

PZT를 이용한 광 정보저장기기용 액추에이터의 트랙 추적제어

Track-following Control of an Optical Pick-up Actuator Using PZT

이 우 철[†] · 정 동 하* · 박 태 욱** · 박 노 철** · 양 현 석**

Woo-Chul Lee, Dong-Ha Jung, Tae-Wook Park, No-Cheol Park and Hyun-Seok Yang

(2003년 10월 29일 접수 : 2004년 4월 23일 심사완료)

Key Words : Dual Actuator(듀얼 액추에이터), Sliding Mode(슬라이딩 모드), Bimorph PZT, Optical Disk Drive (광디스크 드라이브)

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 an SFF ODD(small form factor optical disk drive), in order to achieve fast access speed and precise track-following control. Over the past few decades there have been a lot of researches related to the VCM and dual-stage actuator. In this paper, we focus our attention on the design and control of the PZT actuator. Due to the dual cantilever structure, the PZT actuator can generate precise translational tracking motion at its tip to which an optical pickup is attached, 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 it 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.

1. 서 론

근래에 멀티미디어와 정보통신 산업이 급격하게 발전하고 디지털 캠코더, PDA와 같은 휴대용 기기가 널리 사용됨에 따라 많은 양의 정보를 저장할 수 있는 초소형 정보저장기기를 요구하게 되었다. 현재 HDD(hard disk drive)와 플래시 메모리가 휴대용 기기의 정보저장기기로 주로 사용되고 있다. 하지만 HDD는 디스크 미디어의 교체가 불가능함에 따라 데

이터의 배포가 어렵고, 플래시 메모리는 단위용량 당 가격이 비싸다는 단점이 있다. 반면에 ODD(optical disk drive)는 미디어의 교체가 용이하며, 단위용량 당 가격이 저렴하다는 장점이 있다. 이런 ODD의 장점에도 불구하고 초소형ODD에 관한 연구는 아직까지 많이 진행되지 못하였다.

현재 대부분의 ODD에서는 랙-피니언 구조가 픽업 유닛(pick-up unit)을 이송하는 동력 전달부로 사용되고 있다. 이런 구조는 높은 감속비를 얻을 수 있다는 장점이 있지만, 접근 속도를 상당히 느리게 하며, 불필요한 진동을 발생시키는 주요한 원인이 된다. 또한 구성부품 수가 많아 작은 크기로 구현되기에는 어려운 점이 있다. 따라서, 초소형ODD와 같은 향후 ODD에 대응하기 위해서는, 빠른 접근속도, 고정밀도, 고대역폭을 달성할 수 있는 광 픽업 액추에이터 개발이 선행되어야 한다.

[†] 책임저자 : 정희원, LG생산기술원 자동화기술그룹
E-mail : wochul7@lge.com

Tel : (031) 660-7211, Fax : (031) 660-7386

* 정희원, 삼성전자 OMS사업

** 정희원, 연세대학교 정보저장공학과

*** 정희원, 연세대학교 기계공학과

반면에, HDD에서는 빠른 접근속도와 소형화를 달성하기 위해 스윙암(swing arm) 타입의 VCM (voice coil motor)을 사용하고 있다. 또한 향후 고용량화에 따른 고정밀도, 고대역폭을 달성하기 위하여 VCM과 PZT를 사용하는 듀얼 액추에이터와 듀얼 제어기에 관한 연구^(1~3)가 활발하게 진행되어 왔으며, 곧 실용화가 될 것으로 기대된다.

본 연구에서, 우리는 VCM을 조동 액추에이터(coarse actuator)로 사용하고, PZT를 미동 액추에이터(fine actuator)로 사용하는 스윙암 타입의 초소형 ODD용 듀얼 액추에이터를 제안한다. VCM은 주로 저대역에서 발생하는 큰변위의 RO (run out)를 추적하는 역할을 하며, PZT 액추에이터는 VCM이 추적하지 못하는 고대역의 미세한 RO를 추적하는 역할을 한다. 이렇게 제안된 동시구동 액추에이터에는 지금까지 진행되어온 HDD의 듀얼 액추에이터와 제어기에 관한 연구의 대부분이 적용될 수 있어 구현이 용이하며 효율적이다. 여러 HDD관련논문과 같이 동시구동 듀얼제어의 설계방법은 PZT 액추에이터, VCM 제어를 각각 독립적으로 설계하여 패러렐 루프(parallel loop), 마스터 슬레이브 루프(master-slave loop) 등을 적용함으로써 구현되어 질 수 있다.

하지만, 이전에 수행했던 연구⁽⁴⁾에서 알 수 있듯이, PZT 미동 액추에이터는 HDD에서의 미동 액추에이터와 아주 상이한 구조를 가지고 있으며, 따라서 PZT 액추에이터의 동적모델의 수립 및 효율적인 제어기의 개발에 대한 연구가 선행되어야 한다. 이전 연구⁽⁴⁾에서, 우리는 제안된 액추에이터가 빠른 접근속도를 달성하고 잔류진동을 효율적으로 없앨 수 있다는 것을 보였다. 하지만 좀더 정확한 PZT 액추에이터의 동적 모델의 수립과 불확실성에 강인한 트랙 추적 제어기의 설계가 필요하게 되었다. 본 논문에서는 그 첫단계로 PZT 액추에이터의 설계와 제어에 관하여 중점을 두고 연구를 진행하였다.

본 논문은 우선, 제안된 듀얼 액추에이터의 구조에 대해 설명하고, 해밀턴의 정리(Hamilton's principle)를 이용하여 PZT 액추에이터의 동적 모델을 수립하는 과정을 설명하였다. 또한 정밀한 트랙 추적을 위해 모델의 불확실성에 강인한 슬라이딩 모드 제어기(sliding mode controller)와 상태벡터를 얻기 위한 선형관측기를 설계하는 과정을 설명하였다. 마지막으로 구현된 시스템의 실제적으로 가능한지를 검증

하기 위한 실험결과와 이 실험결과를 바탕으로 한 결론을 제시하였다.

2. 듀얼 액추에이터

제안된 듀얼 액추에이터는 Fig. 1과 같이 VCM과 PZT로 구성되어 있다. PZT 액추에이터는 두개의 bimorph PZT가 평행하게 연결되어있고, 그 끝부분에 대물렌즈, 포커싱 액추에이터등으로 이루어진 픽업부가 연결되어있는 구조를 가지고 있다. 본 논문에서는 이 픽업부를 등가질량(0.6 g)으로 대체하여 연구하였다. VCM은 많은 트랙을 빨리 이동할 수 있으며, PZT 액추에이터는 고 대역에서도 정밀한 제어가 가능하다는 특징을 가지고 있다. 따라서 VCM과 PZT로 구성된 듀얼 액추에이터는 빠른 접근속도, 고대역에서 고정밀도의 트랙 추적성능을 구현할 수 있을 뿐만 아니라, 작은 크기로도 구현이 쉬워 초소형 ODD에 적용되기에 적합하다. 게다가 제안된 PZT 액추에이터는 Fig. 2와 같이 전압이 인가될 때 'S'형상으로 움직이는 특징을 가지고 있으며, 이는 PZT의 상단부분과 하단부분이 히스테리시스 루프(hysteresis loop)상에서 동시에 반대방향으로 움직이게 되어 상

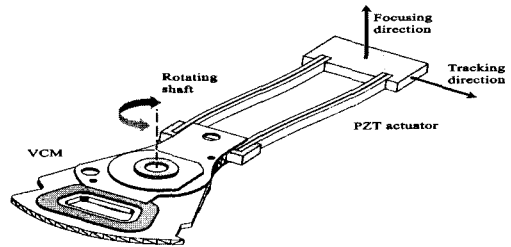


Fig. 1 Proposed dual actuator

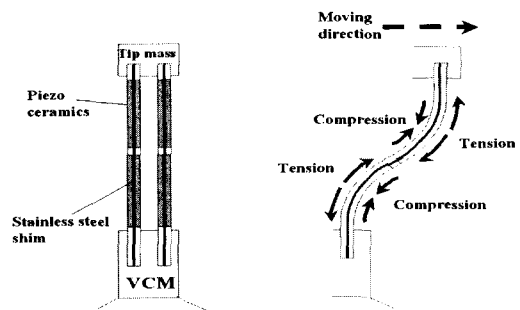


Fig. 2 "S" shape moving mechanism of PZT actuator

하부분의 히스테리시스 특성이 상당부분 상쇄되는 효과를 얻을 수 있다.

3. 동적 모델

Fig. 3 은 PZT actuator의 좌표계와 파라미터를 나타낸다. 좌측 ($s=1$), 우측 ($s=2$)의 bimorph PZT를 elastic modulus E , 2차 단면계수 I , 단위 길이 당 무게 ρ^A 인 길이 L 의 베르누이-오일러 보(Bernoulli-Euler beam)로 가정할 수 있으며, 길이 L 인 지점에 등가질량 $m(s=3)$ 이 연결되어 있다. 보의 길이방향(longitudinal) 변위를 $u(x, t)$, 횡방향

(translational) 변위를 $w(x, t)$ 라 한다면, 두개의 PZT와 등가질량의 kinetic energy, potential energy는 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

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

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

$$+ m (C_M \dot{w}_1'(L,t) \dot{w}_1(L,t) - r_M \dot{w}_1'(L,t) \dot{u}_1'(L,t)), (1)$$

$$V_3 = 0$$

여기서 $J = (m/3)(C_M^2 + h_M^2) + m(C_M^2 + r_M^2)$ 이며, PZT에 의한 비보존력(non conservative work) W_{nc} 은 아래와 같다.

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

여기서 $M_p(t)$ 는 PZT에 가해지는 전압에 비례하여 발생된 굽힘모멘트를 의미하며, $\Lambda(x_s)$ 는 굽힘모멘트의 위치와 방향에 관한 함수이며 이는 헤비사이드 계단함수(heaviside step function) $h(x_s - x_0)$ 를 이용하여 아래와 같이 표현될 수 있다.

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

식 (4)에 표시된 해밀턴의 정리를 이용하여 지배 방정식과 경계방정식을 구하면 식 (5), (6)와 같이 표현된다.

$$\delta \int_{t_1}^{t_2} \left[\sum_{s=1}^3 (T_s - V_s) + W_{nc} \right] dt = 0, (4)$$

$$\rho A \ddot{u}_s - EAu_s'' = 0, \rho A \ddot{w}_s + EIw_s'''' = M_p(t) \Lambda''(x_s),$$

$$0 \leq x_s \leq L (s=1,2) (5)$$

$x_s = 0$ 일때,

$$u_s = w_s = w_s' = 0,$$

$x_s = L$ 일때,

$$w_1 - w_2 = 0, w_1' - w_2' = 0,$$

$$EAu_1' + EAu_2' + m\ddot{u}_1 - mr_M \ddot{w}_1' = 0, (6)$$

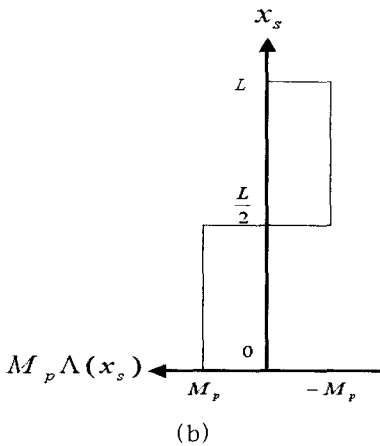
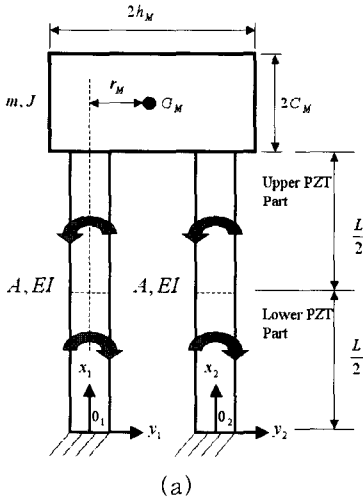


Fig. 3 Simple model for PZT actuator (a) Mathematical model (b) Bending moment diagram

$$C = [W_1(L) \ 0 \ \dots \ W_n(L) \ 0] \quad (16)$$

현재 SFF ODD와 관련된 연구는 거의 전무한 상

Table 1 Properties of used bimorph PZT (PIEZO SYSTEM INC,T226-H4SS)

| | | | |
|-------------|------------------------------------|------------------------|------------------------|
| Bimorph PZT | | Piezoceramic | Shim (stainless steel) |
| | Density(kg/m ³) | 7700 | 7200 |
| | Young's modulus(N/m ²) | 6.1×10 ¹⁰ | 21×10 ¹⁰ |
| | Thickness(mm) | 0.27 | 0.12 |
| | Width(mm) | 2 | |
| | Length(mm) | 16 | |
| Tip mass | Strain Coefficient(m/V) | -320×10 ⁻¹² | |
| | Weight(g) | 0.6 | |

Table 2 Natural frequency of translational modes

| | | | |
|-------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| | 1 st Translational modes | 2 nd Translational modes | 3 rd Translational modes |
| Natural frequency | 728 Hz | 7148 Hz | 18317 Hz |

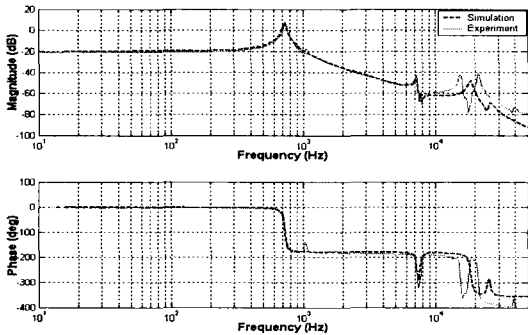


Fig. 5 Frequency responses of PZT actuator

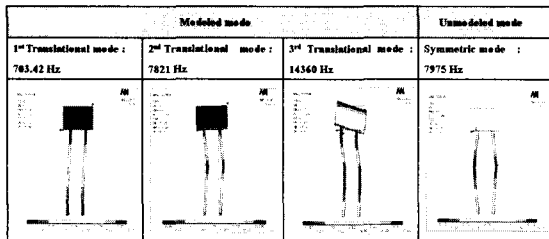


Fig. 6 Natural frequencies and mode shapes obtained by FE analysis

태이며 이로인해 이에 대한 스펙은 결정되어진 것이 없는 상태이다. 따라서 본 논문에서는 DVD 1배속의 스펙을 기준으로 하여 PZT액추에이터를 설계하였으며, Table 1은 그 물성치를 보여주고 있다.

Table 2는 모델링에서 고려한 횡진동 모드의 고유진동수를 나타내며, Fig. 5는 이 모델을 바탕으로 구한 주파수 응답의 시뮬레이션과 실험결과를 비교한 것이다. 시뮬레이션 결과가 저 대역에서 실험결과와 아주 근접하게 일치함을 볼 수 있으며, 약간의 모델 부정확성이 존재하더라도 이는 추후 설명 될 강인제어기에 의해 제거될 수 있다. 또한 10 kHz 이상의 고대역에서 비교적 크게 발생하는 모델 부정확성은 시스템에 요구되어지는 대역폭(DVD 1배속의 경우 1 kHz) 밖이므로 무시될 수 있다. Fig. 6는 FEM을 이용한 모드해석 결과를 나타낸다. 따라서 동적모델을 바탕으로 한 시뮬레이션 결과가 실험결과, FEM 해석 결과와 상당히 일치하므로 수립한 동적모델이 타당하다고 볼 수 있다.

Fig. 5의 주파수 응답선도(변위/입력전압)에서 확인할 수 있듯이, PZT액추에이터는 대역폭 영역에서 20 dB이상의 계인을 나타낸다. 이는 PZT액추에이터에 가해지는 통상입력 전압범위가 300 V이내 임을 감안하면, PZT액추에이터의 변위폭은 30 μm 이상이 되며, 이는 고대역의 미소한 RO신호를 추적하기에 충분한 변위성능이라 가정할 수 있다.

4. 슬라이딩 모드 제어

광 정보저장기기에 적용 될 제어 시스템에는 PZT 액추에이터 모델의 부정확성, 레이저 광원에 의한 모델특성의 변화, 측정상의 오차 등으로 인해 실제의 모델에서는 점성계수, 고유진동수의 파라미터 변화가 일어날 수 있다. 또한 식 (13)에서 표현된, PZT의 굽힘모멘트와 입력전압과의 선형적 관계는 저전압, 저대역에서만 성립이 되며, 고전압, 고대역으로 갈수록 PZT의 히스테리시스로 인해 성립이 되지않는다. 이런 히스테리시스와 같은 비선형적 특성은 굽힘모멘트 상수의 파라미터 변화로 나타내어 질 수 있다.⁽⁷⁾ 이런 파라미터의 변화는 모델의 불확실성을 의미하며, 이런 모델의 불확실성을 포함한 실제계의 고유진동수, 점성계수, 굽힘모멘트는 아래와 같이 표현되어 질 수 있다.

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

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

여기서 $\underline{\omega}_i$, $\underline{\zeta}_i$ 와 ω_i , ζ_i 는 각각 실제계에서의 고유진동수, 점성계수와 이론적인 고유진동수, 점성계수를 나타낸다. 또한 $\delta\omega_i$, $\delta\zeta_i$, δK_p 는 불확실성 파라미터를 나타내며 이는 가중치 β_i , γ_i , α 에 의하여 제한 되어질 수 있다. Fig. 7은 PZT 액추에이터의 히스테리시스 루프를 나타낸다. 고대역(1 kHz)에서 저대역보다 비교적 큰 히스테리시스 특성이 나타남을 알 수 있으며, 1 kHz에서의 히스테리시스 특성을 기준으로 α 는 0.13으로 유도될 수 있다.

이런 모델의 불확실성으로부터 시스템이 강건하기 위해 우리는 슬라이딩 모드 제어를 적용한다. 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 y_d 는 PZT 액추에이터에서 픽업부의 목표 위치를 나타내며, \tilde{y} 는 트랙 추적 에러를 나타낸다. 슬라이딩모드 동작을 하는 동안 시스템의 상태 변수들이 슬라이딩 표면으로 근접하게 하기위한 슬라이딩 컨디션(Sliding condition)은 다음과 같다.

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

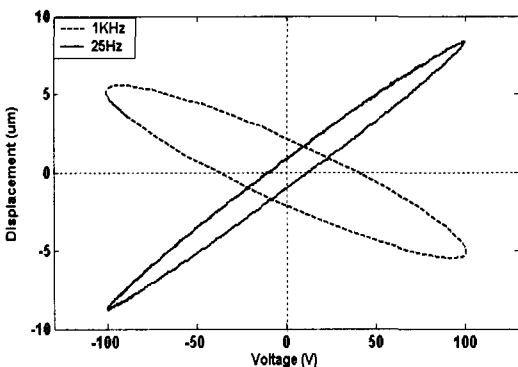


Fig. 7 Hysteresis loop(25 Hz & 1 kHz)

이때, 슬라이딩 모드 컨디션을 만족하는 슬라이딩 모드 제어기는 다음과 같이 구된다.⁽⁸⁾

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

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

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

여기서,

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

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

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

Φ 는 제어입력에서의 채터링(chattering)을 줄이기 위하여 사용된 경계층 (boundary layer)의 두께를 의미한다.

본 논문에서는 시스템에 요구되는 대역폭과 PC의 샘플링 한계 등을 고려하여, PZT액추에이터의 유연 모드 중 1차 모드만을 고려하여 제어를 설계 하였다. 고대역의 모드들의 가진으로 발생하는 스피로버(spillover)의 영향을 줄이기 위하여 λ 는 그 모드들의 대역보다 충분히 작게 설계되어야 한다.

5. 선형 관측기

상태벡터 $\mathbf{X}(t) = [\hat{q}_1(t) \ \dot{\hat{q}}_1(t) \ \dots \ \hat{q}_n(t) \ \dot{\hat{q}}_n(t)]^T$ 를 구하기 위하여 식 (22)와 같은 페루프 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 L 은 관측기 이득행렬이다.

선형 관측기를 사용한 슬라이딩 모드 제어기는 실제 상태벡터 X 대신에 관측된 상태벡터 X_e 를 사용하여 아주 간단하게 구현될 수 있으며, 이로 인해 슬라이딩 서피스는 $S=0$ 대신에 $S_e=0$ 로 나타내어

질 수 있다. 따라서 관측기를 사용하는 슬라이딩 모드 제어기는 다음과 같다.

$$u(t) = -\frac{1}{K_r P} \left\{ \lambda \left[\sum_{i=1}^n W_i(L) \dot{q}_i(t) - \dot{y}_d \right] + k(\mathbf{X}_e) \text{sat} \left(\frac{S_e}{\Phi} \right) + \left[\sum_{i=1}^n W_i(L) (r_{2i-1} \ddot{q}_i(t) + r_{2i} \dot{q}_i(t)) - \ddot{y}_d \right] \right\}, \quad (23)$$

여기서,

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

모델의 불확실성을 가지고 있는 비선형 시스템의 관측을 위해 선형 관측기를 사용한다면, 관측에러가 발생할 수 있다. 하지만 $k(\mathbf{X}_e)$ 의 값이 PZT 액추에이터의 불확실성과 관측기의 부정확성을 보상할 만큼 충분히 설정되고, 관측기의 설계가 적절하게 이루어진다면 $t \rightarrow \infty$ 일 때, $S_e \rightarrow 0$, $S \rightarrow S_e$ 이 된다. 따라서 $S \rightarrow 0$ 이 되어 픽업부의 위치는 목표위치로 수렴하게 된다.⁽⁹⁾

Fig. 8은 전체 시스템의 블록선도를 나타낸다.

6. 실험 결과

Fig. 9는 제안된 PZT 액추에이터의 사진이며, Fig. 10는 실험장치의 개략도를 표시한 것이다.

등가질량의 이동변위의 측정에는 LDV(laser doppler vibrometer, polytech OFV3001)가 사용되었고, 슬라이딩 모드 제어기를 구현 하기위해 DSP를 기반으로 한 제어시스템이 사용되었다. 슬라이딩 모드 제어기에서 연산이 된 제어입력은 12 bit DA

converter, high voltage amplifier (150 V)를 거쳐 PZT 액추에이터에 가해지게 된다. 본 실험은 일정 샘플링 주파수(58 kHz)의 이산시간계에서 구현되었지만, 샘플링 주파수가 요구 대역폭(1 kHz)보다 상당히 크므로 연속계로 가정할 수 있다. PZT 액추에이터는 주로 디스크미디어에서 발생하는 RO(run out) 성분을 추적하는 역할을 한다. DVD 플레이어 1배속의 경우에는 이런 RO성분이 25 Hz 구간에서 주로 발생한다. 따라서 우리는 25 Hz 사인파를 입력으로 하여 실험을 하였으며, 그 결과가 Fig. 11(a)에 나타나 있다. 실제 RO성분은 주 RO성분과 부 RO성분이 중첩되어 나타난다. 따라서 25 Hz와 100 Hz의 사인파가 중첩된 함수를 시험입력으로 하여 실험을 하였으며 결과는 Fig. 11(b)에 나타나 있다. 각 실험에서 입력의 3~4 %에 해당하는 0.3~0.4 μm 의 에러가 발생함을 볼 수 있다. 하지만 이는 LDV의 낮은 분해능(8 $\mu\text{m}/\text{V}$)을 감안하면 만족할 만한 트랙 추적 성능을 보여준다.

제안된 시스템이 향후 고대역에서 고정밀의 트랙 추적제어가 가능한지 알아보기 위해, 각각 1 KHz의 사인파, 500 Hz와 1 KHz의 사인파가 중첩된 함수

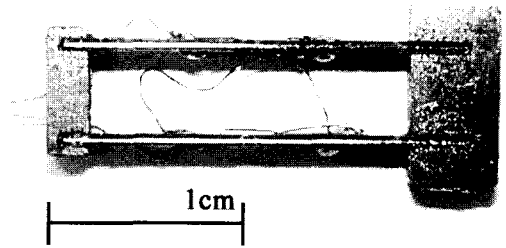


Fig. 9 Photograph of PZT actuator

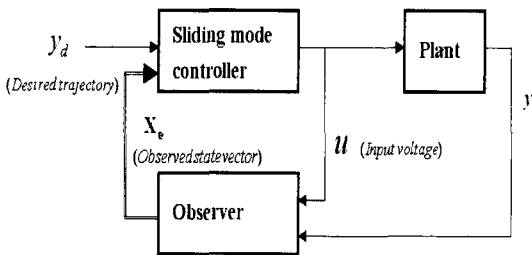


Fig. 8 Block diagram of sliding mode control system with linear observer

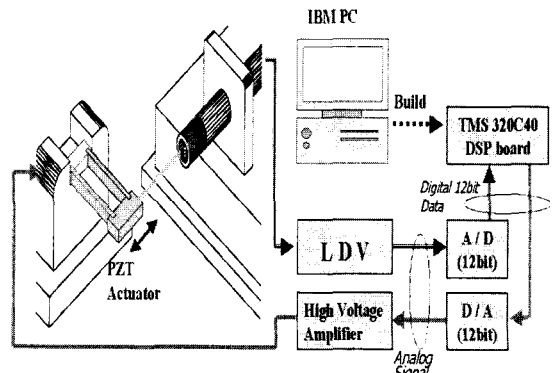
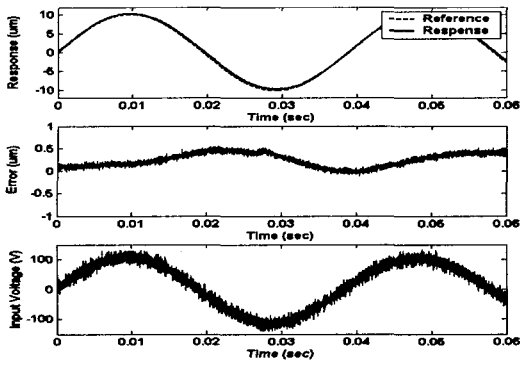
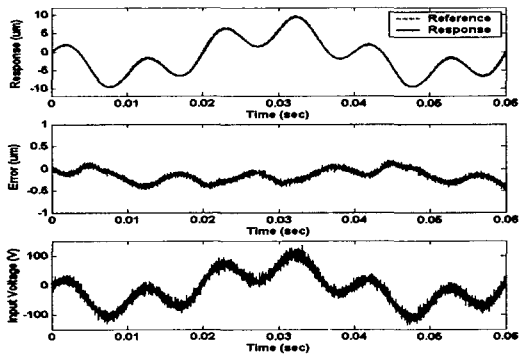


Fig. 10 Experimental setup



(a)



(b)

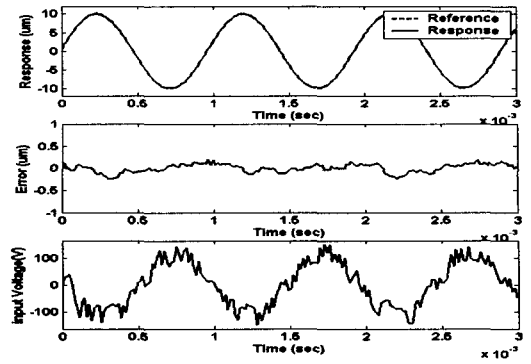
Fig. 11 Tracking responses of PZT actuator:

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

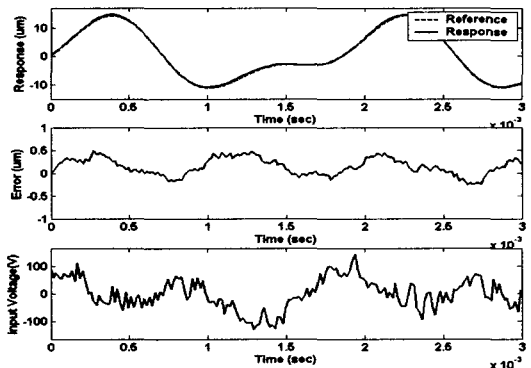
를 시험입력으로 하여 실험을 하였다. 이때의 실험 그래프 Fig. 12에서 알 수 있듯이, 각각 $0.25 \mu\text{m}$ (2.5%), $0.5 \mu\text{m}$ (3%)의 에러를 나타낸다. 이는 Fig. 7에서 알 수 있듯이, 고대역에서 히스테리시스가 많이 존재함에도 불구하고 PZT 액추에이터는 정밀한 트랙 추적 성능을 보여준다. Fig. 13은 $10 \mu\text{m}$ 의 스텝 입력에 대한 응답을 나타낸다. 빠르게 목표위치로 수렴함을 볼 수 있다.

7. 결론

본 연구에서 우리는 빠른 접근속도, 정밀한 트랙 추적제어가 가능한 스윙암 타입의 초소형 ODD용 듀얼 액추에이터를 제안하였다. 헤밀턴의 정리를 이용하여 PZT액추에이터의 동적 모델을 수립하였으며,



(a)



(b)

Fig. 12 Tracking responses of PZT actuator:

- (a) $y_d = 10 \sin(2\pi \times 10^3 \times t)$,
- (b) $y_d = 10 \sin(2\pi \times 10^3 \times t) + 5 \sin(2\pi \times 500 \times t)$

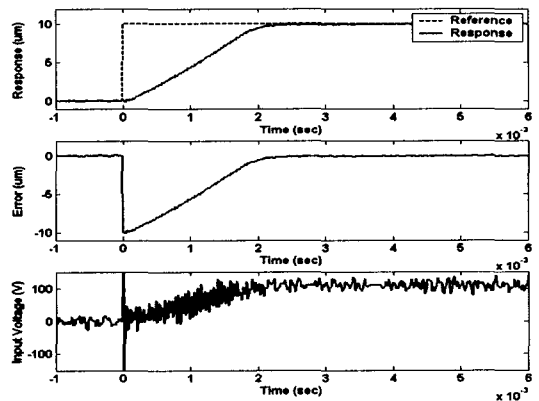


Fig. 13 Step response of PZT actuator

실험적 주파수 응답의 결과, FEM 해석과 비교하여 그 정당성을 입증하였다. 또한 히스테리시스와 같은

비선형성과 측정오차, 모델링의 부정확성 등과 같은 모델의 불확실성에 강인한 슬라이딩 모드 제어를 설계하였다. 이런 슬라이딩 제어기는 고대역에서도 정밀한 트랙 추적제어 성능을 보여주었고, 다양한 모델의 불확실성에 강인하다는 것을 실험을 통하여 입증하였다.

후 기

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

참 고 문 헌

- (1) Mori K, Munemoto T, Otsuki H, Yamaguchi Y, Akagi K, 1991, "A Dual-stage Magnetic Disk Drive Actuator Using a Piezoelectric Device for a High Track Density", IEEE Trans. Magnetics., Vol. 27, No. 6, pp. 5298~5300.
- (2) Evans, R. B. and Griesbach, J. S., 1999, "Piezoelectric Microactuator for Dual Stage Control," IEEE Trans. Magnetics., Vol. 35, No. 2, pp. 977~982.
- (3) Guo L, Martin D, Brunnett D, 1999, "Dual-stage Actuator Servo Control for High Density Disk Drives," IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics, pp. 132~137.
- (4) Cho, W. I., Park, N. C., Yang, H. S. and Park, Y. P. 2002, "Swing-arm-type PZT Dual Actuator with Fast Seeking for Optical Disk Drive", Microsystems Technologies, Vol. 8, pp. 139~148
- (5) Anderson GL, 1978, "Natural Frequency of Two Cantilever Joined by a Rigid Connector at Their Free Ends," J Sound Vibration, Vol. 57, No. 3, pp. 403~412
- (6) Bailey T, Hubbard Jr JE, 1985, "Distributed Piezoelectric-polymer Active Vibration Control of a Cantilever Beam." J Guidance, Control and Dynamics, Vol. 8, No. 5, pp. 605~611
- (7) Choi, S. B., Cho, S. S. and Park, Y. P. 1999, "Vibration and Position Tracking Control of Piezoceramic-based Smart Structures Via QFT", J Dynamic Systems, Vol. 121, pp. 27~33.
- (8) 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", J Mechatronics, Vol. 11, pp. 691~705
- (9) Jean-Jacques E. Slotine, Weiping Li, Applied Nonlinear Control, Prentice-Hall