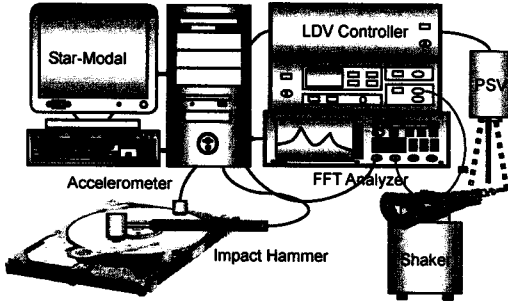


Fig. 3 모달 테스트를 위한 실험 장비 구성

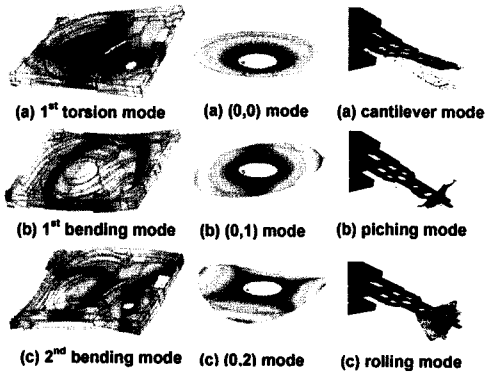


Fig. 4 유한요소 해석에 의한 모드 형상

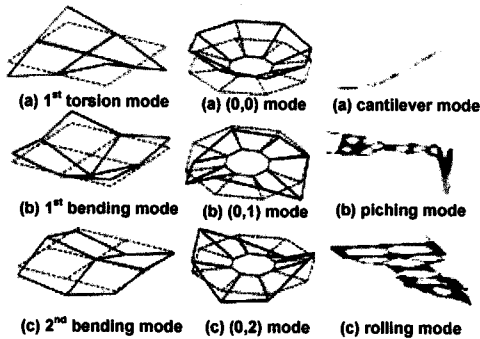


Fig. 5 모달 테스트에 의한 모드 형상

Table 2 유한요소해석 및 실험 모달해석의 비교

Unit(Hz)	Mode	Base	Disk	HGA	Total
FEM	1 st	661.1	1282.3	284	741.80
	2 nd	1183	1282.6	1490	960
	3 rd	1950	1477.7	2490	1323
EMA	1 st	684	1285	292	720
	2 nd	1257	1294	1870	892
	3 rd	2019	1420	2160	1247

3. 충격 해석

해석에 적용되는 충격 입력은 그림 6 과 같이 충격 지속 시간과 최대 가속도 크기로 표현되는 반정현파 가속도 입력으로 가정한다. 일반적으로 하드 디스크 드라이브는 사용되는 충격 입력은 0.5ms, 1ms, 2ms의 충격 지속 시간으로 나타내므로 이에 대한 충격 응답을 구하였다. 유한 요소 해석을 위한 충격 입력은 베이스의 모서리에 위치하고 있는 네 개의 볼트 지지 부분에 가속도 입력을 두 번 적분하여 변위 조건으로 부가하였다. 디스크와 슬라이드 헤드와의 접촉은 고려하지 않았으며 선형 과도 응답 해석을 수행하였다. 과도 응답 해석에 적용되는 적분 시간 증분은 Newmark 기준에 따라 충분히 작게 설정하고 수치 적분한다.

주요 충격 응답은 스피들 모터에 전달되는 가속도 피크값과 디스크와 슬라이더 간의 상대 변위로 구하였다. 그림 6 는 200G의 최대 가속도값과 2ms의 충격 지속 시간을 갖는 충격 입력에 대한 충격 응답을 나타낸다.

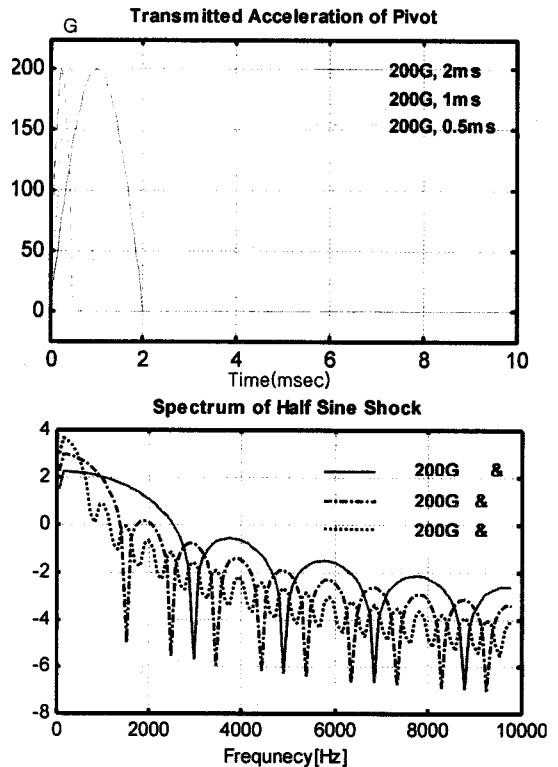


Fig. 6 충격입력(위)과 스펙트럼(아래)

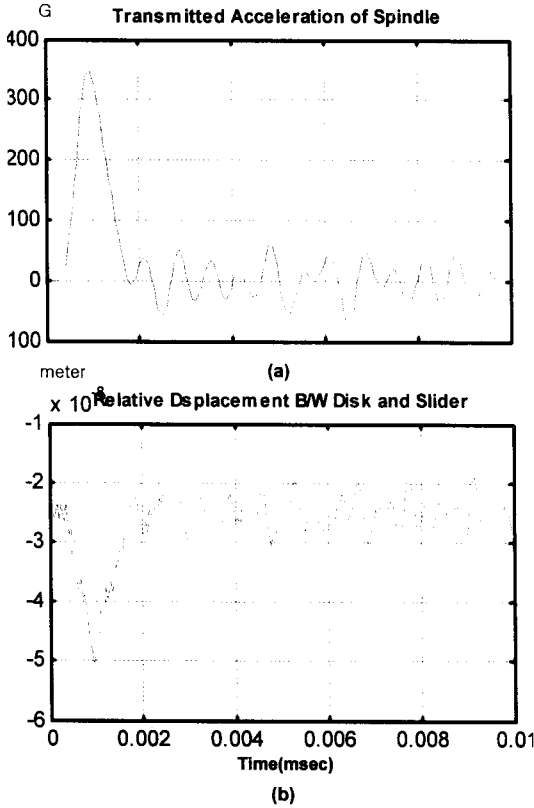


Fig. 7 충격 응답: 스피들 모터에 전달된 가속도 (a) 와 디스크와 슬라이더의 간극(b)

4. 구조 변경

4.1. 구조변경을 위한 설계 변수

하드 디스크 드라이브의 베이스는 슬림화에 따라 최대한 얇아야 하면서, 부품간의 간섭을 피하고 구조적 강성을 충분히 확보하기 위해 복잡한 형상을 지니고 있다. 따라서 이러한 형상을 고려하여 설계 변수를 설정하고 이에 따른 충격 응답의 변화를 살펴볼 필요성이 있다. 본 연구에서는 APDL(ANSYS Parametric Design Language)을 이용하여 변수화된 유한요소 해석 모델을 구축하였다. 그림 8 과 같이 디스크의 하단(NCRF), 구동기 피벗 부분(PRF1, PRF2)의 두께, 리브의 크기와 개수(RF, NC), 구멍의 폭(HWF) 등으로 나타내었으며, 각 설계 변수가 서로 기하적인 간섭이 일어나지 않도록 모델링 하였다.

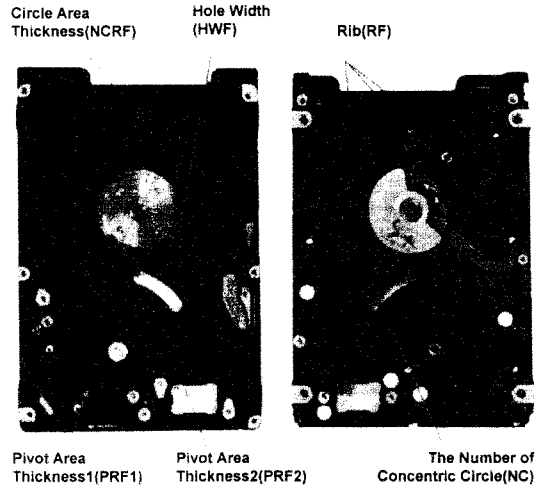


Fig. 8 하드디스크 베이스의 설계 변수화

4.2. 파라메트릭 연구

스핀들 모터에 전달되는 최대 가속도값과 디스크-슬라이더 헤드의 상대 변위는 일반적으로 유사한 경향성을 가지고 있다. 따라서 충격 응답으로 디스크-슬라이더 헤드의 상대 변위로 두고 각 설계 변수의 변화에 따른 응답을 구하였다. 그림 9 과 그림 10 과 같이 NCRF 와 PRF2 가 충격 응답에 주요한 영향을 미치는 것을 알 수 있고, 특히 스피들 모터를 지지하는 NCRF 의 구조적 강성이 중요한 것으로 나타났다. 그러나 HWF, NC, PRF1, RF 등은 1% 내외의 응답 변화를 가져오는 것을 확인할 수 있다.

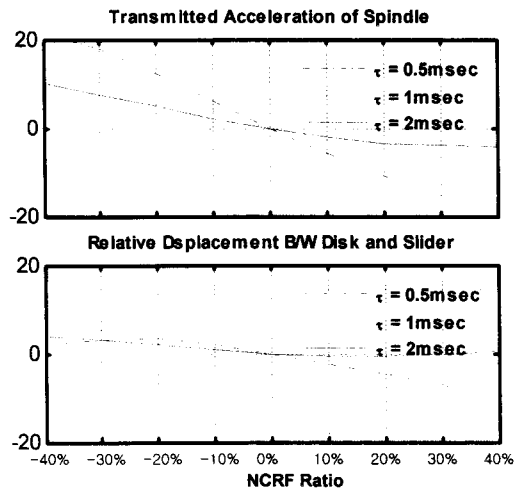


Fig. 9 NCRF 변화에 따른 충격 응답 변화

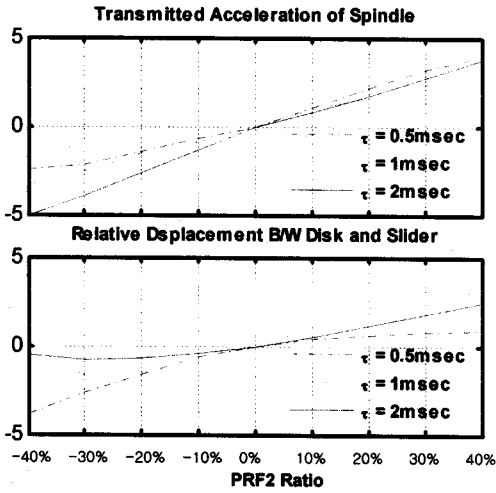


Fig. 9 PRF2 변화에 따른 충격 응답 변화

4.3. 실험계획법에 의한 구조 변경

파라메트릭 연구를 통해 NCRF와 PRF2가 충격 응답에 주요한 역할을 하는 것을 알 수 있었다. 그러나 다양한 설계 변수의 상호 작용을 알 수 없고 충격 해석에 걸리는 시간이 매우 길기 때문에 각 설계 변수를 3 수준으로 나누어 직교배열표(L27)를 수립하여 해석을 수행하였다.

그림 10은 해석에 사용된 직교배열표를 나타내며, NCRF와 PRF2간의 교호 작용을 확인할 수 있다. 설계 가능영역에서 NCRF가 30%증가하고 PRF2은 30%감소했을 경우 슬라이더와 디스크간의 최대 변위 응답이 11.4% 정도 감소함을 예측할 수 있다.

Table 3 직교 배열표(L27)

Run	PRF1	PRF2	RF	HWF	NCRF	NC
1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	2	2	2	2
3	1	1	3	3	3	3
4	1	2	1	2	2	2
5	1	2	2	3	3	3
6	1	2	3	1	1	1
7	1	3	1	2	3	3
8	1	3	2	3	1	1
9	1	3	3	1	2	2
10	2	1	1	1	2	2
11	2	1	2	2	3	3
12	2	1	3	3	1	1
13	2	2	1	2	3	3
14	2	2	2	3	1	1
15	2	2	3	1	2	2
16	2	3	1	2	3	3
17	2	3	2	3	1	1
18	2	3	3	1	2	2
19	3	1	1	1	3	3
20	3	1	2	2	1	1
21	3	1	3	3	2	2
22	3	2	1	2	3	3
23	3	2	2	3	1	1
24	3	2	3	1	2	2
25	3	3	1	2	3	3
26	3	3	2	3	1	1
27	3	3	3	1	2	2

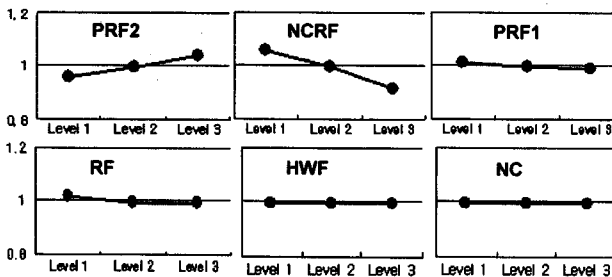


Fig. 10 설계 변수의 주효과 작용

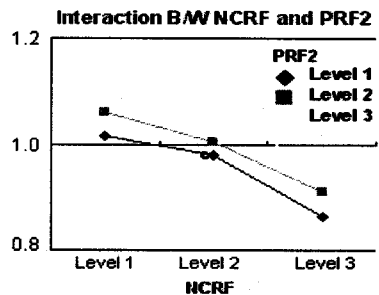


Fig. 11 PRF2와 NCRF의 교호작용

5. 결론

본 연구에서는 랩탑 하드디스크의 내충격 성능을 향상시키기 위해 베이스 구조의 형상을 변화시키고 이에 따른 충격 응답을 구하였다. 충격 응답은 하드디스크 드라이브의 유연 모드에 의한 진동을 고려하기 위해 유한 요소 모델을 통해 해석하였으며, 유한 요소 모델의 유효성을 검증하기 위해 모달테스트를 수행하였다. 파라메트릭 연구를 통해 NCRF 와 PRF2 가 충격 특성에 주요한 영향을 주는 인자로 나타났으며, 실험계획법에 의거 11.4%의 최대 충격 응답 저감을 줄일 수 있었다.

후 기

본 연구는 2009 년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원과 BK 나노/마이크로 응용기계기술 인력양성사업단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. R17-2009-040-01001-0).

참고문헌

- [1] E.M. Jayson, J. Murphy, P.W. Smith and F.E. Talke, 2003, "Head Slap Simulation for Linear and Rotary Shock Impulses", *Tribology International*, Vol. 36, pp.311-316
- [2] J.R. Edwards, 1999, "Finite Element Analysis of the Shock Response and Head Slap Behavior of a Hard Disk Drive", *IEEE Trans. Magn.*, Vol. 35, No. 2, pp. 863-867
- [3] C.C. Lin, 2002, "Finite Element Analysis of a Computer Hard Disk Drive Under Shock", *Journal of Mechanical Design*, Vol. 124, pp. 121-125
- [4] J. Luo, D. W. Shu, B. J. Shi, Q. Y. Ng, R. Zambri and J. H. T. Lau, 2006, "Study of the Shock Response of the HDD with ANSYS-LSDYNA", *J. Magn. Mater.*, Vol. 303, pp. e57-e61
- [5] F.F. Yap, H. Harmoko, M. Liu and N. Vahdati, 2007, "Modeling of Hard Disk Drives for Shock and Vibration Analysis - Consideration of Nonlinearities and Discontinuities", *Nonlinear Dyn.*, Vol. 50, pp. 717-731
- [6] Aravind, 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", *Microsyst Technol*, Vol. 12, pp.1109-1116
- [7] H. Kuwajima, H. Kita, H. Hashi, M. Miyamoto, Y. Ueno *et al*, 2006, "Development of Balanced-Type High Shock Suspension for 0.85-in Hard Disk Drive", *IEEE Trans. Magn.*, Vol. 42, No. 2, pp. 255-260
- [8] Aravind, N. Murthy, M. Pfabe, Jianfeng Xu and F. E. Talke, 2007, "Dynamic Response of 1-in. Form Factor Disk Drives to External Shock and Vibration Loads", *Microsyst Technol*, Vol. 13, pp.1031-1038
- [9] P. Bhargava and D.B. Bogy, 2007, "Effect of Shock Pulse Width on the Shock Response of Small Form Factor Disk Drives", *Microsyst Technol*, Vol. 13, pp. 1107-1115
- [10] B. J. Shi, S. Wang, D. W. Shu, J. Luo, H. Meng *et al*, 2006, "Excitation Pulse Shape Effects in Drop Test Simulation of the Actuator Arm of a Hard Disk Drive", *Microsyst Technol*, Vol. 12, pp. 299-305
- [11] E.M. Jayson, J. Murphy, P.W. Smith, and F.E. Talke, 2003, "Effects of Air Bearing Stiffness on a Hard Disk Drive Subject to Shock and Vibration", *ASME J Tribol*, Vol. 125, pp. 343-349
- [12] E.M. Jayson, F.E. Talke, 2005, "Optimization of Air Bearing Contours for Shock Performance of a Hard Disk Drive", *ASME Journal of Tribology*, Vol. 127, pp. 878-883