

변위 맥동 저감을 위한 Disk Type LOA의 구동드라이버 설계

장석명, 최병현, 권정기, 조한욱, 정상삼*
충남대학교 전기공학과, LG D/A 연구소*

A Driver Design of Disk Type LOA for Decrease Displacement Pulsatory Motion

Seok-Myeong Jang, Byung-Heon Choi, Jeong-Ki Kwon, Han-Wook Cho, Sang-Sub Jeong*
Chungnam National University, LG D/A*

Abstract -This paper deals with driver design for displacement pulsation reduction of disk type LOA. Manufactured disk type LOA consists of iron cored disk as a mover and coil wrapped stator which is located at two sides with respect to mover origin.

1. 서 론

리니어 왕복 액추에이터(Linear Oscillating Actuator, 이하 LOA)는 정현파 또는 구형파의 교번 전압을 인가하여 가동체가 직접 직선적 왕복운동이 가능하도록 하는 기계장치를 말한다. 일반적으로 직선운동을 얻기 위하여 회전형 모터에 기어, 벨트, 체인, 캠 등의 기계적 변환 기구를 이용하여 회전운동을 직선운동으로 변환하므로 마찰 손실, 부품의 마모, 소음 발생 등이 필수적으로 수반되어 전체 시스템의 효율이 저하된다. LOA는 이러한 단점들을 극복할 수 있는 효과적인 방안으로서 리니어 구동시스템에 응용할 경우 각종 기계적 변환기구가 필요 없게 되어, 시스템의 구조를 간단히 할 수 있고 경량성, 유지보수, 생산비 등에서 유리해진다. 가동 철심형 LOA는 평판 또는 Disk 철심으로 이루어진 가동자와 고정자철심으로 구성된다.

본 논문에서는 설계·제작된 Disk Type LOA의 특성 방정식을 도출하여 동특성 시뮬레이션을 수행하고, 구동드라이버를 구성하여 주파수에 따른 동특성 전류와 전압 그리고 변위 특성을 실시간으로 측정하였다. 이를 시뮬레이션 결과와 비교한 결과 잘 부합됨을 보임으로써 이론적인 결과 동특성 실험방법의 타당성을 제시하였다. 또한, 구동시 발생하는 변위 맥동의 저감을 위한 구동드라이버를 설계/시뮬레이션을 수행하여 안정적인 제어기 설계를 위한 이론적 토대를 마련하였다.

2. Disk Type LOA

2.1 Disk Type LOA의 구동원리

Disk Type LOA는 그림 1과 같이 고정자는 가동자를 중심으로 양측에 위치해 있으며 고정자의 슬롯에는 여자 코일이 감겨져 있는 철심 가동형 LOA의 일종이다. 디스크 형태의 가동자는 중심축에 대하여 직선 왕복운동을 위해 베어링 구조로 되어 있으며, 양 측면에는 가동자가 베어링 축의 중심에 위치할 수 있도록 스프링이 받치고 있다. 그림 2는 그림1의 구조를 바탕으로 제작된 Disk Type LOA를 나타낸다. LOA의 구동원리

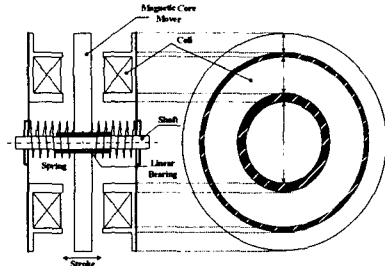


그림 1 Disk Type LOA의 단면도

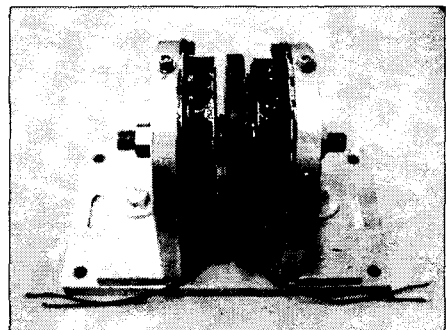


그림 2 제작된 Disk Type LOA

는 고정자 코일에 교번 적으로 전류를 인가하면 고정자 철심과 가동자 사이에 순차적으로 힘이 작용하여 가동자는 축 방향으로 왕복운동을 하게 된다.

2.2 상태방정식과 전달함수

마찰계수를 고려하지 않을 경우, 운동방정식은 식 (1)과 같다.

$$m \frac{d^2x}{dt^2} = F_{em} - 2k(l-x) \tag{1}$$

여기서 m : 가동자의 질량이다. 한편, 전류 코일에서의 전압 방정식은 인덕턴스 L 이 변위 x 및 전류 i 의 함수이므로 식 (2)와 같이 된다.

$$e = Ri(t) + L(x) \frac{di(t)}{dt} \tag{2}$$

따라서 식 (1)과 식 (2)를 $\dot{x} = Ax + Bu$ 의 상태방정식으로 표현하면 식 (3)과 같다.

$$\begin{bmatrix} \Delta \dot{x}(t) \\ \Delta \dot{\dot{x}}(t) \\ \Delta \dot{i}(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ \frac{K_x - 2k}{m} & 0 & -\frac{K_i}{m} \\ 0 & \frac{K_x}{K_i} & -\frac{R}{L_0} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta x(t) \\ \Delta \dot{x}(t) \\ \Delta i(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & \frac{K}{m} \\ \frac{1}{L_0} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta e(t) \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

$y=Cx+Du$ 에서 원하는 시스템의 출력은 가동자의 변위이므로 식 (4)로 표현된다.

$$y = [1 \ 0 \ 0] \begin{bmatrix} \Delta x(t) \\ \Delta \dot{x}(t) \\ \Delta i(t) \end{bmatrix} \quad (4)$$

입력 전압의 변화량 $\Delta e(t)$ 와 가동자의 변위 $\Delta x(t)$ 와의 관계인 전달함수 $T_{\Delta e-\Delta x}(s)$ 는 식 (5)와 같다.

$$T_{\Delta e-\Delta x}(s) = \frac{\Delta X(s)}{\Delta E(s)} = C(sI - A)^{-1}B + D \quad (5)$$

여기서, $D=[0]$ 이므로, 식 (6)으로 나타낼 수 있다.

$$T_{\Delta e-\Delta x}(s) = [1 \ 0 \ 0](sI - A)^{-1} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{1}{L_0} \end{bmatrix} = \frac{-\frac{K_i}{mL_0}}{s^3 + \frac{R}{L_0}s^2 + \frac{2k}{m}s - \frac{R(K_x - 2k)}{mL_0}} \quad (6)$$

2.3 시스템 모델링

표1은 평판철심가동형 LOA의 제어정수값을 나타낸다.

표 1 실험에 의한 제어정수

항 목	값
코일 DC저항 R	23.1[Ω]
가동자의 질량 m	1.06[Kg]
스프링 상수 k	2505
K_x	1502
K_i	13.1
L_0	0.296 [H]

이 값들을 식 (3) 및 식 (4)의 상태방정식에 대입하여 상태행렬을 구하면 식 (7)로 나타낼 수 있다.

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ -3308.76 & 0 & -12.40 \\ 0 & 114.28 & -78.04 \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & -0.23 \\ 3.37 & 0 \end{bmatrix}$$

$$C = [1 \ 0 \ 0]$$

$$D = [0] \quad (7)$$

표 1에서 구해진 값들을 식 (6)에 대입하여 전달함수를 완성하면 식 (8)과 같게 된다.

$$T_{\Delta e-\Delta x}(s) = \frac{-42}{s^3 + 78s^2 + 4726s + 258217} \quad (8)$$

식 (8)의 상태방정식을 기반으로 하여 이 시스템의 블록선도를 그림 3과 같이 구성하였다. 이때 가동자의 베어링에서의 마찰력은 무시하고, 가동자는 -8mm부터 +8mm의 이동 범위를 갖도록 하였다.

3. 시뮬레이션 및 실험

3.1 구동 드라이버의 설계

LOA의 왕복운동 구동을 위하여 신호발생기와 전력용 MOSFET를 사용한 오픈루프 시스템을 그림 5와 같이 구성하였고, 전압, 전류 및 변위를 검출하기 위해 CT/PT 및 GAP센서회로와 Filter 회로로 시스템을 구성하였다. 또한 각 상에 인가되는 펄스는 HD14049 게이트 소자를 이용하여 A, B상은 서로 inverting 된 펄스가 인가 되도록 한다.

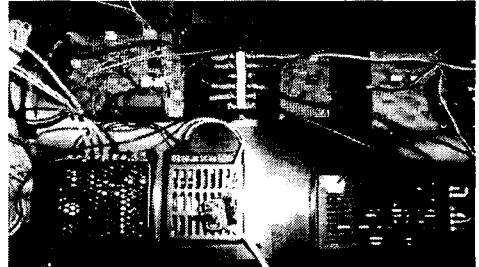


그림 3 제작된 시스템

3.2 오픈루프 시뮬레이션 및 실험

평판 철심 가동형 LOA의 구동 드라이버는 +12V이고 전력용 MOSFET의 공급전압은 0V에서 24V까지 가변하면서 측정하였다. 또한 구동신호입력의 주파수를 가변하면서 전압 및 전류 파형을 측정하였다. 그림 6은 주파수 1Hz, 입력전압 20V일때의 코일 A와 코일 B에서의 전압 및 전류 파형의 검출 결과이다.

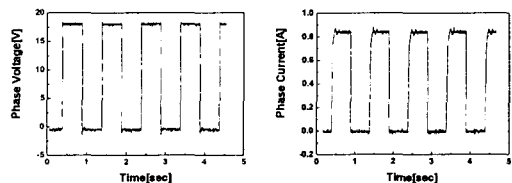


그림 4 코일 A, B에서의 전압, 전류 파형

그림 5은 입력 주파수에 따른 가동자의 변위 특성을 나타낸 것이다. 시뮬레이션에서 입력전압으로 구형펄스

를 사용하였고 가동자는 $x=0$ 인 중심에서 출발한다. 1 [Hz]에서는 시스템의 진동이 감쇄하면서 안정영역으로 접어든다. 특히 0.5 [Hz]에서는 더욱 안정화된 특성을 보이고 있다.

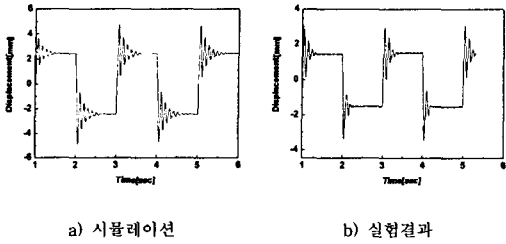


그림 5 가동자의 변위 특성 (0.5 Hz)

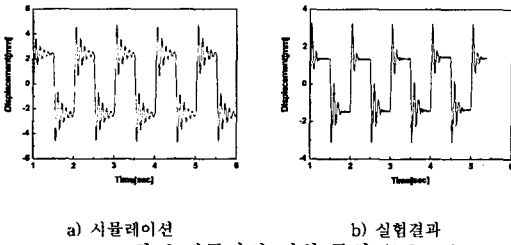


그림 6 가동자의 변위 특성 (0.7 Hz)

3.3 변위 맥동 저감을 위한 드라이버 설계

그림 7는 Disk Type LOA의 변위 맥동 저감을 위한 제어기를 포함하는 시스템 블록도를 나타낸다.

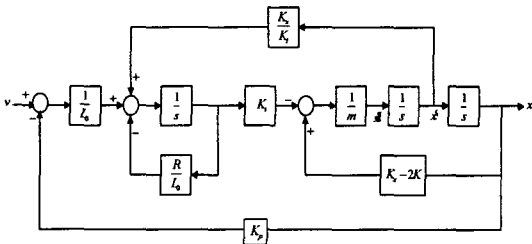


그림 7 변위 맥동 저감을 위한 제어기를 갖는 시스템 블록도

그림 8은 그림 7의 시스템에 의한 LOA의 출력변위 특성을 나타내며, 오픈루프 특성시 발생하는 변위 맥동의 저감을 확인 할 수 있다.

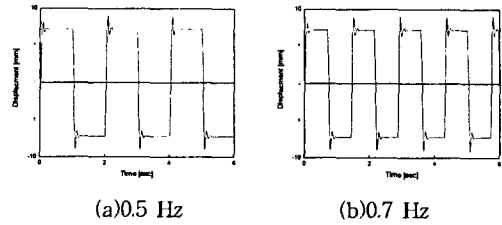


그림 8. 변위맥동 저감 시뮬레이션 결과

3. 결 론

본 논문에서는 Disk Type LOA 대하여 전압 및 운동 방정식, 상태 방정식, 전달함수 해석을 통해 특성을 분석하고, 구동드라이버와 계측회로를 제작하여 전압 및 전류, 주파수 가변에 따른 가동자의 변위특성을 측정하였다. 또한, 오픈루프 특성에서 발생하는 변위 맥동의 저감을 위한 구동드라이버를 설계/시뮬레이션을 수행하여 안정적인 제어기 설계를 위한 이론적 토대를 마련하였으며, 향후 마이크로 프로세서를 이용한 하드웨어의 개발에 관한 연구가 진행될 예정이다.

[참 고 문 헌]

- [1]정상섭 "평판 철심 가동형 왕복액추에이터의 특성해석", 대전과학기술대학교 학회논문집 B, pp742-744, 2001.
- [2]정상섭, "진동제어 시스템을 위한 리니어 왕복 액추에이터의 동특성 해석", 충남대 박사학위논문, 2002.
- [3]박노희, "평판철심 가동형 왕복운동 액추에이터의 동특성 해석", 석사학위 논문, 2001.
- [4]정상섭, "평판 철심 가동형 LOA의 특성해석 및 정특성시험", 대한전기학회 추계학술대회논문집, pp52-54, 1998.