

차세대 광 픽업 구동기를 위한 설계 변수

한창수*, 김수현**

Design Parameters of Optical Pickup Actuator for the Next Generation

Chang Soo Han* and Soo Hyun Kim**

ABSTRACT

The demands of high data transfer rate and high recording density in optical disk memory device are being increased. In this paper, 4 design parameters for next generation optical disk are investigated. As for the high data transfer rate, two design parameters such as driving acceleration and transmissibility are introduced. As the high recording density is concerned, the minimum linearity and the tilt of the actuator are introduced. Two kinds of pickup actuator are used to evaluate the validity of the parameters through the simulation and the experiment. The 4-wire actuator has good linearity but bad stability and tilt characteristics, while the rotary and axis actuator has good stability for the external vibration but bad linearity. It is demonstrated that the newly proposed design parameters are available to design and evaluate quantitatively the performance of the actuator for the next generation optical disk.

Key Words : Optical disk (광디스크), Pickup actuator (픽업 구동기), Design parameter (설계 변수), High-speed (고배속), High-density (고밀도), 4-wire (4-와이어)

1. 서론

ISDN (integrated service data network) 이나 VOD (video on demand) 등의 멀티미디어 시스템의 발달과 더불어 데이터의 저장에 있어서 대용량화, 고속화의 필요성은 점점 더 커지고 있으며, 저장 매체인 광디스크의 경우도 이 두 가지를 기본 개발방향으로 하여 많은 연구가 진행중이다⁽¹⁾. 1990 년도 후반에 등장한 DVD (digital versatile disk)는 이를 반영한 광디스크 장치로서 기존 CD (compact disc)의 7 배의 기록밀도와 약 4 배의 데이터 전송 속도를 가지고 있으며 고배속화 및 고밀도화를 위한 연구가 진행중이다⁽²⁾. 이러한 고배속화 및 고밀도화에

따른 광디스크 장치의 광 픽업 구동기 및 광학계는 현저한 성능 향상이 요구되고 있다. 그러나 아직까지 이러한 성능향상 부분을 설계에 반영하기 위한 체계적인 접근이 시도된 적이 없었다.

본 논문에서는 고배속, 고밀도화에 따른 광 픽업 구동기의 성능과 설계 변수와의 관계를 논의하고, 차세대의 광디스크용 픽업 구동기에 요구되는 설계 변수들을 고찰하였다.

2. 픽업 구동기 설계 변수의 고찰

2.1 새로운 설계 변수의 도출

Fig. 1 은 광디스크용 구동 장치의 구조를 나타

* 한국기계연구원 자동화연구부

** 한국과학기술원 기계공학과

낸 것이다. 구동부로는 디스크를 회전하는 스피들 모터와 광을 조사하고 반사된 광을 이용해 디스크 상에 기록된 신호를 읽거나 기록하는 픽업 헤드 (pickup head)부와 디스크의 안쪽에서 바깥쪽으로의 넓은 영역의 이송을 담당하는 이송모터 (feed motor)로 구성되어 있다. 그리고 픽업 헤드부는 레이저 다이오드, 포토 다이오드 등으로 이루어진 광학부와 대물렌즈를 탑재하고 전자기력에 의해 구동하는 구동부로 나누어진다. 픽업 구동기는 광학부에서 출사된 광을 디스크상에 정확히 초점화

수록 이러한 전통적인 설계 변수 중에서 보다 중요성이 높아진 것들이 생겼을 뿐 아니라, 새로이 고려해야 할 설계 변수가 필요하게 되었다. 예를 들어 디스크의 회전 속도의 향상을 통한 고배속 광 디스크 장치의 경우 디스크의 흔들림 가속도의 증가와 보다 빠른 탐색에 대응하기 위해 픽업의 구동 가속도가 중요한 설계 변수가 된다. 또한 스피들 모터의 고속 회전 및 보다 빠른 이송 모터의 추력에 의한 진동 때문에 구동기의 외란에 대한 안정성을 높이기 위한 설계상의 관심이 커지고 있다. 그리고 광디스크 트랙 간격의 협소화 및 보다 짧은 파장을 가지는 광을 이용한 고밀도화의 경우에 픽업 구동기의 성능 향상이 요구되는 부분으로는 추종 정밀도와 경사량을 들 수 있다. 예를 들어, DVD의 경우에 새로 개발되는 픽업 구동기는 경사량이 중요한 성능 변수로서 고려되고 있다. 추종 정밀도의 경우는 지금까지는 주로 구동기 보다는 광학부와 제어계의 성능에 의존하였지만, 보다 높은 추종 정밀도를 실현하기 위해서는 픽업 구동부의 성능이 추종 정밀도에 미치는 영향을 고려할 필요가 있다.

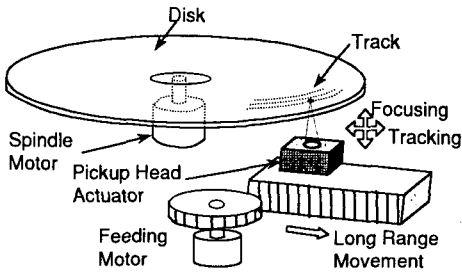


Fig. 1 Structure of the driving mechanism of the general optical disc

하기 위하여 디스크의 흔들림을 높은 정밀도로 추종하는 장치이다. 이러한 픽업 구동기는 일반적으로 2 축으로 구동하며, 디스크에 수직인 방향을 포커싱, 디스크 트랙의 반경방향을 트래킹이라 한다. 이 때 각각의 구동은 독립적으로 이루어진다. 광 디스크 장치의 픽업 구동기를 설계할 때 기본적으로 사용되는 설계 사양을 Table 1에 나타내었다. 이 성능은 1 배속 CD-ROM(compact disc-read only memory)을 기준으로 한 것이며, 포커싱 방향과 트래킹 방향의 구동기의 성능은 거의 유사하다. 이외에도 전체 크기, 저역 및 고역에서의 구동 감도 및 위상 특성도 설계 시 중요한 설계 변수이다.

본 논문에서는 기존에 고려되어 오던 설계 변수 중에서 고배속화 및 고밀도화에 따라 그 중요성이 두드러진 설계 변수와 새로이 고려할 필요가 있는 설계 변수로서 다음과 같은 4 가지의 설계 변수를 고려하였다.

- 1) 구동 가속도
- 2) 경사량
- 3) 최소 선형성
- 4) 진동 전달률

이 중에서 진동 전달률은 외란에 대한 안정성의 평가를 위해, 최소 선형성은 추종 정밀도와의 영향을 평가하기 위해 도입되었다.

Table 1 Specification of conventional pickup actuator

Items	Range
1 st resonant frequency	20 ~ 50 (Hz)
1 st resonant peak	10 ~ 25 (dB)
Spurious frequency	> 10 (kHz)
Drive acceleration	1 ~ 2 (G)
Displacement	±0.5 ~ ±1 (mm)

2.2 새로운 설계 변수의 분석

2.2.1 구동 가속도

픽업 구동기에 요구되는 구동 가속도는 식 (1)과 같이 주어진다.

그러나 광 디스크가 고배속화, 고밀도화가 진행될

$$\text{포커싱} : a_f = g + a_{f_disk} + K_f x_{f_max} / m + a_{f_vib} \quad (1a)$$

$$\text{트랙킹 : } a_t = a_{t_disk} + K_f x_{t_max} / m + a_{t_vib} + a_{jump} \quad (1b)$$

이 때, a_f, a_t 는 트랙킹 및 포커싱에서 각각 요구되는 구동 가속도이고, g 는 중력 가속도, a_{jump} 는 트랙 점프 시에 요구되는 가속도, a_{f_disk}, a_{t_disk} 는 디스크의 회전 가속도, a_{f_vib}, a_{t_vib} 는 외란 진동 가속도이며, K_f, K_t 는 스프링 상수, x_{f_max}, x_{t_max} 는 최대 변위, m 은 픽업 구동부의 중량을 나타낸다.

특히 두 방향의 구동 가속도에 필요한 세 번째 항은 구동기를 스프링-중량-댐퍼와 같은 이차 시스템으로 모델링할 수 있기 때문에 최대 변위를 이동했을 때의 힘을 중량으로 나눈 것이다. 이 때 디스크의 회전속도의 증가에 따라 디스크의 회전 가속도, 외란 진동 가속도, 트랙 점프 가속도가 커지게 된다. 이 중에서 고배속화가 될수록 가장 크게 영향을 미치는 부분은 디스크의 회전 가속도이다.

2.2.2 경사량

DVD 의 경우 고밀도화를 위해 레이저 다이오드의 파장을 줄이고, 개구수 (numerical aperture)를 높이는 방법을 사용하고 있다. 이 때 광학적 수차로 인해 픽업의 대물렌즈와 디스크간의 경사 허용량은 CD-ROM 에 비해 상대적으로 매우 작다. 전체 시스템의 허용 경사량 ϕ_y 은 다음과 같다⁽³⁾.

$$\phi_y \leq \frac{2W_{31}n^3}{(n^2 - 1)dNA^3} \lambda \quad (2)$$

이 때, W_{31} 은 광학부의 수차, d 는 디스크 기관의 두께, n 은 디스크 기관의 굴절률, NA 는 개구수, λ 는 레이저의 파장을 나타낸다.

전체 허용 경사량에서 구동기에 할당된 허용 경사량은 전체의 1/3 이하이다. 이 양은 고밀도화가 진행될수록 기하급수적으로 감소한다. 현재 대부분의 구동기는 기하학적 제작 공차만으로는 이러한 허용 경사량에 도달할 수 없기 때문에 조립과 조정과정을 통해 부분적으로 이 문제를 해결하고 있다. 그러나 차세대 고밀도 광디스크 장치에서의 경사 문제는 조립 단계가 아닌 설계 단계에서 해결책을 제시해야 한다. 이를 위해 경사를 일으키는 메커니즘과 경사의 발생 여제를 위한 해석 및

설계, 부가 장치에 대한 연구가 필요하다.

2.2.3 최소 선형성

디스크에 형성되는 빔의 형상은 다음 식과 같이 주어진다.

$$f = \lambda / (2\pi NA^2) \quad (3a)$$

$$r = k\lambda / NA \quad (3b)$$

여기서 f 는 초점심도, r 은 디스크 상에서의 빔의 최소 반경, k 는 광학계의 구성과 관련된 계수이다. 즉, 고밀도화가 진행될수록 NA 를 높이고 λ 가 작은 광원을 사용하게 된다. 따라서 추종해야 할 추종에러 역시 작아지게 된다. 이 때 고려해야 할 설계 변수가 구동기의 최소 선형성이다. 일반적으로 구동기의 선형성이란 구동하는 구간에 대해 단위 입력에 대한 출력 변위의 일정성의 정도이다. 그러나 본 연구에서는 픽업 구동기의 최소 구동입력에 대해 선형성이 보장되는 최소 변위 구간을 최소 선형성으로 정의하고 이를 고밀도 광픽업 구동기의 설계 변수의 하나로 선정하였다. 이는 구동기의 최소 선형성이 구동기에 할당된 추종 허용오차보다 작게 되도록 하는 것이 바람직하기 때문이다.

2.2.4 진동 전달률

디스크의 회전수가 높아짐에 따라 스피들 모터의 회전에 의한 진동이나 고속 추종을 위한 피드 모터의 추력이 픽업 구동기에 외란으로 작용하게 된다. 이는 결국 데이터 재생에 실패하게 되는 주요 원인이 되며, 특히 휴대 환경이 요구되는 곳에서는 시스템 전체의 흔들림의 외란이 추가되어 그 영향이 더욱 커지게 된다. 따라서 구동기는 외란에 대해 안정된 구조를 가질 필요가 있다. 진동의 유입을 막기 위해 픽업 구동기의 베이스에 댐퍼를 설치하는 경우도 있지만 이는 픽업 구동기의 조립 정도를 나쁘게 하므로 바람직하지 못하다. 또한 제어계에서 이러한 외란의 영향을 보상하려는 연구가 시도된 적이 있으나 추가적인 센서의 필요 때문에 실용화에 한계가 있다. 그러나 이러한 진동 문제의 해결에 선행적으로 해야 할 것은 픽업 구동기의 외란 진동 특성에 대한 정량적인 평가 방식을 도출하는 것이다. 이를 위해 본 연구에서는 진동 전달률을 고배속용 광 픽업 구동기의

진동 특성을 평가하기 위한 성능 변수로 도입하였다.

진동전달률(T_A)은 다음과 같이 정의하였다.

$$T_A = \frac{\text{구동 렌즈부의 진동량}}{\text{픽업구동기의 베이스 가진량}} \quad (4)$$

T_A 가 1 이면 이는 이상적인 시스템으로서 외란에 의한 영향을 전혀 받지 않는다는 것을 의미한다.

본 절에서는 고배속과 고밀도용 광 디스크의 구동기를 위한 설계 변수로서 기존의 구동 가속도와 경사에 최소 선형성과 진동전달률을 추가적으로 고려하여 4 개의 설계 변수를 선정하였으며, 각 변수의 정의와 중요성에 대해 논의하였다.

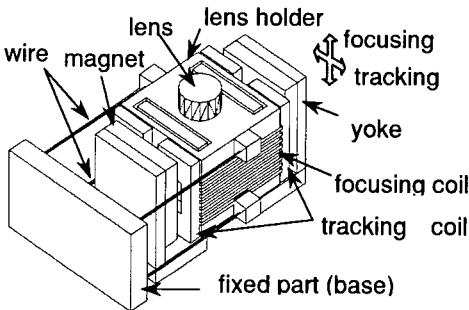
2.3 기존 구동기의 성능 해석 및 평가

광 디스크 장치에 사용되는 일반적인 구동기로는 지지 방법에 따라 크게 외팔보 방식과 축 회

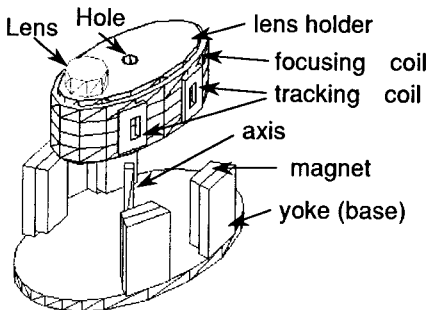
전 방식으로 나눌 수 있다. 외팔보 방식은 대물렌즈를 포함하는 가동부가 고정단과 스프링 방식으로 지지한 것이며, 축회전 방식은 축을 중심으로 상하 운동과 회전 운동을 하는 것이다. Fig. 2 는 각각 외팔보 방식의 대표적인 구동기인 4-wire 구동기와 축회전 구동기의 대표적인 구동기를 보여준다. 본 연구에서는 위의 두 구동기의 형태를 가진 상용화된 구동기를 중심으로 네 가지의 제시된 설계 변수에 대해 분석하고, 고배속 및 고밀도와의 관계를 고찰하고자 한다.

2.3.1 구동 가속도

Fig. 3 는 현재 상용화된 여러 제품들에 있어서 배속에 따른 최대 구동 가속도의 측정 결과를 나타낸 것이다. 즉, 픽업 구동기에서 필요로 하는 최대 구동 가속도가 디스크의 회전 가속도에만 의존하면 회전 속도의 제곱에 비례해서 증가해야 하지만 측정된 결과는 증가 양상을 보이지는 않지만 일정한 비례 관계를 가지지는 않는 것으로 나타났다. 이는 주변 장치들의 성능에 의해서도 민감한 영향을 받기 때문인 것으로 판단된다.



(a) 4-wire type



(b) Rotary and axis type

Fig. 2 Two kinds of pickup actuator which are mostly used.

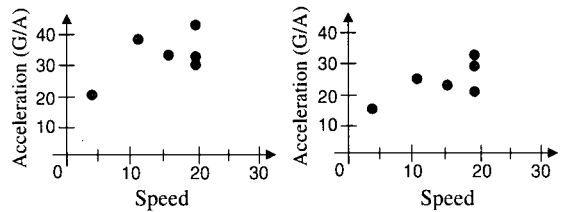


Fig. 3 Disc Speed Vs. Drive Acceleration

구조적인 측면에서 살펴보면 Fig. 2 에서 제시된 두 구동기의 구동 가속도는 구동부의 중량과 자기회로부의 효율에 의해 결정된다. 이 때, 중량 측면에서는 축회전 구동기는 축을 중심으로 렌즈 중량에 대해 발란스를 위한 중량이 요구되므로 4-wire 에 비해 경량화가 불리하다. 그러나 자기회로 측면에서는 포커싱 코일의 90%이상을 사용하므로 4-wire 의 경우의 약 50%에 비해 효율이 우세한 편이다. 결과적으로 구조적인 측면에서 볼 때 두 구동기의 구동 가속도는 제한 조건 및 설계에 따라 달라지므로 어느 구동기도 비교우위에 있다고 할 수는 없다. 구동 가속도를 높이기 위해서는 자

기회로의 효율을 높이고 중량을 낮추는 것이 필요하다. 축 회전형의 경우는 중량 평형의 결점을 보충하기 위해 렌즈와 반대편 중량을 제외한 나머지 부분의 경량화가 요구되며, 4-wire 형의 경우는 코일의 사용 효율을 높이기 위한 구조의 설계가 필요하다.

2.3.2 경사량

경사에 관해서는 지금까지 4-wire 구동기의 경우에 대해 이론적인 해석과 실험에 대한 연구 결과가 보고되었다⁽⁴⁾⁽⁵⁾. 특히 4-wire의 경우에 경사는 구동 원점에서 트랙킹과 포커싱 방향으로 오프셋(offset)이 있을 때 발생하는 모멘트에 의해 영향을 받게 되는 접선 방향의 경사(이하 이를 접선경사라 한다)가 크므로 이를 줄이는 것이 중요하다. 이전 논문의 결과를 토대로 해석 및 실험한 결과를 기하학적인 구조로부터 구한 축회전 구동기의 최대 경사량과 비교하였다⁽⁴⁾. Fig. 4는 경사를 측정하기 위한 실험 장치를 보여준다.

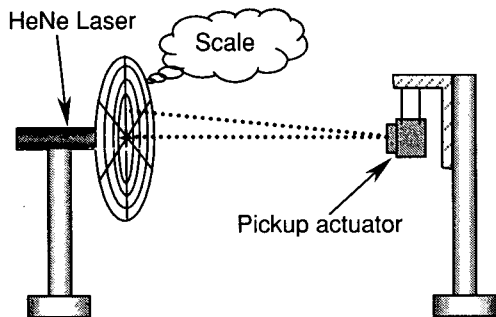


Fig. 4 Measurement setup for tilt

해석 및 실험 결과를 Table 2에 나타내었다. 측정 대상은 상용화된 4-wire 구동기와 축회전 구동기이다. 해석된 결과는 디스크의 접선방향에 대한 최대 경사량이며, 다른 방향에 대해서는 이 방향의 경사량보다 작게 나타났으므로 문제가 되지 않는다. 4-wire 구동기의 경사량은 해석과 실험이 잘

Table 2 Comparison of tangential tilt in two kinds of actuator

	Simulation	Experiment
4-wire	0.22°	0.25°
Rotary and axis	0.1°	0.04°

일치하였으며, 축 회전의 경우는 기하학적 허용오차보다 작은 값으로 측정되었다.

2.3.3 최소 선형성

다음 설계 변수로서 최소 선형성에 대해서는 기존에 발표된 실험 결과에 의하면 4-wire의 경우

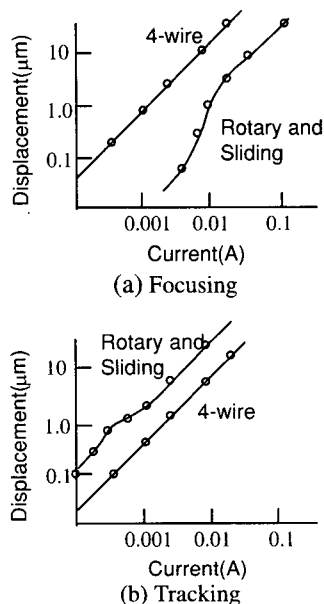


Fig. 5 Measurement results of the minimum linearity⁽⁶⁾

는 0.1 μm 이하이고, 축회전형의 경우는 2 μm 정도였다. 이는 축회전의 경우 선형적인 제어를 부착한 상태에서 미스트랙 추종 시에 불리한 영향을 주는 것으로 나타났다. Fig. 5는 Matsui의 실험 결과를 보여준다⁽⁶⁾. 그러나 이 연구 결과는 특정한 구동기와 일정한 제어를 대상으로 했기 때문에 구동기에 따라 그 결과가 다르게 나타날 수 있다. 위에서 선정한 두 종류의 구동기를 대상으로 직접 실험한 결과는 위의 결과와 동일한 패턴으로 나타났으며, 축회전형의 경우는 그 성능이 약간 개선되어 1 μm 정도의 최소 선형성을 보였다. 축회전 구동기의 경우 축의 가공과 코팅의 영향에 따라 최소 선형성이 달라지므로 이를 고려한 보다 객관적인 비교 연구가 이루어져야 한다. 여하튼 근본적으로 마찰이 존재하는 축 회전형이 최소 선형성 측면에서 마찰이 없는 외팔보형에 비해 상대적으로 불리하며, 그 영향이 추종정밀도와 추종 안정성에 영향을 미침을 알 수 있다.

2.3.4 진동 전달률

마지막으로 고려할 설계 변수인 진동전달률의 측정을 위해 Fig. 6 와 같은 방법으로 실험 장치를 구성하였다. 포커싱 및 트랙킹 방향에 대한 측정을 위해서는 구동기의 운동 방향이 가진기의 운동 방향과 일치하도록 정렬한 후 실험을 수행하였다. 4-wire 및 축회전 구동기에 대하여 측정된 결과를 Fig. 7 에 나타내었다. 포커싱 방향의 진동 전달률의 1 차 공진주파수는 구동기의 1 차 고유 진동수와 일치하는 것으로 나타났으며, 외팔보의 경우는 트랙킹 방향의 진동 전달률의 1 차 공진 주파수도

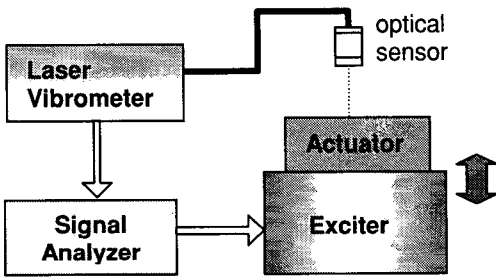
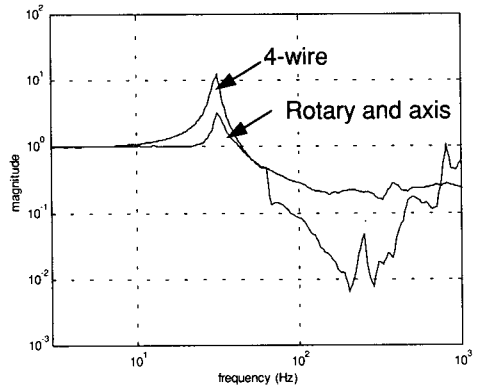


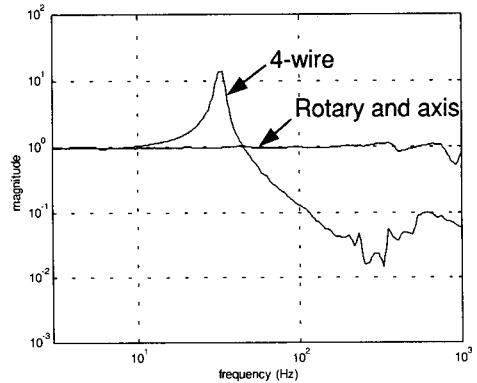
Fig. 6 Measurement setup of the transmissibility

고유 진동수와 일치하는 것으로 나타났다. 단지, 축회전 구동기의 트랙킹 방향의 진동 전달률이 측정된 주파수 범위에서 1 에 가까운 안정된 특성을 가지는 것으로 나타났다. 이는 축 회전형이 축에 대해 중량 평형된 구조를 가지고 있기 때문이다.

결론적으로 고배속에 관련된 구동 변수 측면에서 볼 때, 스피들 모터의 회전 진동이나 디스크 진동 및 조동 구동기의 빠른 이송으로 인한 진동과 같은 큰 가진량이 픽업 구동기에 유입될 때, 중량 평형의 구조를 가진 축회전형이 유리하며, 고밀도 광디스크의 경우에는 허용 경사량 측면에서는 축회전이 유리하지만, 추후 트랙 밀도가 더 높아짐으로 인해 추종 정밀도와 안정성이 요구되는 경우에는 4-wire 형이 더 적합한 것으로 판단된다. 그리고 고밀도와 고배속이 동시에 향상된 광디스크용 픽업 구동기의 설계 시 이러한 4 가지 설계 변수에 대해 각각 그 중요성에 따라 가중치를 반영해서 새로운 형태의 성능이 우수한 구동기를 개발하는 데 중요한 설계 자료로 활용할 수 있을 것이다.



(a) Focusing



(b) Tracking

Fig. 7 Measurement results of the transmissibility

3. 결론

본 논문에서는 광디스크의 고배속화, 고밀도화에 따라 픽업 구동기의 설계 및 평가를 위해 고배속과 관련된 설계 변수로 진동전달률과 구동 가속도 그리고 고밀도와 관련된 설계 변수로 경사량과 최소 선형성을 선정하고 이를 고찰하였다. 그리고 대표적인 픽업 구동기인 축회전형과 4-wire 구동기에 대해 각각 해석과 실험결과를 통해 정량적으로 두 구동기의 성능을 비교, 평가하였다. 향후 차세대 고밀도, 고배속용 광디스크 장치를 위한 픽업 구동기의 선정 및 설계, 평가를 위해 네 가지 설계 변수가 유용하게 활용될 수 있을 것이다.

참고문헌

1. Y. Mitsuhashi, "Optical Storage: Science and Technology," Japanese Journal of Applied Physics Vol. 37, pp. 2079~2083, 1998.
2. F. Yokogawa et al., "The Path from a Digital Versatile Disc (DVD) using a Red Laser to a DVD using a Blue Laser," Japanese Journal of Applied Physics Vol. 37, pp. 2176~2178, 1998.
3. L. J. Grassens, "Optical storage architecture from an actuator point of view," Proceedings. Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers, Vol. 2338, pp. 289~294, 1994.
4. 한창수, 서현석 외, "광디스크용 4-와이어 구동기의 경사에 관한 연구," 한국정밀공학회지, 제 15 권, 제 7 호, pp. 52~60, 1998.
5. M. Nagasawa, "Development of two-axis actuator with small tilt angles for one-piece optical heads," Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 35, pp. 392~397, 1996.
6. T. Matsui., "Optical head lens actuator for high information bit rate," IEICE Trans. Electronics, Vol. E77-C, No. 10, pp. 1581 - 1586, 1994.