

피딩데크 운동을 고려한 광픽업 액추에이터의 동특성 해석

Dynamic Characteristics of an Optical Pick-up Actuator Considering the Motion of a Feeding Deck

신 갑 수* · 정 진 태[†] · 김 원 석**

Kapsoo Shin, Jintai Chung and Wonsuk Kim

(2003년 3월 16일 접수 : 2003년 12월 8일 심사완료)

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

ABSTRACT

There are a lot of roots of errors in a 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 presents 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 linear equations of motion with respect to the rectangular coordinate. We found that the ranges of the natural frequencies of a feeding deck and the actuator are close to each other. The time responses are also computed by the Newmark method and Runge-Kutta method. The result show that it is important effect to consider feeding deck in modeling and designing an optical pick-up.

1. 서 론

광디스크 드라이브는 저장능력이 우수하고 사용이 편리한 광디스크가 대중화 됨에 따라 컴퓨터 사용시 없어서는 안될 중요한 저장매체 중 하나로 자리잡았다. 광디스크 드라이브의 핵심부품인 광픽업 장치는 액추에이터에 부착된 대물렌즈를 통해 데이터를 읽어들이는 역할을 하며 4-와이어 서스펜션으로 지지되어 있는 액추에이터는 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 증가

함에 따라 광픽업 관한 연구 또한 활발히 진행되고 있다.

기존의 연구들을 살펴보면 액추에이터의 동특성에 있어서 지배적인 역할을 하는 강성행렬에 대한 특성과 이에 따른 액추에이터 자유도의 연성관계에 대한 연구⁽¹⁾가 있었고 잔류진동을 감소시키기 위한 최적 이송속도 분포에 관한 연구,⁽²⁾ 부공진의 원인 규명과 이를 감소시키기 위한 각종 연구^(3~5)가 있었으며 동적 안정화를 위한 설계 파라미터 설정에 관한 연구^(6~8) 및 슬립형 노트북에 사용되는 액추에이터의 동특성 및 설계변수에 대한 연구,⁽⁹⁾ 고속 액추에이터의 강인 서보제어에 대한 연구⁽¹⁰⁾ 및 가진원의 능동제어를 위한 연구⁽¹¹⁾가 있었으며 대부분 액추에이터의 동적 안정화나 시스템 오류에 대한 해결책을 광픽업 시스템 자체 내에서 찾으려는 경향을 가지고 있다.

본 연구에서는 광디스크 드라이브에서 광디스크의 장탈착 및 구동을 관할하는 피딩데크와 액추에이터의

[†] 책임저자 : 정희원, 한양대학교 기계공학과
E-mail : jchung@hanyang.ac.kr
Tel : (031) 400-5287, Fax : (031) 406-6964
^{*} 정희원, 한양대학교 대학원 정밀기계공학과
^{**} 한양대학교 BK21 기계사업단

$$\begin{aligned}
 \mathbf{r}_P &= \mathbf{T}_\beta \mathbf{T}_\alpha \mathbf{T}_\gamma \mathbf{r}_{OC/XYZ} + \mathbf{r}_{CP} \\
 \mathbf{r}_B &= \mathbf{T}_\beta \mathbf{T}_\alpha \mathbf{T}_\gamma \mathbf{r}_{OC/XYZ} + \mathbf{r}_{CB} \\
 \mathbf{r}_G &= \mathbf{T}_\beta \mathbf{T}_\alpha \mathbf{T}_\gamma \mathbf{r}_{OC/XYZ} + \mathbf{r}_{CG} \quad (2) \\
 \boldsymbol{\omega}_P &= \boldsymbol{\omega}_G = (\dot{\alpha} \cos \beta - \dot{\gamma} \cos \alpha \sin \beta) \mathbf{i} + (\dot{\gamma} \sin \alpha + \dot{\beta}) \mathbf{j} \\
 &\quad + (\dot{\alpha} \sin \beta + \dot{\gamma} \cos \alpha \cos \beta) \mathbf{k} \quad (3)
 \end{aligned}$$

여기서

$$\begin{aligned}
 \mathbf{r}_{OC/XYZ} &= x_1 \mathbf{i} + y_1 \mathbf{j} + z_1 \mathbf{k}, \quad \mathbf{r}_{CP} = -d \mathbf{j} \\
 \mathbf{r}_{CB} &= (-l - \frac{1}{2} e + d_v) \mathbf{j} + h \mathbf{k} \\
 \mathbf{r}_{CG} &= (-l - \frac{1}{2} e + y_2 + d_v) \mathbf{j} + (h + z_2) \mathbf{k} \quad (4)
 \end{aligned}$$

이때 운동에너지는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 T &= \frac{1}{2} M_P \frac{d\mathbf{r}_P}{dt} \cdot \frac{d\mathbf{r}_P}{dt} + \frac{1}{2} M \frac{d\mathbf{r}_B}{dt} \cdot \frac{d\mathbf{r}_B}{dt} \\
 &\quad + \frac{1}{2} m \frac{d\mathbf{r}_G}{dt} \cdot \frac{d\mathbf{r}_G}{dt} + \frac{1}{2} (\boldsymbol{\omega}_G^T \mathbf{J}_G \boldsymbol{\omega}_G + \boldsymbol{\omega}_P^T \mathbf{J}_P \boldsymbol{\omega}_P) \quad (5)
 \end{aligned}$$

여기서 M_P 와 M 은 피딩데크와 광픽업베이스의 질량, 그리고 m 은 액추에이터의 질량을 나타낸다. \mathbf{J}_P 와 \mathbf{J}_G 는 각각 피딩데크와 액추에이터에 대한 질량 관성 모멘트 행렬이며 피딩데크와 액추에이터를 두께가 얇은 평판이며 액추에이터는 폭이 w 인 정사각 평판이라 가정하였다. 중력에 의한 위치에너지

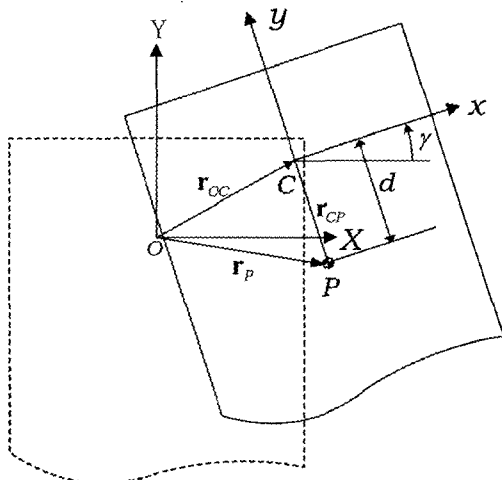


Fig. 2 Before and after the motion of the feeding deck

무시할 때 피딩데크와 액추에이터에 대한 위치에너지는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 V &= \frac{1}{2} k_j \sum_{i=1}^4 \mathbf{R}_{ij}^T \cdot \mathbf{R}_{ij} + \frac{1}{2} k_t y_2^T \cdot y_2 + \frac{1}{2} k_f z_2^T \cdot z_2 \\
 (j &= x, y, z) \quad (6)
 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}
 F &= \frac{1}{2} c_j \sum_{i=1}^4 \dot{\mathbf{R}}_{ij}^T \cdot \dot{\mathbf{R}}_{ij} + \frac{1}{2} c_t \dot{y}_2^T \cdot \dot{y}_2 + \frac{1}{2} c_f \dot{z}_2^T \cdot \dot{z}_2 \\
 (j &= x, y, z) \quad (7)
 \end{aligned}$$

식 (5)-(7)을 식 (1)에 적용한 후 선형화 시키면 다음과 같은 선형 지배방정식을 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned}
 (M + M_B + m) \ddot{x}_1 + hm \ddot{\beta} + \frac{1}{2} \{ (M_B + m)(e + \frac{1}{2} l - d_v) \\
 + dM \} \ddot{\gamma} + 4c_x \dot{x}_1 - 4dc_x \dot{\gamma} + 4k_x x_1 + 4dk_x \gamma = 0 \quad (8)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 (M + M_B + m) \ddot{y}_1 - hm \ddot{\alpha} + m \ddot{y}_2 + 4c_y \dot{y}_1 + 4k_y y_1 \\
 + (M_B + m) \ddot{d}_v = 0 \quad (9)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 (M + M_B + m) \ddot{z}_1 - \{ (M_B + m)(\frac{1}{2} e + l - d_v) + dM \} \ddot{\alpha} \\
 + m \ddot{z}_2 + 4c_z \dot{z}_1 + 4k_z z_1 - 4dc_z \dot{\alpha} - 4dk_z \alpha = 0 \quad (10)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 hm(\ddot{y}_1 + \ddot{y}_2) - \{ dM + (\frac{1}{2} e + l - d_v)(M_B + m) \} \ddot{z}_1 - (\frac{1}{2} e \\
 + l - d_v) m \ddot{z}_2 + \frac{1}{2} \{ b^2 + 12d^2 \} M + 3(e + 2l)^2 M_B + 12(M_B \\
 + m)(-e - 2l + d_v) d_v + (12h^2 + (e + 2l)^2 m + mw^2) \ddot{\alpha} \\
 + \{ -4dc_z + 2(m + M_B) \dot{d}_v \} \dot{z}_1 + \{ -4dk_z + 2(m + M_B) \dot{\alpha} \} \dot{z}_1 \\
 - \{ (e + 2l - 2d_v)(M_B + m) \dot{d}_v - (b^2 + 4d^2) c_z \} \dot{\alpha}
 \end{aligned}$$

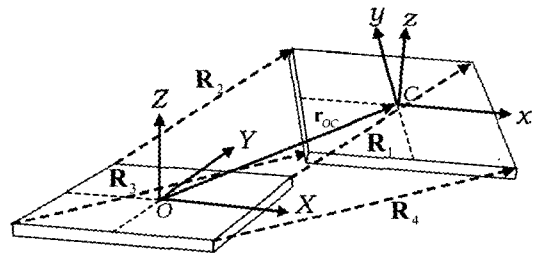


Fig. 3 Before and after the motion of the feeding deck

$$+ (b^2 + 4d^2)k_z\alpha + m(z_2 + h)\ddot{d}_v = 0 \quad (11)$$

$$hm\ddot{x}_1 + \frac{1}{12}(a^2M + w^2m + 12h^2m)\ddot{\beta} + \frac{1}{2}hm(e + 2l - 2d_v)\ddot{\gamma} + a^2c_z\dot{\beta} + a^2k_z\beta + hm\ddot{d}_v\dot{\gamma} = 0 \quad (12)$$

$$\left\{ \frac{1}{2}(e + 2l)(M_B + m) + dM - (M_B + m)d_v \right\} \ddot{x}_1 + \left(\frac{1}{2}e + l - d_v \right) hm\ddot{\beta} + \left\{ \frac{1}{12}a^2 + \frac{1}{12}b^2 + d^2 \right\} M + \frac{1}{6}w^2m + \left(\frac{1}{4}e^2 + el + l^2 - ed_v - 2ld_v + d_v^2 \right) (M_B + m) \ddot{\gamma} + 2\{2dc_x - (m + M_B)\dot{d}_v\} \dot{x}_1 - 2hm\dot{d}_v\dot{\beta} + \left\{ (e + 2l - 2d_v)(M_B + m)\dot{d}_v + (b^2 + 4d^2)c_x + a^2c_y \right\} \dot{\gamma} + (4dk_x - (m + M_B)\dot{d}_v) \dot{x}_1 + (b^2 + 4d^2)^2 k_x \gamma + a^2 k_y \dot{\gamma} = 0 \quad (13)$$

$$m(\ddot{y}_1 + \ddot{y}_2) - hm\ddot{\alpha} + c_t\dot{y}_2 + k_t y_2 + m\ddot{d}_v = 0 \quad (14)$$

$$m(\ddot{z}_1 + \ddot{z}_2) - \frac{1}{2}m(e + 2l - 2d_v)\ddot{\alpha} + c_f\dot{z}_2 - m\ddot{d}_v\dot{\alpha} + k_f z_2 = 0 \quad (15)$$

3. 물성치 추출을 위한 실험

3.1 실험방법

2장에서 제시한 모델의 운동 해석에 필요한 각종 물성치 추출을 위해 실험을 수행하였다. 피딩데크는 정현파 가진 실험과 햄머 테스트를 통해 얻은 FRF 데이터와 실측 되어진 피딩데크의 물성치로부터 고유진동수를 측정하였고, Q-factor법을 적용하여 강성계수 및 감쇠비를 계산했다. 그리고 민감한 액추에이터

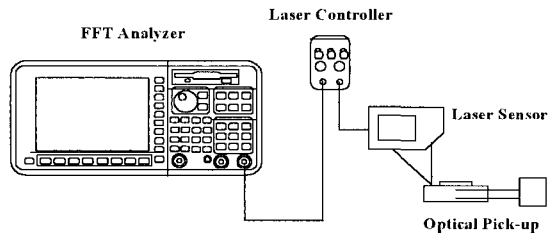


Fig. 4 Experimental set-up of an actuator

Table 1 Natural frequencies of a feeding deck

Direction	Natural Frequency	Direction	Natural Frequency
x_1	38.5 Hz	α	34.4 Hz
y_1	52.4 Hz	β	68.3 Hz
z_1	48.1 Hz	γ	119 Hz
y_2	65.3 Hz	z_2	62.1 Hz

측정을 위해 레이저 센서를 이용하였으며, Fig. 4와 같이 실험장치를 구성하여 초기변위에 대한 실시간 시간응답 곡선을 획득하였다. 포커싱과 트래킹방향의 실시간 시간응답 곡선으로부터 고유진동수를 측정하였고, 실측한 픽업 액추에이터의 물성치를 이용하여 강성계수 및 감쇠비를 계산하였다. Table 1과 Table 2는 실험을 통해 얻은 데이터로부터 계산된 고유진동수와 물성치를 나타낸다.

3.2 광픽업 위치에 따른 고유진동수

광픽업의 위치추종 절차를 살펴보면 액추에이터를 감싸고 있는 광픽업 베이스가 트래킹 방향으로 운동을 하여 우선 위치에 근접하고 난 후 액추에이터가 정밀하게 트랙을 추종한다. 여기서 광픽업 베이스 운동 시 그 위치에 따라 각자유도에 대한 고유진동수가 어떻게 변하는지 계산하였으며 이에 대한 변화를 Fig. 5에서 표현하였다. 여기서 세로축은 계산된 고유진동수를 나타낸다.

Fig. 5에서 보는 바와 같이 광픽업 베이스의 위치에

Table 2 Material properties and dimensions of the system

Variables	Values	Variables	Values
k_x	2689.41 kg/s ²	c_x	2.2124 kg/s
k_y	4981.9 kg/s ²	c_y	3.0112 kg/s
k_z	4180.41 kg/s ²	c_z	2.7583 kg/s
k_t	59.0337 kg/s ²	c_t	0.03722 kg/s
k_f	53.4431 kg/s ²	c_f	0.0274 kg/s

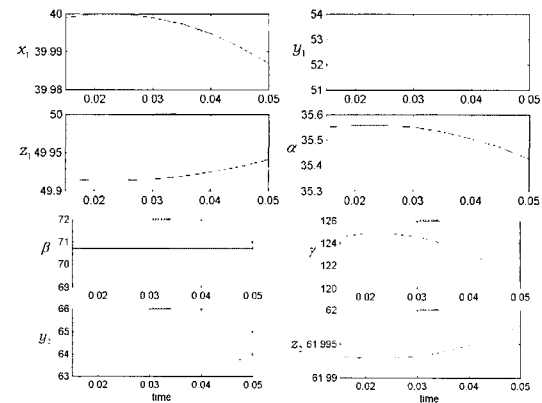


Fig. 5 Natural frequencies with respect to the position of an optical pick-up

따라 각자유도에 대한 고유진동수의 변화가 γ 에 대한 고유진동수에서 119~123 Hz도 4 Hz 위에서 변할 뿐 다른 변수들은 거의 변화가 없다는 것을 알 수 있다.

4. 주파수 응답 함수

Fig. 6는 피딩데크와 광픽업 액추에이터의 각 자유도에 대한 FRF를 나타낸 것이다. 우선 피딩데크와 액추에이터에서의 상호 영향을 보면 피딩데크는 액추에이터의 영향이 없으나 액추에이터는 y_2 과 z_2 은 피딩데크의 y_1 과 z_1 으로부터 영향을 받는 것을 볼 수 있다. 피딩데크 내에서는 z_1 은 α , β 와 γ 는 x_1 로부터 영향을 받고 있다. x_1 도 γ 로부터 영향을 받으나 그 정도는 미약한 것으로 보여지고 있다.

Fig. 7은 그림에서 제시되는 y_1 의 고유진동수에 대응하는 k_y 값을 변화시켜 그에 대한 y_1 과 y_2 의 FRF를 나타낸 것이다. (a)를 보면 피딩데크의 y_1 방향 운동은 광픽업의 영향없이 k_y 값이 증가할수록 변위의 크기가 작아지는 것을 볼 수 있다.

(b)에서 액추에이터의 y_2 방향(tracking)운동은 k_y 값의 변화로 y_1 와 y_2 방향의 고유진동수가 같아질 경우 액추에이터가 동흡진기 역할로 인하여 변위가 커지는 것을 볼 수 있으며 y_1 로부터의 영향도 자체 고유진동수로 인한 영향만큼 상당히 큰 것을 확인할 수 있다. 또 z_1 의 고유진동수에 대응하는 k_z 값

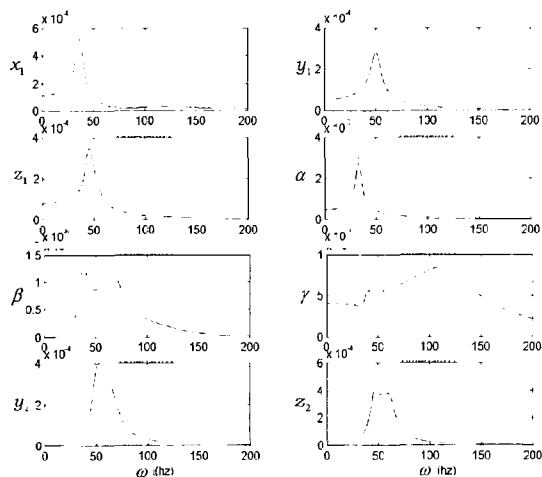
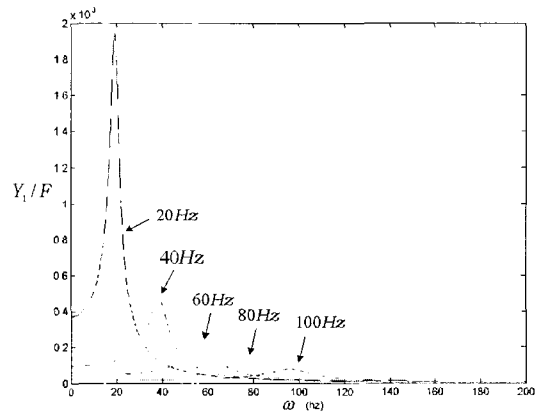


Fig. 6 Frequency response functions of a feeding deck and an actuator

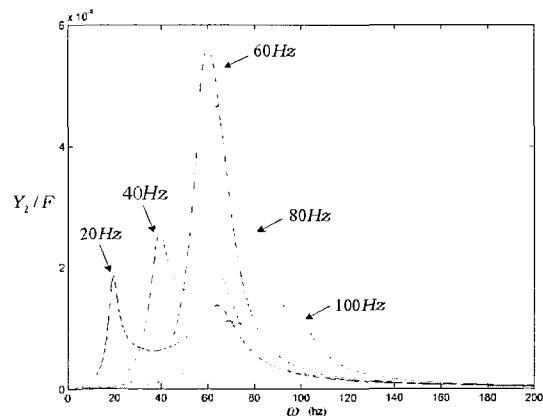
을 변화시켜 그에 대한 z_1 과 z_2 의 FRF를 살펴본 결과 또한 Fig. 7에서의 결과와 비슷한 양상을 띠고 있다는 것을 알 수 있었다.

5. 광픽업 장치의 최적 이송속도 파일

광픽업 장치는 이송시 Fig. 8과 같은 사다리꼴 속도 분포를 갖으며 속도분포의 형태는 양면이 대칭인 사다리꼴이고 이 사다리꼴의 면적이 이동거리인 0.0375 m가 되도록 v_0 를 결정하였다. 이때 $t_1 (= t_3 - t_2)$ 이 사다리꼴의 형태를 결정하는데 t_1 을 하한 0.0초에서 상한 0.5초까지 변화시켜가면서 t_3 까지 0.0375 m를 움직이는 액추에이터의 진동량을 통해 최적 속도파일에서의 t_1 을 살펴보았다. 여기서 진동량은 다음과 같이 설정하였다.



(a) Change of FRF w.r.t y_1



(b) Change of FRF w.r.t y_2

Fig. 7 Change of FRF according to change of a k_y

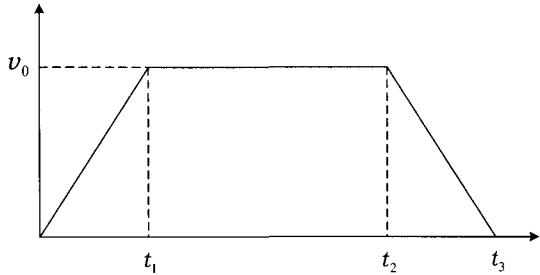


Fig. 8 Velocity profile

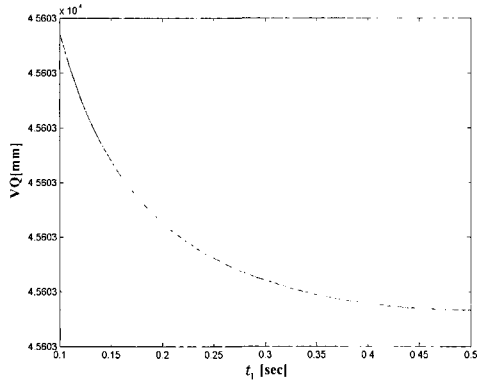


Fig. 9 Displacement of an actuator only

$$VQ = \sqrt{\sum y_2^2(t)} \quad (16)$$

Fig. 9은 앞에서 제시한 모델에서 피딩테크를 고려하지 않고 광픽업 장치만을 고려하였을 때에 따른 액추에이터의 트래킹 방향(y_2)의 진동량을 나타낸 것이다. Fig. 10 피딩테크까지 고려한 모델에서의 t_1 에 따른 액추에이터의 트래킹 방향의 진동량을 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 광픽업 장치만 고려할 경우 광픽업 장치의 가속이 가장 완만한 조건이 되는 0.5초에서 안정적인 속도파일 t_1 이 선정되나 앞에서 피딩테크와 연성된 모델에서는 약 0.34초에서 진동량이 최소가 되는 속도파일 t_1 이 나타나는 것을 볼 수 있다.

스핀들 모터의 회전을 4배속~52배속까지 변화시켜 가며 진동량을 시뮬레이션 한 결과 스핀들 모터의 회전속도가 액추에이터에서 트래킹 방향의 고유진동수 근방(약 65 ± 10 Hz)에 도달할 경우 t_1 에 따른 액추에이터의 트래킹 방향(y_2)의 진동량이 Fig. 11과 같이 불안정한 경향을 띠고 있는 것을 볼 수 있다.

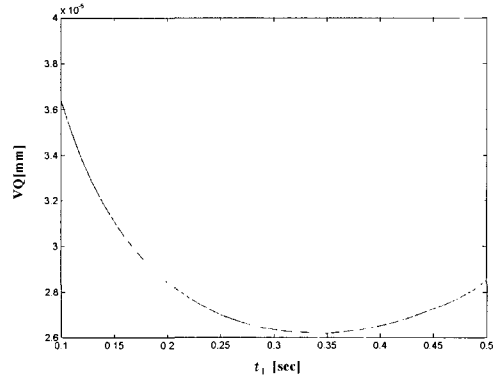


Fig. 10 Displacement of an actuator with a feeding deck

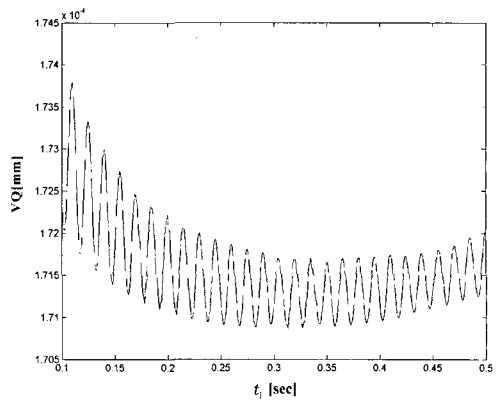


Fig. 11 Displacement of an actuator with a feeding deck when the speed of a spindle motor is 66 Hz

나머지 다른 속도 영역에선 Fig. 10 과 같은 경향을 나타내고 있다.

6. 결론

공간상의 3차원에 대해서 피딩테크를 고려한 광픽업 액추에이터의 새로운 모델을 제시하였고 광픽업 장치설계시 피딩테크 고려의 필요성을 검증하였다. 우선 광픽업 장치의 위치에 따른 각 자유도에서의 고유진동수 변화와 주파수 응답함수를 통해 피딩테크의 강성을 변화에 따른 피딩테크와 광픽업 액추에이터 사이에서 서로에게 작용하는 영향 정도를 살펴보았다. 그리고 최적 속도 파일을 찾는 데 있어 피딩테크를 고려하였을 경우와 그렇지 않은 경우, 그리고

스핀들 모터의 회전속도에 따른 액추에이터의 트래킹 방향 진동량을 시뮬레이션 해 보았다. 그 결과 광픽업 장치의 위치에 따라 시스템의 고유진동수는 거의 변화가 없으며 피딩테크는 광픽업 장치의 영향을 받지 않으나 그 반대의 경우 액추에이터의 트래킹 방향은 피딩테크의 Y_1 에 그리고 포커싱 방향은 Z_1 으로 부터 큰 영향을 받는 것을 알 수 있다. 광픽업 장치의 진동량이 감소하는 이송속도에서의 t_1 선정에 있어 피딩테크를 고려할 경우는 0.34초, 고려하지 않을 경우는 0.5초로 차이를 보이고 있으며 스핀들 모터의 회전속도가 액추에이터에서 트래킹 방향의 고유진동수 근방(약 65 ± 10 Hz)에 도달할 경우 t_1 에 따른 액추에이터의 트래킹 방향의 진동량의 변화가 불안정한 것으로 나타났다. 광픽업 장치 설계시 피딩테크의 X_1, Z_1 고유진동수를 고려하여야 함을 규명했다.

후 기

본 연구는 특정 기초연구사업 (R01-2000-000-0292-0)으로 한국과학재단의 지원을 받아 이루어졌으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참 고 문 헌

- (1) 단병주, 최용제, 1999, "와이어 지지형 광픽업 액추에이터의 강성행렬과 기하학적 응답해석," 한국소음진동공학회논문집, 제 9 권, 제 5 호, pp. 984~990.
- (2) 전홍걸, 박영필, 2000, "광픽업 잔류 진동 저감을 위한 이송 속도 분포 해석," 한국소음진동공학회논문집, 제 10 권, 제 2 호, pp. 221~228.
- (3) 서진규, 정호섭, 박기환, 2000, "광 픽업 액추에이터의 부공진 원인 규명과 저감화," 대한기계학회논문집 A 권, 제 24 권, 제 3 호, pp. 728~734.
- (4) 고상선, 류제하, 박기환, 정호섭, 1998, "고배속 CD-ROM용 비대칭형 광픽업 미세구동기의 구동 특성," 한국소음진동공학회논문집, 제 8 권, 제 2 호, pp. 346~352.
- (5) 김석중, 이용훈, 손용기, 이철우, 임경화, 1998, "고밀도 기록용 광픽업의 정밀 액추에이터 동특성 연구," 한국소음공학회논문집, 제 8 권, 제 1 호, pp. 87~98.
- (6) 이문구, 권대갑, 1997, "광픽업 미세구동부의 최적설계," 대한기계학회논문집, 제 21 권, 제 5 호, pp. 819~827.
- (7) 김석중, 이용훈, 최한국, 2000, "고밀도 광저장 기기용 틸트 액추에이터 동특성 분석 및 평가," 한국소음공학회논문집, 제 10 권, 제 4 호, pp. 584~595.
- (8) 김윤영, 이호철, 1996, "광 픽업 지지부 초기설계를 위한 외팔보 구조 진동해석," 한국소음진동공학회논문집, 제 6 권, 제 6 호, pp. 763~770.
- (9) 정호섭, 오관영, 유익형, 1998, "FP 코일형 광픽업 액추에이터의 설계 및 부공진의 진동저감 대책," 한국소음진동공학회논문집, 제 8 권, 제 4 호, pp. 643~653.
- (10) 임승철, 정태영, 1998, "고속 광 픽업 장치의 강인 서보 제어," 한국소음진동공학회논문집, 제 8 권, 제 3 호, pp. 533~541.
- (11) Choi, S. B., Kim, H. K., Lim, S. C. and Park, Y. P. 2001, "Position Tracking Control of an Optical Pick-up Device Using Piezoceramic Actuator," Mechatronics, Vol. 11, pp. 691~705.
- (12) 이동진, 정진태, 노대성, 1999, "자동 불 평형 장치를 이용한 광 디스크 드라이브의 진동저감," 한국소음진동공학회논문집, 제 9 권, 제 2 호, pp. 355~362