

디스크와 픽업을 고려한 광디스크드라이브의 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 Change, No-Cheol Park and Young-Pil Park

Key Words : Optical disc drives (광디스크 드라이브), Shock response analysis (충격해석), FEM(유한요소해석)

ABSTRACT

Nowadays optical disc drives have become necessary. As the equipment is popular to use, competition of price and rotating rate have been harder and harder. Shock response analysis for the optical disk drives is rarely studied. In this paper, the optical disk drive has 5-DOF system and each motion is presented by using Lagrange Equation. As the motion of the pick up lens is important to read and write data, it needs to consider the pickup and disk. The lumped parameter model is compared with finite element model in order to make sure of the result. Results of the shock response analysis from various shock inputs are gotten.

1. 서론

광디스크 드라이브는 저장능력이 우수하고 사용이 편리하여 지속적으로 발전하고 대중화되었다. 하지만 광디스크 드라이브의 배속경쟁에 따른 고속화와 과도한 가격경쟁으로 인한 저 품질의 디스크 드라이브가 생산, 유통됨으로써 내부 진동에 대한 방진 시스템과 외부 충격에 대한 시스템 안정성의 문제가 대두하게 되었다.

최근에는 광디스크 드라이브를 휴대용으로 사용하기 위한 경량화 및 소형화 추세와 Slim Size PC의 보급과 확산, 외장형 광디스크 드라이브의 보급으로 예기치 않게 발생하는 외부 충격에 대한 시스템의 변화를 예측하고 적절한 대책을 세우는 것이 필요하다.

외부충격이 가해질 경우 가장 고려해야 될 부분은 픽업과 디스크간의 상대움직임이다. 4-와이어로 지지되어 있고 포커싱과 트랙킹 운동을 하며 디스크로부터 데이터를 읽어 들이는 역할을 하는 픽업이 외부 충격에 의하여 어떤 영향을 받는지를 알아내어 예기치 않은 충격에 대한 픽업부의 충격을 최소화하기 위한 시스템을 디자인하는 것이 중요하다. 더 나아가 디스크가 장착된 상태에서의 데크에 가해지는 외부충격에 대한 진동특성을 알아

보는 것이 필요하다.

그러므로 본 논문에서는 광디스크 드라이브를 픽업과 디스크를 고려하여 5-DOF 를 가지는 집중질량모델로 가정하여 라그랑지 방정식을 이용하여 수학적으로 해석하였다. 또한 유한요소해석을 병행하여 집중질량모델의 타당성을 존중하였으며, 다양한 충격입력에 따른 광디스크드라이브의 충격응답을 알아보았다.

2. 지배방정식

2.1 시스템의 3 차원 모델

Fig.1 에서 보는 것처럼 광디스크 드라이브는 트레이를 통하여 들어온 디스크를 스핀들 모터가 회전시켜 준다. 이때 슬레드 모터는 픽업과 연결되어 있는 가이드를 y 방향으로 왕복운동 시키며 렌즈에 의하여 디스크 표면의 트랙을 따라 정보를 읽는다. 픽업의 핵심부품인 액츄에이터는 z 방향의 포커싱 운동과 y 방향의 트랙킹 운동을 한다.

* 연세대학교 기계공학과 대학원
E-mail : chocopiejung@hanmail.net
Tel : (02) 2123-4677, Fax : (02) 364-6769

** 연세대학교 정보저장 협동과정

*** 연세대학교 기계공학부

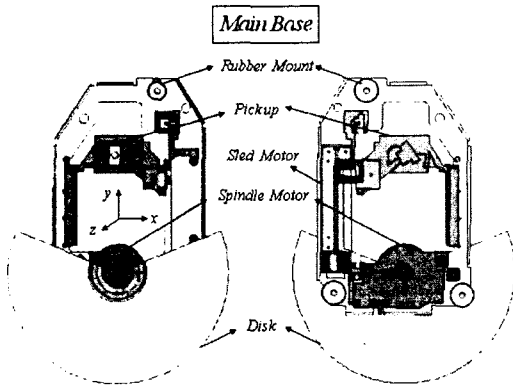


Fig. 1 Solid Modeling of CD-ROM

또한 데크를 지지하는 고무 마운트는 위쪽에 하나 아래쪽에 두 개가 부착되어 있어 데크와 트레이 간의 주요한 진동감쇠 역할을 하며 모델링에서는 스프링-댐퍼로 표현하였다. 다음 표는 스프링과 댐퍼의 물성치를 나타낸다.

Table 1 Values of stiffness and damper

Stiffness	K_1 [N/m]	k_2 [N/m]	k_3 [N/m]
		9440	4260
Dampers	c_1 [N·s/m]	c_2 [N·s/m]	c_3 [N·s/m]
		4.75	4.75

Table 2 Values of mass and moment of inertia

	Mass [kg]	I_{xx} [kg·m ²]	I_{yy} [kg·m 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}

위의 표는 데크의 질량과 관성모멘트를 유한요소 해석을 통하여 얻은 값이다. 시스템의 무게중심을 원점으로 하여 x-y-z 축으로 나타내었으며, 순서대로 피칭, 롤링, 바운싱 방향으로 선정하였다.

2.2. 지배방정식

(1) 광디스크드라이브 모델링

디스크와 픽업이 부착된 광디스크 드라이브는 다음과 같이 집중질량계로 가정된 5 자유도 시스템으로 모델링 할 수 있다. Z 는 데크의 움직임을 나타내며 z_a 는 픽업의 움직임 그리고 z_b 는 디스크의 움직임을 나타낸다. 또한 양쪽에 부착된 3 개의 고

무 마운트는 스프링-댐퍼계로 나타낼 수 있다.

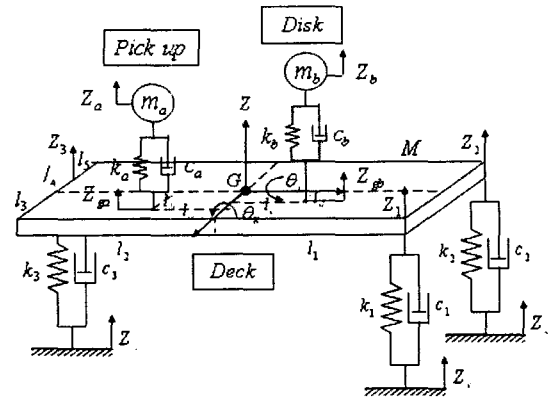


Fig. 2 Free body diagram of 5-DOF system

(2) 5 자유도 시스템의 운동 방정식

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

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

여기서 T 는 시스템의 운동에너지, V 는 위치에너지, D 는 감쇠에너지를 나타내며 5 자유도에 대하여 다음과 같이 표현할 수 있다.

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

또한 각 방진고무의 연결된 데크의 각 지점의 위치, 디스크와 데크의 연결점, 픽업과 데크의 연결점의 위치 $Z_1 - Z_{gb}$ 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 이용하면 시스템의 에너지 식들

을 라그랑지 방정식에 대입하여 다음과 같이 데크의 바운싱, 피칭, 롤링과 픽업의 움직임을 나타낼 수 있다.

$$q_1 = Z(\text{Bouncing}) :$$

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

$$q_2 = \theta_x(\text{Pitching}) :$$

$$\begin{aligned} I_x\ddot{\theta}_x + k_1l_1(Z + l_1\theta_x - l_3\theta_y - Z_g) + k_2l_1(Z + l_1\theta_x + (l_4 + l_5)\theta_y - Z_g) \\ - k_3l_2(Z - l_2\theta_x + l_4\theta_y - Z_g) + k_a l_a(Z - l_a\theta_x - l_b\theta_y - Z_a) \\ + k_b l_b(Z + l_c\theta_x - l_d\theta_y - Z_b) \\ + c_1l_1(\dot{Z} + l_1\dot{\theta}_x - l_3\dot{\theta}_y - \dot{Z}_g) + c_2l_1(\dot{Z} + l_1\dot{\theta}_x + (l_4 + l_5)\dot{\theta}_y - \dot{Z}_g) \\ - c_3l_2(\dot{Z} - l_2\dot{\theta}_x + l_4\dot{\theta}_y - \dot{Z}_g) + c_a l_a(\dot{Z} - l_a\dot{\theta}_x - l_b\dot{\theta}_y - \dot{Z}_a) \\ + c_b l_b(\dot{Z} + l_c\dot{\theta}_x - l_d\dot{\theta}_y - \dot{Z}_b) = 0 \end{aligned}$$

$$q_3 = \theta_y(\text{Rolling}) :$$

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

$$q_4 = Z_a(\text{Pick up}) :$$

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

$$q_5 = Z_b(\text{Disk}) :$$

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

3. 액츄에이터만 있는 경우의 유한요소 해석 과 집중질량모델의 시뮬레이션 결과 비교

위의 5 자유도 집중질량모델 해석의 정당성을 확보하기 위하여 유한요소해석을 병행하였다. 시뮬레이션은 두 가지의 방법으로 진행되었는데 첫째는 데크에 4 개의 와이어가 달린 액츄에이터를 부착한 경우에 대한 유한요소해석과 4 자유도(디스크가 빠진) 집중질량에 대한 해석비교, 둘째는 디스크를 부착한 상태의 유한요소해석과 강체 모델에서도 동일하게 디스크를 부착한 상태에서의 해석비교이다. 유한요소해석은 상용 유한요소해석 프로그램인 엔시스를 이용하였다.

Table 3 Number of elements and nodes

	Elements	Nodes
Shell63	1320	5535
Solid45	3027	
Beam4	62	
Combin14	3	

Fig.3 은 엔시스를 이용하여 모델링 한 것이며 픽업부 뚜껑 안에 화살표 표시를 한 것처럼 4 개의 와이어가 달린 액츄에이터가 들어있는 상태에서 모달 해석을 수행하여 전체 시스템의 고유진동수를 얻을 수 있었다. Table 4 는 유한요소해석으로 구한 시스템의 고유진동수와 집중질량모델로 구한 시스템의 고유진동수를 비교한 것이다.

Table 4 Comparing natural frequencies

	FE Model(Hz)	Lumped Model(Hz)
1 st Mode	44.429	44.726
2 nd Mode	50.885	50.209
3 rd Mode	53.456	52.885
4 th Mode	85.701	89.198

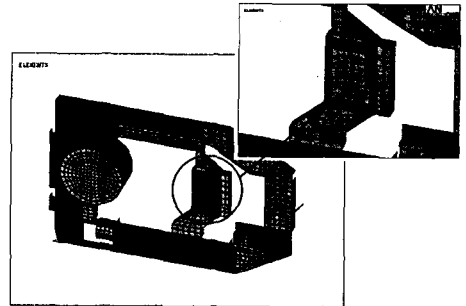


Fig. 3 FE model with 4-wire actuator

3.1 유한요소해석과 집중질량모델의 시뮬레이션 결과비교

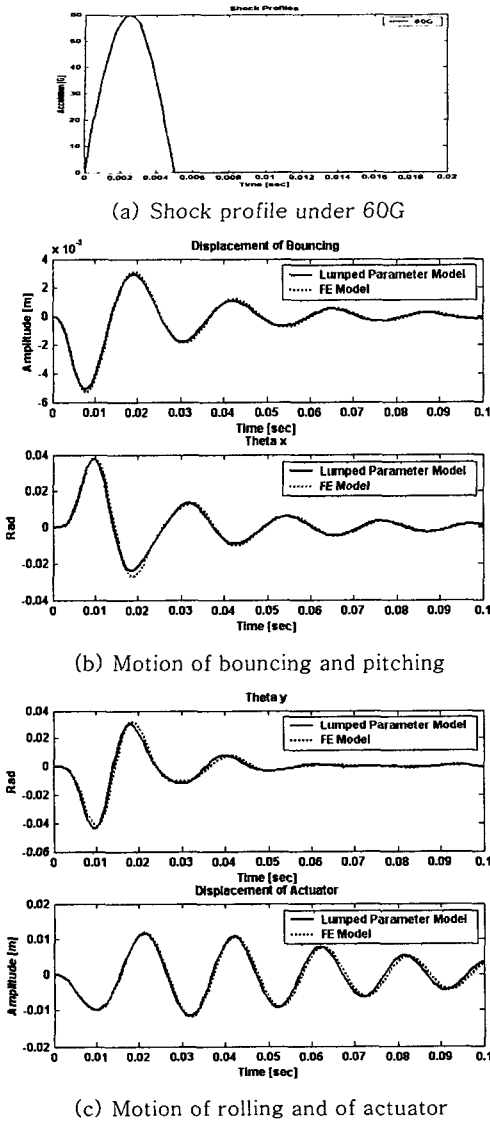


Fig. 4 Comparing displacements between FE model and lumped parameter model

위의 Fig.4 에서 보는 것처럼 유한요소모델과 집중질량모델을 60G의 충격을 주고 0.1 초까지 과도해석을 수행하였다. 바운싱, 피칭, 롤링과 액추에이터의 변위까지 모두 결과가 같게 나오는 것을 확인할 수 있다. 위와 같은 사실을 토대로 위 시스템은 집중질량모델로 가정할 수 있다.

4. 디스크를 부착한 경우에 대한 유한요소해석과 집중질량모델의 시뮬레이션 결과비교

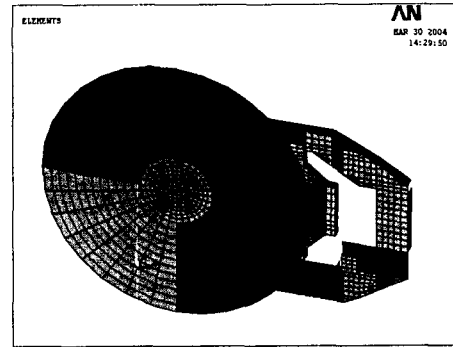


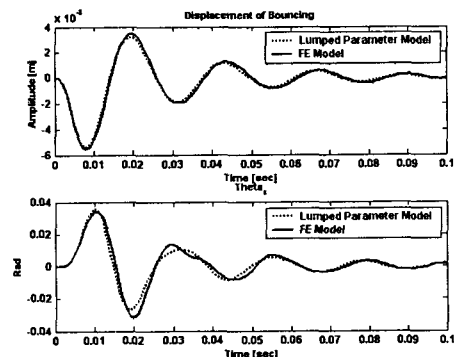
Fig. 5 FE model with disk

Table 5 Comparing natural frequencies

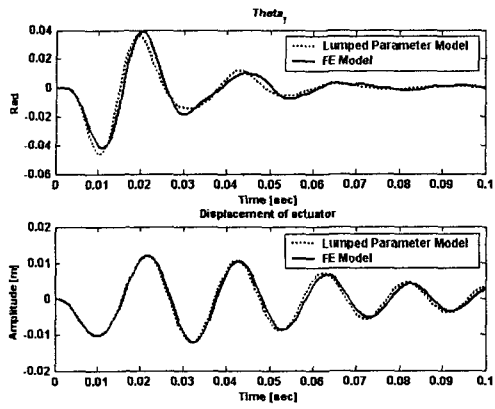
	FM Model (Hz)	Lumped Model(Hz)	비교
1 st mode	42.870	43.419	Deck Bouncing
2 nd mode	47.343	46.469	Deck Rolling
3 rd mode	51.790	-	Pick Up Tracking
4 th mode	52.390	52.326	Pick Up Focusing
5 th mode	74.039	80.2289	Deck Pitching
6 th mode	88.997	-	Pick Up Rolling
7 th mode	123.079	-	Disk (0.1)
8 th mode	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)

위의 Fig. 5는 Fig. 3에 디스크를 추가하여 모델링 한 것이다. 이 모델도 모달해석과 과도 해석을 수행하였고 그 해석결과를 집중질량모델로 가정 한 것과 비교하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

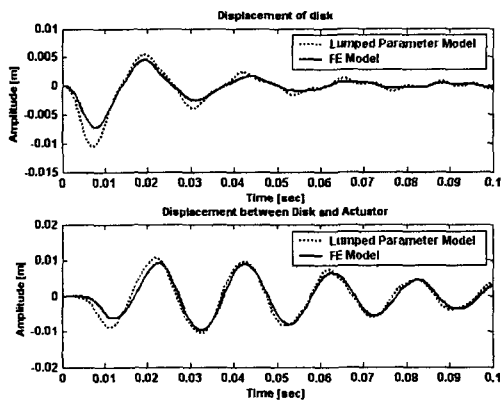
4.1 디스크가 부착된 경우의 유한요소해석과 집중질량모델에 대한 결과비교



(a) Motion of bouncing and pitching under 60G



(b) Motion of rolling and actuator under 60 G



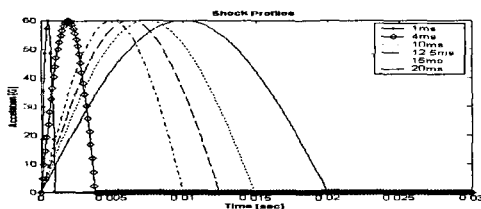
(c) Motion of disk and actuator under 60G

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

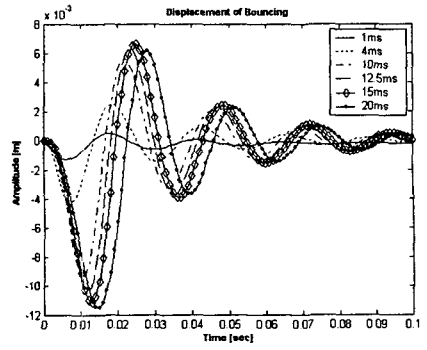
Fig. 6 에서 보는 것처럼 집중질량모델로 가정한 모델과 유한요소해석 모델의 움직임이 거의 같게 나오는 것을 확인 할 수 있었다. 디스크의 움직임이 약간 다른 것은 디스크를 1 자유도의 집중질량 모델로 가정하였기 때문이지만 해석을 수행하는 것에서는 문제가 없다고 판단된다.

4.2 다양한 입력에 따른 시뮬레이션

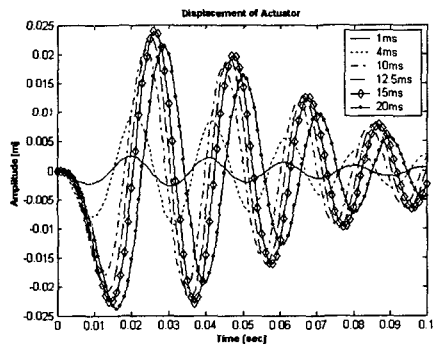
(1) 충격지속시간이 다른 경우



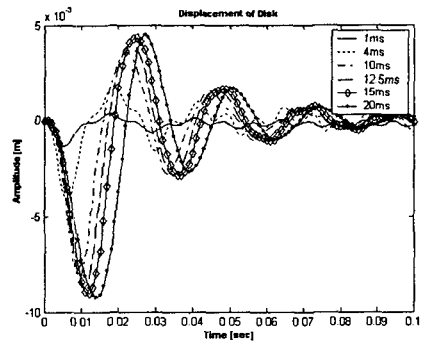
(a) Shock profiles for different time duration



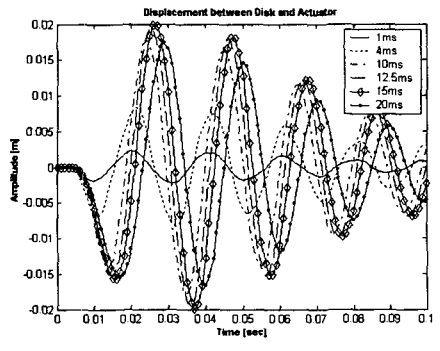
(b) Motion of bouncing



(c) Motion of actuator



(d) Motion of disk

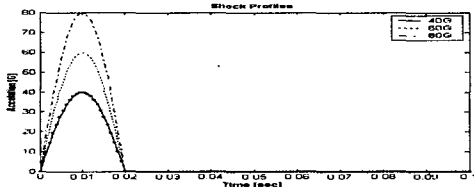


(e) Motion of between disk and actuator

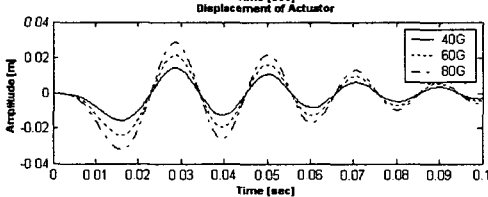
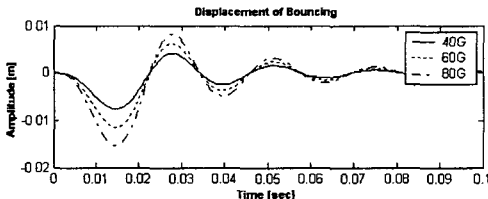
Fig. 7 Displacements with various durations

60G 로 충격을 가해주었을 때 지속시간이 커짐에 따라서 시스템에 가해지는 충격의 크기 또한 커지며 응답속도는 느려지는 것을 알 수 있다. 0.1 초에서 데크의 바운싱 방향 진동은 거의 정상상태가 되는 것에 반해 픽업과 디스크간에는 계속 진동하는 것으로 나타난다.

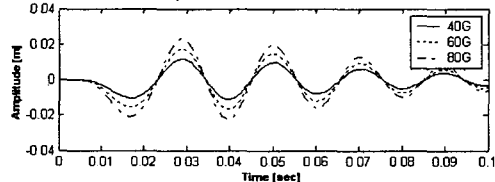
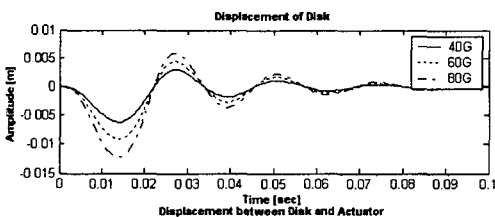
(2) 입력가속도의 크기를 다르게 할 경우



(a) Shock profiles under 40G, 60G, 80G



(b) Motion of bouncing and actuator



(c) Motion of disk and actuator

Fig. 8 Displacement with various magnitudes

Fig. 8 은 충격인풋을 40G, 60G, 80G 에 대하여 충격응답을 구한 것이다. 충격인풋이 커질수록 시스템의 움직임은 커지는 것을 알 수 있다. 위 Fig. 7 에서 처럼 0.1 초까지 충격응답을 볼 경우 전체

데크의 움직임은 정상상태로 돌아가는 반면, 픽업과 디스크간의 상대운동은 계속 진행되는 것으로 나타났다.

5. 결 론

본 논문에서는 광디스크드라이브에서 픽업을 고려한 경우의 4 자유도 모델과 디스크를 함께 고려한 5 자유도 모델로 나누어서 해석하였다. 픽업과 디스크를 집중질량모델로 가정하여 라그랑지 방정식을 이용하여 수학적 해석을 유도하였다. 또한 유한요소해석을 이용하여 광디스크 드라이브의 데크부분을 직접 모델링 한 후 모달해석과 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 외부충격에 대한 시스템이 받는 영향에 대하여 확인하였다.

후 기

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

참 고 문 헌

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