

노트북 컴퓨터의 충격성능 분석 및 대책

Analysis and Countermeasure for Shock-proof Performance of Laptop Computers

°임경화* · 윤영한* · 안채현** · 김진규** · 이승은**

Kyung-Hwa Rim, Youghan Youn, Chaehun An, Jinkyoo Kim and Seung-Eun Lee

Key Words :

Computer(컴퓨터), HDD(하드디스크), Drop Test(낙하실험), Shock Reduction(충격저감), Modal Test(모드시험), FEM(유한요소법), Cut-off Frequency(차단주파수), Frequency Response Function(주파수 응답함수)

ABSTRACT

This paper deals with an analysis and countermeasure for improving the shock performance of laptop computers. The shock analysis is carried out by using the commercial program of LS-DYNA3D. Also the analysis is verified by the measurements from modal tests and shock tests. The available countermeasures are investigated theoretically and experimentally to find the effective methods of reducing the shock acceleration on hard disk driver during one side fall test. The hard disk drive is the most sensitive part in a laptop computer. This research shows the effects of the spring constant of rubber pad, the reinforcement of mechanical parts and the location of a hard disk driver, on the shock reduction.

Key Words :

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

1. 서 론

정보화시대를 맞이하여 멀티미디어 제품들 중에서 휴대가 가능한 제품 등이 많이 개발되고 있다. 이와 함께 노트북 컴퓨터, 휴대폰, 웹패드 등의 휴대성 제품들은 소비자의 사용 편리성을 위해 점차 경량화 되고 있는 추세이다. 이에 따라 소비자의 사용 부주의, 주변 기기 충격 등으로 제품 고장 또는 파손이 많이 발생하여 제품의 내충격성에 대한 인식이 높아지고 있다.

충격 저감을 위해서 충격해석방법⁽¹⁾과 실험방법⁽²⁾⁽³⁾에 대한 연구와 함께 시스템 특성을 고려하여 실제 설계 대책까지 제안하는 연구들⁽⁴⁾⁽⁵⁾이 다양하게 진행되어 왔다. 컴퓨터에 대한 충격은 대체적으로 하드디스크 드라이브의 내충격성에 대해서 많은 연구⁽⁶⁾⁽⁷⁾⁽⁸⁾가 진행되고 있다. 이에 비해 컴퓨터 전체에 대한 충격연구는 미비한 상황이다.

본 연구의 목적은 노트북 컴퓨터의 내충격성을 향상시키기 위하여, 충격해석과 실험을 이용하여 충격성능 분석과 개선안을 수립하는데 있다. 본 연구에서는 유한요소법을 이용한 충격해석 모델링을 사용하여, 현재 개발된 노트북 컴퓨터에 적용하여 분석하고자 한다. 해석 모델링에 사용된 프로그램은 충격해석 전용 프로그램인 LS-DYNA3D 상용프로그램을 사용하였고, 실험에서는 실제 제품의 충격 실험과 모드시험(modal test)을 이용하여 조사하였다. 대체적으로 노트북 컴퓨터에서 충격에 제일 약한 부품은 하드디스크 드라이브(hard disk drive)로 알려져 있다. 그 이유는 HDD 헤드와 하드디스크가 15~30 nm 정도의 초미세 간격을 유지하면서 신호를 검출하는 것이므로, 외부 충격진동에 취약할 수밖에 없는 구조를 가지고 있다. 그래서 본 연구에서는 외부의 상하방향 충격진동이 올 때, 하드디스크 드라이브(HDD)에 전달되는 진동 가속도를 충격성능의 평가항목으로 정하였다.

* 한국기술교육대학교

** 한국기술교육대학교 대학원/학부

2. 충격 해석

2.1 충격 해석 방법

해석모델은 국내에 개발되고 있는 실제 제품의 노트북 컴퓨터를 선정하였으며, 이를 해석하기 위해 충돌·충격해석 프로그램인 LS-DYNA3D⁽⁹⁾를 사용하였다.

Fig. 1과 같이 노트북 컴퓨터의 충격시험 방법 중에 제일 많이 이용되는 단측면 추락시험(one side fall test)인 경우에 대해서 해석하였다. 전후좌우 낙하 중에서 HDD에 가장 큰 충격량을 주는 노트북 컴퓨터의 좌측면이 바닥과 접촉하고 있고, 우측면이 지면과 100mm 높이를 가지고 바닥에 떨어지는 상황을 선택하였다. 충격 상황을 초기 각속도 조건을 부여하는 형태로 가정하여 해석하였다.

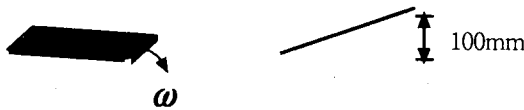


Fig. 1 Condition of one side fall test

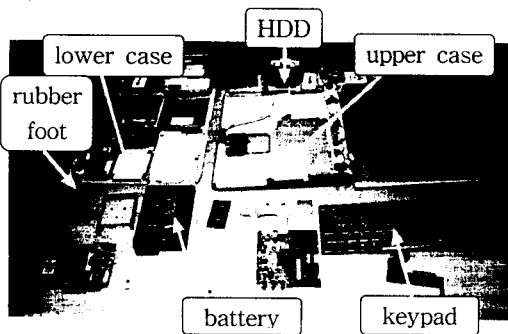


Fig. 2 Parts of a laptop computer

노트북 컴퓨터의 요소 분할(element meshing)작업은 설계팀에서 제공한 Pro/E/CAD 데이터를 IGES파일로 변환하여 요소분할 전용프로그램인 Hyper-Mesh를 이용하여 주요 부품을 모델링 하였다. 부품간 연결 및 상호 접촉 문제는 실물을 바탕으로 스프링 요소(spring element) 추가 및 접촉(contact) 조건을 부여하였다. Fig. 2는 분석할 노트북 컴퓨터의 분해된 부품들이다. 모델링에서 고려한 주요 부품들은 케이스 하판(lower

case), 케이스 상판(upper case), 기판(PCB), 열판(heat plate), 고무패드(rubber foot), HDD, LCD, 키이패드(keypad)이므로, 상세하게 모델링 하였다. 이에 비해 CD-ROM, 밧데리, FDD 등의 형상은 해석에 직접적인 영향이 작다고 판단하여 집중질량으로 모델링 하였다. 또한 LCD는 해석상 관심 대상이 아니므로 간단히 모델링 하였다. 부품 연결에서는 볼트 체결로 이루어진 부분은 강성이 큰 스프링 요소로 연결을 하였으며, 접촉면이 부품 상호간 큰 영향을 나타내지 않는 부분에서는 교차하는 절점에서 연결(merge)하였다.

2.2 충격해석 모델 검증

모델링 검증을 위하여 주요 부품별로 재료시험을 통하여 측정된 물성치를 입력한 뒤에, 조립 시스템에서는 측정된 시스템의 고유진동수와 충격가속도를 비교를 하여 해석모델을 검증하였다.

조립된 노트북 컴퓨터의 측정 고유진동수와 비교하기 위하여, MSC/NASTRAN을 이용하여 모든 부품이 결합된 상태에서 모드해석을 수행하였다. 해석상의 조립 시스템의 무게는 실제 무게와 거의 일치하였다. Fig. 3과 같이 1차 모드인 케이스 상판의 굽힘 모드 고유진동수가 50.1 Hz로 해석에서 계산되었다. 모드시험에서도 1차 모드가 케이스 상판의 굽힘 모드이었고, 고유진동수는 54Hz로 측정되었다. 약간 차이는 나지만 유사하게 일치함을 알 수 있다.

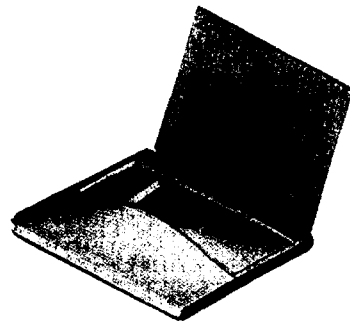


Fig. 3 1st mode shape of a computer (50.1Hz)

조립된 시스템의 충격가속도 충격 파형을 비교하기 위하여, 충격 가속도 측정에서 사용한 500Hz 차단주파수의 SAE 필터를 동일하게 사용하였다. 하드디스크 드라이브가 위치하고 있는 컴퓨터의 우측면을 100mm 높이로 들어올려 단측면 추락시험(one side fall test)하면서 하드디스크 드라이브 상에서 측정하였다. Fig.4는 측정된 가속도와 함께 해석한 충격 가속도를 보여주고 있다. 실험 결과와 해석 결과를 비교해보면, 충격 주기 및 가속도 최대크기가 상당히 일치함을 알 수 있다.

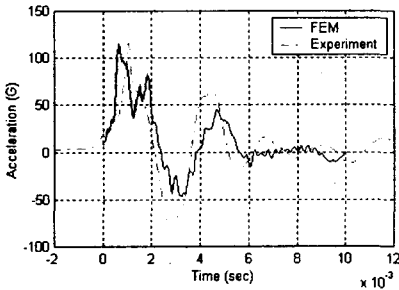


Fig. 4 Acceleration on a HDD

3. 분석 및 대책

하드디스크 드라이브에 전달되는 충격을 저감시키기 위해서, 충격 전달경로에 있는 부품들의 설계가 충격 성능 관점에서 분석되어야 할 것이다. 그래서 충격 전달 경로에 있는 고무패드, 케이스 하판, 케이스 상판 및 하드디스크들에 대해서 내충격성을 분석하고 대책을 세우고자 한다.

3.1 고무패드의 동특성

3.1.1 고무패드의 동특성 측정

현재 노트북 컴퓨터의 바닥 모퉁이 4곳에 있는 고무패드의 동특성치(강성, 감쇠비)을 모드시험(Modal Test)을 통하여 측정하였다. 노트북 컴퓨터의 케이스를 비롯한 기구물의 동특성을 배제하기 위하여, Fig. 5와 같이 고무패드 위에 컴퓨터 무게와 유사한 3kg 강체를 올렸다. 고무는 비선형 특성이 크므로 초기 정적 변위를 일치시킬 필요가 있다. 그리고 가진기(vibration exciter)로 정현파 가진(sine-sweeping Excitation)하면서 고유진동수와 감쇠비를 구하였다. 측정된 고유진동수를 이용하면 동적 강성(dynamic

stiffness) k 를 구할 수 있다. Fig. 6은 외부 진동가속도에 대한 강제 가속도의 주파수 응답함수(frequency response function)와 기여도 함수를 보여주고 있다. 현재 사용되는 고무 부품뿐만 아니라 다소 특성이 다른 고무 재료(우레탄, NBR)로도 제작하여 동일한 실험을 하였다. Table 1은 고무재료 종류에 따라 측정된 동특성치이다. 우레탄 고무가 현재 사용되는 고무패드보다 강성이 작음을 알 수 있다.

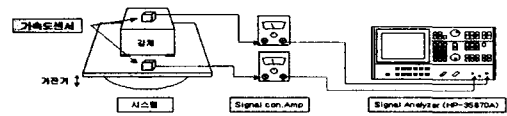


Fig. 5 Schematic of experimental set-up

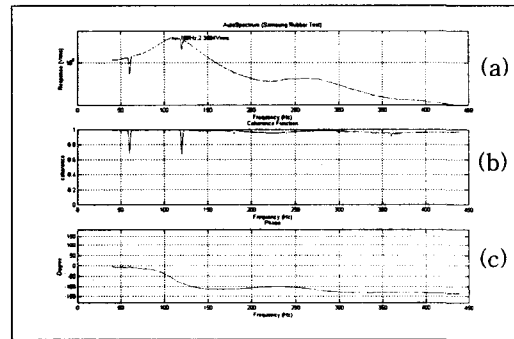


Fig. 6 Measured frequency response function : (a) Magnitude of FRF, (b) Coherence function, (c) Phase of FRF.

Table 1 Property of rubber foots

Property	Material of rubber foot		
	A(Current)	B(Uretan)	C(NBR)
Stiffness constant (MN/m)	1.57	1.00	1.68
Damping ratio	0.21	0.18	0.23

3.1.2 강제모델 해석을 이용한 분석

고무패드의 강성에 따른 하드디스크 드라이브에 전달되는 충격량을 정성적으로 살펴보기 위하여 삼성 노트북의 컴퓨터를 Fig. 7과 같이 간단히 2자유도계로 모델링 하였다.⁽¹⁰⁾ 유한요소법의 충격해석은 상당한 계산 시간이 필요하므로, 이 경우는 강제해석이 효율적이다. 질량 m_1 과 m_2 는 각각 케이스를 포함한 기구물의 질량(2.91kg)과 HDD 질량(0.11kg)에 해당하고, 강성 k_1 과 k_2 는 각각 고무패드의 강성과 하드디스크 드라이브의 지지대의 강성에 해당한다. 이 때 강성 k_1 는 현재 사용되는 고무 패드의 강성치($k_1=1.57\text{MN/m}$) 근처에서 조사하였다. 감쇠 c_1 은 모드시험에서 구한 감쇠비(0.21)가 되도록 설정하였고 기구물의 감쇠 c_2 는 무시하였다.

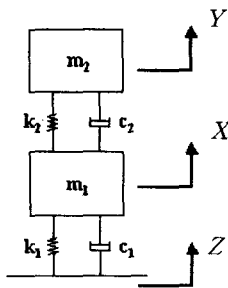


Fig. 7 2 D. O. F Model

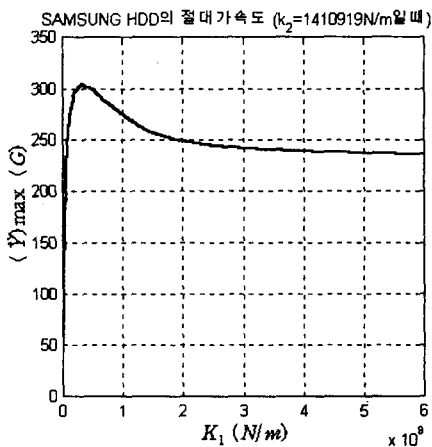


Fig. 8 Maximum acceleration with a variation of stiffness constant of rubber foot.

충돌 후 멈추는 과정을 지반 가속도 \ddot{z} 가 반정현 함수(Half-Sine Function, duty time: 2ms) 형태로 발생된다고 가정한다. Fig. 8은 고무패드(rubber foot) 강성을 변화시키면서 각각 질량 m_2 의 최대 충격가속도를 살펴본 것이다. 현재 사용하는 고무패드의 강성치 근처에서는 강성이 증가하면 하드디스크 드라이브(질량 m_2)에 전달되는 충격량이 민감하게 증가되는 것을 알 수 있다. 그러므로 충격성능 관점에서는 고무패드를 약하게 하는 것이 좋을 수 있다. 물론 너무 약해지면 미끌림 방지기능이 떨어지므로 두 가지 성능을 동시에 고려하여 설계해야 할 것이다.

3.1.3 충격실험을 통해서 확인

고무패드의 특성치에 따라 하드디스크 드라이브(HDD)에 전달되는 충격 가속도변화를 조사하기 위하여, 고무패드를 바꾸면서 높이 100mm 단축면 추락시험을 하였다. 또한 고무패드 부착의 필요성도 확인하기 위하여, 고무패드를 제거하고 금속패드를 부착하여 실험하였다. Table 2는 고무패드 종류를 바꾸면서 하드디스크 드라이브에서 측정된 충격가속도의 최대치이다. 해석결과와 같이 대체적으로 강성이 증가할수록 충격가속도의 최대치가 크게 발생함을 알 수 있다. 특히 강성이 상당히 큰 금속패드인 경우는 약 2배 정도 크므로 내충격성을 위해서도 고무패드가 필요함을 알 수 있다. 우레탄(Uretan) 고무인 경우는 Table 2에서 강성이 현재고무보다 강성이 작아서 충격치도 상당히 감소함을 알 수 있다. 그러나 우레탄 고무인 경우는 미끌림이 있을 때 좌굴이 일어날 가능성이 많았다. 참고로 IBM의 HDD 작동 충격 사양(shock spec.)은 충격가속도의 최대치가 175G/2msec 이하로 규정하고 있다.

Table 2 Maximum acceleration on HDD

고무패드 종류			
A(Current)	B(Uretan)	C(NBR)	steel pad
114.1G	93.5G	110.0G	185.4G

3.2 케이스 보강

유한요소법의 충격 해석 모델을 이용하여 케이스 보강에 따른 내충격성 향상을 조사하였다. 케이스 보강의 수준은 현 설계치에서 제작이 가능한 범위에서만 조사하였다. 하판과 상판이 서로 결합되는 케이스 측면 구조의 보강 효과를 분석하기 위하여, 측면 판재의 두께를 현 두께 2mm에서 각각 4mm와 6mm로 증가하였을 때 그 효과에 대한 해석을 수행하였다.

측면 구조를 현재 설계치의 2mm에서 4mm로 증가하여 보강하였을 경우, Fig. 9에서 HDD에서의 가속도 값은 115.4G에서 97.5G로 약 15.5% 정도 감소함을 알 수 있었다. 이에 비해 6mm로 증가하는 상대적으로 중량의 증가로 인해 HDD에서의 가속도 값은 106.9G로 4mm 두께보다 충격치 저감효과가 감소하였다. 6mm로의 증가는 기준 모델(baseline model)보다 가속도가 약 7.4% 만 감소하는 효과가 있었다. 이는 하판 충격량이 측면 구조를 타고 상판에서 HDD로 전달되는 양과 측면에서 직접적으로 HDD에 전달되는 양이 두께에 따라 다르게 영향을 주기 때문이다.

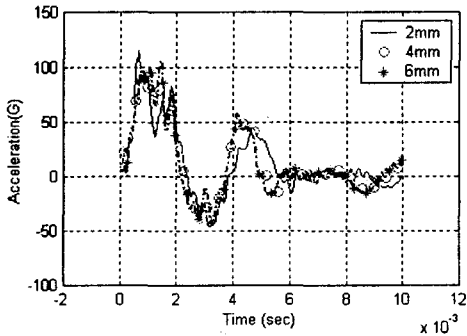


Fig. 9 Acceleration on HDD under different thickness of side wall.

3.3 하드디스크 드라이브 설치위치

3.3.1 실험을 통한 분석

HDD에 전달되는 충격 가속도의 크기를 최소화하기 위해서는 HDD를 케이스 내부에 최적 배치할 필요가 있다. 그런데 현재 노트북 상에서는 고무패드 중간에 접촉 문제로 인해 최적 배치를 알기 위한 실험을 실제 노트북 상에서 하기가 힘들

다. 그래서 균일한 두께를 가지는 단단한 강판(steel plate) 양단에 고무패드를 부착하고, 단측면 추락시험(one side fall test)시 위치에 따른 위치별로 충격가속도의 크기를 상대 비교하였다.

Fig. 10과 같이 고무패드 현재 위치를 기준으로 정하여, 측면 길이방향으로 2cm간격씩 가속도 센서의 측정위치를 바꾸면서 단측면 추락시험을 하였다.

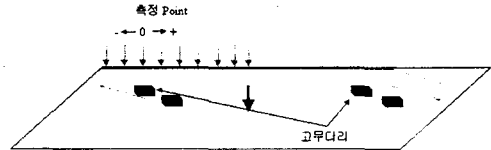


Fig. 10 Measurement positions along side wall.

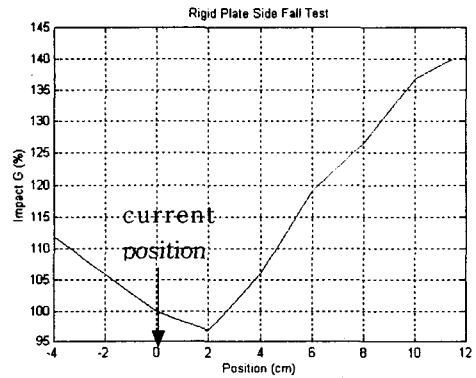


Fig. 11 Maximum acceleration on measurement positions

Fig. 11은 현재 위치의 충격가속도의 크기에 대한 위치를 이동하면서 측정된 최대 가속도의 크기를 상대적으로 표시한 것이다. 충격이 가장 큰 위치는 2개 고무패드의 정 중앙 부분(12cm거리)이다. 또한 고무패드를 기준으로 중앙방향으로 약간 이동한 위치(2cm 위치)가 가장 충격이 작고, 이 점에서 양단으로 갈수록 거의 선형적으로 증가함을 알 수 있다. 그러므로 현재 노트북의 케이스의 굽힘 강성을 보강하더라도 고무패드 근처가 최적 위치임을 알 수 있다. 현재 모델인 경우는 고무패드로부터 중앙방향으로 약 5.5cm 떨어진 곳에 HDD가 배치되어 있으므로 위치 조정을 하면 약 15% 충격치 저감 효과가 있을 것으로 기대된다.

3.3.2 충격해석을 통한 분석

HDD 최적의 위치를 분석하기 위하여 아래와 같이 해석하였다. 우선 HDD 배치를 한 뒤에, 균일한 무게 배치를 위하여 FDD, CD-ROM, 밧데리는 재배치하였다. 그리고 나머지 작은 부품들은 원래 모델(Baseline Model)과 같은 위치에 배치하였다.

해석은 100mm 오른쪽을 올린 경우와 왼쪽을 올린 경우의 두 가지 단측면 추락시험(one side fall test) 조건에 대해서 해석하였다. Table 3은 HDD 배치에 따라 충격가속도의 최대치를 구한 해석결과이다. 우선 HDD의 위치가 하판에 위치할 경우, 모두 높은 가속도가 예상된다. 이는 충격이 1차적으로 하판으로부터 전달되어 오기 때문이다. 그러므로 HDD가 위치할 곳은 하판으로부터 가급적이면 멀리 떨어진 위치에 자리잡는 것이 유리하다. 또한 실험결과와 같이 고무패드의 중앙보다는 고무패드 근처(Near LCD, Far LCD)가 유리함을 확인할 수 있다. 결론적으로 HDD의 최적 위치는 상판에 배치되면서 고무패드 근처임을 알 수 있다. 다만 상판은 하판과 옆측벽 구조물로서 이어져 있기에 충격이 측벽을 타고 전달되기 때문에 상판의 강성을 증가시키면 더욱 좋은 충격 저감 효과가 있을 것으로 기대된다.

Table 3 Maximum acceleration on HDD

Position of lifting computer	HDD Position		Maximum acceleration (G)
	Case	Location	
Left	upper case	Near LCD	195
		Far LCD	143
	lower case	Near LCD	336
		Middle	468
		Far LCD	240
Right	upper case	Near LCD	169
		Far LCD	186
	upper case	Near LCD	272
		Middle	431
		Far LCD	262

4. 결 론

본 연구에서는 충격 성능을 향상시키기 위하여, 현재 개발하는 국내 노트북 컴퓨터에 대한 충격해석 모델링을 수립하였다. 그리고 실험결과와 수치해석 결과를 이용하여, 문제점 분석 및 설계개선 방향을 제시하였다.

고무패드는 충격 완화를 위해 필수적인 부품으로 확인하였고, 미끌림 방지를 위한 기능 저해와 재료 좌굴(buckling)이 일어나지 않는 한도 내에서 강성을 작게 하는 것이 좋음을 알 수 있었다. 케이스 측면 구조물의 보강은 효과가 큼을 알 수 있었다. 부품 배치에서는 충격에 예민한 부품인 HDD는 상판에 배치하면서 고무패드 위에 배치하는 것이 좋음을 알 수 있었다.

- (1) P. F. Gunniff and G. J. O'Hara, "A Procedure for Generating Shock Design Values," Journal of Sound and Vibration, Vol. 134, No. 1, pp. 155~164, 1989.
- (2) S. Kessler, et al, "Instrumented Impact Testing of Plastics and Composite Materials," Symposium Sponsored by ASTM Committee D-20 on Plastics, Mar, 1985.
- (3) J. Wu, et al, "Drop/impact test in ASMR," 98' winter Advanced Mechanical Technology of Motorola, 1998.
- (4) G. Song, "Drop/Impact Simulation and Test Validation in Motorola," 5th International LS-DYNA Users Conference, 1998.
- (5) S. S. Choi, "Drop Impact Simulation for Optimum Design of TFT-LCD," 5th International LS-DYNA Users Conference, 1998.
- (6) J. L. Aristegui, T. L. Geers, "Shock Analysis of a Disk Drive Assembly," Symposium of Information Storage & Processing Systems, pp. 28~30, 1999.
- (7) 김광준 등, "하드디스크 드라이브의 충격 입력에 대한 충격저감기술 연구," 대한기계학회 2000년도 동역학 및 제어부문 하계학술대회 논문집, pp. 582~587, 2000.
- (8) 임경화, "헤드간섭으로 인한 회전디스크의 안정성 분석," 한국소음진공학회지, Vol. 10, No. 5, pp. 865~872, 2000.
- (9) J. O. Hallquist, "Theoretical Manual for DYNA3D," LLNL, 1985.
- (10) Cyril M. Harris, "Vibration & Shock Handbook," McGraw-Hill, Third Edition, 1988.