

PZT 를 이용한 광 정보저장기기용 액츄에이터의 추적제어

이우철*(연세대학원 기계공학과), 양현석(연세대 기계공학과), 박노철(연세대 기계공학과),
박영필(연세대 기계공학과)

Track following control of optical pick-up actuator using PZT

W. C. Lee(Mecha. Eng. Dept. YSU), H. S. Yang(Mechanical Eng. Dept., YSU), N. C. Park(Mechanical Eng. Dept., YSU), Y. P. Park(Mechanical Eng. Dept., YSU)

ABSTRACT

This paper proposes a swing-arm type dual-stage actuator, which consists of a PZT actuator for fine motion and a VCM(Voice Coil Motor) for coarse motion, for SFF ODD(Small Form Factor Optical Disk Drive), in order to achieve fast access speed and precise track following control. We focus our attention on the design and control of the PZT actuator, because there have been a lot of previous researches related to the VCM and dual-stage actuators. Due to the dual cantilever structure, the PZT actuator can generate precise translational tracking motion at its tip where optical pickup is attached at, and the effect of hysteric behavior of the PZT element is reduced. The dynamic model of the PZT actuator is derived by using the Hamilton's principle, and verified by comparing with the experimental frequency response. The sliding mode control is designed in order to be robust against modeling uncertainties. Simulations and experimental results confirm the effectiveness of the suggested control scheme.

Key Words : Dual actuator(듀얼 액츄에이터), Sliding mode(슬라이딩 모드), Bimorph PZT, Optical disk drive (광디스크 드라이브)

1. 서론

근래의 휴대용기기가 발전함에 따라 많은 양의 정보를 저장할 수 있는 작고 저렴한 저장기기를 요구하게 되었다. 현재 HDDs(Hard Disk Drives)와 플래시 메모리가 캠코더, PDA 와 같은 휴대용 기기의 정보저장기기로 사용되고 있으나, 디스크 미디어의 교체가 불가능함에 따라 정보의 배포가 어렵고, 단위용량 당 가격이 비싸다는 단점이 있다. 반면에 ODD(Optical Disk Drive)는 읽기 전용 미디어를 쉽게 제작할 수 있으며, 미디어의 가격이 저렴하다는 장점이 있다. 하지만 이런 ODD 의 장점에도 불구하고 휴대용 기기에 사용 될 소형 ODD 에 관한 연구는 아직까지 미흡한 단계이다.

현재 대부분의 ODD 에서는 읽기어나 랙, 피니언 구조가 픽업유닛(Pick-up unit)을 이송하는 동력 전달부로 사용되고 있다. 이런 구조는 높은 감속비를

얻을 수 있지만, 접근 속도가 상당히 느리고, 진동을 발생시키는 주요한 원인이 된다. 또한 구성부품 수가 많아 부피가 크며 이로 인해 작은 크기로 구현되기가 힘들다. 비록 현재의 픽업 액츄에이터가 지금까지는 좋은 성능을 보여왔지만, 소형 ODD 와 같은 향후 ODD 에서는 부적절하리라 추측된다.

반면에, HDD 는 스윙암(Swing arm) 타입의 VCM (Voice Coil Motor)을 사용함으로써 빠른 접근속도와 소형화를 달성하고 있다. 또한 고용량화에 따른 트랙 밀도가 점점 높아짐에 따라 VCM 과 PZT 를 사용하는 듀얼 액츄에이터와 이에 듀얼 제어기에 관한 연구가 활발하게 진행되어 왔으며 곧 실용화가 될 것으로 기대된다.

본 연구에서, 우리는 VCM 을 조동 액츄에이터로 사용하고 PZT 를 미동 액츄에이터로 사용하는 스윙암 타입의 듀얼 액츄에이터를 제안한다. 지금까지 진행되어온 HDD 의 듀얼 액츄에이터에 관한 연

구의 대부분이 제안한 액츄에이터에 적용될 수 있다. 하지만, 제안된 듀얼 액츄에이터 중 PZT 액츄에이터 부분은 HDD 에서의 미동 액츄에이터와 상이한 구조를 가지고 있으므로, PZT 액츄에이터의 동적 모델의 수립, 효율적인 제어기의 개발에 대한 연구가 필요하다. 제안된 액츄에이터에 관한 이전연구⁴에서, 우리는 제안된 PZT 액츄에이터가 빠른 접근 속도를 달성하고 잔류진동을 효율적으로 없앨 수 있다는 것을 보였다. 하지만 우리는 좀더 정확한 PZT 액츄에이터의 동적 모델의 수립과 불확실성에 강인한 트랙 추적 제어기의 설계가 필요하게 되었으며, 따라서 우리는 PZT 액츄에이터의 설계와 제어에 관한 중점을 두고 연구를 진행하였다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 2 장에서는, 제안된 듀얼 액츄에이터의 구조에 대해 기술되었으며, 3 장에서는 헤밀턴의 정리를 이용하여 PZT 액츄에이터의 동적 모델이 수립되었다. 4 장에서는 정밀한 트랙 추적 제어를 위해 모델의 불확실성에 강인한 슬라이딩 모드 제어가 설계되었으며, 5 장에서는 상태 백터를 얻기 위한 선형 관측기가 설계되었다. 마지막으로 7 장에서는 결론이 도출되었다.

2. 듀얼 액츄에이터

제안된 듀얼 액츄에이터는 Fig. 1 과 같이 VCM 과 PZT 로 구성되어 있다. 미동 액츄에이터인 PZT 액츄에이터는 두 개의 bimorph PZT 를 평행하게 연결하고, 그 끝 부분은 첨단 질량(첨두부, 0.6g)과 연결된 구조로 이루어져 있다. VCM 은 많은 트랙을 빨리 이동할 수 있으며, PZT 액츄에이터는 고 대역에서도 정밀한 제어를 할 수 있으므로 제안된 듀얼 액츄에이터는 빠른 접근속도, 정밀한 트랙 추적성능을 구현할 수 있으며, 작은 크기로도 구현이 쉽다는 장점이 있다. 게다가, 제안된 PZT 액츄에이터는 Fig. 2 와 같이 전압이 인가될 때 'S' 형상으로 움직이게 되는데, 이로써 PZT 의 상단 부분과 하단 부분이 Hysteresis Loop 에서 항상 반대 방향으로 움직이게 되고, 이로 인 PZT 의 기본적인 비선형 특성인 히스테리시스를 구조적으로 최소화시킬 수 있다는 장점이 있다.

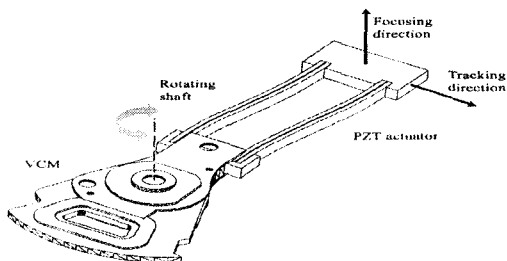


Fig. 1 Block diagram of proposed dual actuator

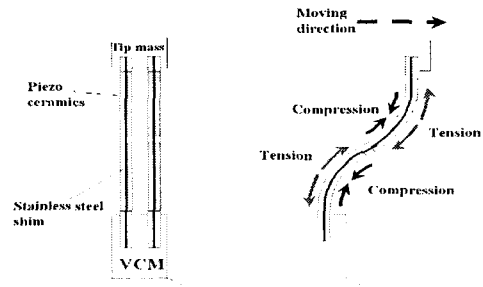


Fig. 2 "S"shape moving mechanism of PZT actuator

3. 동적 모델

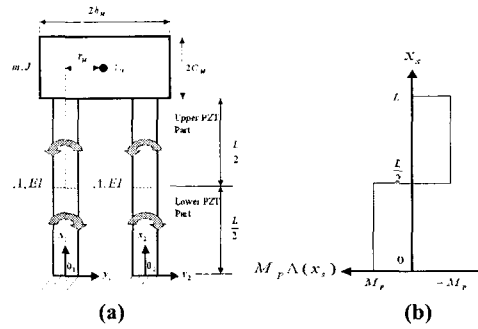


Fig. 3 (a) Simple model for PZT actuator
(b) Bending moment diagram

Fig. 3 은 PZT Actuator 의 좌표계와 파라미터를 표시한 것이다. 좌측 ($s=1$), 우측 ($s=2$) 의 유연체는 Young's modulus E , 2 차 단면계수 I , 단위 길이 당 무게 ρA 인 길이 L 의 베르누이-오일러 보 (Bernoulli-Euler beam)로 가정할 수 있으며, 길이 L 인 지점에 첨단 질량 $m(s=3)$ 를 가지고 있다. 보의 종방향 변위를 $u(x,t)$, 횡방향 변위를 $w(x,t)$ 라 한다면, 두개의 PZT 와 첨단 질량의 Kinetic energy, Potential energy 는 식(1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$T_s = \frac{1}{2} \int_0^L \rho A [\dot{u}_s^2 + \dot{w}_s^2] dx_s, V_s = \frac{1}{2} \int_0^L [EAu_s'^2 + Ehw_s'^2] dx_s, (s=1,2),$$

$$T_3 = \frac{1}{2} m (\dot{u}_1^2(L,t) + \dot{w}_1^2(L,t)) + \frac{1}{2} J \dot{w}_1^2(L,t)$$

$$+ m (C_M \dot{w}_1'(L,t) \dot{w}_1(L,t) - r_{A1} \dot{w}_1'(L,t) \dot{u}_1'(L,t)),$$

$$V_3 = 0,$$

여기서 $J = (m/3)(C_M^2 + h_M^2) + m(C_M^2 + h_M^2)$ 이며, PZT 에 의한 비보존력 W_{nc} 은 다음과 같다.

$$W_{nc} = \sum_{s=1}^2 \int_0^L M_p(t) \Lambda(x_s) w_s'' dx_s.$$

여기서 $M_p(t)$ 는 PZT 에 가하는 전압에 비례하여 발생하는 굽힘 모멘트를 의미하며, $\Lambda(x_s)$ 는 헤비

사이드 계단함수(heaviside step function) $h(x_s - x_0)$ 를 이용하여 굽힘 모멘트의 위치와 방향을 나타내며 이는 아래와 같이 표현된다.

$$\Lambda(x_s) = h(x_s - L/2) - h(x_s - 0) - [h(x_s - L) - h(x_s - L/2)]. \quad (3)$$

해밀턴의 정리(Hamilton's principle)를 이용하여 구한 지배방정식과 경계방정식은 식 (4), (5) 와 같다.

$$\rho A \ddot{u}_s - EA u'_s = 0, \quad \rho A \ddot{w}_s + E H w''_s = M_p(t) \Lambda'(x_s), \quad 0 \leq x_s \leq L \quad (s=1,2). \quad (4)$$

At $x_s = 0$,

$$u_s = w_s = w'_s = 0,$$

At $x_s = L$,

$$w_1 - w_2 = 0, \quad w'_1 - w'_2 = 0,$$

$$EA u'_1 + EA u'_2 + m \ddot{u}_1 - m r_{11} \ddot{w}'_1 = 0, \quad (5)$$

$$E H w''_1 + E H w''_2 - m \ddot{w}_1 - m C_{11} \ddot{w}'_1 = 0,$$

$$E H w''_1 + E H w''_2 - 2r_{11} EA u'_2 + J \ddot{w}'_2 + m C_{11} \ddot{w}_1 - m r_{11} \ddot{u}_1 = 0.$$

본 시스템에서, 대칭모드(Fig. 6 참조)는 꺾임부의 횡방향 변위에 영향을 미치지 않으며, 비교적 고대역에 존재하므로 무시할 수 있다. 따라서 $0 \leq x \leq L$ 일 때, $w_1(x, t)$ 는 $w_2(x, t)$ 와 같다고 가정할 수 있으며, $u_s(x, t)$ 와 $w_s(x, t)$ 는 모드 합성법을 이용하여 다음과 같이 표현된다.

$$w_1(x, t) = w_2(x, t) = \sum_k W_k(x) q_k(t), \quad u_s(x, t) = \sum_k U_{s,k}(x) q_k(t). \quad (6)$$

여기서 $U_{s,k}$ 와 W_k 는 길이방향 모드, 횡방향 모드의 형상 함수이다. 경계방정식과 지배방정식에 모드형상 함수 $U_{s,k}$, W_k 를 곱하고, 적분하면 직교조건⁵을 만족하는 미분방정식을 얻을 수 있다.

$$I_s \ddot{q}_k(t) + K_s q_k(t) = 2M_p(t) \int_0^L \Lambda''(x) W_k(x) dx \\ = 2M_p(t) [2W'_k(L/2) - W'_k(L)], \quad (7)$$

$$I_s = \rho A \int_0^L U_{1s}(x) U_{1s}(x) dx + \rho A \int_0^L U_{2s}(x) U_{2s}(x) dx + 2\rho A \int_0^L W_s(x) W_s(x) dx \\ + m U_{1s}(L) U_{1s}(L) - m r_{11} [U_{1s}(L) W'_s(L) + U_{1s}(L) W'_s(L)] + m W_s(L) W'_s(L) \\ + m C_{11} [W_s(L) W'_s(L) + W'_s(L) W_s(L)] + J W_s(L) W'_s(L),$$

$$K_s = EA \int_0^L U_{1s}'(x) U_{1s}'(x) dx + EA \int_0^L U_{2s}'(x) U_{2s}'(x) dx + 2EI \int_0^L W_s''(x) W_s''(x) dx$$

형상함수는 식 (8), (9)와 같은 균일 외관보의 고유함수를 사용한다.

$$W_s(x) = [\cos(\sigma_s x) - \cosh(\sigma_s x) + \lambda_s \{\sin(\sigma_s x) - \sinh(\sigma_s x)\}] U_s, \quad (8)$$

$$U_{1s}(x, t) = H_{1s} \sin \alpha_s L, \quad U_{2s}(x, t) = H_{2s} \sin \alpha_s L, \quad (9)$$

여기서 $\alpha_s^2 = \rho \omega_s^2 / E$, $\sigma_s^4 = \rho \omega_s^2 A / EI$ 이며, λ_s 와 H_{1s} ,

H_{2s} 는 경계조건으로부터 다음과 같이 구해진다.

$$\lambda_s = \frac{m d_s (\cos \alpha_s L - \cosh \alpha_s L) - m \omega_s^2 (\sin \alpha_s L + \sinh \alpha_s L) + 2EI \sigma_s (\sin \alpha_s L - \sinh \alpha_s L)}{m d_s (\sin \alpha_s L - \sinh \alpha_s L) + m \omega_s^2 (\cos \alpha_s L - \cosh \alpha_s L) - 2EI \sigma_s (\alpha_s L + \cosh \alpha_s L)} D \quad (11)$$

$$H_{1s} = \frac{EA 2r (\frac{\cos \alpha_s L}{\sin \alpha_s L} \alpha_s - \omega_s^2 m r)}{2EA \alpha_s \cos \alpha_s L - \omega_s^2 m \sin \alpha_s L} W'_s(L),$$

$$H_{2s} = \frac{2r_s W'_s(L)}{\sin \alpha_s L} + \frac{2EA r \frac{\cos \alpha_s L}{\sin \alpha_s L} \alpha_s - \omega_s^2 m r}{2EA \alpha_s \cos \alpha_s L - \omega_s^2 m \sin \alpha_s L} W'_s(L). \quad (12)$$

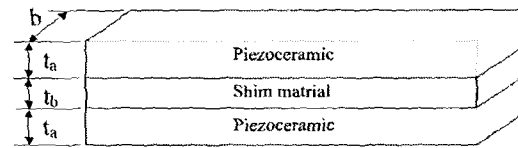


Fig. 4 Diagram of bimorph PZT

Fig. 4 는 연구에 사용된 bimorph PZT 의 구조를 나타낸다. 가운데 shim 양 옆으로 piezoceramic 가 도포되어 있는 구조를 하고 있으며, 이로 인해 다른 종류의 PZT 보다 상대적으로 큰 변위를 발생시킬 수 있다는 장점이 있다. piezoceramic 의 두께와 elastic modulus 를 t_a , E_a , shim material 의 두께와 elastic modulus 를 t_b , E_b , piezoceramic 의 strain constant 를 d_{31} , 폭을 h 라 할 때, 가해지는 전압과 발생하는 굽힘모멘트가 선형적인 관계를 가진다고 가정하면 각각 PZT 에 발생하는 굽힘모멘트⁶는 다음과 같다.

$$M_p(t) = K_p u(t), \quad K_p = -d_{31} \left(\frac{t_b + 2t_a}{2} \right) \left(\frac{E_b E_a t_b b}{E_b t_b + 2E_a t_a} \right) \quad (s=1,2), \quad (13)$$

각 모드에 대한 운동 방정식은

$$\ddot{q}_k(t) + 2\zeta_k \omega_k \dot{q}_k(t) + \omega_k^2 q_k(t) = \frac{K_p u(t)}{I_s} [4W'_k(L/2) - 2W'_k(L)]. \quad (14)$$

이때 이를 상태 공간식으로 표현을 하면 아래와 같다.

$$\dot{\mathbf{X}} = \mathbf{A}\mathbf{X} + \mathbf{B}u(t), \quad y_m = w_s(L, t) = \mathbf{C}\mathbf{X}, \quad (15)$$

여기서 $\mathbf{X} = [q_k(t) \quad \dot{q}_k(t) \dots q_n(t) \quad \dot{q}_n(t)]^T$ 이며,

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & & & & \\ -\omega_1^2 & -2\zeta_1 \omega_1 & & & & \\ & & \ddots & & & \\ & & & 0 & 1 & \\ & & & & & \ddots \\ & & & & & & -\omega_n^2 & -2\zeta_n \omega_n \end{bmatrix}, \quad \mathbf{B} = \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{K_p}{I_s} [4W'_1(L/2) - 2W'_1(L)] \\ \vdots \\ 0 \\ \frac{K_p}{I_s} [4W'_n(L/2) - 2W'_n(L)] \end{bmatrix},$$

$$\mathbf{C} = [W'_1(L) \quad 0 \quad \dots \quad W'_n(L) \quad 0]. \quad (16)$$

Fig. 5 는 동적 모델을 바탕으로 구한 주파수 응답의 시뮬레이션과 실험결과를 비교한 것이다. 시뮬레이션 결과가 저 대역에서 실험 결과와 아주 근접하게 일치함을 볼 수 있다. 비록 약간의 모델 불확실성이 존재하지만 이는 추후 설명 될 강인제어기에 의해 제거될 수 있다. 또한 고 대역에서의 비교적 큰 모델 불확실성은 시스템의 대역폭 밖에 있으므로 무시될 수 있다. Fig. 6 는 FEM 을 이용한 모드 해석 결과를 나타낸다. 이 또한 시뮬레이션 결과와 상당히 일치함을 보여준다. 따라서 이론적 동특성을 바탕으로 한 시뮬레이션 결과가 실험치, FEM analysis 결과와 상당히 일치하므로 수립한 동적 모델이 정당하다고 볼 수 있다.

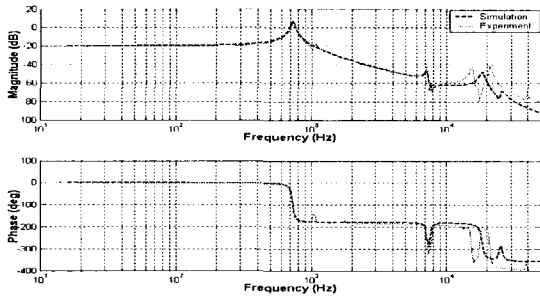


Fig. 5 Frequency responses of PZT actuator

Modeled mode			Unmodeled mode
1 st 횡진동 모드	2 nd 횡진동 모드	3 rd 횡진동 모드	대칭 모드
703.42 Hz	7821 Hz	14360 Hz	7975 Hz

Fig. 6 Natural frequencies and mode shapes obtained by FE Analysis

4. 슬라이딩 모드 제어기

광 정보저장기에 사용 될 제어 시스템에는 PZT 의 비선형성이나 측정오차, 모델링의 부정확성 등이 존재한다. 이런 모델의 불확실성은 점성계수, 고유 진동수, PZT 에 의해 발생하는 굽힘 모멘트와 같은 모델 파라미터의 변화로 나타나게 되며, 이는 아래와 같이 표현될 수 있다.

$$\underline{\omega}_i = \omega_i + \delta\omega_i, \quad \frac{|\delta\omega_i|}{\omega_i} \leq \beta, \quad \underline{\zeta}_i = \zeta_i + \delta\zeta_i, \quad \frac{|\delta\zeta_i|}{\zeta_i} \leq \gamma, \quad (17)$$

$$M_p(t) = (K_p + \delta K_p)u(t), \quad \frac{|\delta K_p|}{K_p} \leq \alpha, \quad (18)$$

여기서 $\underline{\omega}_i$, $\underline{\zeta}_i$ 와 ω_i , ζ_i 는 각각 실제계에서의 고유진동수, 점성계수와 이론적인 고유진동수, 점성계수를 나타내며, 또 불확실성 파라미터 $\delta\omega_i$, $\delta\zeta_i$, δK_p 는 β , γ , α 에 의하여 제한 되어진다. Fig.7 은 PZT 액츄에이터의 히스테리시스 루프를 나타

내는데, 이 그림에서 히스테리시스의 특성이 많이 나타나는 1KHz 를 기준으로 할 때, α 는 0.13 으로 유도될 수 있다.

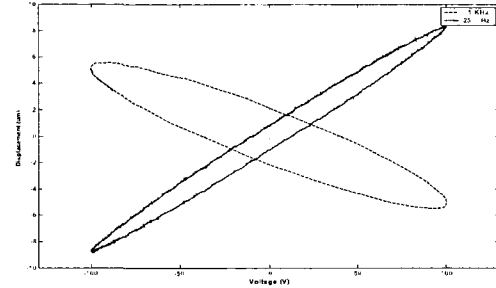


Fig. 7 Hysteresis Loop (25Hz & 1KHz)

이런 모델의 불확실성으로부터 시스템이 강건하기 위해 우리는 슬라이딩 모드 제어기를 적용하게 되었다. 슬라이딩 서피스(Sliding surface)는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$S = \dot{y} + \lambda \tilde{y} = \left[\sum_{i=1}^n W_i(L) \dot{q}_i(t) - \dot{y}_d \right] + \lambda \left[\sum_{i=1}^n W_i(L) q_i(t) - y_d \right], \quad (19)$$

여기서 λ 는 양의 상수이며, \tilde{y} 는 트랙 추적 에러를, y_d 는 PZT 액츄에이터 처단길량의 목표 위치를 나타낸다. 슬라이딩 모드 동작을 하는 동안 상태 변수들이 슬라이딩 표면으로 근접하게 하기 위한 슬라이딩 컨디션(Sliding condition)은 다음과 같다.

$$S \dot{S} \leq 0. \quad (20)$$

이때, 슬라이딩 모드 컨디션을 만족하는 슬라이딩 모드 제어기는 다음과 같이 구현된다⁷.

$$u(t) = -\frac{1}{K_p P} \left\{ \begin{aligned} & \lambda \left[\sum_{i=1}^n W_i(L) \dot{q}_i(t) - \dot{y}_d \right] + k(\mathbf{X}) \text{sat} \left(\frac{S}{\Phi} \right) \\ & + \left[\sum_{i=1}^n W_i(L) (r_{2,i-1} \dot{q}_i(t) + r_{2,i} \ddot{q}_i(t)) - \ddot{y}_d \right] \end{aligned} \right\}, \quad (21)$$

여기서,

$$P = \sum_{i=1}^n \frac{W_i(L)}{I_i} [4W_i(L/2) - 2W_i(L)],$$

$$k(\mathbf{X}) \geq \left[\sum_{i=1}^n |W_i(L)| d + \sum_{i=1}^n |W_i(L)| (|z_{2,i-1} q_i(t)| + |z_{2,i} \dot{q}_i(t)|) \right],$$

$$z_{2,i-1} = -(2\beta + \beta^2)\omega_i^2, \quad r_{2,i-1} = -\omega_i^2,$$

$$z_{2,i} = -2\zeta_i(\beta + \gamma + \beta\gamma)\omega_i, \quad r_{2,i} = -2\zeta_i\omega_i,$$

$$d = K_p \alpha P u(t).$$

Φ 는 경계층 (boundary layer)의 두께를 의미하며, 제어 입력에서의 채터링(chattering)을 줄이기 위하여 세츄레이션 함수가 사용되었다. 본 연구

에서는 시스템에 요구되는 대역폭, PC의 샘플링 한계 등을 고려하여, PZT 액츄에이터의 유연모드 중 1차 모드만을 고려하여 제어기를 설계하였다.

5. 선형 관측기

상태벡터 $\mathbf{x}_e(t) = [\hat{q}_1(t) \ \dot{\hat{q}}_1(t) \ \dots \ \hat{q}_n(t) \ \dot{\hat{q}}_n(t)]^T$ 를 구하기 위하여 식(22)와 같은 선형관측기를 사용하였다.

$$\dot{\mathbf{X}}_e(t) = (\mathbf{A} - \mathbf{L}\mathbf{C})\mathbf{X}_e(t) + \mathbf{B}u + \mathbf{L}y(t) \quad (22)$$

여기서 \mathbf{L} 은 관측기 이득행렬이다.

선형 관측기를 사용한 슬라이딩 모드 제어기는 실제 상태벡터 \mathbf{X} 대신에 관측된 상태벡터 \mathbf{X}_e 를 사용하여 아주 간단하게 구현될 수 있으며, 이로 인해 슬라이딩 서피스는 $S=0$ 대신에 $S_e=0$ 로 나타내어 진다. 따라서 관측기를 사용하는 슬라이딩 모드 제어기는 다음과 같다.

$$u(t) = -\frac{1}{K_u P} \left\{ \begin{aligned} & \lambda \left[\sum_{i=1}^n W_i(L) \dot{\hat{q}}_i(t) - \dot{y}_d \right] + k(X_e) \text{sat} \left(\frac{S_e}{\Phi} \right) \\ & + \left[\sum_{i=1}^n W_i(L) (r_{2i-1} \hat{q}_i(t) + r_{2i} \dot{\hat{q}}_i(t)) - \ddot{y}_d \right] \end{aligned} \right\} \quad (23)$$

여기서,

$$k(\mathbf{X}_e) \geq \left[\sum_{i=1}^n W_i(L) d + \sum_{i=1}^n W_i(L) (|z_{2i-1} \hat{q}_i(t)| + |z_{2i} \dot{\hat{q}}_i(t)|) \right]$$

모델의 불확실성을 가지고 있는 비선형 시스템의 관측을 위해 선형 관측기를 사용한다면, 관측 에러가 발생할 수 있다. 하지만 $k(\mathbf{X}_e)$ 의 값이 PZT 액츄에이터의 불확실성과 관측기의 부정확성을 보상 할만큼 충분히 설정 된다면 $t \rightarrow \infty$ 일 때, $S_e \rightarrow 0$ 이 된다. 또한 관측기의 설계가 적절하게 이루어진다면, $S \rightarrow S_e$ 이 된다. 따라서 $S \rightarrow 0$ 이 되어 목표위치로 수렴하게 된다⁸.

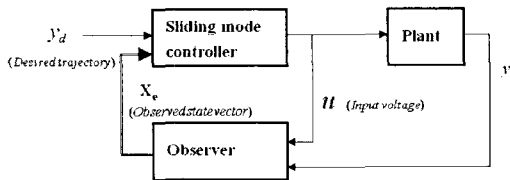


Fig. 8 Block diagram of sliding mode control system with linear observer

6. 실험 결과

Fig. 9는 제안된 PZT 액츄에이터의 모습을 나타내며, Fig. 10은 실험장치의 개략도를 표시한 것이다.

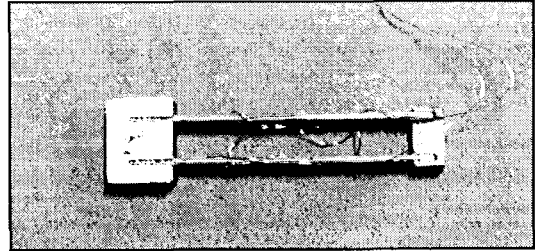


Fig. 9 Photograph of PZT actuator

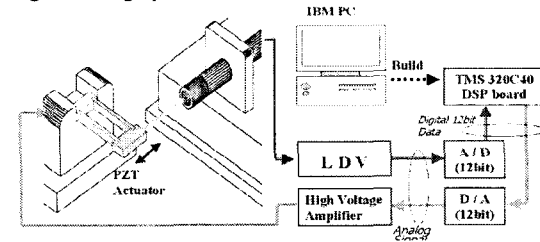


Fig. 10 Experimental setup

첨단 질량의 이동변위의 측정에는 LDV(Laser Doppler Vibrometer, Polytech OFV3001)가 사용되었고, 슬라이딩 모드 제어기를 구현 하기위해 DSP 를 기반으로 한 제어 시스템이 사용되었다. 슬라이딩 모드 제어기에서 연산이 된 제어입력은 12bit DA Converter, High Voltage Amplifier 를 거쳐 PZT 액츄에이터를 가진하게 된다. PZT 액츄에이터는 주로 디스크 미디어에서 발생하는 RO(Run Out) 성분을 추적하는 역할을 한다. DVD 플레이어 1 배속의 경우에는 이런 RO 성분이 25Hz 구간에서 주요하게 발생한다. 따라서 우리는 25Hz 사인파를 입력으로 하여 실험을 하였으며, 그 결과가 Fig. 11(a)에 나타나 있다. 실제 RO 성분은 주 RO 성분과 부 RO 성분이 중첩되어 나타난다. 따라서 25Hz 와 100Hz 의 사인파가 중첩된 함수를 입력으로 하여 실험을 하였으며 이때의 결과는 Fig.11(b)에 나타나 있다. 각 실험에서 압력의 4-5%에 해당하는 에러 만이 발생함을 볼 수 있다. 이는 만족할만한 트랙 추적 성능을 보여준다.

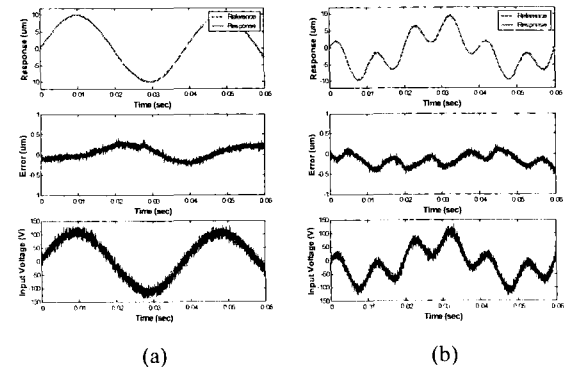


Fig. 11 Tracking response of PZT actuator

(a) $y_d = 10\sin(2\pi \times 25 \times t)$ (b) $y_d = 6\sin(2\pi \times 25 \times t) - 4\sin(2\pi \times 100 \times t)$

Fig. 12(a)와 Fig. 12(b)는 각각 1KHz의 사인

파, 500Hz 와 1KHz 의 사인파가 중첩 된 함수를 입력으로 했을 때의 결과를 나타낸다. 각각 $0.25\mu\text{m}$ (2.5%), $0.5\mu\text{m}$ (3%) 의 에러를 나타낸다. 이는 Fig. 7 에서 알 수 있듯이, 고대역에서 히스테리시스가 많이 존재함에도 불구하고 PZT 액추에이터는 정밀한 트랙 추적 성능을 보여준다. Fig. 13 $10\mu\text{m}$ 의 스텝입력에 대한 응답을 나타낸다. 아주 빠르게 목표위치로 수렴함을 볼 수 있다.

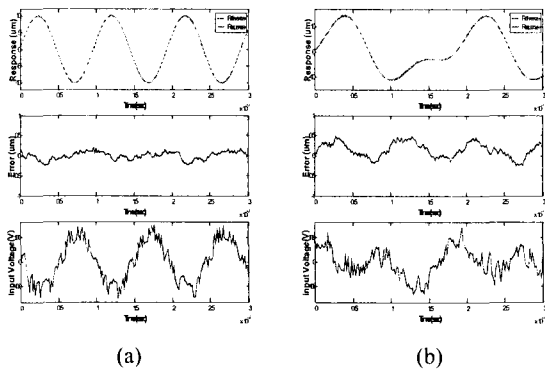


Fig. 12 Tracking response of PZT actuator
 (a) $y_d = 10\sin(2\pi \times 1000 \times t)$
 (b) $y_d = 10\sin(2\pi \times 10^3 \times t) + 5\sin(2\pi \times 500 \times t)$

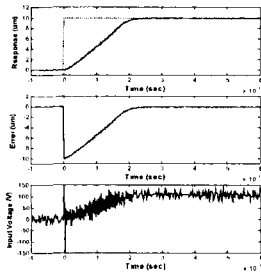


Fig. 13 Step response of PZT actuator

7. 결론

본 연구에서 우리는 빠른 접근속도, 정밀한 트랙 추적제어가 가능한 스윙암 타입의 소형 ODD 용 듀얼 액추에이터를 제안하였다. 해밀턴의 정리를 이용하여 PZT 액추에이터의 동적 모델을 수립하였으며, 실험적 주파수 응답의 결과, FEM 해석과 비교하여 그 정당성을 입증하였다. 또한 히스테리시스와 같은 비선형성과 측정오차, 모델링의 부정확성과 같은 모델의 불확실성에 강인한 슬라이딩 모드 제어를 설계하였다. 이런 슬라이딩 제어기는 고대역에서도 정밀한 트랙 추적제어 성능을 보여줬고, 다양한 모델의 불확실성에도 강인하다는 것을 실험을 통하여 입증하였다.

후 기

본 논문은 KOSEF(Korea Science and Engineering Foundation)의 지원 아래 연세대학교 CISD(Center for Information Storage Device)에서 연구되었음.

참고문헌

1. Mori K., Munemoto T., Otsuki H., Yamaguchi Y., and Akagi K., "A dual-stage magnetic disk drive actuator using a piezoelectric device for a high track density," IEEE Trans Magnetics, 27(6), pp. 5298-300, 1991
2. Evans RB., Griesbach, JS., "Piezoelectric microactuator for dual stage control," IEEE Trans Magnetics, 35(2), pp. 977-982, 1999
3. Guo L., Martin D., and Brunnett D., "Dual-stage actuator servo control for high density disk drives," IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics, pp. 132-137, 1999.
4. Cho WI., Park NC., Yang HS., and Park YP., "Swing-arm-type PZT dual actuator with fast seeking for optical disk drive," Microsystems Technologies, vol 8, pp. 139-148, 2002.
5. Anderson GL., "Natural frequency of two cantilever joined by a rigid connector at their free ends," J Sound Vibration, 57(3), pp. 403-412, 1978.
6. Bailey T., Hubbard Jr JE., "Distributed piezoelectric-polymer active vibration control of a cantilever beam," J Guidance, Control and Dynamics, 8(5), pp. 605-11, 1985.
7. Choi SB., Kim HK., Lim SC., Park YP., "Position tracking control of an optical pick-up device using piezoceramic actuator," J Mechatronics, vol 11, pp. 691-705, 2001.
8. Jean-Jacques, Slotine E., Weiping Li., "Applied Nonlinear Control," Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, pp. 290