

디스크와 픽업을 고려한 광디스크 드라이브의 충격응답해석[#]

Shock Response Analysis of the Optical Disk Drive in Consideration of Disk and Pick up

신은정* · 장영배** · 박노철*** · 박영필†

Eun-Jung Shin, Young-Bae Chang, No-Cheol Park and Young-Pil Park

(2004년 7월 2일 접수 : 2004년 11월 2일 심사완료)

Key Words : Optical Disk Drives(광디스크드라이브), Shock Response Analysis(충격응답해석), FEM(유한요소해석), Lagrange Equation(라그랑지방정식)

ABSTRACT

As the optical disk drives are designed for portable and hostile environment, they have a possibility to miss the track and not to read the data. The shock response of optical disk drives must be analyzed. This research shows the shock response analysis of the optical disk drive. The optical disk drive is modeled as the lumped parameter system in consideration of the pickup and the disk. The lumped parameter model is compared with finite element model in order to verify results. Finally, shock responses are compared with the change of the shock magnitude and the duration.

1. 서 론

광디스크 드라이브는 저장 능력이 우수하고 사용이 편리하여 지속적으로 발전하고 대중화되었다. 하지만, 광디스크 드라이브가 고속화되고 저 품질의 디스크가 생산, 유통됨으로써 내부 진동에 대한 방진문제와 외부 충격에 의한 시스템 안정성 문제가 대두하게 되었다. 최근에는 광디스크 드라이브가 노트북컴퓨터와 같은 휴대용 장비에 사용됨에 따라 경량화 및 소형화되고 있다. 이에 따라 예기치 않게 발생하는 외부 충격에 대한 시스템의 변화를 예측하고 적절한 대책을

세우는 것이 필요하다. 기존의 연구들을 살펴보면 방진고무로 지지되어 있는 테크계를 적절히 모델링하여 광디스크 드라이브에 대한 방진설계에 대한 연구가 있었으며⁽¹⁾ 광디스크 드라이브의 테크 부분을 3자유도 모델을 갖는 시스템으로 가정하여 수직방향충격과 틸트 방향 충격에 대한 시뮬레이션 및 충격실험을 하였고,⁽²⁾ 광디스크의 장탈착 및 구동을 관할하는 피딩테크가 광픽업의 동특성에 어떤 영향을 미치는지에 대한 연구,⁽³⁾ 광디스크의 운송시 충격이 발생했을 때 픽업부의 신뢰성 확보에 대한 연구가 있었다.⁽⁴⁾ 외부 충격이 가해질 경우 광디스크 드라이브에서 픽업과 디스크간의 상대움직임은 필수적으로 고려되어야 한다. 픽업은 포커싱과 트랙킹운동을 하며 디스크로부터 데이터를 읽어 들이는 중요한 역할을 한다. 이런 픽업이 외부 충격에 의하여 어떠한 영향을 받는지를 알아 충격에 대한 픽업부의 오작동을 최소화하는 시스템의 디자인이 중요하다.

그러므로, 이 논문에서는 광디스크 드라이브의 픽업과 디스크를 각각 1자유도로 가정하여 모델링하였으며 테크를 바운싱, 피칭, 롤링, 픽업, 디스크에 대한

† 책임저자 : 정회원, 연세대학교 기계공학부
E-mail : park2814@yonsei.ac.kr
Tel : (02) 2123-2814, Fax : (02) 312-2159

* 정회원, 연세대학교 대학원 기계공학과

** 정회원, 연세대학교 정보저장협동과정

*** 정회원, 연세대학교 기계공학부

이 논문은 2004 춘계학술대회 우수발표논문으로 추천되었음.

움직임을 갖는 5자유도의 집중 질량 모델로 가정하고 라그랑지 방정식을 이용하여 충격해석을 하였다. 또한 유한요소해석을 병행하여 집중 질량 모델의 타당성을 검증하였으며, 다양한 충격 입력에 따른 광디스크 드라이브의 충격응답을 알아 보았다.

2. 이 론

2.1 시스템의 3차원 모델

Fig. 1에서 보는 것처럼 광디스크 드라이브는 트레이를 통하여 들어온 디스크를 스펀들 모터가 회전시켜 준다. 이때 슬레드 모터는 픽업과 연결되어 있는 가이드를 y방향으로 왕복운동 시키며 렌즈에 의하여 디스크 표면의 트랙을 따라 정보를 읽는다. 픽업의 핵심부품인 액추에이터는 z방향의 포커싱 운동과 y방향의 트랙킹 운동을 한다.

또한 테크를 지지하는 고무 마운트는 위쪽에 하나 아래쪽에 두 개가 부착되어 있어 테크와 트레이 간의 주요한 진동감쇠 역할을 하며 모델에서는 스프링-댐퍼로 표현하였다. Table 1은 스프링과 댐퍼의 물성치를 나타내며 마운트 1과 2는 같은 재질의 고무이지만 강성값이 두 배 이상 차이가 난다. 이는 고무의 비선형성으로 인한 것으로 생각된다. Table 2는 테크의 질량과 관성모멘트를 유한요소해석을 통하여 얻은 값이다. 시스템의 무게중심을 원점으로 하여 x-y-z축으로 나타내었으며, 순서대로 피칭, 롤링, 바운싱 방향으로 선정하였다.

2.2 지배방정식

(1) 광디스크 드라이브의 모델링

디스크와 픽업이 부착된 광디스크 드라이브는 Fig.

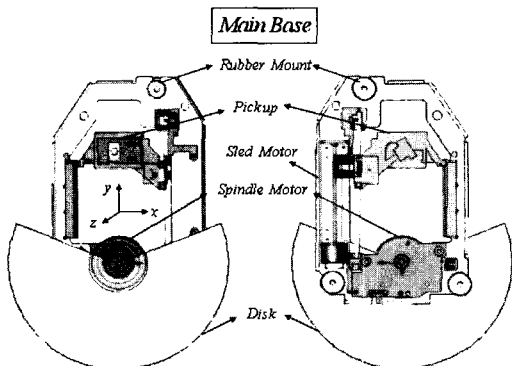


Fig. 1 Solid modeling of CD-ROM

2 같이 집중 질량계로 가정된 5자유도 시스템으로 모델링 할 수 있다. Z는 테크의 움직임을 나타내며 Z_a는 픽업의 움직임 그리고 Z_b는 디스크의 움직임을 나타낸다. 또한 양쪽에 부착된 3개의 고무 마운트는 스프링-댐핑계로 나타내었다.

(2) 5자유도 시스템의 운동 방정식

광디스크 드라이브의 지배방정식은 다음과 같이 라그랑지 방정식을 이용하여 나타낼 수 있다.

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial T}{\partial q_i} + \frac{\partial V}{\partial q_i} + \frac{\partial D}{\partial \dot{q}_i} = Q_i \quad (i = 1, 2, 3, 4, 5) \quad (1)$$

여기서 T는 시스템의 운동에너지, V는 위치에너지, D는 감쇠에너지를 나타내며 각각의 에너지항 들은 다음과 같이 표현된다.

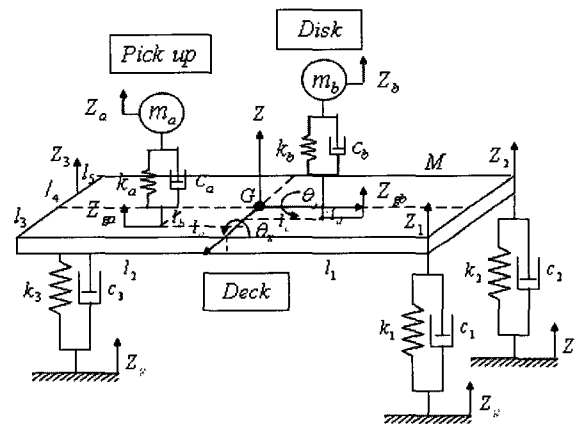


Fig. 2 Free body diagram of the 5-DOF system

Table 1 Physical properties of spring and damper

Stiffness	k ₁ [N/m]	k ₂ [N/m]	k ₃ [N/m]
	440	4260	3160
Damper	c ₁ [Ns/m]	c ₂ [Ns/m]	c ₃ [Ns/m]
	4.75	4.75	3.88

Table 2 Mass and moment of inertia of the system

	Mass [kg]	I _{xx} [kgm ²]	I _{yy} [kgm ²]
w/o disk	0.155	0.93×10 ⁻⁴	0.19×10 ⁻³
Disk	0.170	0.113×10 ⁻³	0.2199×10 ⁻³

$$\begin{aligned}
 T &= \frac{1}{2}M\dot{Z}^2 + \frac{1}{2}I_x\dot{\theta}_x^2 + \frac{1}{2}I_y\dot{\theta}_y^2 + \frac{1}{2}m_a\dot{Z}_a^2 + \frac{1}{2}m_b\dot{Z}_b^2 \\
 V &= \frac{1}{2}k_1(Z_1 - Z_g)^2 + \frac{1}{2}k_2(Z_2 - Z_g)^2 + \frac{1}{2}k_3(Z_3 - Z_g)^2 \\
 &\quad + \frac{1}{2}k_a(Z_a - Z_{ga})^2 + \frac{1}{2}k_b(Z_b - Z_{gb})^2 \\
 D &= \frac{1}{2}c_1(\dot{Z}_1 - \dot{Z}_g)^2 + \frac{1}{2}c_2(\dot{Z}_2 - \dot{Z}_g)^2 + \frac{1}{2}c_3(\dot{Z}_3 - \dot{Z}_g)^2 \\
 &\quad + \frac{1}{2}c_a(\dot{Z}_a - \dot{Z}_{ga})^2 + \frac{1}{2}c_b(\dot{Z}_b - \dot{Z}_{gb})^2 \quad (2)
 \end{aligned}$$

또한 각 방진고무의 연결된 테크의 각 지점의 위치, 디스크와 테크의 연결점, 픽업과 테크의 연결점의 위치 $Z_1 \sim Z_{gb}$ 를 Z, θ_x, θ_y 로 표현하면 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} Z_1 \\ Z_2 \\ Z_3 \\ Z_{ga} \\ Z_{gb} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & l_1 & -l_3 \\ 1 & l_1 & l_4 + l_5 \\ 1 & -l_2 & l_4 \\ 1 & -l_a & -l_b \\ 1 & l_c & -l_d \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Z \\ \theta_x \\ \theta_y \end{bmatrix} \quad (3)$$

식 (2)와 식 (3)을 라그랑지 방정식에 대입하면 다음과 같이 테크의 바운싱, 피칭, 롤링과 픽업의 움직임과 디스크의 움직임으로 나타낼 수 있다.

$q_1 = Z$ (Bouncing) :

$$\begin{aligned}
 &M\ddot{Z} + k_1(Z + l_1\theta_x - l_3\theta_y - Z_g) \\
 &+ k_2(Z + l_1\theta_x + (l_4 + l_5)\theta_y - Z_g) \\
 &+ k_3(Z - l_2\theta_x + l_4\theta_y - Z_g) \\
 &+ k_a(Z - l_a\theta_x - l_b\theta_y - Z_a) \\
 &+ k_b(Z + l_c\theta_x - l_d\theta_y - Z_b) \\
 &+ c_1(\dot{Z} + l_1\dot{\theta}_x - l_3\dot{\theta}_y - \dot{Z}_g) \\
 &+ c_2(\dot{Z} + l_1\dot{\theta}_x + (l_4 + l_5)\dot{\theta}_y - \dot{Z}_g) \\
 &- c_3(\dot{Z} - l_2\dot{\theta}_x + l_4\dot{\theta}_y - \dot{Z}_g) \\
 &+ c_a(\dot{Z} - l_a\dot{\theta}_x - l_b\dot{\theta}_y - \dot{Z}_a) \\
 &+ c_b(\dot{Z} + l_c\dot{\theta}_x - l_d\dot{\theta}_y - \dot{Z}_b) = 0
 \end{aligned}$$

$q_2 = \theta_x$ (Pitching) :

$$\begin{aligned}
 &I_x\ddot{\theta}_x + k_1l_1(Z + l_1\theta_x - l_3\theta_y - Z_g) \\
 &+ k_2l_1(Z + l_1\theta_x + (l_4 + l_5)\theta_y - Z_g) \\
 &- k_3l_2(Z - l_2\theta_x + l_4\theta_y - Z_g) \\
 &- k_a l_a(Z - l_a\theta_x - l_b\theta_y - Z_a)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &+ k_b l_c(Z + l_c\theta_x - l_d\theta_y - Z_b) \\
 &+ c_1l_1(\dot{Z} + l_1\dot{\theta}_x - l_3\dot{\theta}_y - \dot{Z}_g) \\
 &+ c_2l_1(\dot{Z} + l_1\dot{\theta}_x + (l_4 + l_5)\dot{\theta}_y - \dot{Z}_g) \\
 &- c_3l_2(\dot{Z} - l_2\dot{\theta}_x + l_4\dot{\theta}_y - \dot{Z}_g) \\
 &- c_a l_a(\dot{Z} - l_a\dot{\theta}_x - l_b\dot{\theta}_y - \dot{Z}_a) \\
 &+ c_b l_c(\dot{Z} + l_c\dot{\theta}_x - l_d\dot{\theta}_y - \dot{Z}_b) = 0
 \end{aligned}$$

$q_3 = \theta_y$ (Rolling) :

$$\begin{aligned}
 &I_y\ddot{\theta}_y - k_1l_3(Z + l_1\theta_x - l_3\theta_y - Z_g) \\
 &+ k_2(l_4 + l_5)(Z + l_1\theta_x + (l_4 + l_5)\theta_y - Z_g) \\
 &+ k_3l_4(Z - l_2\theta_x + l_4\theta_y - Z_g) \\
 &- k_a l_b(Z - l_a\theta_x - l_b\theta_y - Z_a) \\
 &- k_b l_d(Z + l_c\theta_x - l_d\theta_y - Z_b) \\
 &- c_1l_3(\dot{Z} + l_1\dot{\theta}_x - l_3\dot{\theta}_y - \dot{Z}_g) \\
 &+ c_2(l_4 + l_5)(\dot{Z} + l_1\dot{\theta}_x + (l_4 + l_5)\dot{\theta}_y - \dot{Z}_g) \\
 &+ c_3l_4(\dot{Z} - l_2\dot{\theta}_x + l_4\dot{\theta}_y - \dot{Z}_g) \\
 &- c_a l_b(\dot{Z} - l_a\dot{\theta}_x - l_b\dot{\theta}_y - \dot{Z}_a) \\
 &- c_b l_d(\dot{Z} + l_c\dot{\theta}_x - l_d\dot{\theta}_y - \dot{Z}_b) = 0
 \end{aligned}$$

$q_4 = Z_a$ (Pick up) :

$$\begin{aligned}
 &m_a\ddot{Z}_a - k_a(Z - l_a\theta_x - l_b\theta_y - Z_a) \\
 &- c_a(\dot{Z} - l_a\dot{\theta}_x - l_b\dot{\theta}_y - \dot{Z}_a) = 0
 \end{aligned}$$

$q_5 = Z_b$ (Disk) :

$$\begin{aligned}
 &m_b\ddot{Z}_b - k_b(Z + l_c\theta_x - l_d\theta_y - Z_b) \\
 &- c_b(\dot{Z} + l_c\dot{\theta}_x - l_d\dot{\theta}_y - \dot{Z}_b) = 0
 \end{aligned}$$

3. 액추에이터만 있는 경우의 유한요소해석과 집중질량모델의 시뮬레이션

Fig. 2의 5자유도 집중 질량 모델 해석의 정당성을 확보하기 위하여 유한요소해석을 병행하였다. 시뮬레이션은 두 가지의 방법으로 진행되었다.

첫째는 테크에 픽업부가 부착된 경우의 유한요소해석과 4자유도(디스크가 없는) 집중질량모델에 대한 해석비교이고, 둘째는 디스크와 픽업을 고려한 상태의 유한요소해석과 동일하게 디스크와 픽업을 고려한 집중질량모델의 해석비교이다. 유한요소해석은 상용

유한요소해석 프로그램인 엔시스를 이용하였다.

Fig. 3은 엔시스를 이용하여 모델링한 광디스크 드라이브이다. 그림에서처럼 픽업부 뚜껑 안에 4개의 와이어가 달린 액추에이터가 들어있는 상태에서 모델 해석을 수행하여 전체 시스템의 고유진동수를 얻을 수 있었다. Table 3은 유한요소모델의 전체 엘리먼트와 노드수를 나타낸 것이다.

Table 4는 유한요소해석으로 구한 시스템의 고유진동수와 집중질량모델로 구한 시스템의 고유진동수를 비교한 것이다.

Fig. 4는 유한요소모델과 집중질량모델을 바닥에서

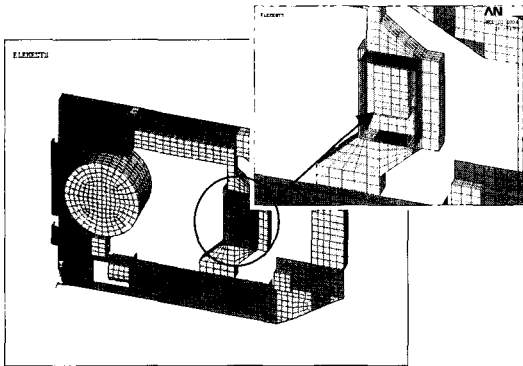


Fig. 3 FE model with 4-wire actuator

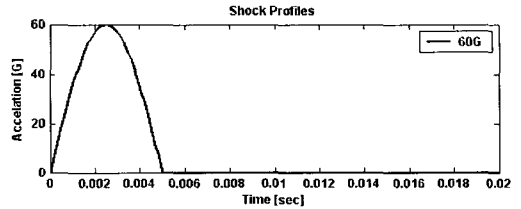
Table 3 Number of elements and nodes

	Elements	Nodes
Shell63	1320	5535
Solid45	3027	
Beam4	62	
Combin14	3	

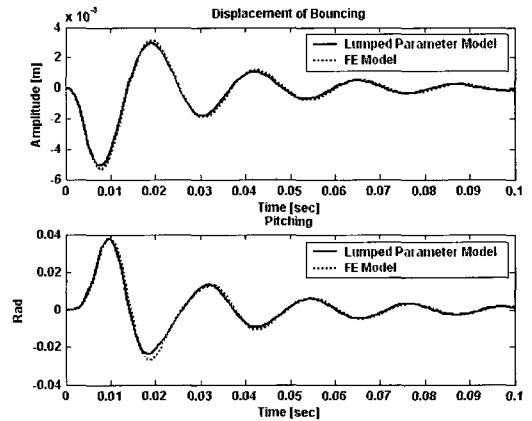
Table 4 Comparison of natural frequencies between FE model and lumped parameter model

	FE model (Hz)	Lumped model(Hz)	비교
1 st mode	44.429	44.726	Deck bouncing
2 nd mode	50.885	50.209	Deck rolling
3 rd mode	53.456	52.885	Pick up focusing
4 th mode	85.701	89.198	Deck pitching

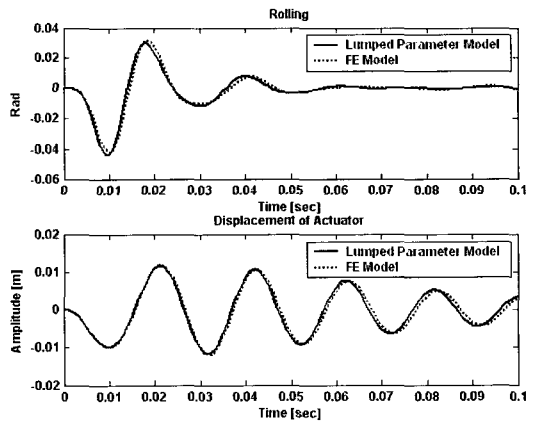
수직방향으로 60G의 충격을 주고 0.1초까지 과도해석을 수행하여 비교한 그림이다. 집중질량모델의 시뮬레이션으로 구한 데크의 바운싱, 피칭, 롤링과 픽업의 변위가 유한요소해석결과와 거의 일치함을 확인할 수 있다.



(a) Shock profile under 60 G



(b) Motions of bouncing and pitching



(c) Motions of rolling and actuator

Fig. 4 Comparison of displacements between FE model and lumped parameter model

4. 디스크를 부착한 경우에 대한 유한요소 해석과 집중질량모델의 시뮬레이션

Fig.5는 디스크와 픽업을 고려한 유한요소모델이다. 이 모델도 모달 해석과 과도 해석을 수행하였고 그 해석결과를 집중질량모델로 가정한 것과 비교하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

4.1 다양한 입력에 따른 충격 시뮬레이션

(1) 충격지속시간이 다른 경우

Fig.6 또한 유한요소모델과 집중질량모델을 바닥에서 수직방향으로 60G의 충격을 주고 비교한 그림이다. 집중질량모델로 가정한 모델과 유한요소해석모델의 움직임이 거의 같게 나오는 것을 확인할 수 있

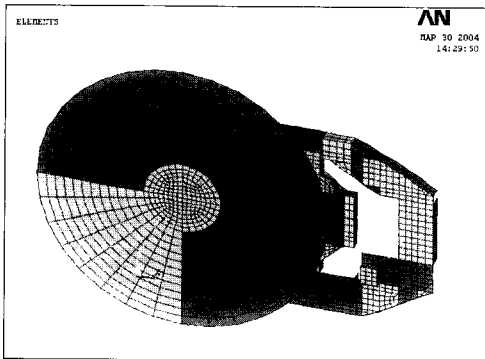
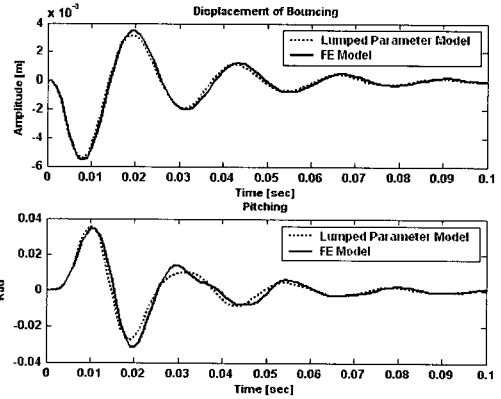


Fig.5 FE model with the pickup and the disk

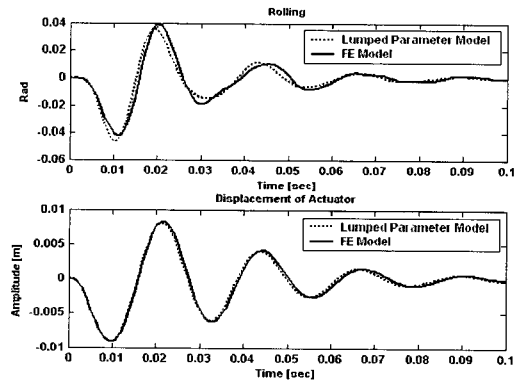
Table 5 Comparison of natural frequencies between FE model and lumped parameter model

	FE model (Hz)	Lumped model(Hz)	비고
1 st mode	42.870	43.419	Deck bouncing
2 nd mode	47.343	46.469	Deck rolling
3 rd mode	51.790	-	Pick up tracking
4 th mode	52.390	52.326	Pick up focusing
5 th mode	74.039	80.2289	Deck pitching
6 th mode	88.997	-	Pick up rolling
7 th mode	123.079	-	Disk(0,1)
8 th mode	130.794	-	Disk(0,1)
9 th mode	140.162	130.186	Disk(0,0)
10 th mode	150.096	-	Disk(0,2)
11 th mode	150.145	-	Disk(0,2)

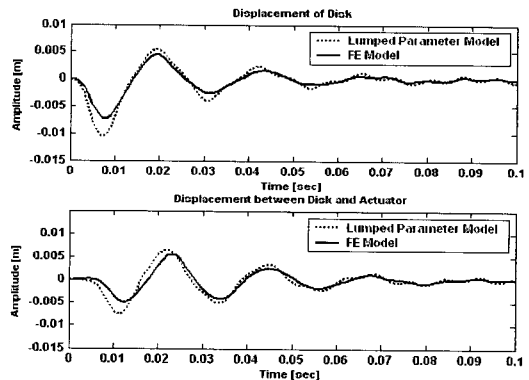
었다. 디스크의 움직임이 약간 다른 것은 디스크를 1자유도의 집중질량모델로 가정하였기 때문이지만 해석을 수행하는 것에서는 문제가 없다고 판단된다.



(a) Motions of bouncing and pitching under 60 G

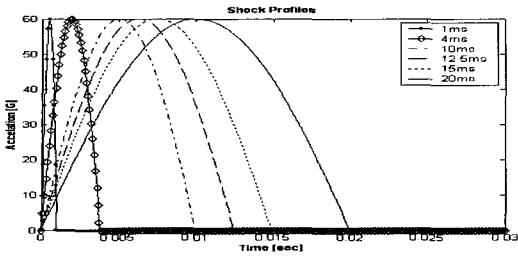


(b) Motions of rolling and actuator under 60 G

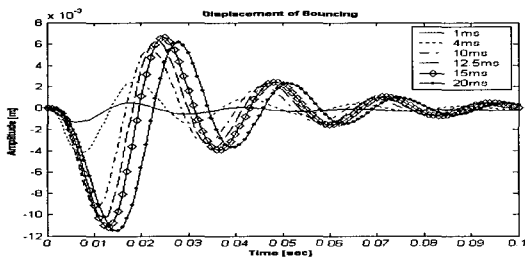


(c) Motions of disk and actuator under 60 G

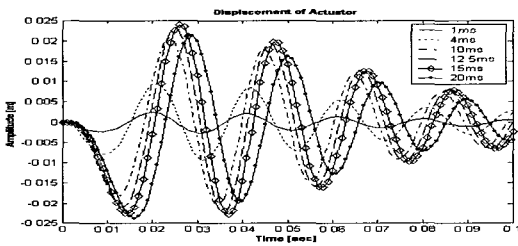
Fig.6 Comparison of displacements between FE model and lumped parameter model under 60 G



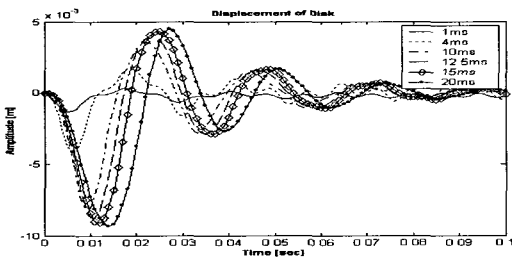
(a) Shock profiles with various durations



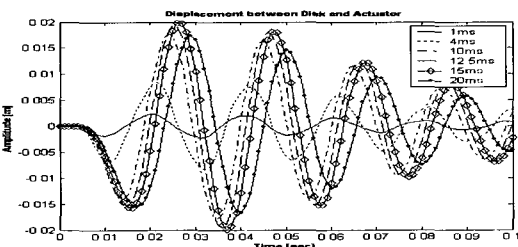
(b) Motions of bouncing



(c) Motions of actuator



(d) Motions of disk



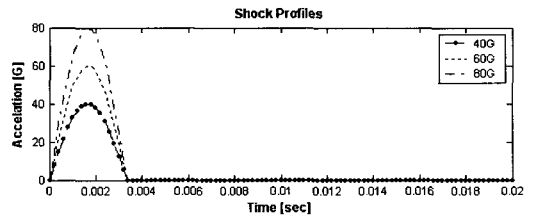
(e) Motions of between disk and actuator

Fig.7 Displacements with various time durations

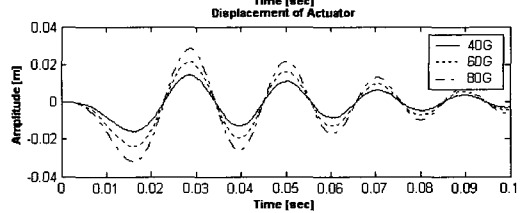
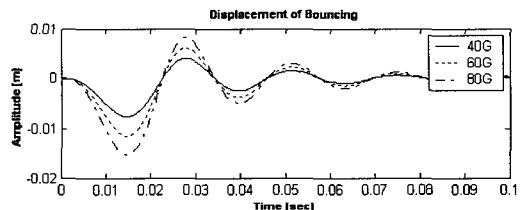
Fig. 7은 60 G로 바닥에서 수직으로 충격을 가해주었을 때 충격지속시간이 커짐에 따라 바운싱, 픽업, 디스크의 움직임을 나타낸 것이다. 각 운동 방향의 최대변위 또한 커지며 응답속도는 느려지는 것을 알 수 있다. 0.1초에서 테크의 바운싱 방향 진동은 거의 정상상태가 되는 것에 비해 픽업과 디스크간에는 계속 진동하는 것으로 나타난다.

(2) 입력가속도의 크기를 다르게 할 경우

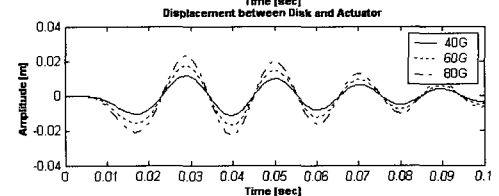
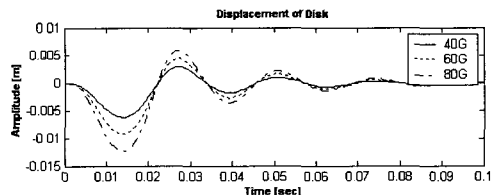
Fig. 8은 같은 지속시간에 대하여 충격의 크기를



(a) Shock profiles



(b) Motions of bouncing and actuator



(c) Motions of disk and actuator

Fig. 8 Displacements with various magnitudes

40 G, 60 G, 80 G로 변화시키며 충격응답을 구한 것이다. 충격의 크기가 커질수록 시스템의 최대변위가 커지는 것을 알 수 있다. 0.1초까지 충격응답을 볼 경우 전체 테크의 움직임은 정상상태로 돌아가는 반면, 픽업과 디스크간의 상대운동은 계속 진행되는 것으로 나타났다.

5. 결 론

이 논문에서는 광디스크 드라이브에서 픽업을 고려한 경우의 4자유도 모델과 디스크를 함께 고려한 5자유도 모델로 나누어서 해석하였다. 픽업과 디스크를 집중질량모델로 가정하여 라그랑지 방정식을 이용하여 수학적 해석을 유도하였다. 또한 유한요소해석을 이용하여 광디스크 드라이브의 테크 부분을 직접 모델링 한 후 모달 해석과 과도 해석을 통하여 시뮬레이션 결과를 비교해 보았다. 결과를 통하여 해석결과가 거의 같게 나오는 것을 확인하였다. 집중질량모델의 정당성을 확인할 수 있었으며 집중질량모델을 이용하여 여러 충격들에 대하여 시뮬레이션을 수행하였다. 또한 다양한 외부충격에 대한 시스템이 받는 영향에 대하여 살펴보았다.

후 기

이 연구는 한국과학재단 지정 정보저장기기연구센터의 지원(R11-1997-042-11000-0)을 받아 이루어졌으며, 이에 관계자 여러분께 감사 드립니다.

참 고 문 헌

- (1) 박희진, 1998, "감도해석을 이용한 디지털 VDR 테크의 진동절연", 연세대학교 기계공학과 대학원.
- (2) Seok-Joon Hong, 2003, "Dynamic Analysis and Experimental Study of Shock Response with Linear and Tilt Drop Test for ODD", Yonsei University.
- (3) 신갑수 등, 2004, "피딩테크 운동을 고려한 광픽업 액추에이터의 동특성 해석", 한국소음진동공학회논문집, 제 14 권, 제 1 호 pp.10~16.
- (4) 황효균 등, 2002, "광디스크 드라이브의 P/U 낙하 추돌 거동", 추계학술대회 논문집, 한국정밀공학회, pp.958~961.
- (5) Singiresy. S. Rao, 1995, Mechanical Vibration 3rd Edition, Addison-Wesley Publishing Company.