

광 픽업 구동기의 최적설계에 관한 연구

A Study on the Optimum Design Method of Optical Pick-Up Actuators

°김선모*, 김석중**, 이용훈**

S.M.Kim, S.J.Kim, Y.H.Lee

Keywords : Optical Pick-Up Actuator(광 픽업 구동기), CD/DVD, Optimum Design(최적설계)

ABSTRACT

In this paper, we propose an optimum design method for optical pick-up actuators. Using this method, we can design an optimal pick-up actuator having the required tracking/focusing performances. Also, the designed actuator has the small mass, force constant for small size of magnetic circuit and large resistance for reduction of heat generation. Simulation results show that this method can be potentially implemented in all the pick-up actuators.

1. 서론

광 픽업 구동기는 광 기록 기기인 CD/DVD에 널리 사용되고 있는데, 점점 고배속, 고밀도화 되어가고 있는 광 기록기기의 요구에 따라 픽업 구동기도 고성능화 되어가고 있는 추세이다. 광 픽업 구동기의 성능은 일반적으로 저주파수 대역과 고 주파수 대역의 대응력이 좋아야 함을 의미하는데, 이를 위해서 요구되는 트랙킹/포커싱 목표사양을 만족시켜야 한다. 이러한 사양들은 일반적으로 디스크 규격과 데크(Deck) 및 피딩계(Feeding System)로부터 들어오는 외란과 안정된 서보를 위한 보상기의 성능을 고려한 후 결정되는 값들이다. 트랙킹/포커싱 사양이 결정되면, 이를 만족시키기 위해서 CAE를 이용한 상세설계를 하게 된다.

고성능이면서도 크기가 작은 구동기 개발에 대한 연구가 있었으며[1,2], 광 픽업 구동기의 조립, 제작에 있어서 발생할 수 있는 오차 인자들이 성능에 미치는 기여도를 분석한 논문이 있었다.[5] 이 밖에도 구동기의 소형화, 고성능화에 대한 연구가 많이 있었으나, 대부분 구조적인 측면이나 광 헤드, 자기 회로부 등에 대한 CAE를 이용한 해석을 통한 성능개선을 주로 다루고 있다. 또한, 광 픽업 구동기의 근접시간을 최소화 시키려는 연구가 있었으며[3], 트랙킹/포커싱 사양을 만족시키는 구동기의 최적설계에 대한 연구가 있었다.[4] 이 경우, 여러 사양을 다목적함수로 두는 최적설계 기법을 적용하였다. 이 외에 신경회로망을 이용하여 이단 구동기의 탐색시간 및 여러 사양을 실시간으로 계산할 수 있는 기법도 제안되었다.[6] 이러한 기존의 연구에서는 구동기의 구조적인 측면에서 접근한 경우가 많았고, 최적설계를 하더라도 구동기의 사양을 중요시 하여 사양자체를 목적

* 삼성전자 디지털미디어 연구소
Opto-Mechatronics Team
E-mail : sunmokim@samsung.co.kr

** Opto-Mechatronics Team

함수로 정하고 설계를 수행하였다. 본 논문에서는 광 픽업 구동기의 최적설계를 다루는데 있어서, 기존의 사양뿐만 아니라 구동기의 전체질량, 자기 회로부의 크기와 코일에 흐르는 전류에 의한 열 발생 등을 고려하여 구동기를 최적 설계하는 방법을 제안한다.

2. 광 픽업 구동기의 사양에 대한 수학적 모델링

광 픽업 구동기의 트래킹/포커싱 사양은 전술한 바와 같이 디스크 규격과 데크(Deck) 및 피딩계(Feeding System)로부터 들어오는 외란과 안정된 서보를 위한 보상기의 성능을 고려한 후 결정된다. 일반적인 사양으로는 DC 감도, AC 감도, 고유주파수 그리고 Q 값을 사용하는데 이러한 값들이 구동기의 성능을 좌우하게 된다. 이 장에서는 먼저 이러한 사양들에 대한 수학적 모델링을 다룬다. 광 픽업 구동기는 2축 구동기이다. 즉, 포커싱/트래킹 방향으로 구동되는 일종의 VCM 이므로, 질량, 스프링 그리고 댐퍼를 가진 간단한 시스템으로 모델링 될 수 있다. 따라서 트래킹/포커싱 방향으로의 감도식을 다음과 같이 유도할 수 있다.

$$\frac{X(\omega)}{V(\omega)} = \frac{\phi}{\sqrt{\left(KR - (MR + CL)\omega^2\right)^2 + \left((CR + \phi^2)\omega - ML\omega^3\right)^2}} \quad (1)$$

여기서, X 와 V 는 각각 트래킹/포커싱 방향으로의 변위와 인가되는 전압을 나타내며, ω 는 주파수를 나타낸다. 또한, M, K, C 는 각각 구동기의 질량, 스프링 상수, 감쇠계수를 나타내고, ϕ, R, L 은 각각 힙 상수, 코일의 저항, 코일의 인덕턴스를 의미한다. 따라서 식(1)로부터 구동기의 사양을 Table 1 과 같이 유도할 수 있다.

Table 1 Mathematical modeling for performances of an optical pick-up actuator

DC Sensitivity (S_{DC})	$\frac{\phi}{KR}$
AC Sensitivity (S_{AC} at 200Hz)	$\frac{\phi}{\sqrt{DEN}}$ $DEN = \left(KR - (MR + CL)\omega^2\right)^2 + \left((CR + \phi^2)\omega - ML\omega^3\right)^2$
Natural Frequency (ω_n)	$\left(\frac{KR}{MR + CL}\right)^{\frac{1}{2}}$
Q Value (Q)	$20 \log \left(\frac{X(\omega_n)}{V_{S_{DC}}} \right)$

Table 1 에서 구동기의 질량, 스프링 상수, 감쇠 계수, 힙 상수, 코일의 저항, 코일의 인덕턴스 등이 최적설계의 설계변수에 해당된다.

3. 목적함수와 구속조건의 설정

이 장에서는 광 픽업 구동기를 최적 설계하기 위하여 설계의 목적함수와 구속조건을 정의한다. 전술한 바와 같이 기존의 연구에서는 구동기의 목표사양을 주로 목적함수로 이용해 왔다. 이러한 경우, 다목적함수의 최적 설계문제가 되며 각각의 목표사양을 정확히 만족하는 최적의 설계변수를 찾아내는 것이 힘들다. 본 논문에서는 목표사양을 목적함수 대신에 구속조건으로 사용한다. 또한, 여러 개의 목표사양을 정확하게 만족시키기 어렵기 때문에, 오차범위를 설정하여 실제 목표사양과 계산 치와의 오차가 이 범위 내에 들어오도록 관리한다. 식(2)와 식(3)은 각각 광 픽업 구동기의 최적설계에 대한 목적함수와 구속조건을 나타낸다.

$$J = \frac{M\phi}{R} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \psi_1 &: |S_{DC} - S_{DC}^T| \leq e_1 \\ \psi_2 &: |S_{AC} - S_{AC}^T| \leq e_2 \\ \psi_3 &: |\omega_n - \omega_n^T| \leq e_3 \\ \psi_4 &: |Q - Q^T| \leq e_4 \end{aligned} \quad (3)$$

식(2)에서 알 수 있듯이, 목적함수(J)를 최소화 한다는 것은 구동기의 질량과 힘 상수를 최소화하고 코일의 저항을 최대로 한다는 것을 의미한다. 이것은 구동기의 크기와 질량을 최소화 함으로써 고배속, 고성능 드라이브의 요구에 대응한다는 것이며, 힘 상수를 최소화 함으로써 자기회로부의 부담을 줄여주겠다는 의미가 들어 있다. 또한, 코일에 흐르는 전류에 의한 발열도 문제가 되기 때문에, 가능한 저항을 크게 함으로써 이러한 발열을 감소시키겠다는 의미가 목적함수에 들어 있는 것이다. 실제로 목표사양은 식(3)의 구속조건으로부터 만족되므로, 설계자는 오차범위(e)를 적절히 설정하면 구속조건을 만족하면서 목적함수를 최소화 시키는 최적의 설계 변수들을 얻을 수가 있다. 이때, 오차범위는 수치적인 문제와 구동기 제작상의 문제, 테크 및 피딩계로부터의 외란 등을 고려하여 적절히 선정한다.

4. 최적설계 수행 결과

3장에서 정의된 목적함수와 구속조건을 이용하여 광 픽업 구동기의 최적설계 시뮬레이션을 수행해 보았다. 사용된 최적설계 프로그램은 SQP 이고 Table 2 와 Table 3 은 각각 목표사양과 설계변수의 설계범위를 나타낸다. 이러한 값들은 실제

픽업 구동기 설계에서 사용되는 값을 기준으로 하였다.

Table 2 Target Performances

S_{DC}^T	1 [mm/V]
S_{AC}^T	20 [μ m/V]
F_n^T	35 [Hz]
Q^T	10 [dB]

Table 3 Design variables of a pick-up actuator

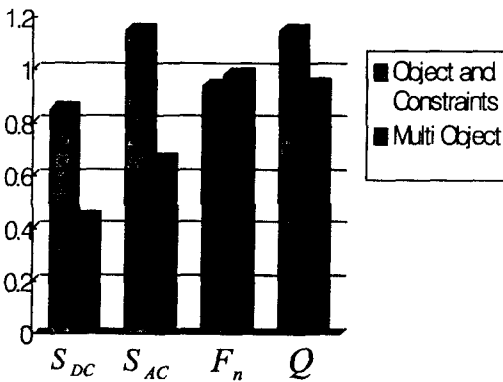
M [Kg]	4E-4 ~ 8E-4
K [N/m]	20 ~ 40
C [Ns/m]	0.01 ~ 0.05
ϕ [N/A]	0.1 ~ 0.2
R [Ω]	3 ~ 7
L [H]	2E-5 ~ 1E-4

또한, 오차범위(e)는 각각 15%로 설정하였다. 이와 같은 조건에서 임의의 초기조건으로 많은 시뮬레이션을 수행하였다. 초기조건에 관계없이 시뮬레이션 결과는 일정하였고 이것은 제안된 목적함수와 구속조건이 수렴성(Global Minimum)을 보장한다는 것을 의미한다. Table 4 에 결과를 나타내었다. 설계된 사양 값들은 오차범위에 있고 고유주파수를 제외한 3 개의 사양은 경계 값을 갖는 것을 알 수 있다.(Active Constraints)

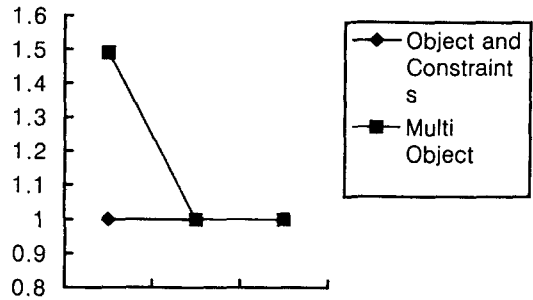
Table 4 Optimum design variables and performances

Designed Variables		Designed Performances	
M [Kg]	4.7E-4	S_{DC}	0.85
K [N/m]	20	S_{AC}	23
C [Ns/m]	0.025	F_n	32.83
ϕ [N/A]	0.1	Q	11.5
R [Ω]	6.02		
L [H]	1E-4		

Figure 1 은 제안된 최적설계 방법과 목표사양을 다목적함수로 둔 경우를 비교한 것이다. 다목적함수로 둔 경우에서 각각의 목적 치에 대한 가중치는 균등하게 1/4 로 하였다. 그림(a)에서 목표사양 값을 1 로 보았을 때, 다목적함수를 사용한 경우보다는 제안된 설계 방법이 비교적 목표 사양치를 잘 만족시키는 것을 알 수 있다.



(a) Normalized Performances



(b) Normalized optimum values

Fig. 1 Comparisons of proposed method and multi objective method

또한, 그림(b)는 M , ϕ , R 에 대한 비교를 나타내는데 최적 설계된 ϕ , R 의 값은 서로 같지만, 구동기의 질량(M)은 제안된 방법이 더 작다는 것을 알 수 있다. 즉, 제안된 방법은 원하는 목표사양을 만족시키면서 더 작고 가벼운 질량의 구동기를 만들 수 있도록 구동기의 질량을 최소화 시켜준다.

5. 결론

본 논문에서는 광 픽업 구동기의 최적설계를 다루는데 있어서, 기존의 사양뿐만 아니라 구동기의 전체질량, 자기회로부의 크기와 코일에 흐르는 전류에 의한 열 발생 등을 고려하여 구동기를 최적 설계하는 방법을 제안하였다. 시뮬레이션 결과로부터 다목적함수를 이용하는 최적설계 방법보다 목표사양을 더 잘 만족시키면서 설계자가 추가적으로 요구하는 목적을 추구할 수 있는 설계 방법임을 알 수 있다. 이러한 방법은 CD/DVD의 광 픽업 구동기의 설계에 적극 활용될 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

1. Tetsu Yamamoto, Takashi Yumura and Hiroo Shimegi. 1986. Development of high performance head positioner for an optical disk storage system. *Proc. SPIE*. **695**. pp. 153-159.
2. Junichi Ichihara, Koichi Tezuka and Koichi Ogawa. 1992. Development of actuators for small-size magneto-optical disk drives. *Jpn. J. Appl. Phys.*, **31**, No.2B, pp. 519-523.
3. J. Arthur Wagner. 1983. The actuator in high performance disk drives : Design rules for minimum access time. *IEEE Trans. on Mag.* **19**, No.5. pp. 1886-1688.
4. Moon G. Lee, Dae Gab Gweon and Sun Mo Kim. 1997. Modelling and optimum design of a fine actuator for optical heads. *Mechatronics*. **7**, No.7. pp. 573-588.
5. In-Ho Choi, Won-Eull Chung, Young-Joong Kim and et al.. 1998. Compact Disk/Digital Video Disk(CD/DVD)-Compatible Optical Pickup Actuator for High Density and High Speed. *Jpn. J Appl.Phys.*, **37**. pp. 2189-2196.
6. Sun Mo Kim and Dae Gab Gweon. 2000. 최소 탐색시간을 위한 2 단 구동기의 최적 설계법, 한국소음진동 공학회 창립 10 주년 학술대회. pp. 1533-1539.