

피딩테크 운동을 고려한 광픽업 액츄에이터의 동특성 해석 Dynamic Characteristics of an Optical Pick-up Actuator Considering the motion of a Feeding Deck

신갑수*·정진태**·김원석***
Kapsuo Shin, Jintai Chung and Wonsuk Kim

Key Words : Optical Pick-up Actuator(광픽업 구동기), Natural Frequency(고유진동수)

ABSTRACT

There are a lot of roots of errors in an motion of the optical pick-up actuator being one of the most significant components in a CD-ROM drive. Most of the studies recently performed have a tendency to seek for the causes from an actuator itself. This paper present the dynamic characteristics of an actuator affected by the motion of a feeding deck. The feeding system is modeled as a rigid body with eight degree-of-freedom. Using Lagrange's equation, we derive the linear equations of motion with respect to the rectangular coordinate. We found the fact that the ranges of the natural frequencies of a feeding deck and an actuator are close to each other. And the time responses are also computed by the Newmark method and Runge-Kutta method.

1. 서론

21 세기 지식· 정보화 시대가 도래하면서 정보의 보고인 인터넷 사용의 급증으로 컴퓨터의 수요는 꾸준히 증가하고 있으며 음악이나 동영상과 같은 고용량 미디어 파일의 증가로 저장매체 역시 고밀도화, 고속화 과정을 겪고 있다. 광디스크 드라이브는 저장능력이 우수하고 사용이 편리한 광디스크가 대중화 됨에 따라 컴퓨터 사용시 없어서는 안될 중요한 저장매체 중 하나로 자리잡았다. 광디스크 드라이브의 핵심부품인 광픽업 장치는 액츄에이터에 부착된 대물렌즈를 통해 데이터를 읽어들이는 역할을 하며 4-와이어 서스펜션으로 지지되어 있는 액츄에이터는 트래킹과 포커싱 운동으로 원하는 위치를 찾거나 초점을 맞춘다. 즉 2 자유도 진동 시스템으로 이루어져 있으며 광디스크의 기록 용량 및 재생 속도의 향상으로 기계적 정밀도가 급속히 증가함에 따라 광픽업 관한 연구 또한 활발히 진행되고 있다. 기존의 연구들을 살펴보면 액츄에이터의 동특성에 있어서 지배적인 역할을 하는 강성행렬에 대한 특성과 이에 따른 액츄에이터 자유도의 연성관계에 대한 연구⁽¹⁾가 있었고 잔류진동을 감소시키기 위한 최적 이송속도 분포에 관한 연구⁽²⁾, 부공진의 원인 규명과 이를 감소시키기 위한 각종 연구⁽³⁾가 있었으며

동적 안정화를 위한 설계 파라미터 설정에 관한 연구등 여러가지가 있었으나 대부분 액츄에이터의 동적 안정화나 시스템 오류에 대한 해결책을 광픽업 시스템 자체 내에서 찾으려는 경향을 가지고 있다.

본 연구에서는 광디스크 드라이브에서 광디스크의 장탈착 및 구동을 관할하는 피딩테크와 액츄에이터의 고유진동수가 40~100 Hz대에 서로 근접하게 분포되어 있다는 점을 착안하고 피딩테크가 광픽업의 동적 특성에 어떠한 영향을 주는지 알아보고자 한다. 우선 두 시스템의 진동해석을 위해 광픽업 장치가 부착된 피딩시스템의 단순 모델링을 제시하였고 Lagrange 방정식으로부터 선형 지배방정식을 유도하였다. 각종 물성치와 고유진동수를 얻기 위한 실험을 수행하였고 Newmark 과 Runge-Kutta Method 를 이용하여 구한 시간응답으로부터 두 시스템의 동적 연관성을 살펴보았다.

2. 지배방정식

2.1 시스템의 3차원 모델

광픽업이 부착된 광디스크 드라이브에 대한 피딩 시스템(feeding system)의 3 차원 모델링은 Fig. 1 과 같으며 XYZ 좌표계는 공간에 고정된 좌표계를 나타내고 xyz 좌표계는 피딩테크에 고정된 좌표계를 나타낸다. 광픽업은 $d_v(t)$ 로 y 방향으로 이동거리 $l-R$ 로 운동을 하며 액츄에이터는 포커싱과 트래킹운동 즉 z 축, y 축방향으로의 병진운동을 한다. O점은 스피들 모터의 회전중

* 한양대 정밀기계공학과 대학원
E-mail : shinks93@ihanyang.ac.kr
Tel : (02) 2291-2135, Fax : (02) 2290-2135

** 한양대 기계공학부

*** 한양대 BK21 기계사업단

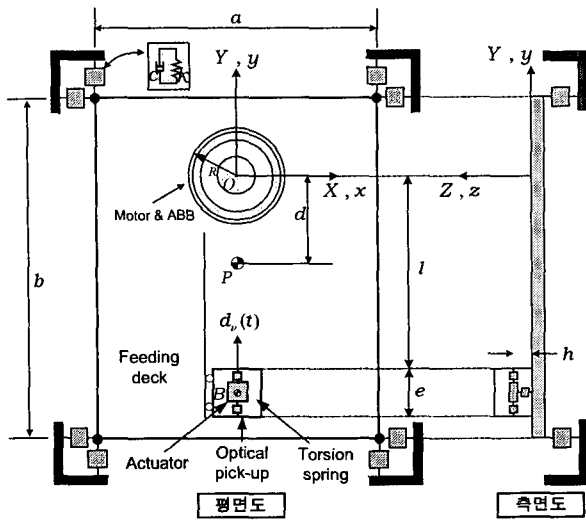


Fig. 1 3-Dimensional modeling of a feeding deck coupled with an optical pick-up

심에 위치해 있으며 공간에 고정된 점이며 B 점은 액츄에이터의 질량중심에 위치해 있으며 광픽업 베이스에 고정된 점이다.

해석을 용이하게 하기위해서 본 연구에서는 Fig. 1 과 같은 모델링을 하기 전에 몇 가지 가정을 하였다. 우선 피딩데크와 광픽업 액츄에이터를 균일한 사각평판으로 가정하고 공간상에서 각각 6 자유도와 2 자유도를 가지는 강체로 모델링 하였다. 그리고 광픽업 액츄에이터를 지지하고 있는 서스펜션을 스프링-댐핑 시스템으로 대체시켜 해석하였으며 액츄에이터의 x 축 방향의 변위와 회전변위는 트래킹과 포커싱 운동에 비해 시스템에 큰 영향을 주지 않으므로 변위가 없다고 가정하였다. 액츄에이터를 지지하고 있는 광픽업베이스는 일차원 운동을 하므로 관성모멘트를 무시하고 질량을 가진 질점으로 표현하였으며 광픽업과 피딩데크 사이의 마찰은 무시하였다. Fig. 2 은 피딩데크의 모델링으로써 운동전과 운동후의 시스템을 평면도로 나타낸 것이다. 여기서 점선은 운동전의 피딩데크의 위치를 나타내고, 실선은 운동후의 임의의 시간에서의 피딩데크의 위치를 나타낸 것이다. Fig. 2 에서 P 는 피딩데크의 질량중심이자 기하학적 중심이며, C 는 진동후의 임의의 시간에 대한 스핀들 모터의 회전중심에 위치한 피딩데크에 고정된 좌표계인 xyz 좌표계의 원점이다. 이 피딩데크는 각각 x_1, y_1, z_1 의 병진운동과 α, β, γ 의 회전운동을 한다. 따라서 피딩데크의 질량중심의 위치를 Body-rotation 3-1-2 로 회전한, 즉 각 축에 대해서 γ, α, β 순서로 회전한 Euler 각으로

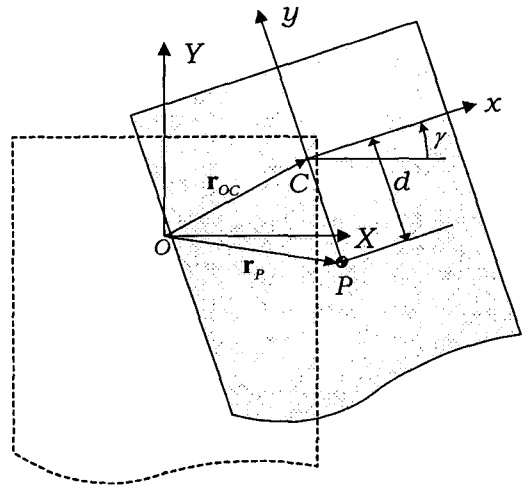


Fig. 2 Before and after the motion of the feeding deck

나타낼 수 있다. 그에 대한 좌표변환은 다음과 같다.

$$\mathbf{x}' = \mathbf{T}_\gamma \mathbf{X} \quad , \quad \mathbf{x}'' = \mathbf{T}_\alpha \mathbf{x}' \quad , \quad \mathbf{x} = \mathbf{T}_\beta \mathbf{x}'' \quad (1)$$

여기서

$$\mathbf{T}_\gamma = \begin{bmatrix} \cos \gamma & \sin \gamma & 0 \\ -\sin \gamma & \cos \gamma & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \mathbf{T}_\alpha = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha & \sin \alpha \\ 0 & -\sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix}, \mathbf{T}_\beta = \begin{bmatrix} \cos \beta & 0 & -\sin \beta \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \beta & 0 & \cos \beta \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{X} = X\mathbf{i} + Y\mathbf{j} + Z\mathbf{k} \quad , \quad \mathbf{x}'_2 = x'_2\mathbf{i}' + y'_2\mathbf{j}' + z'_2\mathbf{k}' \quad (2)$$

$$\mathbf{x}'' = x''_2\mathbf{i}'' + y''_2\mathbf{j}'' + z''_2\mathbf{k}'' \quad , \quad \mathbf{x} = x\mathbf{i} + y\mathbf{j} + z\mathbf{k} \quad (3)$$

여기서 $\mathbf{i}, \mathbf{j}, \mathbf{k}$ 는 XYZ 축의 단위벡터, $\mathbf{i}', \mathbf{j}', \mathbf{k}'$ 는 $x'_2 y'_2 z'_2$ 축의 단위벡터, $\mathbf{i}'', \mathbf{j}'', \mathbf{k}''$ 는 $x''_2 y''_2 z''_2$ 축의 단위벡터, 그리고 $\mathbf{i}, \mathbf{j}, \mathbf{k}$ 는 $x_2 y_2 z_2$ 축의 단위벡터이다.

2.2 선형 지배방정식

광디스크 드라이브의 선형 지배방정식은 다음과 같은 Lagrange 방정식으로 유도된다.

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_k} \right) - \frac{\partial T}{\partial q_k} + \frac{\partial V}{\partial q_k} + \frac{\partial F}{\partial \dot{q}_k} = 0 \quad (4)$$

여기서 T 는 운동에너지, V 는 위치에너지, F 는 Rayleigh 감쇠 함수를 그리고 q_k 는 일반좌표를 나타낸다. 또한 시스템의 운동을 기술하기 위한 일반좌표는 $x_1, y_1, z_1, \alpha, \beta, \gamma, x_2, y_2$ 이다. x_2, y_2 는 액츄에이터의 트래킹과 포커싱 운동이다. 피딩데

크, 광픽업 베이스 그리고 액츄에이터의 운동 후 위치벡터($\mathbf{r}_P, \mathbf{r}_B, \mathbf{r}_G$)와 가속도($\boldsymbol{\omega}_P, \boldsymbol{\omega}_G$)를 나타내면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \mathbf{r}_P &= \mathbf{T}_\beta \mathbf{T}_\alpha \mathbf{T}_\gamma \mathbf{r}_{OC/XYZ} + \mathbf{r}_{CP} \\ \mathbf{r}_B &= \mathbf{T}_\beta \mathbf{T}_\alpha \mathbf{T}_\gamma \mathbf{r}_{OC/XYZ} + \mathbf{r}_{CB} \\ \mathbf{r}_G &= \mathbf{T}_\beta \mathbf{T}_\alpha \mathbf{T}_\gamma \mathbf{r}_{OC/XYZ} + \mathbf{r}_{CG} \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \boldsymbol{\omega}_P = \boldsymbol{\omega}_G &= (\dot{\alpha} \cos \beta - \dot{\gamma} \cos \alpha \sin \beta) \mathbf{i} + (\dot{\gamma} \sin \alpha + \dot{\beta}) \mathbf{j} \\ &+ (\dot{\alpha} \sin \beta + \dot{\gamma} \cos \alpha \cos \beta) \mathbf{k} \end{aligned} \quad (6)$$

여기서

$$\begin{aligned} \mathbf{r}_{OC/XYZ} &= x_1 \mathbf{i} + y_1 \mathbf{j} + z_1 \mathbf{k}, \quad \mathbf{r}_{CP} = -d \mathbf{j} \\ \mathbf{r}_{CB} &= (-l - \frac{1}{2}e + d_v) \mathbf{j} + h \mathbf{k} \\ \mathbf{r}_{CG} &= (-l - \frac{1}{2}e + y_2 + d_v) \mathbf{j} + (h + z_2) \mathbf{k} \end{aligned} \quad (7)$$

이때 운동에너지는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} T &= \frac{1}{2} M_P \frac{d\mathbf{r}_P}{dt} \cdot \frac{d\mathbf{r}_P}{dt} + \frac{1}{2} M \frac{d\mathbf{r}_B}{dt} \cdot \frac{d\mathbf{r}_B}{dt} \\ &+ \frac{1}{2} m \frac{d\mathbf{r}_G}{dt} \cdot \frac{d\mathbf{r}_G}{dt} + \frac{1}{2} (\boldsymbol{\omega}_G^T \mathbf{J}_G \boldsymbol{\omega}_G + \boldsymbol{\omega}_P^T \mathbf{J}_P \boldsymbol{\omega}_P) \end{aligned} \quad (8)$$

여기서 M_P 와 M 은 피딩테크와 광픽업베이스의 질량, 그리고 m 은 액츄에이터의 질량을 나타낸다. \mathbf{J}_P 와 \mathbf{J}_G 는 각각 피딩테크와 액츄에이터에 대한 질량 관성 모멘트 행렬이며 피딩테크와 액츄에이터를 두께가 얇은 평판이라 가정할 때 각각의 질량 관성모멘트는 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\mathbf{J}_P = \begin{bmatrix} J_{Px} & 0 & 0 \\ 0 & J_{Py} & 0 \\ 0 & 0 & J_{Pz} \end{bmatrix}, \quad \mathbf{J}_G = \begin{bmatrix} J_{Gx} & 0 & 0 \\ 0 & J_{Gy} & 0 \\ 0 & 0 & J_{Gz} \end{bmatrix}$$

$$J_{Px} = \frac{1}{12} M_P b^2, J_{Py} = \frac{1}{12} M_P a^2, J_{Pz} = J_{Px} + J_{Py} \quad (9)$$

$$J_{Gx} = J_{Gy} = \frac{1}{12} m w^2, J_{Gz} = J_{Gx} + J_{Gy}$$

중력에 의한 위치에너지를 무시할 때 피딩테크와 액츄에이터에 대한 위치에너지는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$V = V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + \frac{1}{2} k_t x_2^2 + \frac{1}{2} k_f y_2^2 \quad (10)$$

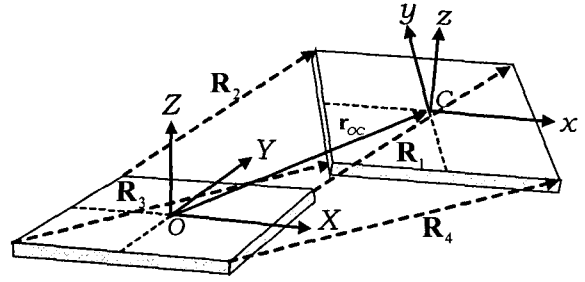


Fig. 3 Before and after the motion of the feeding deck

$$\text{여기서 } V_i = \frac{1}{2} k (\mathbf{R}_{ix}^2 + \mathbf{R}_{iy}^2 + \mathbf{R}_{iz}^2) \quad (11)$$

Fig. 3 은 피딩테크의 진동전과 진동후를 나타내는 모델링이고 여기서 \mathbf{R}_i 은 피딩테크 네 모서리의 병진운동에 대한 벡터와 회전운동에 대한 벡터의 합으로 표현할 수 있다. Reyleigh 감쇠 함수 F 도 마찬가지로 방법으로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$F = F_1 + F_2 + F_3 + F_4 + \frac{1}{2} c_t \dot{x}_2^2 + \frac{1}{2} c_f \dot{y}_2^2 \quad (12)$$

식(8)-(12)을 식(4)에 적용한 후 선형화 시키면 다음과 같은 선형 지배방정식을 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} (M + M_B + m) \ddot{x}_1 + \frac{1}{2} \{ (M_B + m)(e + 2l - 2d_v) + 2dM \} \ddot{y} \\ + hm \ddot{\beta} + 4c \dot{x}_1 - 2(M_B + m) \dot{d}_v \dot{y} + 4kx_1 - (M_B + m) \ddot{d}_v \gamma = 0 \end{aligned} \quad (13)$$

$$\begin{aligned} (M + M_B + m) \ddot{y}_1 + m \ddot{y}_2 - hm \ddot{\alpha} + 4c \dot{y}_1 + 4ky_1 + (M_B + m) \ddot{d}_v \\ = 0 \end{aligned} \quad (14)$$

$$\begin{aligned} (M + M_B + m) \ddot{z}_1 + m \ddot{z}_2 - \frac{1}{2} \{ (M_B + m)(e + 2l - 2d_v) + 2dM \} \ddot{\alpha} \\ + 4c \dot{z}_1 + 4kz_1 + 2(M_B + m) \dot{d}_v \dot{\alpha} + (M_B + m) \ddot{d}_v \alpha = 0 \end{aligned} \quad (15)$$

$$\begin{aligned} hm(\ddot{y}_1 + \ddot{y}_2) + \{ dM + (\frac{1}{2}e + l - d_v)(M_B + m) \} \ddot{z}_1 \\ - (\frac{1}{2}e + l - d_v) m \ddot{z}_2 - \{ (\frac{1}{12}b^2 + d^2)M + (\frac{1}{2}e + l)^2 M_B \\ - (M_B + m)(e + 2l - d_v) d_v + (\frac{1}{12}w^2 + h^2 + (\frac{1}{2}e + l)^2) m \} \ddot{\alpha} \\ - \{ (2d_v \dot{d}_v - 2l \dot{d}_v - e \dot{d}_v)(M_B + m) + (b - 2d)^2 c \} \dot{\alpha} - (b - 2d)^2 ka \\ + m(z_2 + h) \ddot{d}_v = 0 \end{aligned} \quad (16)$$

$$\begin{aligned} \frac{1}{12} (a^2 M + w^2 m + 12h^2 m) \ddot{\beta} + \frac{1}{2} hm(e + 2l - 2d_v) \ddot{r} + hm \ddot{x}_1 \\ + a^2 c \dot{\beta} - 2hm \dot{d}_v \dot{y} + a^2 k \beta = 0 \end{aligned} \quad (17)$$

$$\begin{aligned} & \left\{ \frac{1}{2}(e+2l)(M_B+m)+dM-(M_B+m)d_v \right\} \ddot{x}_1 \\ & + \left(\frac{1}{2}e+l-d_v \right) hm\ddot{\beta} + \left\{ \frac{1}{12}a^2 + \frac{1}{12}b^2 + d^2 \right\} M \\ & + \frac{1}{6}w^2m + \left(\frac{1}{4}e^2 + el + l^2 - ed_v - 2ld_v + d_v^2 \right) (M_B+m) \} \ddot{y} \\ & + \left\{ \dot{d}_v(2d_v - e - 2l)(M_B+m) + (b-2d)^2c \right. \\ & \left. + a^2c \right\} \dot{y} + (b-2d)^2k\gamma + a^2k\gamma + hmd_v\dot{\beta} = 0 \end{aligned} \quad (18)$$

$$m(\ddot{y}_1 + \ddot{y}_2) - mh\ddot{\alpha} + c_t\dot{y}_2 + k_t y_2 + m\ddot{d}_v = 0 \quad (19)$$

$$\begin{aligned} & m(\ddot{z}_1 + \ddot{z}_2) - \frac{1}{2}m(e+2l-2d_v)\ddot{\alpha} + c_f\dot{z}_2 + 2m\dot{d}_v\dot{\alpha} \\ & + k_f z_2 = 0 \end{aligned} \quad (20)$$

3. 실험 및 고유진동수

3.1 실험방법

2장에서 제시한 모델의 운동 해석에 필요한 각종 물성치 추출을 위해 실험을 수행하였다. 피딩테크는 셰이커 테스트와 햄머 테스트를 통해 얻은 FRF 데이터로부터 고유진동수, 강성계수 및 감쇠계수를 측정했다. 그리고 민감한 액추에이터 측정을 위해 레이저 센서를 이용하였으며 초기변위에 대한 실시간 시간응답 곡선을 통해 피딩테크에서와 같은 물성치를 추출하였다. Fig. 4는 액추에이터 거동 측정을 위한 실험의 구성도이고 Table. 1은 실험을 통해 얻은 물성치를 나타내고 있다.

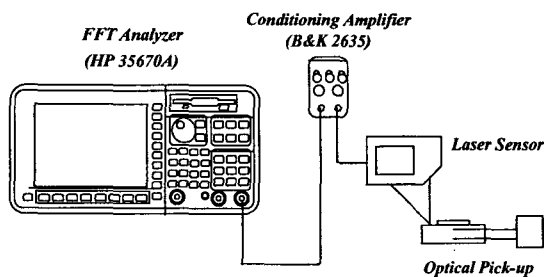


Fig. 4 Experimental set-up of an actuator

3.2 고유 진동수

유도된 지배방정식(13)~(20)은 다음과 같은 행렬-벡터식으로 표현할 수 있다.

$$M(t)\ddot{q}(t) + C(t)\dot{q}(t) + K(t)q(t) = 0 \quad (21)$$

여기서 $q(t) = \{x_1, y_1, z_1, \alpha_1, \beta_1, \gamma_1, y_2, z_2\}^T$ 이고 위 식을 상태벡터 방정식으로 표현하면 다음과 같다.

Table. 1 Material properties and dimensions of the system

Variables	Values	Variables	Values
a	0.1145 m	k	3535.731 N/m
b	0.1160 m	c	2.318 Ns/m
M	0.154 Kg	k_t	59.03 N/m
M_B	1.342e-32 Kg	k_f	53.4431 N/m
m	3.506e-4 Kg	c_t	3.72e-2 Ns/m
d	0.03m	c_f	2.74e-2 Ns/m

$$\dot{y}(t) = D(t)y(t) \quad (22)$$

여기서

$$y(t) = \begin{Bmatrix} \dot{q}(t) \\ q(t) \end{Bmatrix}, D(t) = A(t)^{-1}B(t) \quad (23)$$

$$A(t) = \begin{bmatrix} M(t) & 0 \\ 0 & -K(t) \end{bmatrix}, B(t) = \begin{bmatrix} C(t) & K(t) \\ K(t) & 0 \end{bmatrix} \quad (24)$$

(22)식을 이용해 Table. 1의 물성치를 적용하고 고유치 해석하여 얻은 고유치의 허수부 값을 취하면 고유진동수를 구할 수 있다. 여기서 얻은 액추에이터의 트래킹과 포커싱 방향 고유진동수는 64.9 Hz와 61.9 Hz로 실험에서 얻은 65.3 Hz, 62.1 Hz과 큰 차이가 나지 않는다.

3.3 광픽업 위치에 따른 고유진동수

광픽업의 위치추종 절차를 살펴보면 액추에이터를 감싸고 있는 광픽업 베이스가 트래킹 방향으로 운동을 하여 우선 위치에 근접하고 난 후 액추에이터가 정밀하게 트래킹을 추종한다. 여기서 광픽업 베이스 운동 시 그 위치에 따라 각자유도에 대한 고유진동수가 어떻게 변하는지 알아보았으며 이에 대한 변화를 Fig. 5에서 보여주고 있다.

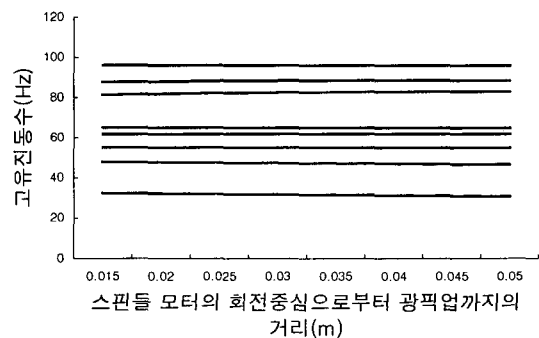


Fig. 5 Natural frequencies with respect to the position of an optical pick-up

그림에서 보는 바와 같이 광픽업 베이스의 위치에 따라 각자유도에 대한 고유진동수의 변화가 거의 없다는 것을 알 수 있다.

4. 시간 응답

피딩테크 운동에 따른 광픽업의 동적 특성을 분석하기 위해 시간응답을 구하였고 Newmark 방법과 Runge-Kutta 방법을 이용하여 두 결과가 동일함을 확인하였다. 가진점은 광디스크 편심에 의한 힘이 작용한다고 가정하여 광디스크 회전중심으로 설정하였고 회전속도는 52 배속과 48 배속인 10400rpm, 9600rpm 을 적용시켰다. 그리고 피딩테크의 영향을 살펴보기 위해 피딩테크 가진에 대한 응답을 액츄에이터 단순 모델에 가진으로 적용시켜 이에 대한 시간 응답과 비교해 보았다. 편의상 2 장에서 제시한 모델을 model 1 그리고 비교대상 모델을 model 2 라 칭하겠다.

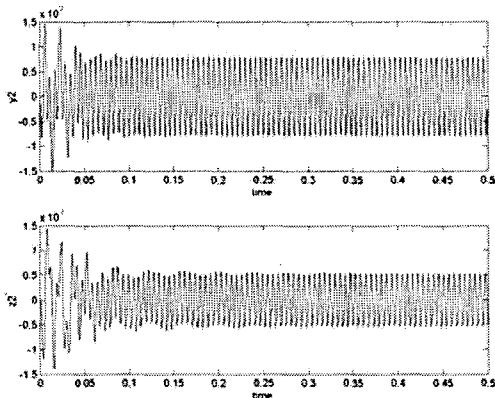


Fig. 6 Time response of an model 1 at $\omega = 10400rpm$

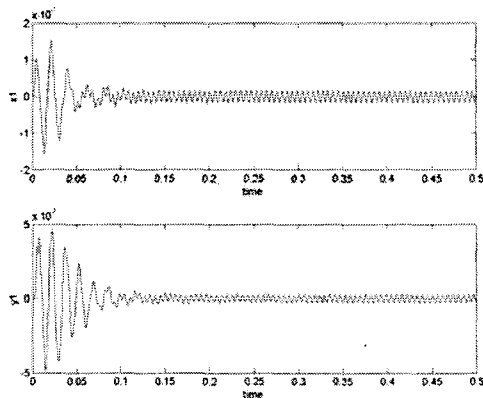


Fig. 7 Time response of an model 2 at $\omega = 10400rpm$

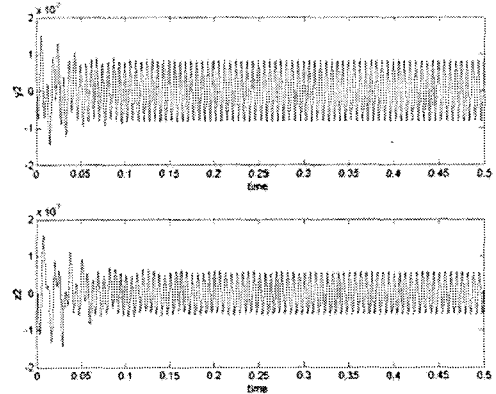


Fig. 8 Time response of an model 1 at $\omega = 9600rpm$

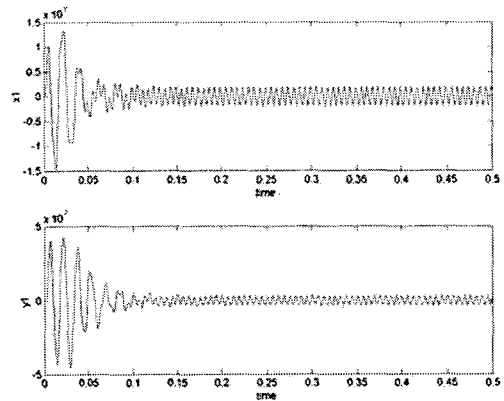


Fig. 9 Time response of an model 2 at $\omega = 9600rpm$

Fig. 6 과 Fig. 7 는 회전속도가 10400rpm 에서의 model 1 과 2 의 시간응답을 보여주고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 트랙킹 운동에서는 model 1 이 정상상태에서 진폭이 model 2 보다 진폭이 큰 것을 볼수 있고 포커싱 운동에서는 model 1 이 model 2 보다 정상상태 전에는 진폭이 상대적으로 작으나 그 후론 큰 것을 볼 수 있다. Fig. 8 과 Fig. 9 는 회전속도가 9600rpm 에서의 model 1 과 2 의 시간응답을 보여주고 있으며 응답경향이 Fig. 6, Fig. 7 과 비슷함을 볼 수 있다.

5. 결론

피딩테크는 스피들 모터의 축 정렬 불량이나 광디스크의 편심등의 영향으로 회전 시 고주파 가진원을 제공하기 때문에 그 내부에 장착된 광픽업 액츄에이터의 운동에 영향이 있을 것으로 사료되어진다. 이에 본 연구에서는 그 동안 광픽업 액츄에이터의 동특성 연구에서 간과되어 왔던 피딩 시스템을 고려한 새로운 해석 모델을 제시했다. 그리고 이에 대한 지배방정식을 유도하였으며 물성

치 추출을 위한 실험을 수행하였다. 또한 시간응답을 시뮬레이션 하여 피딩테크에 따른 액츄에이터의 거동을 살펴보았으며 피딩테크의 영향으로 액츄에이터의 진동량이 커지는 것을 알 수 있었다. 본 연구는 액츄에이터 설계를 위한 기초 자료로 사용될 수 있다.

참고문헌

- (1) 단병주, 최용제, 1999, "와이어 지지형 광픽업 액츄에이터의 강성행렬과 기하학적 응답해석", 한국소음진동공학회지, 제 9 권, 제 5 호, pp. 984~990.
- (2) 전홍걸, 박영필, 2000, "광픽업 잔류 진동 저감을 위한 이송 속도 분포 해석", 한국소음진동공학회지, 제 10 권, 제 2 호, pp. 221~228.
- (3) 서진규, 정호섭, 박기환, 2000, "광 픽업 액츄에이터의 부공진 원인 규명과 저감화", 대한기계학회논문집 A 권, 제 24 권, 제 3 호, pp. 728~734.
- (4) 고상선, 류제하, 박기환, 정호섭, 1998, "고배속 CD-ROM 용 비대칭형 광픽업 미세구동기의 구동특성", 한국소음진동공학회지, 제 8 권, 제 2 호, pp. 346~352.
- (5) 이문구, 권대갑 1997, "광픽업 미세구동부의 최적 설계", 대한기계학회 논문집, 제 21 권, 제 5 호, pp. 819~827.
- (6) 김석중, 이용훈, 손용기, 이철우, 임경화, 1998, "고밀도 기록용 광픽업의 정밀 액츄에이터 동특성 연구", 한국소음공학회지, 제 8 권, 제 1 호, pp. 87~98.
- (7) 김석중, 이용훈, 최한국, 2000, "고밀도 광저장 기이용 틸트 액츄에이터 동특성 분석 및 평가", 한국소음공학회지, 제 10 권, 제 4 호, pp. 584~595.
- (8) 김윤영, 이호철, 1996, "광 픽업 지지부 초기설계를 위한 외팔보 구조 진동해석", 한국소음진동공학회지, 제 6 권, 제 6 호, pp. 763~770.
- (9) 정호섭, 오관영, 유익형, 1998, "FP 코일형 광픽업 액츄에이터의 설계 및 부공진의 진동저감 대책", 한국소음진동공학회지, 제 8 권, 제 4 호, pp. 643~653.
- (10) 임승철, 정태영, 1998, "고속 광 픽업 장치의 강인 서보 제어", 한국소음진동공학회지, 제 8 권, 제 3 호, pp. 533~541.
- (11) S.B. Choi, H.K. Kim, S.C. Lim, Y.P. Park, 2001, "Position tracking control of an optical pick-up device using piezoceramic actuator", Mechatronics, Vol. 11, pp. 691~705.