한국소음진동공학회 2000년도 추계학술대회논문집, pp. 737~741.

컴퓨터의 충격해석 및 실험적 검증

Evaluation of Drop/Impact Performance of Laptop Computer

윤영한* · 임경화** · 김진규*** · 안채헌***

Youghan Youn, Kyung-Hwa Rim, Jinkyoo Kim, Chaehun An

Key Words :

HDD(하드디스크), Drop Test(낙하실험), Harmonic Vibration(조화진동), Acceleration(가속도), FEM(유한요소법), Mesh(요소망), Cut-off Frequency(차단주파수), Frequency Response Function(주파수 응답함수)

ABSTRACT

Portable communication devices such as laptop computers suffer impact-induced failure in their usage. Drop/impact performance of these products is one of important concerns of product design. Because of the small size of this kind of electronics products, it is very expensive, time-consuming and difficult to conduct drop tests to directly detect the failure mechanism and identify their drop behaviors. Finite element analysis provides a vital, powerful vehicle to solve the problems. The models are created with HYPERMESH, and the analysis is carried out with LS-DYNA3D. The analysis is focused on HDD impact behavior in acceleration peak values.

1. 서론

선진국에서는 수년 전부터 각종 제품에 대한 품질시험(Quality Test)의 일환으로 Drop Test를 거쳐서 제품의 충격성능을 검증하고 있고, 소비자나 소비자 보호단체에서도 강력하게 요구하고 있는 실정이다. 특히 최근에는 각종 전자제품들이 소형화되면서 휴대 가능한 제품들이 시장에 많이 출시되는 관계로 취급상의 부주의로 인한 피해를 최소화하기 위해 제작사들은 충격성능에 각별한 신경을 쓰고 있다. 선진국은 각종 자체의 In-House Spec. 또는 Regulation을 제정하여 제품의 기획단계에서부터 Drop에 의한 피해를 최소화하여 소비자의 요구와 경쟁제품과의 차별성에 적극적으로 부응하고 있는 실정이다. 노트북 컴퓨터의 경우만 국한해도 외국사는 이미 미국 내에서 Drop Test에 대한 합격을 중요한 홍보전략으로 강조하고 있는 실정이다.

충격 등에 대비한 제품의 설계는 다른 정적하중의 설계와는 달리 그 현상을 정확히 파악하기가 쉽지 않아서 실제의 실험과 충격해석의 도움이 없이는 최적의 설계를 이루기 힘들다.

그래서 본 연구에서는 부품재료 특성파악과 함께 제품 충격시험을 하는 실험 부분과 충격해석용 프로그램인 LS-DYNA3D를 이용한 충격해석을 시뮬레이션하여, 실험 데이터와 비교하였다. 노트북 컴퓨터에서 충격에 제일 약한 부품은 HDD(Hard Disk Driver)로 알려져 있다. 그 이유는 HDD에서는 서스펜숀(Suspension)에 매달려 있는 슬라이더(Slider)와 하드디스크가 20~50 nm 정도의 초미세 간격을 유지하면서 신호를 검출하는 것이므로, 외부 충격진동에 취약할 수밖에 없는 구조를 가지고 있다. 그러므로, 본 연구에서는 외부의 상하방향 충격진동이 올 때, 하드디스크에 전달되는 진동 크기에 관심을 두었다. 진동에는 변위, 속도, 가속도가 있지만 HDD의 초정밀 제어설계에서 충격진동에 영향은 주는 고주파수 영역에서는 가속도를 설계변수로 설정하였다.

2. 컴퓨터 구조분석

국내 및 일본의 노트북 컴퓨터 구조는 비슷하지만, HDD 배치위치가 다르다. Fig. 1과 같이 국내 노트북 컴퓨터에서는 HDD가 우측 상단에 있지만, 일본의 노트북 컴퓨터는 Key board 바로 아래 좌측 하단에 위치하고 있다.

* 한국기술교육대학교 메카트로닉스공학부

** 한국기술교육대학교 제어시스템공학과

*** 한국기술교육대학교 기계공학과 대학원

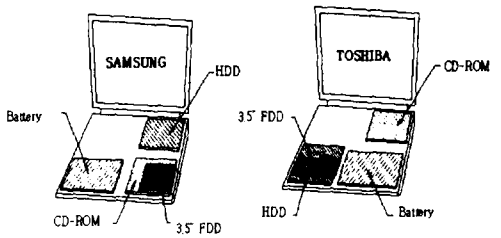
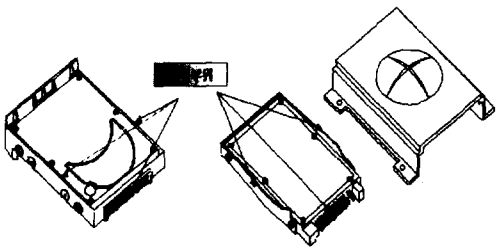


Fig. 1 컴퓨터 부품 배치도



(a) 국내 컴퓨터 (b) 일본 컴퓨터(이중 케이스)

Fig. 2 HDD 주변 구조물

또한 HDD의 주변 기구물에서는 Fig. 2와 같이 국내노트북 컴퓨터의 HDD는 설치 편리성을 위해서 단순 삽입 형태이지만, 일본의 노트북 컴퓨터의 HDD는 이중 케이스 형태로 구성되어 있다. Fig. 3은 노트북 컴퓨터를 분해한 사진이다.

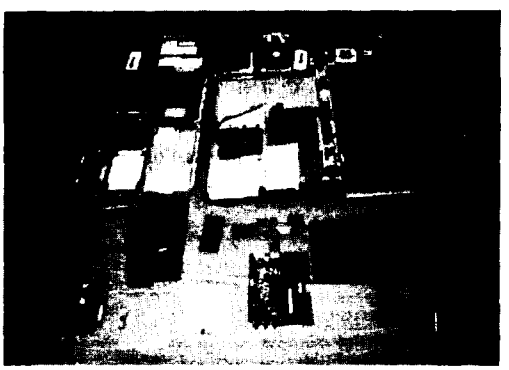


Fig. 3 노트북 컴퓨터의 분해도 사진

3. 충격 실험 및 결과

One Side Fall Test는 Fig. 4와 같이 Note PC의 한쪽 면을 100mm 들어서 단단한 정반에 떨어뜨리고, 이때 노트북 컴퓨터에 가해지는 충격량을 각 부위별로 압전형 가속도 센서를 이용하여 측정한다. 센서신호를 차단주파수가 500Hz이고, 8 Pole 특성을 가진 저주파수 대역 통과 필터(Low Frequency Band Pass Filter)로 통과시켜 고주파수 대역의 진동신호를 제거 후 신호분석기(Signal Analyzer)를 이용하여 시간영역에서 충격파형을 구한 뒤 최대 진동가속도를 구하였다. 또한 후리어 변환(Fourier Transform)을 하여 출력 스펙트럼(Power Spectrum)을 구해서 주파수별로 충격에너지 분포를 분석하였다.

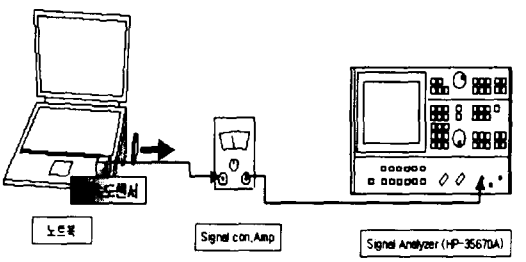


Fig. 4 One-side fall Test 배치도

Fig. 5는 가속도 측정위치를 보여주고 있다. 위치 1~위치 3은 컴퓨터 Housing 상단 부위이고, 위치 4는 HDD Spindle Motor의 상단 부위이다.

충격 신호를 측정할 때는 시스템에 영향을 줄 수 있는 주파수 범위만 대체적으로 측정하는데 일반적으로 컴퓨터에서는 500Hz 차단주파수(Cut-off Frequency)를 많이 사용하고 있다. 이 배경은 HDD 위치제어 주파수 대역과 관련된 것으로 판단된다. Fig. 6은 500Hz 차단주파수로 사용할 때, 국내 노트북 컴퓨터의 HDD에서 측정한 시간데이터와 출력 스펙트럼이다. Table 1은 각 위치별로 국내 컴퓨터와 일본의 컴퓨터의 최대 진동가속도를 비교한 것이다. 대체적으로 일본의 충격가속도가 작지만 제일 중요한 HDD 상에서는 오히려 일본의 컴퓨터 상대적으로 상당히 큼을 알 수 있다. Fig. 7의 스펙트럼을 보면 충격 입력의 가진 주파수와 일본 제품 기구의 고유진동수가 비슷하여 증폭되었음을 알 수 있다.

Table 1 위치별 가속도 측정치

위치		제품회사		비교
		국내	일본	
Housing	위치 1	101.7G	102.6G	유사
	위치 2	155.0G	103.0G	52G 증가
	위치 3	127.3G	111.9G	15G 증가
HDD 표면	위치 4	109.4G	140G	30G 감소

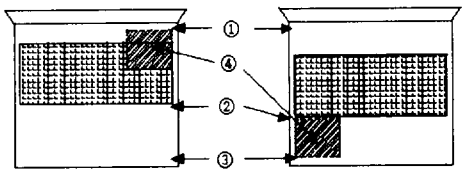


Fig. 5 가속도 측정 위치

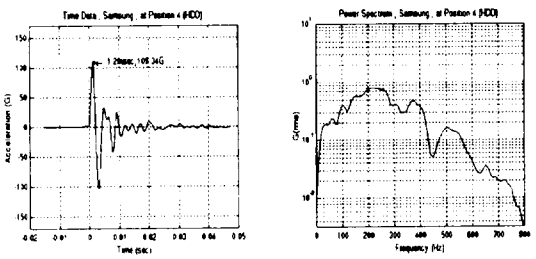


Fig. 6 국내 컴퓨터의 HDD에서 가속도 파형

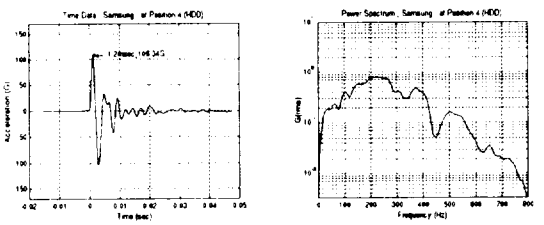


Fig. 7 일본 컴퓨터의 HDD에서 가속도 파형

4. 충격해석 모델링

4.1 부품재료물성치

Housing과 PCB 기판 인장시험기를 이용하여 국내 노트북 컴퓨터의 Housing과 PCB 재료의 특성계수(탄성계수, 비례한도 응력)를 구하였다. 사용되는 재료부품은 표준 인장시편 치수로 절단한 뒤에 인장시험을 실시하였고, 각 재료에 3개 시편을 제작하여 시험하였다. Table 2는 3개 시편의 평균치를 취하여 구한 재료 특성치 이다.

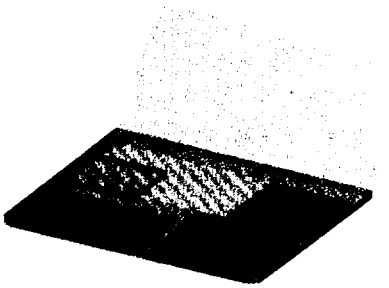


Fig. 7 노트북 컴퓨터의 유한요소 모델링

Table 2 PCB 기판의 재료 특성치

기계적 특성	부품	
	PCB기판	Housing
탄성계수 (N/m^2)	2.02 E10	2.79 E9
비례한도 응력 (N/m^2)	1.68 E8	5.82 E7

고무다리(rubber foot)

노트북 바닥에 장착되어 있는 고무다리의 특성치(강성, 감쇠비)를 모드시험(Modal Test)을 통하여 측정하였다. 가진기(Vibration Exciter)를 이용하여 Sine-Sweeping 가진하면서 입력인 가진기의 가속도와 출력인 강체의 가속도간의 주파수 응답함수(Frequency Response Function)를 신호분석기로 구하였다. 측정된 고유진동수와 아래 식을 이용하면 동적 강성(Dynamic Stiffness) k를 구할 수 있다.

Table 3 고무다리의 물성치

물성치	부품 회사	
	국내	일본
강성(N/m)	1.57×10^6	7.25×10^5
감쇠비	0.212	0.181

4.2 노트북 PC모델의 모델링

초기 조건의 계산

본 연구의 Side-fall Test의 해석 방법은 노트북 PC가 바닥에 닿는 순간의 각속도를 계산하여 이를 초기속도로 입력하여 시뮬레이션을 수행하는 방법을 이용하여 해석을 수행하였다. 본 연구에서는 바닥과 충돌하는 순간의 초기속도는 여러 방법으로 초기 각속도를 계산하여 그 중에서 가장 정확한 값을 이용하였다. 우선 이론적으로 100mm 만큼 들려 올린 상태의 위치에너지가 바닥에 닿는 순간의 운동에너지와 같다는 에너지보존의 법칙을 이용하면 아래의 식에서 각속도를 계산할 수 있다.

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}} \tag{1}$$

$$I_0 = m\frac{r^2}{3} \tag{2}$$

$$\frac{1}{2} I_0 \omega_0^2 = mg\frac{h}{2} \tag{3}$$

$$\omega_0 = 5.865 rad/s \tag{4}$$

그러나, 노트북은 균질한 질량으로 분포되어있지 않기에 MSC/Working Model 3D를 이용 실제의 중요부품인 Bottom case, Upper case, HDD, FDD, CD-ROM, LCD의 치수 및 질량을 고려하여 각속도를 계산하였다.

Table 4 One-side fall 충격의 초기 각속도

모델의 종류	각속도값
이론적 계산식	5.865rad/s
단순 모델	5.750rad/s
상세 모델	5.140rad/s

부품별 Meshing 및 모델링

3.02kg인 노트북 PC의 Meshing 작업은 실제제품과 Pro-E CAD 데이터를 기초로 Mesh 작업을 수행하였다. Meshing에서는 Bottom case, Upper case, Keypad, HDD, FDD, CD-ROM, LCD, Connector로 나누어서 Fig. 7과 같이 모델링하여 조립하였다. HDD, FDD, CD-ROM은 솔리드요소로 모델링하였고 나머지는 모두 Shell 요소로 구성하였다. 전체 모델링에 대한 요소의 수, 절점등은 Table 5에 나타나있다.

Table 5 각 부품별 요소 특성

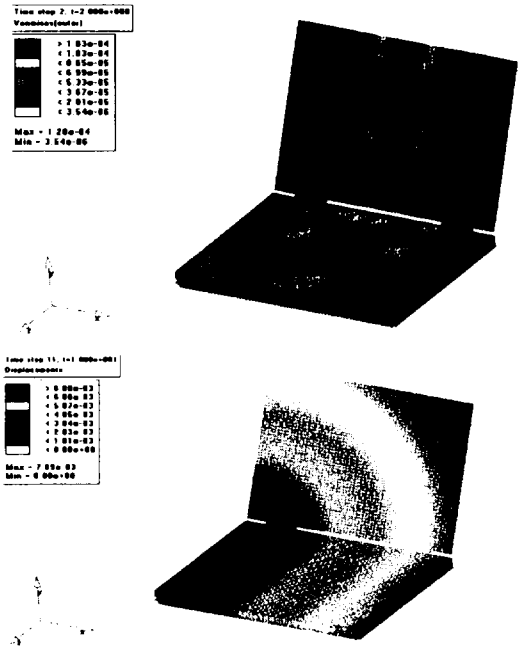
순서	부품명	요소특성	무게(g)		요소수	절점수
			실제	모델링		
1	Lower Case	Shell		589	6860	3995
2	Upper Case	Shell		590	6845	6978
3	HDD	Solid	110	109	4201	4765
4	FDD+CDROM	Solid	398	372	5626	5861
5	Battery	Solid	450	452	5551	5791
6	Connector	Shell	852	828	36	60
7	LCD	Shell			6070	6185
	전체 모델		3020	3036	21404	17960

5. 충격 해석 및 시험과 비교평가

수많은 부품으로 구성된 노트북 PC를 해석을 위해 약 21,000개의 요소로 구성하여 해석을 수행하였다. 각 부품 재료의 기계적 특성은 Housing, PCB 기판에 대하여 인장 시험한 결과를 사용하였고, Housing에 부착된 알루미늄 방열판은 핸드북을 이용하였다. 또한 HDD, FDD, CD-ROM 등은 실험과 비교하여 단품 해석을 통하여 모델링하였다. 해석의 수행은 충격 후 10 msec (0.01 second)까지 해석을 진행하였다. 충격시 가속도를 측정하는 위치는 실험과 같은 위치인 Housing의 Upper case에서 3곳과 Spindle motor가 위치한 HDD의 윗면의 node점에서 데이터를 추출하였다. 해석에서도 500Hz로 digital 필터링 하였다. 그 결과는 아래의 Table 6과 Fig. 8과 같이 나타나있다. 해석의 결과가 실험과 우수한 Correlation을 얻을 수 있었다.

Table 6 충격 가속도 최대치 비교

위치		최대가속도		
		실험치 (R. foor)	실험치 (w/o)	LS-DYNA
Housing	위치 1	101.7G	149.4G	105G
	위치 2	155.0G	113.0G	46G
	위치 3	127.3G	149.7G	119G
HDD 표면	위치 4	109.4G	93.13G	118G



Fig, 8 Von-Mises Stress 및 Deformation 분포도

6. 결론

충격에 의한 노트북 컴퓨터의 안정성, 특히 HDD의 충격 가속도를 최소화하고 HDD를 마운팅하는 기구물에 대한 최적 설계를 위하여 진행된 연구에서 충격해석은 초기 각속도를 이용하여 해석을 진행하였는데 실험의 결과 One Side Fall Drop을 할 때 바닥 면과 접촉하는 짧은 순간, Housing 하단부위 특히 HDD 근처에 집중적으로 접촉하는 지점이 있음을 알 수 있다. 이 지점은 측정치가 크게 나온 Housing의 위치 2의 바로 밑에 해당하는 곳이다. 향후, 접촉문제를 해결하기 위해서는 해석의 방법을 자유낙하 충돌을 모델링하여 Housing 변형까지 고려하여, 접촉에 대한 특성 검증이 필요하고 또한, 고무다리 위치 외에는 바닥과 접촉이 되지 않도록 컴퓨터의 하단부를 설계해야 할 것이다.

참고문헌

(1) J. Wu, et al, "Drop/impact test in ASMR, 98'winter Advanced Mechanical Technology of Motorola", 1998

(2) U. S. Patent, No. 4,553,884, "Boring Tool and Method of Reducing Vibrations," 1985.

(3) R. W. New, Y. H. J. Au, "Chatter-Proof Overhang Boring Bars," ASME, J. of Mechanical Design," Vol. 102, pp. 611-618, 1980.

(4) M. Yoshimura, "Vibration-Proof Design of Boring Bar with Multidegree of Freedom Dampers," ASME J. of Mechanisms, Transmissions, and Automation in Design, Vol. 108, pp. 442-447, 1986.

(5) U. S. Patent, No. 4,616,738, "Damped Boring Bar and Tool Holder," 1986.

(6) 임경화 외4명, "고능률 방진 보링바 개발에 관한 연구," 한국정밀공학회 춘계학술발표논문집, 1997.

(7) Cyril M. Harris, "Vibration & Shock Handbook," Mcgraw-Hill, Third edition,1988.

(8) J.B.HUNT, "Dynamic Vibration Absorbers," Mechanical Engineering Publications Ltd, 1979.

(9) S. A. Tobias, "Machine Tool Vibration," John Wiley & Sons Inc., 1965.

(10) J. C. Snowdon, "Vibration and Shock in Damped Mechanical System," John Wiley & Sons Inc., 1968.

(11) Z.Zheng, "Mechnical Vibration(Ⅰ, Ⅱ),"1988.

(12) S.Kessler, et al, "Instrumented Impact Testing of Plastics and Composite Materials, Symposium Sponsored by ASTM Committee D-20 on Plastics," Mar, 1985

(13) O.C Zienkiewicz, McGraw-Hill, "The Finite Element Method (The 3rd edition)," 1977

(14) J.O.Hallquist, "Theoretical Manual for DYNA3D," LLNL, 1985

(15) Guoshu Song, "Drop/Impact Simulation and Test Validation in Motorola," 5th International LS-DYNA Users Conference, 1998

(16) S.S. Choi, "Drop Impact Simulation for Optimum Design of TFT-LCD", 5th International LS-DYNA Users Conference, 1998