

유한 요소법을 이용한 초소형 광디스크 드라이브의 충격해석 Shock Response Analysis of Small Form Factor Optical Disk Drive using Finite Element Method

김시정* 장영배**·박노철 ***· 박영필 ****
Shi-Jung Kim, Young-bae Jang, No-Cheol Park, Young-Pil Park

Key Words : shock analysis(충격 해석), SFFO Drive(초소형 광디스크 드라이브), FEM(유한요소법),

ABSTRACT

Nowadays, mobile devices are very common equipments such as mobile phone, PDA, etc. These equipments need information storage devices. Optical storage devices have more advantages than other storage devices, but it is not free from shock situation like dropping by user's mistakes.

A complete model of a Small Form Factor Optical(SFFO) disk drive subject to shock loads is developed to investigate the response of the pickup/disk interface. With this model, we can simulate the drop test and consider the matters of shock simulation using commercial software(Ansys/LS-Dyna).

1. 서 론

디지털 기기가 발달함에 따라서 PDA, 캠코더, mp3 와 같은 휴대용 기기가 대중화되고 있다. 특히 현재 출시되고 있는 휴대폰에는 디지털 카메라, mp3 플레이어, 동영상 재생기 등과 같은 기능을 포함하는 제품들이 출시되고 있어 이런 기능을 뒷받침 하기 위해 초소형의 정보 저장 기기가 필요하다. 광 저장 장치의 경우 사용의 편리성으로 인해 휴대용 기기를 위한 가장 유력한 저장 장치로 대두되고 있다. 휴대용 기기에 사용되는 정보 저장 기기의 경우 사용자의 실수로 인한 충격을 받게 되는 상황이 매우 빈번하게 발생하게 되므로 이에 대한 대책이 필요하다. 특히, 낙하로 받는 충격은 광 디스크 드라이브의 픽업과 디스크가 충돌을 일으켜 큰 충격을 받을 수 있고 그 충격으로 인해 픽업부가 파손되어 드라이브 자체가 사용 불가능이 되는 경우도 예상할 수 있을 것이다.

따라서 이 논문에서는 이러한 상황에 대한 시뮬레이션을 통해 초소형 광디스크의 충격 반응에 대한 분석 하고 이러한 충격 시뮬레이션에서 고려해야 될 점이 무엇인지 파악해 보기로 한다.

2. 충돌 시뮬레이션 모델

2.1 간단한 수학적 모델

일반적으로 낙하 하는 물체는 아래의 그림과 같은 두 강체 간의 충돌 현상으로 간단한 수학적 모델을 만들 수 있다.

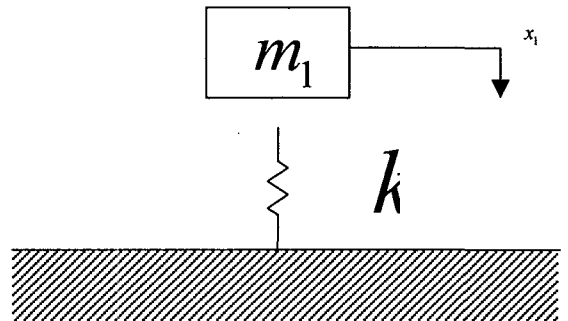


Fig 1. Simple Mathematical Model

여기서 m_1 은 낙하 물체의 질량, 스프링 상수 k 는 낙하 물체와 바닥 면의 물성치에 의해 상대적으로 정해지는 값이다. 위의 모델에서 낙하 물체에 대한 운동 방정식은 식 (1)과 같다.

$$m_1 \ddot{x}_1 + kx_1 = 0 \quad (1)$$

여기서 바닥 면의 질량은 낙하물에 비해 매우 크다고 가정할 수 있으므로 바닥의 질량은 0 이라 가정하고 위의 식 (1)을 라플라스 변환하여 충돌 순간의 초기 조건(초기 변위 0, 초기 속도 V_0)을

* 연세대학교 기계공학과 대학원
E-mail : shijung@nate.com
Tel : (02) 2123-4677, Fax : (02) 365-8460
** 연세대학교 기계공학과 대학원
*** 연세대학교 정보저장 협동과정 조교수
**** 연세대학교 기계공학과 정교수

적용하면 식 (2)와 같이 된다.

$$X(s) = \frac{\sqrt{\frac{k}{m_1}}}{s^2 + \frac{k}{m_1}} \sqrt{\frac{m}{k}} \dot{X}(0) = \frac{\omega_n}{s^2 + \omega_n^2} \frac{1}{\omega_n} \dot{X}(0)$$

$$\therefore x(t) = \sin \omega_n t \cdot \frac{V_0}{\omega_n}$$

$$\ddot{x}(t) = -\omega_n V_0 \sin \omega_n t \quad (2)$$

따라서 낙하하는 물체가 받는 가속도는 위의 식에서 보는 것과 같이 낙하 물의 질량과 바닥 면의 강성에 의해 결정되는 고유 진동수 ω_n 과 낙하 속도에 의해 결정된다.

식 (2)로부터 낙하 높이와 관계되는 낙하속도 V_0 가 커질수록 낙하 물체에 가해지는 입력 가속도의 크기에만 영향을 미치지만 바닥 면의 강성과 낙하 물체의 질량에 관련되는 계의 고유진동수 ω_n 이 커질수록 입력 가속도의 크기는 커지고 주파수는 짧아지는 현상이 나타나게 된다.

Fig.2 는 여러 가지 높이에서 낙하시킨 물체에 대한 가속도 신호를 시뮬레이션을 통해 얻은 결과이고 Fig.3 는 바닥 면의 강성을 다르게 적용하여 가속도 신호를 얻은 결과 그래프이다.

일반적인 낙하로 인한 충격은 반정현파(Half Sine Wave)로 가정하고 있으며 위의 식과 시뮬레이션 결과에서도 반정현파의 가속도를 입력 신호로 하는 것이 타당함을 알 수 있다.

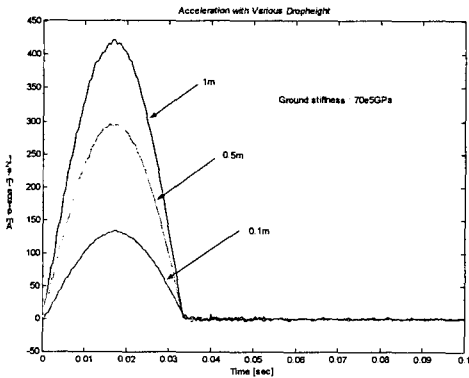


Fig. 2 Acceleration with various drop-height

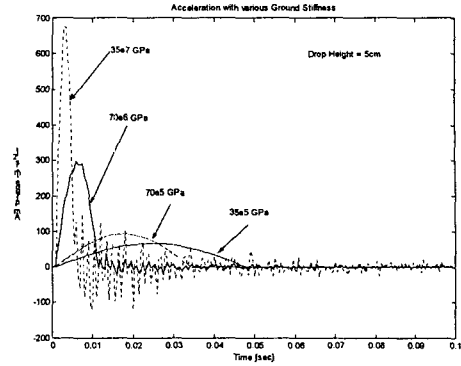


Fig. 3 Acceleration with various ground

2.2 충격 해석을 위한 유한 요소 모델링

Fig.4 는 초소형 광 디스크 드라이브를 위한 요소법에 적용하기 위한 FEM 모델이다. 현재 연세대학교 정보저장기기 연구 센터에서 개발 중인 2 와이어 리니어 타입 드라이브의 충격 해석을 위해 유한요소 모델로 구성한 것이다.

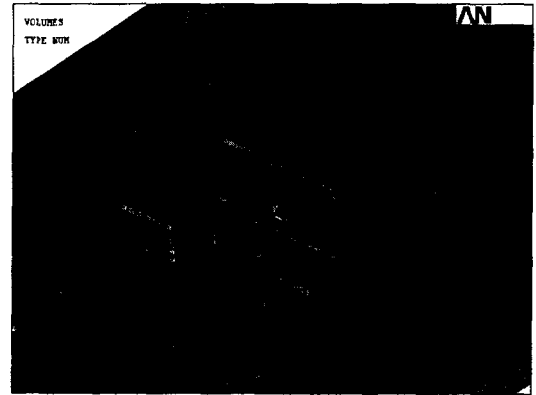


Fig. 4 FEM Model for Shock Test

이 모델은 직경 0.08mm, 길이 5.4mm 의 와이어 2 개로 픽업부를 지지하고 있는 구조를 이루고 있다. 디스크와 픽업 사이의 거리는 0.25mm 이다. 따라서 외부로부터의 충격이 가해질 경우 디스크와 픽업 사이의 충돌로 픽업 렌즈부에 손상을 줄 수 있을 것으로 예측된다. 전체적인 모델의 요소는 Explicit dynamic code 인 Ansys/LS-Dyna 를 사용하기 위해 solid164 를 사용했으며 약 15000 여 개의 요소로 구성되어 있다. 캐리지의 이송을 담당하는 요크와 스프링 모터는 일반적인 철로 구성되어 있고, 캐리지는 알루미늄, 픽업과 디스크는 폴리카보네이트로 이루어져 있다. 또 와이어는 beam161 요소를 이용하였고 재질은 스테인리스 스틸 재질을 이용하였다.

3. 모드 해석

3.1 디스크 드라이브의 모드 해석

충격 시뮬레이션에 앞서 우선 모드 해석을 수행했다. 모드 해석을 통해 시스템의 반응 특성을 개략적으로 파악할 수 있고 이를 이용해 충격에 노출되었을 때 어느 부분이 가장 취약할 것인지를 예측해 볼 수 있다.

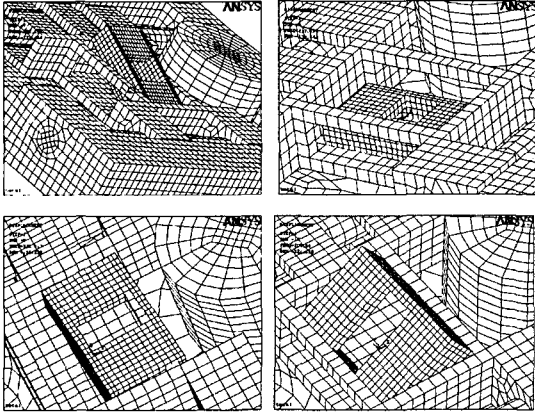


Fig 5. Mode shapes from pickup

Table 1. Natural frequencies of Pickup unit

Mode	Frequency
1. pitching motion	172 Hz
2. translational motion(1)	217 Hz
3. translational motion(2)	222 Hz
4. rolling motion	308 Hz
5. disk umbrella mode	1897Hz

모드 해석 결과 픽업의 상하 운동의 고유 진동수가 약 200~300Hz 근방에서 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 그 다음으로 나타나는 시스템의 고유 진동수는 디스크의 우산 모드로 고유 진동수가 약 1900Hz 근방에서 나타나는 것을 알 수 있었다. 따라서 일반적인 충격으로 인한 반응(약 1~10msec의 지속 시간을 갖는 반정현파)은 픽업의 반응이 대부분을 차지 할 것이라고 생각된다.

4. 충격 해석

4.1 다양한 가속도에서의 충격 반응

일반적으로 낙하하는 물체가 받을 수 있는 충

격은 반정현파의 가속도 신호로 바꿔줄 수 있다. 하지만 바닥면의 재질과 낙하물의 질량(밀도), 낙하 높이에 따라 낙하물이 받을 수 있는 가속도의 크기나 주파수는 매우 다양하다. 따라서 충격 해석시 여러 가지의 크기와 주파수를 갖는 반정현파의 신호를 낙하물에 입력시켜 그 반응을 얻는 것으로 시뮬레이션 해 보도록 한다.

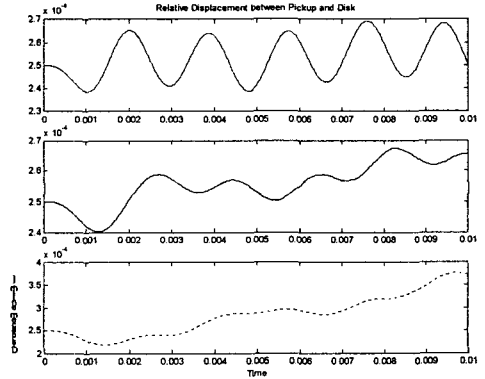


Fig.6 1.25, 2.5, 5ms, 10G Acceleration response

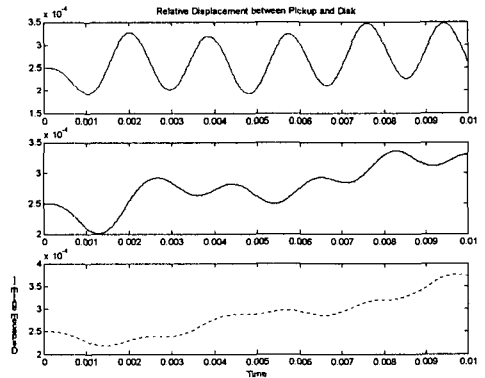


Fig.7 1.25, 2.5, 5ms, 50G Acceleration response

Fig.6 과 7 은 .는 일정한 크기의 가속도 신호를 주파수를 달리하여 입력시켰을 때의 픽업과 디스크 사이의 상대변위를 얻은 그래프이다. Fig.6 은 10G의 가속도, Fig.7은 50G의 가속도를 입력했을 경우의 그래프이다. 이 두 그래프에서는 가속도의 지속 시간에 따라 파형이 달라지기는 하나 지속 시간이 같은 가속도에 대해서는 같은 파형을 나타내고 있다. 또한 위의 결과에서 디스크의 충격에 대한 변위는 픽업의 충격에 대한 변위에 비해 매우 작으므로 충격 해석의 주된 관심은 픽업에 집중되어야 함을 확인할 수 있었다.

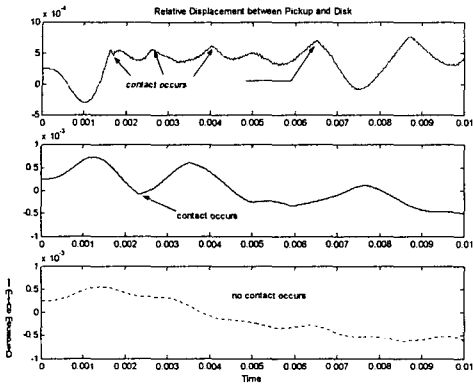


Fig. 8 1.25, 2.5, 5ms, 500G Acceleration response

Fig. 8 은 일정 수준 이상(500G)의 가속도가 입력되었을 경우의 그래프이다. 500G 이상의 가속도가 입력 되면 픽업과 디스크가 충돌하는 현상을 볼 수 있었다. 하지만 1.25~2.5ms의 지속시간을 갖는 가속도를 받았을 경우에는 픽업 자체의 변위가 매우 커져서 디스크와 충돌하지만 5ms의 지속시간을 갖는 가속도를 받았을 경우에는 픽업과 디스크의 충돌은 관측되지 않는다. 이는 픽업 자체의 고유진동수가 200~300Hz 근방에 있기 때문에 그에 해당하는 지속 시간을 갖는 가속도 신호에는 민감하게 반응하기 때문이라고 생각된다. 따라서 픽업부의 손상을 막기 위해서는 200Hz ~ 300Hz 대의 주파수를 갖는 충격을 절연할 수 있는 설계가 고려되어야 하겠다.

5. 결론

이 논문에서는 휴대용 기기로 사용될 수 있는 광디스크 드라이브의 충격 시뮬레이션을 했다. 광디

스크가 받는 충격을 반정현파의 가속도 신호로 가정하였다. 다양한 크기와 지속 시간을 갖는 가속도 신호에 대해 시뮬레이션을 수행한 결과 광디스크 드라이브의 손상에 영향을 주는 주된 요소는 충격 신호의 크기보다는 그 주파수의 영향이 더 큼을 알 수 있었다. 따라서 앞에서 제시한 광디스크 드라이브의 테크의 설계를 하는데 있어서 단순히 큰 가속도 값에 대해 강건한 설계보다는 시스템의 취약한 주파수 대를 찾아 그 주파수 근처의 가속도 신호를 절연해 줄 수 있는 테크의 설계에 초점을 맞춰 설계를 해야 할 것이다.

또한 충격 해석은 매우 많은 계산을 필요로 하기 때문에 다양한 상황에 맞춘 해석을 하기 위해서는 많은 시간을 소모해야만 한다. 그러나 충격해석을 하기에 앞서 시스템 자체의 모드 해석을 통해 시스템이 취약한 주파수를 파악한다면 충격 해석에 소모되는 시간을 크게 줄일 수 있다고 예상된다.

후 기

본 연구는 과학재단 (R11-1997-042-11000-0) 지정 정보저장기기 연구센터의 지원을 받아 이루어 졌으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

- (1) 김광준, 2002, "진동/충격 저감을 위한 설계 개선 기술 실용화", 한국과학기술원
- (2) Eric M. Jayson, 2003, "Numerical and Experimental Investigate of a Hard Disk Drive Subject to Shock and Vibration", UC San Diego.
- (3) John R. Edwards, 1999, "Finite Element Analysis of the Shock Response and Head Slap Behavior of a Hard Disk Drive", IEEE Transactions on Magnetics. 35,2 pp 863-867