

디스크 드라이브 이송계의 해석 및 설계에 관한 연구

A Study on the Analysis and Design for Disc Drive Feeding System

°김선모*, 엄재용**, 최한국**, 강희중**, 임홍균**

S.M.Kim, J.Y.Eom, H.K.Choi, H.J.Kang, H.K.Yim

Keywords : Optical Pick-Up(광 픽업), Feeding System(이송계), Step Motor, Optimum Design(최적설계)

ABSTRACT

In this paper, we deal with the analysis and optimum design of a disc drive feeding system. Using this proposed design method, we can determine an optimal step motor and lead-screw for the shorter seek time and required seek resolution. Simulation results show that this method can be potentially implemented in the design of a feeding system.

1. 서론

광 픽업 기술에 있어서 구동기의 주요성능으로 는 저역/고역 감도, 고유주파수, Q값 및 탐색시간 (Seek Time)등을 들 수 있는데, 주로 2축 구동기에 관계된 성능이다. 이 중에서 탐색시간은 픽업의 근접시간(Access Time)에 가장 큰 영향을 미치므로 이러한 탐색시간을 줄이기 위해서는 구동기의 무게와 크기를 최소화하고 구동력과 강성을 증가 시켜야 한다. 실제적으로 탐색시간에 크게 영향을 미치는 부분은 픽업헤드를 장착하고 이동하는 이송계(Feeding System)라고 할 수 있기 때문에, 이송계를 구성하는 부분에 대한 해석 및 설계가 중요하다 할 수 있다.

먼저 광픽업 이송계(피딩계)에 관련된 기존의 연구를 소개한다. 피딩계의 고유진동수와 고유진동형상을 구하여 진동원인을 규명하고, 이를 바탕으로 기울어짐의 강제운동에 의한 진동을 제거하기 위해 댐퍼의 최적위치 선정 방법을 제시한 논문이 있었으며[1], ER 유체를 이용한 CD-ROM 마운트로 피딩계의 고유진동 주파수 영역에서 감쇠 효과를 향상시킨 연구가 있었다.[2] 이러한 논문들은 스피들 모터의 고속 회전과 외란에 의한 진동이 피딩계에 미치는 영향을 규명하고 이를 저감하기 위한 댐퍼 설계를 주로 다루고 있다. 또한, 가변구조제어를 스텝모터의 위치제어에 적용하고, 최적제어이론을 도입하여 목표치 도달시간을 최소로 하는 슬라이딩 면의 기울기의 결정방법을 제시한 논문도 있었다.[3] 이 밖에 탐색시간(Seek Time)을 짧게 하고 2축 구동기의 성능치를 만족시키기 위한 설계 방법에 대한 연구가 있었으며[4], 2단 픽업 구동기에 있어서 최적 궤적(Trajectory)과

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

** Opto-Mechatronics Team

최적탐색시간에 대한 연구도 있었다.[5-7] 이러한 연구 결과들은 대부분 2단 구동기에 대한 탐색시간의 최소화를 다루고 있다. 그러나 실제적으로 탐색시간에 크게 영향을 미치는 부분은 픽업헤드를 장착한 이송계임으로, 이송계를 구성하는 각 부분요소와 마찰등과 같은 외란이 이송계의 성능에 미치는 영향을 충분히 분석해야 할 필요가 있다.

따라서, 본 논문에서는 이송계의 성능을 달성하기 위하여 탐색시간의 최소화를 위한 이송계에 대한 해석과 이송계를 구성하는 각 부분 요소들에 대한 최적설계를 다루고자 한다.

2. 광 픽업 이송계의 수학적 모델링

이송계의 개략적인 구조는 Fig. 1 과 같다.

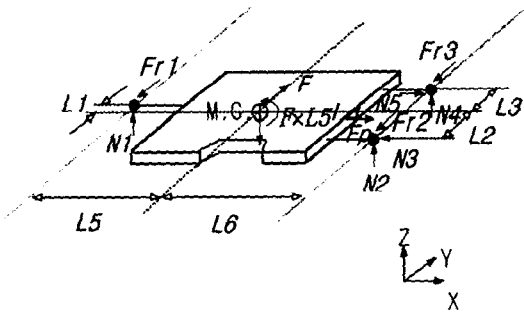


Fig. 1 Free Body Diagram of Feeding System

그림에서 $L1-L6$ 는 무게중심에 대한 가이드부 지지점의 위치를 나타내고, $N1-N5$ 는 지지부에 작용하는 반발력을 나타낸다. 또한, $Fr1-Fr3$ 는 마찰력을 의미하고 F 는 이송부에 작용하는 힘을 나타낸다. 따라서 운동방정식은 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 & -1 & 0 \\ \mu_g & \mu_g & \mu_g & \mu_g & \mu_g & M \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ L1 & -L2 & 0 & L3 & 0 & 0 \\ L5 & -L6 & 0 & -L6 & 0 & 0 \\ -\mu_g L5 & \mu_g L6 & \mu_g L6 + L2 & \mu_g L6 & \mu_g L6 + L3 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\times \begin{bmatrix} N1 \\ N2 \\ N3 \\ N4 \\ N5 \\ a \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_p \\ F \\ Mg \\ 0 \\ 0 \\ FLS + F_p LA \end{bmatrix} \quad (1)$$

마찰계수(μ_g)를 알고 있을 때 식(1)를 풀면 반발력 Ni 와 이송부(Sled)의 가속도(a)를 알 수 있다.

식(1)에서, 이송부의 질량(M)과 지지점의 위치(Li), 이송부 리드스크류에 작용하는 초기 가압력(Free Load, Fp) 등은 일반적으로 이송부 설계자에 의해서 결정되는 사항이므로, 이송부에 작용하는 힘(F)만이 미지수로 남게 된다. 힘 F 가 결국 이송부를 가속하여 원하는 목표트랙까지 도달하게 하기 때문에, 원하는 최소의 탐색시간을 얻기 위해서는 이러한 힘 F 를 가/감속 구간에서 적절한 값으로 유지하여야 한다. 이러한 문제는 결국 Fig. 2 와 같이 이송부의 속도 궤적을 가정하면, 가/감속 시에 요구되는 구동력($F1, F3$)과 전환(Switching Time $t1, t2$) 시간을 최적으로 구하는 문제가 된다.

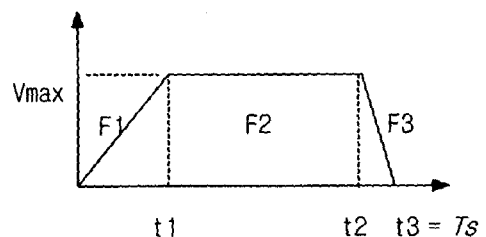


Fig. 2 Velocity Trajectory of Sled

$$\begin{aligned}\Psi_1 : x_2(t_1) &= x_2(t_2) \\ \Psi_2 : x_1(T_s) &= S \\ \Psi_3 : x_2(T_s) &= 0\end{aligned}$$

Figure 2 와 같이 원하는 탐색시간(T_s)의 속도계적을 얻기 위해서는 식(2)와 같은 운동방정식을 풀어서 가/감속력과 절환 시간을 최적으로 구하여야 한다.

$$\frac{d}{dt} \begin{Bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & -\frac{1}{M} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} -\frac{\alpha}{M} \\ \frac{F}{M} \end{Bmatrix} \quad (2)$$

식(2)에서 x_1, x_2 는 각각 이송부의 위치 및 속도를 나타내고, α, β 는 가이드부의 마찰력 ($F_r = \alpha + \beta x_2$)에 관련된 파라미터들이다. 가이드부의 마찰계수(μ_g)가 주어지고, 속도에 관련된 영향이 작다고 가정하면 간단하게 운동마찰력으로 대체할 수 있다. 또 다른 방법은 실험에 의한 것인데, 많은 실험을 통하여 구동력에 대한 이송부의 속도를 측정하여 Least-Square Method 로 α, β 를 구하는 것이다. 따라서 원하는 탐색시간과 이송계의 최대 속도 (V_{max})가 주어지면, 최적설계 방법에 의해서 가/감속력과 절환 시간 등이 계산된다. 다음 장에서 최적설계의 목적함수 및 구속조건에 대해서 상세하게 설명한다.

3. 목적함수와 구속조건의 설정

설계자에 의해서 최소의 탐색시간과 이송계의 최대속도(V_{max})가 결정되면, 다음과 같이 목적함수 및 구속조건을 정할 수 있다.

$$J = \min(\max\{F1, F3\})$$

목적함수(J)가 의미하는 것은 가/감속 시 구동력 중에서 큰 값을 최소화 하겠다는 것인데 이것은 모터의 토크를 최소화 시키는 효과를 나타낸다. 또한, 구속조건에서 S 는 탐색(이송)거리를 나타낸다. 결국 최적화 문제를 풀면 $F1, F3, t_1, t_2$ 를 얻을 수 있다.

결국 최적의 가/감속력이 계산되고, 이송부의 구동력(F)을 리드 스크류에 작용하는 토크(T)로 환산하면 아래식과 같이 표현된다.

$$T = \frac{F D_m}{2} \left(\frac{p + \pi \mu_s D_m \sec \gamma}{\pi D_m - \mu_s p \sec \gamma} \right) - F_p$$

여기서, D_m 은 리드 스크류의 유효지름, 2γ 는 나사산 각(Thread Angle), μ_s 는 스크류 마찰을 나타낸다. 또한, 이송부의 이송 정밀도(R_s)와 Pull Out Frequency(ω_{OUT})는 아래식과 같이 계산된다.

$$R_s = \frac{360 p}{(\theta \Delta S)} \quad \omega_{OUT} = \frac{\theta V_{max}}{p}$$

p 는 피치, ΔS 는 모터의 마이크로 스텝, θ 는 모터의 스텝각도를 나타낸다. 따라서 리드 스크류부에 대한 설계를 위하여 다음과 같은 목적함수와 구속조건이 사용된다.

$$J = \min(T \times \omega_{OUT})$$

$$\Psi_1 : R_s = \frac{360 p}{\theta \Delta S}$$

리드 스크류의 경우 1 개의 equality constraint 가 사용되는데, 요구되는 이송부의 정밀도를 만족시

키면서, 모터에 걸리는 부하 효과를 가능한 줄여 줌으로써 모터선정에 있어서 여유를 갖겠다는 것을 나타낸다. 따라서 위의 최적화 문제를 풀면 $\theta, \gamma, \rho, D_m, T, R_s, \omega_{OUT}$ 을 구할 수 있고 다양한 모터 사양으로부터 적당한 모터와 리드 스크류를 선정할 수 있다. Table 1 은 목표 성능지수, 시뮬레이션 입력 값 그리고 설계 변수를 나타낸다.

Table 1 Design inputs and parameters

- Target Performances -
Seek Time (T_s)
Resolution (R_s)
- Design Input -
Sled Mass (M)
Moment Arm (L_i)
Spring Pre Load (F_p)
Seek Time (T_s)
Seek Stroke (S)
Screw Friction Coefficient (μ_s)
Seek Resolution (R_s)
Micro Step of Motor (ΔS)
- Design Parameters -
Switching Time (t_1)
Switching Time (t_2)
Driving Forces (F, F_1, F_2, F_3)
Thread Angle (2γ)
Pitch (p)
Screw Mean Diameter (D_m)
Macro Step Angle (θ)

4. 시뮬레이션 결과

사용된 최적설계 프로그램은 SQP 이고 요구되는 탐색시간, 정밀도, 이송부의 최대속력은 각각 80msec, 9 μ m, 0.2m/sec 이다. 또한 가이드부의 마찰은 시뮬레이션의 편리성을 위하여 쿨롱마찰로 가

정하였다. Figure 3 은 가/감속력, 절환 시간 등의 설계변수 초기값과 범위의 설정을 나타낸다. 목적함수는 앞 장에서 설명한 바와 같이 최대 구동력을 최소화하는 것으로 한다.

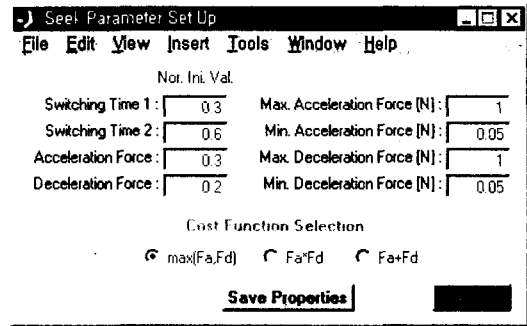


Fig. 3 Set up of seek parameters

Figure 4 는 시뮬레이션 결과를 보여준다. 0.21N 정도의 가/감속력과 적절한 절환 시간 등이 계산됨을 볼 수 있다.

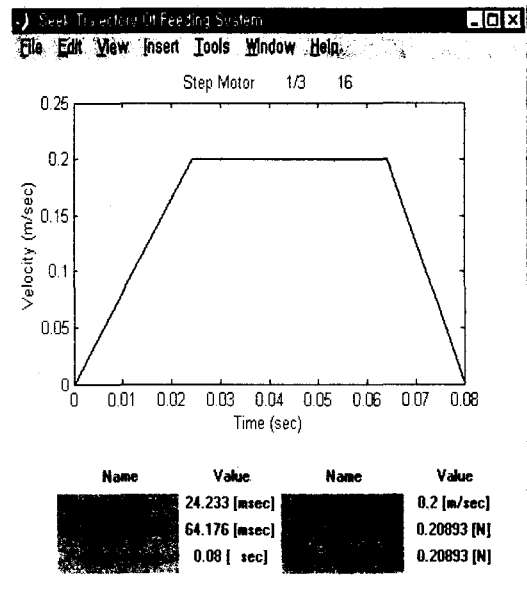


Fig. 4 Result of optimum design for seek motion

이와 같이 계산된 최적의 구동력과 주어진 이송 정밀도를 이용하여 리드 스크류부에 대한 설계를

수행 할 수 있다. Fig. 5 는 스크류부에 관련된 설계 변수들의 초기값과 범위의 설정을, Fig. 6 은 결과를 나타낸다. 최적 설계된 리드 스크류, 모터에 대한 설계 사양 또는 성능 값들이 나타나 있다. 모터에 대해서는 최대 구동 토크(Max. Torque), 부하 토크(Load Torque), 최대 모터 구동 속도(pps) 등이 나타나 있다. 또한, 설계자가 초기에 설정한 이송 정밀도($9\ \mu\text{m}$)도 만족함을 알 수 있다.

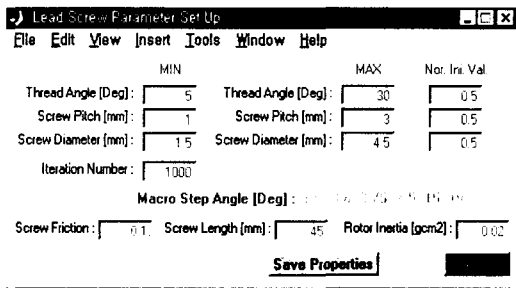


Fig. 5 Set up of lead screw parameters

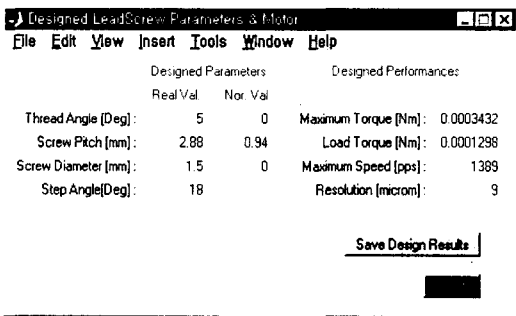


Fig. 6 Set up of lead screw parameters

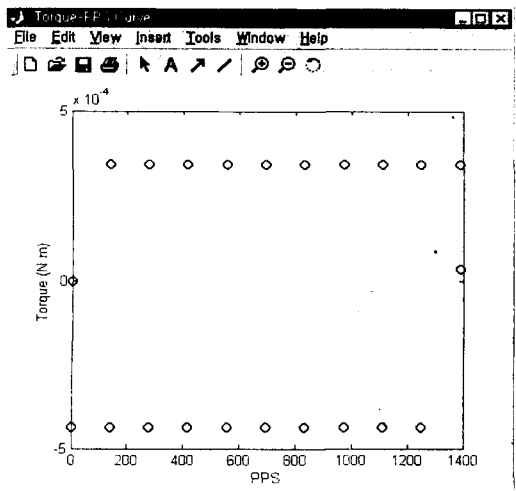


Fig. 7 Torque-PPS Curve

마지막으로 Fig. 7 의 Torque-PPS 선도에서 다수의 원형은 계산된 데이터 포인트를 나타낸다. 이러한 결과는 가/감속 전구간 동안 모터에서 발생 해주어야 할 토크와 Pulse Rate 와의 관계를 나타내 주는 것이므로, 카타로그로부터 적절한 모터를 선정할 때, 중요한 자료로 활용될 수 있다.

5. 결론

본 논문에서는 이송계의 성능을 달성하기 위하여 탐색시간의 최소화를 위한 이송계에 대한 해석과 이송계를 구성하는 각 부분 요소들에 대한 최적설계를 다루었다. 원하는 탐색시간, 이송정밀도를 만족하면서, 모터의 출력 토크가 최소가 되도록 모터와 리드 스크류부를 설계하는 방법을 제안하였다. 이러한 설계 방법은 디스크 드라이브 이송계의 설계에 적극 활용될 수 있을 것이며, 향후 실험을 통하여 시뮬레이션 결과를 검증할 계획이다.

참고 문헌

1. 정진태, 박준민, 노대성. 1997. “기울어짐 진동 모드 제어를 위한 CD-ROM 드라이브의 댐퍼 최적 위치”. 한국소음진동 공학회지, 제 7 권. 제 3 호. pp. 393-399.
2. 최승복, 김형규, 임수철, 박영필. 1999. “ER CD-ROM 마운트를 이용한 드라이브 피딩 시스템의 진동제어”. 한국소음진동 공학회지, 제 9 권. 제 6 호. pp. 1247-1258

3. 유완식, 박형남, 김영석. 1995. “최단시간 슬라이딩 면에 의한 스텝모터의 위치제어”. 제어 자동화 시스템공학 논문지. 제 1권 제 2 호. pp. 99-104
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. J. McCormick and R. Horowitz. 1991. Time Optimal Seek Trajectories for a Dual Stage Optical Disc Drive Actuator. *J. of Dynamic Systems, Measurement, and Control*. Vol.113. pp. 534-536.
6. Jian-Dong Yang and Xian-Deng Pei. 1996. Seek Time and Trajectories of Time Optimal Control for a Dual Stage Optical Disk Drive Actuator. *IEEE Trans. On Mag.*. Vol.32. No.5. pp. 3857-3859.
7. Jian-Dong Yang, Long-Fa Pan, et al. 1997. Time Optimal Seek Control for a Coupled Dual Stage Disc Drive Actuator. *IEEE Trans. On Mag.*. Vol.33. No.5. pp. 2629-2631.