

광디스크 드라이브의 충격해석 Shock Analysis of Optical Disk Drives

홍석준* · 장영배* · 박노철** · 박영필***

Seok-Joon Hong, Young-Bae Chang, No-Cheol Park and Young-Pil Park

Key Words : Optical Disk Drive(광디스크 드라이브), Modal Analysis(모드해석), Linear Drop Test(리니어 드롭 테스트), Shock Analysis(충격해석),

ABSTRACT

As optical disk drives become designed for portable and hostile environment, higher storage density and smaller size, optical disk drives have a possibility to miss the track and not to read the data. This paper presents the modeling of an optical disk drive as 3-DOF system. Optical disk drives are tested with a linear drop test device and their results are compared with simulation results in order to verify the shock analysis. Finally, this paper shows shock response of a optical disk drive with changes of parameters

1. 서 론

최근 정보화의 급속한 발전으로 HDD, CD-ROM, DVD 등의 디스크 미디어를 이용한 정보 기록 장치가 보편화되고 있으며 디스크 드라이브의 고밀도화 및 고속화가 가속되어 가는 실정이다. 특히 최근에는 디스크 드라이브를 휴대용으로 사용하기 위한 경량화 및 소형화의 추세가 확산되어 감에 따라 여러 가지 기계적인 문제들이 이슈로 대두되고 있다. 가령 IBM에서 개발된 1 inch HDD의 경우에 있어서 이슈가 되고 있는 문제들 중 기계적인 관점에서 보면 충격의 감소, 디스크 드라이브를 영상기록장치에 사용하기 위한 소음의 감소, 고속 회전에 의한 디스크의 진동 문제, 액츄에이터의 제어 문제 등 여러 가지가 있다. 한편 헤드와 디스크 간의 부상 높이가 수십 nm에 도달함에 따라 마이크로 트라이볼로지에 대한 문제도 대두되고 있다.

한편 광디스크 드라이브의 경우는 현재 52X까지 개발, 출시되고 있다. 또한 픽업 부분의 구조 및 구동방식의 변경을 통해서, 그리고 스피들 모터의 회전속도 증가 및 편심에 의한 영향을 최소화 시키는 등의 방식으로 보다 빠른

액세스 속도를 얻기 위한 연구가 계속적으로 진행중이다. 그러나 광디스크 드라이브의 성능이 개선됨에 따라 광디스크 드라이브에서 트랙의 벗어남(off-track)과 초점의 벗어남(off-focusing)에 의한 작동 오류를 기존의 서보제어 기술로만 극복하는 것은 거의 불가능해졌다.⁽¹⁾

또한 내부 구조가 복잡해지고 보다 정밀한 동작이 요구됨에 따라 외부 충격에 의해서 광 픽업부가 읽어야 할 트랙의 순서를 놓친다거나, 데이터를 읽지 못하는 오동작을 할 가능성이 높다. 특히 정보저장장치가 소형화되는 추세이고 노트북과 같은 휴대용 정보저장장치의 수요가 증가함에 따라 충격문제는 반드시 해결해야 할 과제로 떠오르고 있다.

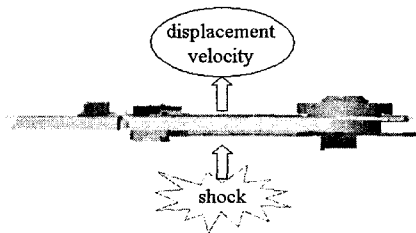


Fig. 1 Scheme of the CD-ROM under the shock

현재 광디스크 드라이브의 고무마운트에 대한 논문⁽²⁾이

* 연세대학교 기계공학과 대학원
E-mail : eagles76@hanmail.net
Tel: (02) 2123-4677, Fax: (02) 364-6789

** 연세대학교 정보저장 협동과정

*** 연세대학교 기계공학부

나 하드디스크 드라이브의 충격해석에 대한 논문³⁾은 종종 발표되고 있으나 광디스크 드라이브의 충격해석에 대한 연구는 아직까지는 드문 실정이다.

본 논문에서는 광디스크 드라이브의 물성치와 기계적 파라미터를 구한 후, 모달해석을 수행하였다. 또한 광디스크 드라이브의 운동방정식을 통해서 얻어진 시뮬레이션 결과와 리니어 드롭 테스터를 이용한 실험결과를 비교한 후 그 타당성을 검증하고, 마지막으로 광디스크 드라이브의 각종 파라미터 변화에 대한 충격응답에 대해 기술할 것이다.

2. 광디스크 드라이브의 구조적 특징

2.1 광디스크 드라이브의 명칭 및 파라미터

(1) 광디스크 드라이브의 명칭

광디스크 드라이브의 경우 Fig. 2에서 보듯이 메인베이스의 아래쪽 중간에 스피들 모터가 달려있어 디스크를 회전시키는 역할을 하며 스피들 모터 안에는 여러 개의 볼이 들어있어 디스크 회전시 편심에 의한 영향을 줄여준다. 또한 슬레드 모터는 메인베이스의 오른쪽 하단에 위치하여 픽업을 양쪽 가이드를 따라 이송시키는 역할을 한다. Fig. 2에 명시된 프레임과 가이드 바의 번호는 임의로 정의한 것이다.

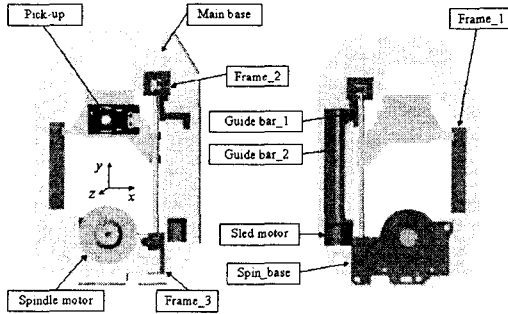


Fig. 2 Structure of the CD-ROM

한편 고무마운트는 메인베이스 위쪽의 하나의 원형 구멍과 아래쪽 양쪽의 구멍에 부착되어 있다. 위쪽의 고무마운트와 아래쪽의 고무마운트의 재질을 비슷하나 형태는 조금 다르게 생겼다. Fig. 2에 표시된 좌표축은 전체 시스템의 무게 중심을 원점으로 하여 표시한 것이며 x축, y축, z축을 각각 피칭, 롤링 그리고 바운싱 방향으로 선정하였다.

(2) 광디스크 드라이브의 기계적 파라미터

Table 1은 광디스크 드라이브에 부착되어 있는 각 부품들의 질량, 밀도 그리고 관성모멘트를 나타낸 것이다. Table 1에서 보듯이 메인베이스 부분의 질량이 가장 크다

는 것을 알 수 있으며, 메인베이스와 두개의 모터 그리고 가이드 바는 금속 물질로 되어 있어 질량이 무거운 편이다. 이에 반해 각 프레임은 플라스틱 재질로 되어 있어 상대적으로 질량이 가벼운 편이며 광디스크 드라이브의 전체 질량은 약 155g정도로 나타났다.

Table. 1 Material property of optical disk drive

Property Parts	Mass(g)	Density (g/cm ³)	Ixx (g-cm ²)	Iyy (g-cm ²)
Main base	69.214	6.43	1141.741	616.991
Frame 1	0.762	0.90	1.289	0.051
Frame 2	0.858	0.90	0.651	0.180
Frame 3	0.731	0.90	0.121	0.057
Guide bar 1	4.631	7.80	27.258	0.052
Guide bar 2	3.474	7.80	11.508	0.039
Guide plate	8.263	6.43	41.006	2.101
Pick-up	14.098	2.53	21.193	8.030
Pick-up cover	0.397	0.90	0.314	0.149
Sled motor	7.979	4.57	1.795	1.795
Spindle base	18.563	6.43	38.678	16.044
Spindle Motor	27.022	3.25	17.342	17.342
Total	155.632			

2.2 광디스크 드라이브의 모델링 및 지배방정식

(1) 광디스크 드라이브 모델링

광디스크 드라이브의 모델링을 하는데 있어서 픽업, 모터, 그리고 여러가지 부품들을 포함한 메인베이스는 3 자유도를 가지는 하나의 강체로 가정할 수 있다. 또한 각각의 고무마운트는 스프링-댐퍼 시스템으로 표현이 가능하다.

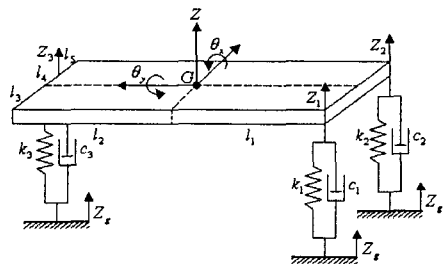


Fig. 3 Free body diagram of 3-DOF system⁽⁴⁾

한편 CD-ROM이 수평한 상태에서 바닥에 떨어질 때 각 고무마운트는 바닥으로부터 동시에 충격을 받으며 해석을 위해서는 이러한 충격에 대한 전체 시스템의 무게 중심점으로부터 결과를 얻은 다음에 이를 다시 픽업의 무게 중심점에 적용시키는 과정이 필요하다.

(2) 3자유도 시스템의 운동방정식

시스템의 운동에너지를 T, 위치에너지를 V, 감쇠에너지를 D라 하고, 이를 식으로 표현하면 다음과 같다.

$$T = \frac{1}{2} m \dot{Z}^2 + \frac{1}{2} I_x \dot{\theta}_x^2 + \frac{1}{2} I_y \dot{\theta}^2 \quad (1)$$

$$V = \frac{1}{2} k_1 (Z_1 - Z_g)^2 + \frac{1}{2} k_2 (Z_2 - Z_g)^2 + \frac{1}{2} k_3 (Z_3 - Z_g)^2 \quad (2)$$

$$D = \frac{1}{2} c_1 (Z_1 - Z_g)^2 + \frac{1}{2} c_2 (Z_2 - Z_g)^2 + \frac{1}{2} c_3 (Z_3 - Z_g)^2 \quad (3)$$

또한 식(1), 식(2), 식(3)의 Z_1, Z_2, Z_3 을 행렬을 이용하여 Z, θ_x, θ_y 로 각각 표현하면 다음과 같이 된다.

$$\begin{pmatrix} Z_1 \\ Z_2 \\ Z_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & -l_1 & -l_3 \\ 1 & -l_1 & -(l_4 + l_5) \\ 1 & l_2 & -l_4 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} Z \\ \theta_x \\ \theta_y \end{pmatrix} \quad (4)$$

즉

$$Z_1 = Z - l_1 \theta_x + l_3 \theta_y \quad (5)$$

$$Z_2 = Z - l_1 \theta_x - (l_4 + l_5) \theta_y \quad (6)$$

$$Z_3 = Z + l_2 \theta_x - l_4 \theta_y \quad (7)$$

이 되며 식(5), 식(6), 식(7)을 식(1), 식(2), 식(3)에 각각 대입하고 정리하면 다음과 같이 된다.

$$T = \frac{1}{2} m \dot{Z}^2 + \frac{1}{2} I_x \dot{\theta}_x^2 + \frac{1}{2} I_y \dot{\theta}^2 \quad (8)$$

$$V = \frac{1}{2} k_1 (Z - l_1 \theta_x + l_3 \theta_y - Z_g)^2 + \frac{1}{2} k_2 (Z - l_1 \theta_x - (l_4 + l_5) \theta_y - Z_g)^2 + \frac{1}{2} k_3 (Z + l_2 \theta_x - l_4 \theta_y - Z_g)^2 \quad (9)$$

$$D = \frac{1}{2} c_1 (Z - l_1 \theta_x + l_3 \theta_y - Z_g)^2 + \frac{1}{2} c_2 (Z - l_1 \theta_x - (l_4 + l_5) \theta_y - Z_g)^2 + \frac{1}{2} c_3 (Z + l_2 \theta_x - l_4 \theta_y - Z_g)^2 \quad (10)$$

이제 라그랑지 수식을 통한 에너지 방법을 적용시켜보자. 라그랑지 수식은 다음과 같다.

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial T}{\partial q_i} + \frac{\partial V}{\partial q_i} + \frac{\partial D}{\partial \dot{q}_i} = Q_i \quad (i = 1, 2, 3) \quad (11)$$

여기서

$$q_1 = Z(\text{Bouncing}), q_2 = \theta_x(\text{Pitching}), q_3 = \theta_y(\text{Rolling})$$

이 된다.

식(8), 식(9), 식(10)을 식(11)에 적용시키면 다음과 같이 바운싱, 피칭, 롤링 방향의 3자유도 시스템의 운동방정식을 얻을 수 있다.

$$m \ddot{Z} + k_1 (Z - l_1 \theta_x + l_3 \theta_y - Z_g) + k_2 (Z - l_1 \theta_x - (l_4 + l_5) \theta_y - Z_g) + k_3 (Z + l_2 \theta_x - l_4 \theta_y - Z_g) + c_1 (Z - l_1 \theta_x + l_3 \theta_y - Z_g) + c_2 (Z - l_1 \theta_x - (l_4 + l_5) \theta_y - Z_g) + c_3 (Z + l_2 \theta_x - l_4 \theta_y - Z_g) = 0 \quad (12)$$

$$I_x \ddot{\theta}_x - k_1 l_1 (Z - l_1 \theta_x + l_3 \theta_y - Z_g) - k_2 l_1 (Z - l_1 \theta_x - (l_4 + l_5) \theta_y - Z_g) + k_3 l_2 (Z + l_2 \theta_x - l_4 \theta_y - Z_g) - c_1 l_1 (Z - l_1 \theta_x + l_3 \theta_y - Z_g) - c_2 l_1 (Z - l_1 \theta_x - (l_4 + l_5) \theta_y - Z_g) + c_3 l_2 (Z + l_2 \theta_x - l_4 \theta_y - Z_g) = 0 \quad (13)$$

$$I_y \ddot{\theta}_y + k_1 l_3 (Z - l_1 \theta_x + l_3 \theta_y - Z_g) - k_2 (l_4 + l_5) (Z - l_1 \theta_x - (l_4 + l_5) \theta_y - Z_g) - k_3 l_4 (Z + l_2 \theta_x - l_4 \theta_y - Z_g) + c_1 l_3 (Z - l_1 \theta_x + l_3 \theta_y - Z_g) - c_2 (l_4 + l_5) (Z - l_1 \theta_x - (l_4 + l_5) \theta_y - Z_g) - c_3 l_4 (Z + l_2 \theta_x - l_4 \theta_y - Z_g) = 0 \quad (14)$$

마지막으로 위의 3개의 운동방정식을 이용해서 상태변수를 $[[Z - Z_g, Z - Z_g, \theta_x, \theta_x, \theta_y, \theta_y]]$ 로 선정, 상태공간 방정식을 구한다.⁽⁵⁾

3. 광디스크 드라이브의 충격실험 및 시뮬레이션 결과비교

3.1 실험장치 구성 및 실험방법

충격실험과 시뮬레이션을 비교하기 위해서는 CD-ROM의 고유주파수를 측정 한 후에 이 값을 목적변수로 한 모달 튜닝 과정을 거쳐, 각 고무마운트의 강성 값을 알아내야 한다. 실험을 통하여 나타난 CD-ROM의 고유주파수는 Table 2에서 보듯이 43.95Hz, 69.32Hz, 110.89Hz로 각각 나타났으며 이 고유주파수의 모드 형상은 바운싱, 롤링 그리고 피칭의 순서로 나타났다. 각각의 고무마운트 강성을 측정, 이 값을 적용시켰을 때의 고유주파수와 차이를 보이므로 튜닝 과정이 필요하고, 튜닝 후 얻어진 고무마운트의 강성값은 각각 $k_1 = 12659.35N/m$, $k_2 = 7403.73N/m$, $k_3 = 3105.25N/m$ 로 나타났다.

Table 2 Natural frequency of optical disk drive

Natural Freq.[Hz]	1st	2nd	3rd
Simulation	43.83	69.21	110.76
Experiment	43.95	69.32	110.89

한편 충격실험을 위해서 Fig. 4와 같이 장치를 구성하였다. 충격량 측정 및 트리거를 위해서 가속도계를 지그의 중심에 부착하였고, 초기속도를 보상하기 위해서 LDV two beam을 사용하여 픽업부분의 속도를 측정하였다. 또한 다양한 형태의 충격을 가하기 위해서 베이스 지그 위에 특수 고무재질로 만들어진 차진재를 두어, 이 차진재가 없는 경우와 있는 경우로 나누어서 실험을 하였다. 차진재가 없는 경우 충격지속시간은 약 2ms 정도로 나타났으며 차진재가 있는 경우에는 약 3.3ms 정도로 나타났다.

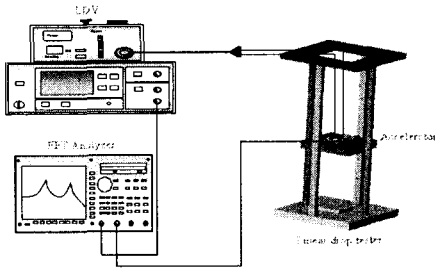


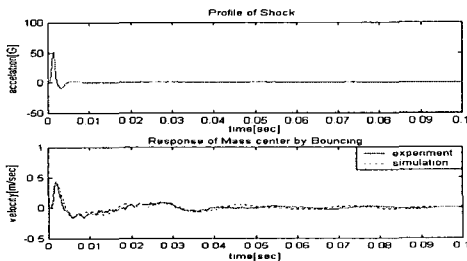
Fig. 4 Experimental setting for shock analysis

3.2 차진재의 유무에 따른 실험결과

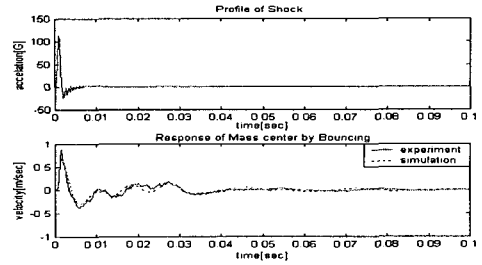
Fig. 5와 Fig. 6에서 보듯이 순간적으로 충격이 가해졌을 때 픽업의 속도 역시 순간적으로 튀어 오르는 것을 알 수 있다. 차진재가 없는 경우는 150G의 충격에 대해서 최고속도가 1m/s 정도로 나타났으며 차진재가 있는 경우는 이보다 작은 100G의 충격에서 동일한 최고속도가 나타났다.

또한 속도의 변화량은 0.04초 이후에는 거의 나타나지 않았으며, 바운싱 방향의 속도가 롤링과 피칭방향의 속도에 영향을 받기 때문에 그래프가 일정한 형태로는 나타나지 않은 것으로 분석된다.

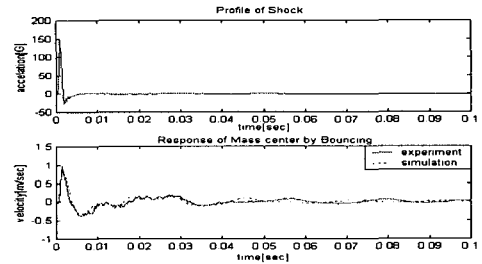
한편 시뮬레이션 결과와 약간의 차이를 보이는 것은 CD-ROM의 무게중심점과 픽업의 무게중심점 선정에서의 오차 및 고무마운트의 비선형성이 원인인 것으로 생각되어지며, 대체적으로 실험결과가 시뮬레이션 결과와 일치하는 것으로 보아 시뮬레이션의 결과가 타당하다고 말할 수 있다.



(a) Velocity in the location of pick-up under 50G

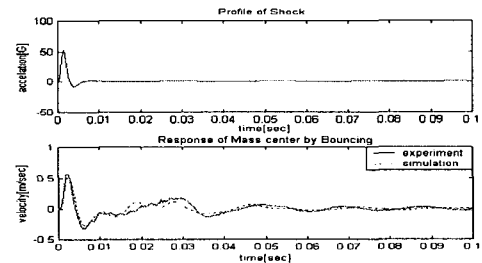


(b) Velocity in the location of pick-up under 100G

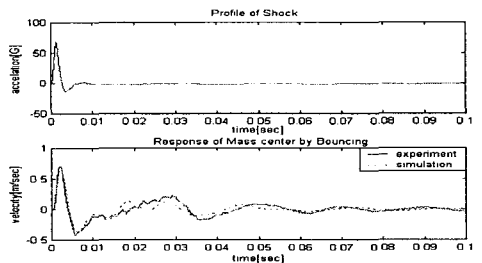


(c) Velocity in the location of pick-up under 150G

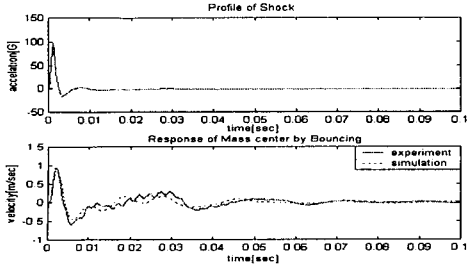
Fig. 5 Experimental results without vibration damping sheet



(a) Velocity in the location of pick-up under 50G



(b) Velocity in the location of pick-up under 70G



(c) Velocity in the location of pick-up under 100G

Fig. 6 Experimental results with vibration damping sheet

4. 광디스크 드라이브의 파라미터 변화에 따른 충격 시뮬레이션

파라미터 변화에 따른 충격응답을 알아보기 위해 고무마운트의 강성값은 3300N/m로 선정하였으며 또한 기준이 되는 하프 사인형태의 충격 지속시간은 2ms, 전체 질량은 0.1556Kg, 그리고 관성모멘트는 x방향, y방향 각각 $20.88 \times 10^{-5} \text{Kg-m}^2$, $8.579 \times 10^{-5} \text{Kg-m}^2$ 로 선정하였다.

또한 픽업의 포커싱 서보 및 트래킹 서보를 위한 움직임의 한계범위가 보통 변위로 표현되기 때문에 본 시뮬레이션에서는 픽업 중심의 속도가 아닌 변위를 나타내었다.

4.1 고무마운트의 강성변화에 따른 결과

Fig. 7은 고무마운트 각각의 강성 k_1, k_2, k_3 를 동일한 크기로 10%씩 증가 및 감소시켰을 때의 픽업중심의 변위를 나타낸 것이다. 각 강성이 동일하게 증가하거나 감소하면 변위의 양에는 커다란 영향을 주지 않으나 강성이 커질수록 수렴 시간이 줄어들음을 알 수 있다.

한편 Fig. 8은 고무마운트의 전체 강성을 일정하게 유지한 상태에서 k_1, k_2 는 5%씩 감소시키고 k_3 는 10% 증가시켰을 때의 변위를 나타낸 것이다. 전체 강성값이 동일하기 때문에 바운싱 방향의 변위는 변함이 없으나, 롤링과 피칭 방향의 변위는 상당히 감소했음을 알 수 있다.

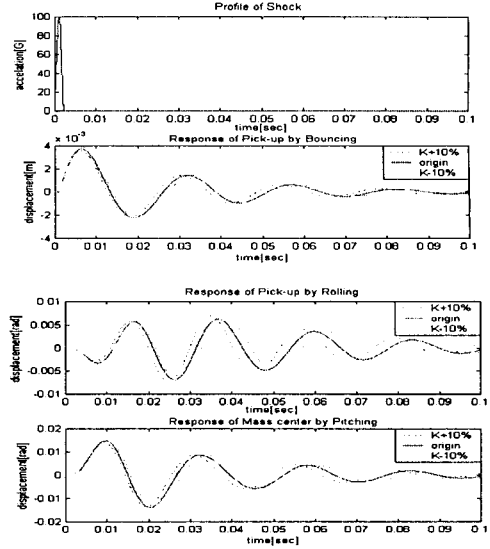


Fig. 7 Simulation results as changing the stiffness(Case 1)

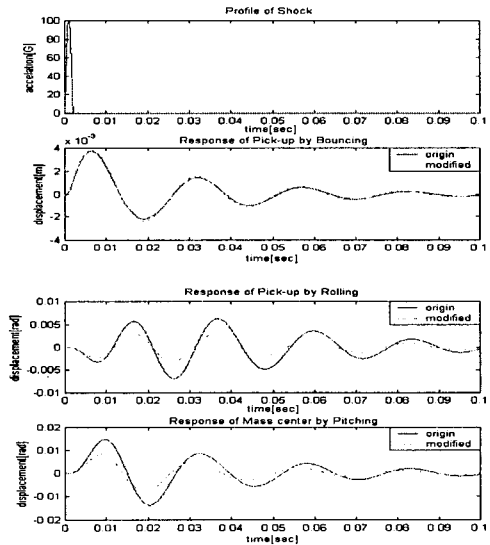


Fig. 8 Simulation results as changing the stiffness(case 2)

4.2 전체질량 및 관성모멘트 변화에 따른 결과

Fig. 9는 광디스크 드라이브의 전체질량 및 질량 관성모멘트를 각각 10%씩 증가 및 감소시켰을 때의 변위를 나타낸 것이다. 그림에서 보듯이 질량 및 관성모멘트가 증가함에 따라 각 방향에 대한 변위량은 증가하고, 수렴시간 역시 증가함을 알 수 있다.

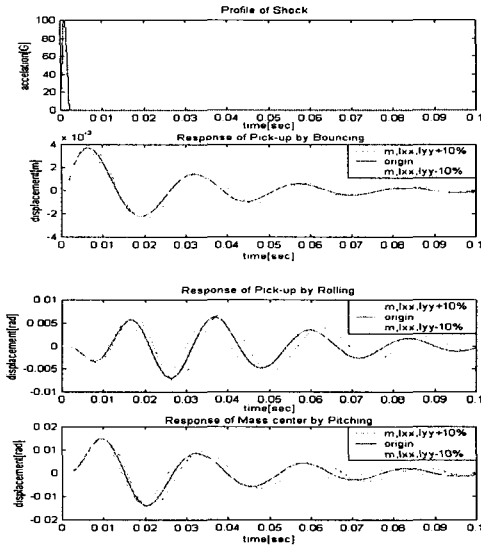


Fig. 9 Simulation results as changing the mass, moment of inertia L_{xx} , L_{yy}

4.3 L_5 의 변화에 따른 결과

Fig. 10은 L_5 (메인베이스 끝단과 세 번째 고무마운트 사이의 거리, Fig.3 참조)의 변화에 따른 각 방향의 변위를 나타낸다. 그림에서 보듯이 바운싱 방향의 변위는 L_5 가 증가함에 따라 비례적으로 증가하고, 피칭 방향의 변위는 감소함을 알 수 있다. 그러나 롤링 방향의 경우는 약 0.018m 부근에서 변위가 최소가 되는데 이 지점은 실제 세 번째 고무마운트가 위치한 지점이다.

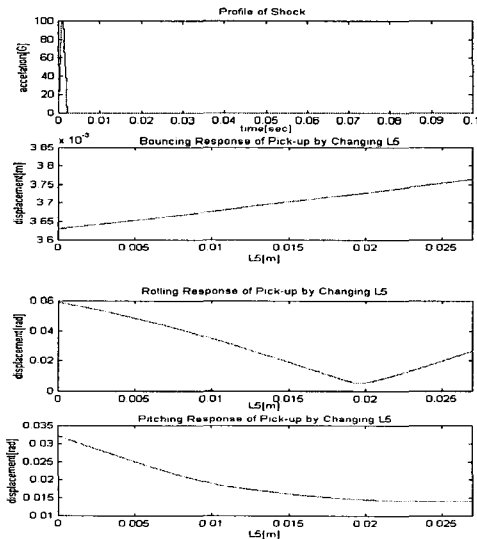


Fig. 10 Simulation results as changing L_5

5. 결론

본 논문에서는 광디스크 드라이브의 각 파트별 물성치를 계산, 모달 해석을 통해서 충격해석을 하였다. 충격 시뮬레이션의 타당성을 검증하기 위해서 리니어 드롭 테스터를 이용한 실험결과와 비교, 거의 일치함을 보였고, 이를 바탕으로 여러 가지 파라미터 변화에 대한 시뮬레이션을 수행하였다.

동일한 양의 충격이 가해졌을 때 데이터를 읽고 쓰는 픽업의 변위를 줄이기 위해서는 k_1, k_2 의 강성은 줄이고 k_3 의 강성은 증가시켜야 함을 검증하였고, 충격양에 대한 변위만을 생각한다면 광디스크 드라이브의 질량을 줄이는 것이 충격에 보다 강건해짐을 알 수 있었다. 또한 세 번째 고무마운트의 위치가 각 방향에 대한 변위에 어떠한 영향을 미치는 지에 대해서도 규명하였다.

후 기

본 연구는 한국과학재단 지정 정보저장기기 연구센터의 지원(R11-1997-042-11001-0)을 받아 이루어졌으며, 이에 관계자 여러분께 감사 드립니다.

참 고 문 헌

- (1) 정진태, 2003. 2 “광디스크 및 테크 진동절감 기술”, 한국 소음진동 학회지, Vol.13, No.1, pp.22~31.
- (2) 김국원 등, 2002, 9 “치수 공차가 고려된 광디스크 드라이브의 방진마운트 설계에 관한 연구”, 한국 소음진동 공학회 논문집, Vol.12, No.9, pp. 661~667.
- (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, Vol.35, No.2, pp. 863~867
- (4) Singiresu. S. Rao, 1995, Mechanical Vibration 3rd Edition, Addison-Wesley Publishing Company
- (5) 박희진, 감도해석을 이용한 디지털 VDR 테크의 진동 절연, 연세대학교 기계공학과 대학원