

탐색 과정시 2 단 액츄에이터의 상호 작용 분석 및 트랙 끌어들이 성능 향상을 위한 제어

Interaction Analysis of Dual-stage System during Seek Motion, and Control for Track Pull-in Enhancement

최진영* · 박태욱** · 양현석** · 박노철** · 박영필**

Jin-Young Choi, Tae-Wook Park, Hyunseok Yang, No-Cheol Park, Young-Pil Park

Key Words : Optical Disk Drive (광디스크), Dual Actuator(2 단 액츄에이터), Seek Control(탐색 제어), Interaction Analysis (상호작용 분석), Residual Vibration(잔류 진동), Track Pull-in(트랙 끌어들이)

ABSTRACT

In this paper, the dual stage interaction between the coarse actuator and the fine actuator of an optical disk drive and the control method to enhance the track pull-in performance are discussed. First, the interaction analyses for the dual stage, and the experiments to find the each actuator dynamics are studied. From the experiments results, some physical parameters was derived, then, some simulations are performed to find the residual vibration effect of the fine actuator during seek motion. Second, the fine actuator control method to reduce the relative velocity, which is a key factor in track pull-in performance, between the target track and beam spot is proposed. From simulations, we show that fine actuator control which has same frequency and same phase of the disturbance is effective to reduce the relative velocity, hence, the control method is good approach in the track pull-in enhancement. Finally, the some comments are discussed briefly.

1. 서 론

상용 광 디스크 드라이브는 여타의 정보저장기와 비교하여 볼 때 미디어어의 호환성 및 배포성 등에서 매우 뛰어난 측면이 있지만, 상대적으로 낮은 저장밀도와 저속의 데이터 전송률 등이 단점으로 지적되고 있다. 따라서 이에 대한 해결책으로, 높은 저장 밀도의 달성 측면에서는 레이저의 단파장화 및 렌즈의 개구수를 높임으로서 저장 밀도를 높이려는 연구가 지속적으로 진행되어 왔으며, 높은 데이터 전송률의 확보를 위해서는 주로 회전 배속의 증가에 초점이 맞추어져 왔다.^(3,4)

그러나 회전배속의 증가는 필연적으로 진동 및 소음의 증가, 더 나아가 디스크 파피 등과 같은 안정성 문제를 유발하여 회전 배속의 증가에

의한 데이터 전송률 증대는 한계가 있다. 따라서 근래의 많은 연구들은 높은 데이터 전송률의 달성을 위해, 회전 배속의 증가 보다는 임의 탐색시의 안정적이고 빠른 액츄에이터의 구조 및 제어기 설계에 초점이 맞추어져 왔다.^(1,2,5,6,7)

광 디스크 드라이브에서는 임의 탐색을 위한 시스템은 넓은 작동 범위와 높은 정밀도를 동시에 충족시켜야 하므로, 조동(coarse) 액츄에이터와 미동(fine) 액츄에이터로 구성된 2 단 액츄에이터로 구성이 전형적이다. 긴거리 탐색 제어를 위해 조동 액츄에이터를 구동하는 경우, 2 단 액츄에이터의 상호 작용에 의하여 미동 액츄에이터는 진동하게 되며, 이 진동은 트랙 끌어들이(track pull-in) 성능에 영향을 미치게 된다. 조동 액츄에이터가 정지한 후, 미동 액츄에이터가 진동하는 현상을 잔류 진동(residual vibration)이라 하는데 일반적으로 잔류 진동이 허용값 이하로 줄어들기 전까지는 트랙 끌어들이를 행하지 않는다. 잔류 진동을 억제하기 실제 시스템에서는 중심 서보(center servo)를 채택하는 것이 일반적이며, 미

*연세대학교 대학원 정보저장공학협동과정

E-mail : mithra@yonsei.ac.kr

Tel : (02) 2123-4677, Fax : (02) 365-8460

** 연세대학교 CISD

동 액츄에이터가 정지시 발생하는 잔류 진동을 저감하기 위하여 추가적인 입력 펄스를 적용하여 하는 방법 등이 제안된 바 있다.⁽²⁾

그러나 이들 선행 연구에서는 탐색시 발생하는 2 단 액츄에이터의 상호 작용에 대한 분석이 상대적으로 미흡하였고, 또한 이 잔류 진동이 트랙 끝어들임에 미치는 영향 등은 연구된 바가 거의 없었다. 따라서 본 논문을 통하여 이러한 내용에 대하여 상세히 다루고자 한다.

2. 2 단 액츄에이터의 동역학 분석

2.1 2 단 액츄에이터의 모드 해석

미동 액츄에이터는 전형적으로 4 점 지지 선형 스프링 형이 일반적이나, 조동 액츄에이터의 경우는 구동 방식에 따라 (i) 로터리 DC 모터를 이용한 랙 피니언 방식, (ii) 스텝핑 모터를 이용한 웜 기어(worm gear) 방식 그리고 마지막으로 (iii) 리니어 DC 모터 방식으로 분류된다. 초기의 조동 액츄에이터 모델은 로터리 DC 모터를 이용한 랙 피니언 방식이 주종을 이루었으나, 이 경우 백래쉬 여러가지 비선형 특성을 내포하고 있어 근래에는 스텝핑 모터를 이용한 웜 기어 방식을 주종을 이루고 있다. 수식의 간편화를 위하여 조동 액츄에이터의 감쇠항을 무시하면, 2 단 액츄에이터는 근사적으로 Fig.1 과 같으며 운동방정식은 식 (1) 과 같다.

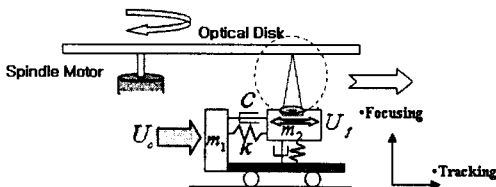


Fig. 1 Dual stage structure

$$\begin{bmatrix} m_1 & 0 \\ 0 & m_2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{x}_c \\ \ddot{x}_f \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} c & -c \\ -c & c \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{x}_c \\ \dot{x}_f \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} k & -k \\ -k & k \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x_c \\ x_f \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} U_c \\ U_f \end{Bmatrix} \quad (1)$$

시스템을 2 개의 집중 질량으로 가정하였으므로 이 시스템은 2 개의 고유진동수를 가지게 된다. 해석의 편의를 위하여 감쇠항을 무시하는 경우, 이 시스템의 질량행렬 M 과 강성행렬 K 로부터 시스템의 비감쇠 고유진동수는 다음의 식으로부터 계산되어 진다.

$$\det(-\omega^2 M + K) = 0 \quad (2)$$

각 고유 진동수는 $\omega_{1st} = 0$, $\omega_{2nd} = \sqrt{k/M_e}$ 이고 고유

모드를 조사하여 보면, ω_{1st} 에서는 조동 액츄에이터와 미동 액츄에이터가 동일 방향으로 동작하며, ω_{2nd} 에서는 조동 액츄에이터와 미동 액츄에이터가 서로 반대 방향으로 동작하게 된다.

2.2 2 단 액츄에이터의 상호 작용

식(1)을 Laplace 변환을 하면, 다음의 관계식이 얻어진다.

$$\begin{bmatrix} X_c \\ X_f \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{M_e(m_2 s^2 + cs + k)}{m_1 m_2 s^2 (M_e s^2 + cs + k)} & \frac{M_e - m_2}{m_2 (M_e s^2 + cs + k)} \\ \frac{M_e(cs + k)}{m_1 m_2 s^2 (M_e s^2 + cs + k)} & \frac{M_e}{m_2 (M_e s^2 + cs + k)} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} U_c \\ U_f \end{Bmatrix} \quad (3)$$

여기서 m_1 과 m_2 는 각각 조동 액츄에이터의 무게와 미동 액츄에이터의 무게를 나타내며, M_e 는 다음과 같은 등가 질량을 나타낸다.

$$M_e = m_1 m_2 / (m_1 + m_2) \quad (4)$$

입의 탐색시 미동 액츄에이터에 입력되는 입력 U_f 의 입력이 0 이라고 가정하면 다음의 관계가 성립한다.

$$\frac{X_c(s)}{U_c(s)} = \frac{s^2 + s \cdot (d/m_2) + k/m_2}{m_1 s^2 [s^2 + s \cdot (d/M_e) + k/M_e]} = \frac{s^2 + 2\xi_2 \omega_2 s + \omega_2^2}{m_1 s^2 (s^2 + 2\xi_0 \omega_0 + \omega_0^2)} \quad (5)$$

여기서 $\omega_2 = \sqrt{k/m_2}$ 그리고 $\omega_0 = \sqrt{k/M}$ 을 나타낸다. 이와 유사한 방법으로 입력 U_c 에 대한 미동 액츄에이터의 변위 X_f 의 전달함수를 유도하면 다음과 같다.

$$\frac{X_f(s)}{U_c(s)} = \frac{s \cdot (c/m_1) + k/m_1}{m_2 s^2 [s^2 + s \cdot (c/M) + k/M]} = \frac{2\xi_1 \omega_1 s + \omega_1^2}{m_2 s^2 (s^2 + 2\xi_0 \omega_0 + \omega_0^2)} \quad (6)$$

여기서 $\omega_1 = \sqrt{k/m_1}$ 이다. 이 수식으로부터 조동 액츄에이터의 입력이 미동 액츄에이터에 미치는 영향을 개략적으로 유추하여 볼 수 있다.

(1)

2.3 2 단 액츄에이터의 실험적 분석

미동 액츄에이터와 조동 액츄에이터의 실험적 분석을 위하여, SONY 社의 52 배속 CD-ROM 을 대상계로 선정하여 실험을 행하였다. 이 때 미동 액츄에이터는 4 점 지지 선형 스프링 구조이며, 조동 액츄에이터는 로터리 DC 모터 구조이다. 정밀 비접촉 속도/변위 계측기인 LDV 와 동적 신호 분석기(dynamic signal analyzer)를 이용하여 동

특성을 계측한 다음 곡선 적합(curve fitting)을 통하여 다음의 각 전달 함수를 유도하였다.

$$\frac{X_c(s)}{U_c(s)} = \frac{17.2 \times (1 + 0.00098s)}{(1 + 0.016s)(1 + 0.17s)[1 + 0.0012s + (0.002s)^2]} \quad (7)$$

$$\frac{X_f(s)}{U_f(s)} = \frac{0.682}{1 + 0.0014s + (0.0034s)^2} \quad (8)$$

미동 액추에이터의 가동부 질량 m_2 는 약 4g 이고, 미동 액추에이터의 실험으로부터 얻은 모델식의 감쇠비 ξ 가 0.1982 그리고 감쇠 고유진동수가 ω_d 291.6495 [rad/sec] 이므로 아래의 식을 통하여 미동 액추에이터의 강성과 감쇠를 찾아낼 수 있다.

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}}, \quad \xi = \frac{c}{2m\omega_n}, \quad \omega_d = \omega_n \sqrt{1 - \xi^2} \quad (9)$$

이들 관계식으로부터 얻어낸 광 픽업 파라미터를 정리하면 Table .1 과 같다.

Resonance Frequency (f_d)	46.4175 (Hz)
Damping Ratio (ξ)	0.1982
Natural Frequency (f_n)	47.357 (Hz)
Mass (m_2)	0.004 (kg)
Damping Coefficient (c)	0.47180 (Ns/m)
Stiffness (k)	354.15 (N/m)

3. 광 디스크의 임의 탐색 과정

3.1 2 광 디스크 임의 탐색 과정

임의 탐색 제어를 광 픽업 빔 스폿의 이동거리에 따라 분류하면 (i) 근거리 이동을 위하여 미동 액추에이터만을 이용하는 step jump 또는 track jump 와, (ii) 조동 액추에이터를 이용하는 긴 탐색 제어로 분류할 수 있다. 긴 거리 탐색의 과정을 간략히 정리하면 다음과 같다.

(i) 먼저 이동하고자 하는 거리에 따라 마이컴에서 계산된 속도 프로 파일을 통하여 조동 액추에이터를 움직인다.

(ii) 이동 과정에서 포커스 서보는 on 상태로 유지하며, 이동시 트랙을 계수(count) 하고 이로부터 속도 정보를 피드백하여 속도 제어를 행한다. 이 때 트랙을 횡단하는 신호를 계수하여 목표 트랙까지의 거리를 계산한다.

(iii) 목표 트랙 근처에서 트랙 끌어들이음을 행한 후, Q 코드 또는 wobble 의 ATIP(Absolute Time In Pre-groove)로부터 트랙 정보를 읽고, 그 정보에 따라 track jump 또는 재차 탐색 제어를 수행한다.

이 때 탐색 제어시 소요되는 총 시간 T_{access} 는 다음과 같이 표현된다.

$$T_{access} = T_{seek} + T_{lat} + T_{pull-in} \quad (10)$$

여기서 T_{seek} 는 목표 트랙으로 이동하는 시간, T_{lat} 는 미동 액추에이터의 잔류 진동이 저감 되도록 기다리는 시간, 그리고 $T_{pull-in}$ 은 트랙 끌어들이에 걸리는 시간을 각각 의미한다.

3.2 트랙 끌어들이음과 상대 속도와의 관계

앞 절에서 기술한 바와 같이, 목표 트랙 근방에서 액추에이터는 탐색 제어에서 트랙 추종제어로의 전환이 필요하다. 일반적으로 광 디스크의 정보는 pit 또는 land 부에만 존재하기 때문에, 울

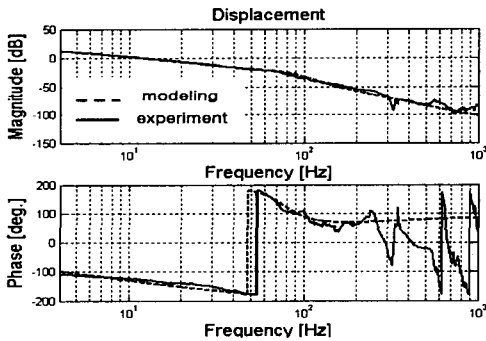


Fig. 2 Coarse actuator dynamics

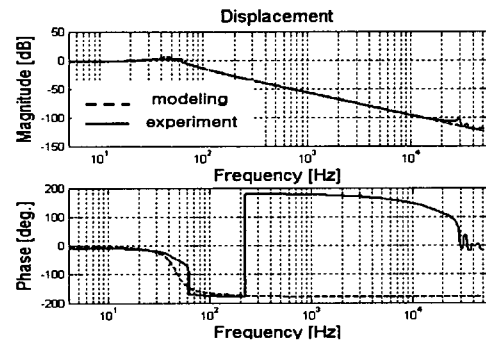


Fig. 3 Fine actuator dynamics

Table 1 Vibration properties of an optical pickup

바른 정보의 재생 및 기록을 위해서는 빔 스폿을 pit 또는 land 부에 끌어들이 필요가 있다. 이 과정을 트랙 끌어들이임이라 하며, 트랙 끌어들이임의 영향을 미치는 파라미터로는 (i) 서보 대역, (ii) 위상 여유, (iii) 목표 트랙으로부터의 트래킹 서보의 작동 위치, (iv) 목표 트랙과 빔 스폿의 상대 속도 등이 있다.^(5,6)

트랙 끌어들이시 사용되는 제어기는 트랙 추종 제어 루프와 동일하므로, 실제 트랙 끌어들이임의 영향을 미치는 조정 가능한 파라미터는 (i)트래킹 서보 on 위치, 그리고 (ii)목표 트랙과 빔 스폿의 상대 속도 2 개로 줄어들게 된다. 만일 광 픽업의 빔 스폿이 정지하고 있다면, 빔 스폿과 목표 트랙과의 상대 속도 V_{rel_stop} 는 다음과 같이 표현된다.

$$V_{rel_stop} = f(\omega_{rot}, X_{dis}, t) \quad (11)$$

여기서 ω_{rot} 는 디스크의 회전 속도를, X_{dis} 는 디스크의 편심 외란의 크기를, 그리고 t 는 트랙 끌어들이 시점을 의미한다. Fig.4 는 CD-ROM 40 배속에서 $75 \mu m$ 의 외란이 작용하였을 때, 정지된 빔 스폿이 관측하는 TES 을 보여준다. 실제 트랙 끌어들이가 가능한 실제 on track 영역은 TES 의 일부 (\pm slope 라고 표기된 영역)이고, 이 때의 물리적인 실제 길이가 약 1/4 track pitch 이므로 이로부터 상대 속도 계산이 가능하다. 그러나 실제 임의 탐색시 미동 액추에이터는 조동 액추에이터의 영향으로 진동하게 되므로, 빔 스폿과 목표 트랙과의 상대 속도는 잔류 진동의 속도가 더해진 아래의 식으로 표현된다.

$$V_{rel} = V_{rel_stop} + V_{res} \quad (12)$$

이 식으로부터 빔 스폿과 목표 트랙과의 상대 속도 V_{rel} 은 (i)잔류 진동이 0 이거나, (ii) 잔류 진동의 속도 V_{res} 가 상대 속도를 저감하는 방향으로 발생하면 상대 속도가 줄어들게 됨을 알 수 있다. 그러나 잔류 진동의 상대 속도 V_{rel} 을 저감시키기 위해서는, 외란과 잔류 진동의 주파수 및 위상이 일치하여야 하므로 잔류 진동을 이용한 상대 속도 저감은 거의 기대하기 어렵다. 이에 대한 자세한 내용은 3.3 절에서 상세히 다루었다.

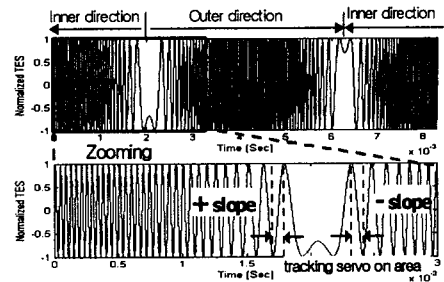


Fig. 4 Detected TES under tracking servo off condition: 9220 RPM & 75um eccentricity

3.3 임의 탐색 과정시 미동 액추에이터의 잔류 진동

임의 탐색시 조동 액추에이터의 움직임에 따라 미동 액추에이터가 가감속을 받게 되므로, 미동 액추에이터에 제어 입력이 가해지지 않는 경우 미동 액추에이터는 탐색시 진동하게 되며 또한 조동 액추에이터의 움직임이 정지한 경우에도 잔류 진동이 발생하게 된다.^(1,2) 광 디스크 드라이브에서 전형적으로 사용되고 있는 사다리꼴 속도 프로파일을 채택하는 경우, 잔류 진동에 가장 직접적인 영향을 미치는 요소는 가감속의 크기 및 가감속 적용 구간이다. 가속 및 감속 구간의 시간이 $2\pi/\omega_d$ 의 정수 배를 만족하면 잔류 진동이 최소화 되므로, 본 논문에서는 가감속 구간에 미동 액추에이터의 제어 입력이 이루어지지 않고 있다는 가정하에 잔류 진동이 최소한으로 발생하도록 조동 액추에이터의 속도 프로파일을 적용 하였다.⁽¹⁾ 앞서 구한 미동 액추에이터의 파라미터로부터 가감속 구간이 각각 $2\pi/\omega_d$ ($=0.0215$ sec) 로 선정하였고, 최대 속도는 250 mm/sec 로 그리고 이송 시가은 70 msec 로 가정하였다.

이상과 같은 속도 프로파일을 적용하는 경우 조동 액추에이터가 약 12 mm 를 이동하며, 이는 대략적으로 디스크 정보면의 1/3 에 해당하여 access time 으로 정의하는 거리와 거의 유사하다 Fig.5 의 결과로부터 잔류 진동의 속도가 최고 20 mm/sec 내외인 것을 알 수 있는데, 이는 일반적으로 트랙 끌어들이를 성공적으로 수행할 수 있는 목표 트랙과 빔 스폿의 상대 속도가 $10\sim 20$ mm/sec 인 것을 고려할 때 상당히 큰 값에 해당한다.⁽⁵⁾ 더구나 빔이 정지하고 있어도 디스크의 횡방향 진동 성분이 더해지므로 이에 대한 고려가 있어야 한다.

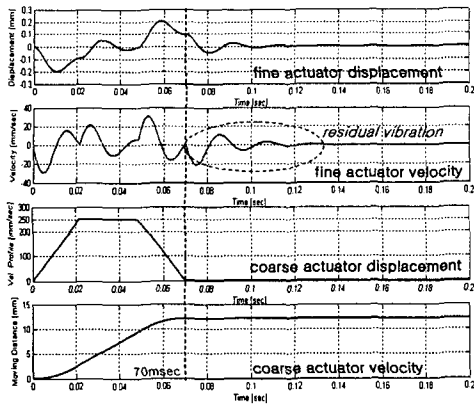


Fig. 5 Residual vibration of the fine actuator during seek motion

4. 트랙 끌어들이기 성능 향상을 위한 미동 액추에이터 제어

잔류 진동은 식(12)와 같이 목표 트랙과 빔 스폿의 추가적인 상대 속도를 유발한다. Fig.5의 시뮬레이션 결과에서 볼 수 있듯이 잔류 진동이 최소가 되는 속도 프로파일을 적용한다 하더라도 미동 액추에이터의 제어 입력이 적용되지 않는 경우, 잔류 진동이 완전히 0으로 수렴하는 시간 소요되어 트랙 끌어들이기 및 임의 탐색 성능을 저하시킨다.

실제 시스템에서는 임의 탐색 중 미동 액추에이터의 잔류 진동의 방지를 위하여, 임의 탐색 중 미동 액추에이터의 움직임을 피드백하여 진동을 억제하는 이용하는 센터 서보(center servo)를 적용시킨다. 그러나 센터 서보를 통하여 잔류 진동이 전혀 발생하지 않는다고 하더라도, 발생하는 상대 속도를 미동 액추에이터를 통하여 보상할 수 있는 점을 감안할 때 또 다른 지연 요소가 된다. 트랙 끌어들이기 성능 향상을 위한 미동 액추에이터의 영향을 살펴보기 위하여, CD-ROM 40 배속(9220rpm, 153.67Hz)에 해당하는 회전 주파수 성분인 $75\mu\text{m}$ 의 외란이 발생한다고 가정하였다

$$d(t) = 75 \sin(2\pi \cdot 153.67 \cdot t) [\mu\text{m}] \quad (13)$$

이 경우 정지한 빔 스폿에서 관측되는 TES는 Fig.6.(a)의 그림과 같다. 트랙 끌어들이기 능력은 이 상대 속도에 직접적인 영향을 받게 되는데, 어느 임계치 이상의 속도에서는 트랙 끌어들이기 행

하지 못하고 인접 트랙으로 밀리는 현상(track slip)이 발생한다. (5,6) 따라서 목표 트랙과 빔 스폿의 상대 속도를 줄이는 것은 트랙 끌어들이기 능력을 향상시키는데 매우 중요한 요소가 된다.

Fig.6의 (b), (c)의 그림은 미동 액추에이터를 외란과 같은 주파수 같은 위상을 가지고 입력을 각각 $60\mu\text{m}$ 와 $30\mu\text{m}$ 로 제어하였을 때, 관측되는 TES를 보여준다. 결과로부터 알 수 있듯이, 미동 액추에이터를 외란과 동일 주파수 동일 위상으로 제어함으로써, 목표 트랙과 빔 스폿의 상대속도를 저감시켜 트랙 끌어들이기 성능 향상을 가져옴을 알 수 있다. 이는 미동 액추에이터를 제어하지 않았을 경우는 매우 좁은 구간에서만 트랙 끌어들이기 가능하지만, 제어를 함으로써 트랙 끌어들이기 구간을 확장할 수 있다는 것을 시사한다. Fig.7.(a)는 $30\mu\text{m}$ 의 입력으로 외란과 동일 주파수 동일 위상으로 제어하였을 때 결과를 보여주며, Fig.7.(b)와 Fig.7.(c)는 외란과 주파수는 일치하나 위상에서 각각 5%, 10%로 차이가 발생하였을 때 발생하는 트랙과 빔 스폿의 상대 속도의 시뮬레이션 결과를 보여준다.

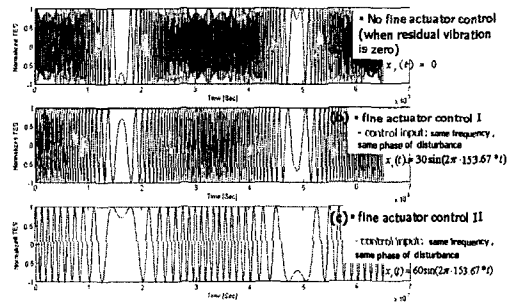


Fig. 6 Fine actuator control effect to reduce the relative velocity: (a) no control, (b) $60\mu\text{m}$ control, (c) $30\mu\text{m}$ control

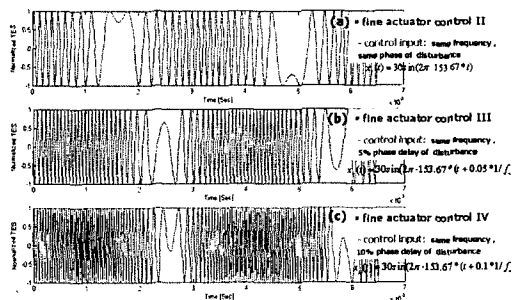


Fig. 6 Fine actuator control effect to reduce the relative velocity: (a) no control, (b) $30\mu\text{m}$ control, 5% phase delay, (c) $30\mu\text{m}$ control, 10% phase delay

이상으로부터 트랙 끌어들이 성능에 지배적 역할을 하는 트랙과 빔 스폿과의 상대 속도를 저감하기 위해서는, 발생하는 외란과 동일 주파수 동일 위상으로 외란의 크기와 유사하게 미동 액츄에이터를 제어하면 트랙 끌어들이 성능을 향상시킬 수 있다.

5. 결 론

임의 탐색 과정에서의 2 단 액츄에이터의 동역학적 분석과 더불어, 임의 탐색시 미동 액츄에이터의 잔류 진동의 분석을 행하였다. 잔류 진동은 트랙 끌어들이의 중요한 요소인 빔 스폿과 목표 트랙과의 상대 속도를 증가시키므로 센터 서보 등을 통하여 저감시켜야 한다. 그러나 조동 액츄에이터의 움직임이 종료된 후에도 미동 액츄에이터를 조동 액츄에이터의 움직임에 고정시키는 경우, 미동 액츄에이터의 움직임에 의하여 트랙 끌어들이 상대 속도를 저감시키는 역할을 수행치 못함으로써 또 다른 트랙 끌어들이 성능의 저하를 가져온다.

이를 위해서 본 논문에서는 미동 액츄에이터를 외란의 주파수와 동일 위상으로 입력을 가함으로써 상대 속도를 저감하여 트랙 끌어들이 능력을 향상시킬 수 있음을 보였다. 현재의 대부분의 고배속 재생에서는 CAV 모드를 채택하므로, 제안된 방법이 더욱 유용할 것으로 판단된다.

후 기

본 연구는 한국과학재단(R11-1997-042-11002-2)지원으로 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참 고 문 헌

- (1) 전홍걸, 박영필, 2000, "광픽업 잔류 진동 저감을 위한 이송 속도 분포 해석", 한국소음진동공학회지, 제 10 권, 제 2 호, pp. 221~228.
- (2) H.-J. Lee, C.-S. Han and S.H. Kim, 2000, "Reduction of Seek Time of Tracking Actuator with Pulsed Excitation in Optical Disk", Japan Journal of Applied Physics, Vol. 39, No.12A, pp.6546~6549.
- (3) T. W. McDaniel and R. H. Victora, 1997, "Handbook of Magneto-Optical Data Recording", Noyes Publications, New Jersey.
- (4) G. Bouwhuis et al., 1986, "Principle of Optical Disk Systems ", Adam Hilger Ltd, MA.
- (5) M. Suzuki, H. Tanaka and Y. Miura, 1990, "Pull-in Condition and Method of Tracking Servo in Optical Disk Drive", The Journal of the Institute of Television Engineers of Japan, Vol. 44, No.10, pp.1391-1397.
- (6) M. Suzuki, H. Tanaka, Y. Miura, Y. Suzuki, M. Mori, M. Takasago and Y. Tomono, 1993, "Advanced Direct Seeking System for 5.25" Magneto Optical Disk Drive", Japan Journal of Applied Physics, Vol.32, No. 11B, pp. 5371-5375.
- (7) K.B. Jin, T.Y. Doh, J.R. Ryoo and M.J. Chung, 1998, "Robust Direct Seek Control for High-speed Rotational Optical Disk Drives", IEEE Transaction on Consumer Electronics, Vol. 44, No.4, pp. 1273-1283. (1998)