

보이스 코일형 LOA의 정상특성 실험

장석명, 정해일, 정상섭, 김형규
충남대학교 전기공학과*

Test of Static Characteristic of a Voice-coil type LOA

S.M.Jang, H.I.Jeong, S.S.Jeong, H.G.Kim
Chungnam Nat'l Univ.

Abstract - LOA(Linear Oscillating Actuator) is composed of a voice coil type mover and permanent magnets. we have applied LOA to the active vibration control system to suppress structural vibration. In this paper, the static test of the voice coil type LOA is treated. The thrust developed by LOA is calculated by measuring stroke.

1. 서 론

리니어 진동 액튜에이터(Linear Oscillating Actuator, 이하 LOA)는 리니어 모터에 정현파 또는 구형파의 교변전압을 인가하여 가동체에 힘을 직접 발생시켜 직선 스트로크를 반복운동 시키는 장치로서 직선구동력을 직접 발생하는 간결하고 효율적인 전기시스템으로 구성 할 수 있는 특성을 갖는 장치이다. 본 실험에서 사용된 LOA는 지진, 선박등과 같은 대형구조물 진동을 흡수하기 위한 능동제어시스템 등에 응용하기 위해서 유한요소법을 이용한 자기회로의 구조설계 및 전기회로 설계 결과를 토대로 하여 제작되었다. 이 LOA는 보이스코일형 가동체와 영구자석으로 구성되어 있으며 가동체에 교류전원을 인가하여 직선왕복운동을 하게된다. 본 실험에서는 모의실험 결과와 비교 검토하기 위해 정상상태 특성시험을 행하였다. 정상특성시험시 요구되는 가동체의 변위는 변위 트랜스듀서인 LVDT(Linear Variable Differential Transformer)를 이용하였으며, 입력전류, 전압, 순시전력등의 전기량을 전반적인 LOA 계측시스템을 구축하여 계측 하므로서 정상상태에서의 입력주파수 변환에 따른 추력-변위 특성 등을 해석하였다.

2. 보이스코일형 LOA

2.1 구동원리 및 기본 방정식

보이스코일형 LOA는 그림 1과 같이 NdFeB계열의 영구자석에 의한 고정자와 플라스틱 보빈에 코

일을 감은 가동자로 구성된다. LOA의 추력은 플레밍의 원순법칙에 따라 영구자석에 의한 공극자속 밀도 $B[T]$ 와 가동자코일에 흐르는 전류 $I[A]$ 의 상호작용에 의해 발생한다. 전류와 주파수에 따라 추력의 방향 및 크기가 결정되는데, 코일에 정현파 또는 구형파의 교변전류를 인가하면 가동자는 왕복 운동을 하게된다.

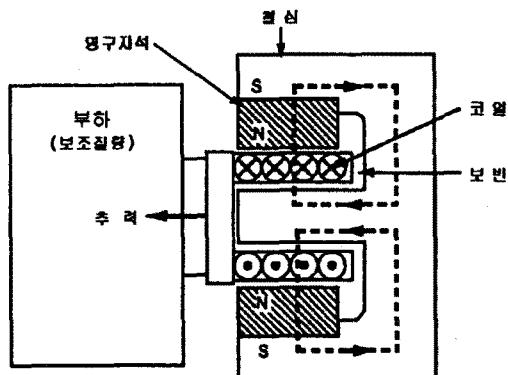


그림 1 보이스코일형 LOA

2.2 정상특성 방정식

질량 M 인 물체가 스트로크 $\pm r$, 각속도 ω 로 왕복운동을 한다면, 단진자 운동과 관련하여 아래와 같은 정상특성 방정식을 구할 수 있다. 변위 x 는 식 (1)과 같다.

$$x(t) = -r \cos \omega t [m] \quad (1)$$

따라서 속도 v , 최대치속도 v_p , 가속도 a 는 각각 식 (2),(3),(4)와 같다.

$$v(t) = \frac{dx}{dt} = r\omega \sin \omega t [m/s] \quad (2)$$

$$v_p = r\omega [m/s] \quad (3)$$

$$a(t) = \frac{d^2x}{dt^2} = \frac{dv}{dt} = r\omega^2 \cos \omega t [m/s^2] \quad (4)$$

그리고 LOA의 발생추력은 식 (5)와 같다.

$$F_m(t) = M \frac{d^2x}{dt^2} = Mr\omega^2 \cos \omega t [N] \quad (5)$$

3. 정상특성 시험 시스템

3.1 정상특성 시험 시스템

보이스코일형 LOA의 정상특성 시험시 사용된 LOA의 사양을 표 1에 나타내었다.

표 1 LOA 사양

항목	종류	사양
LOA	능동제어를 위한 보조질량	23 [kg]
	코일당 턴수	55 turns/layer × 9 layers
	코일 직경	1.0 [mm]
	유효길이	150 [mm]
	동작자속밀도	0.3 [T]
	전류밀도	5×10^6 A/m ²
	공극	15 [mm]

LOA의 가동자에는 부하질량 20[Kg]과 자체질량 3[Kg]으로 총 보조질량 23[Kg]이 연결되어 제어를 위한 부하로 작용하게 되며, 가동자의 위치는 보조질량의 중심축에 변위트랜스듀서인 LVDT를 사용하여 센싱하였으며 가동자의 변위에 따라 LVDT에서 출력되는 전압을 디지털미터를 사용하여 컴퓨터로 계측하였다. 또한 LOA의 입력전류 및 전압을 전력분석기를 사용하여 측정하였다. 본 실험에 사용된 전력분석기는 인버터의 출력전원을 포함한 구형파 또는 근사적인 정현파인 경우의 전압/전류를 정확하게 측정할 수 있는 계측기이다. 이와같은 정상특성을 위한 시스템구성도를 그림 2에 나타내었다.

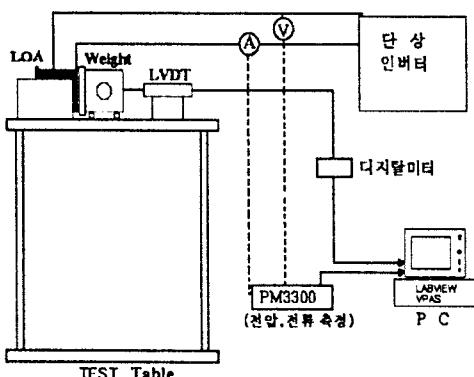


그림 2. 정상특성 시험 구성도

일반적으로 가동철심형 또는 일반디지털기는 상용 전원의 파형을 측정할 목적으로 만들어졌기 때문에 본 실험과 같은 저주파수(5~20Hz) 출력인 경우는 측정이 불가능하다. 표 2에는 보이스코일형 LOA의 정상특성 시험시 사용된 주요제원들의 사양을 나타내었다.

표 2. 실험 주요 제원

주요제원	사양
전력분석기 (모델 Voltech PM3300)	DC, 0.1Hz~500kHz
	DC~99차 고조파 분석
	High Bandwidth DC ~ 500kHz Low Bandwidth DC ~ 5kHz
	역률, 임피던스, THD, 피크치 등 측정.
단상인버터	출력주파수 0 ~ 60 Hz
LVDT	출력전압에 대한 변위 0.847mm/1V
디지털미터	모델 Fluke8840A, IEEE488 내장

보이스코일형 LOA의 입력주파수 변환에 따른 실효치 입력전류와 전압은 전력분석기를 통해 측정하였고, 가동자의 변위에 따른 LVDT 출력전압은 디지털미터와 연결된 컴퓨터로 계측한다. 본 실험에서는 LVDT 출력전압을 컴퓨터로 자동계측하기 위해 LabView프로그램을 사용하였다. 그림 3은 본 실험에서 자동계측하기 위해 사용된 LabView의 블럭선도를 나타내고 있다.

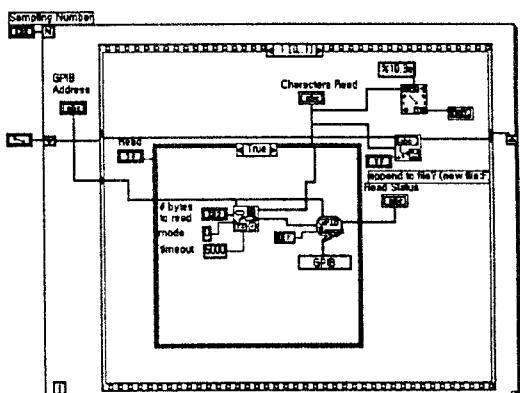


그림 3. 자동계측을 위한 LabView 블럭선도

3.2 정상특성 시험 결과

정상특성 시험을 위해 전원으로 쓰인 인버터의 출력 전류는 그림 4에서와 같이 고조파가 함유된 근사 정현파이다. 전류파형을 보이스코일형 LOA의 가동자에 입력시켰을 경우 가동자는 왕복 운동을 하게 된다. 이를 LVDT의 출력전압을 디지털메타를 통해 컴퓨터로 계측하면, 그림 5와 같이 정현적으로 변화함을 볼 수 있다. 실제 디지털 메타의 샘플링 시간이 길어 정현파는 아니지만, 오실로스코프로 보는 그 파형은 정현파에 가까웠다.

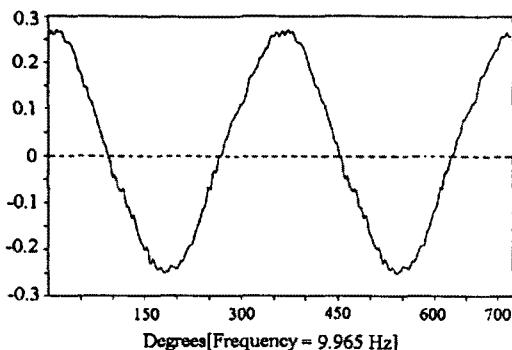


그림 4 구동시스템에서의 출력전류파형

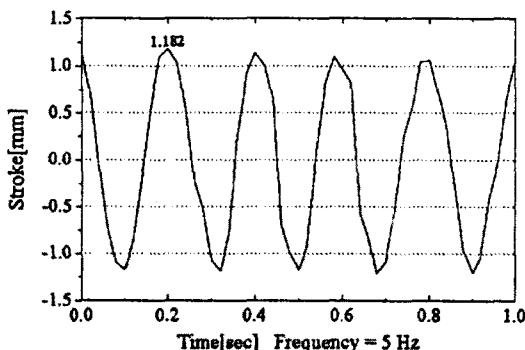


그림 5. LVDT 출력 변위 예(주파수 = 5 Hz)

그림. 6에서는 입력전류의 주파수를 5Hz 와 10Hz 일 때 가동자의 변위를 보여준다. 코일에 입력되는 전류를 증가시키면, 가동자의 변위는 비례적으로 증가한다. 즉, 전류가 증가함에 따라 스트로크는 선형적으로 증가하므로 보이스코일형 LOA는 선형성이 매우 뛰어남을 알 수 있고 전류에 따른 제어를 효과적으로 할 수 있음을 알게되었다.

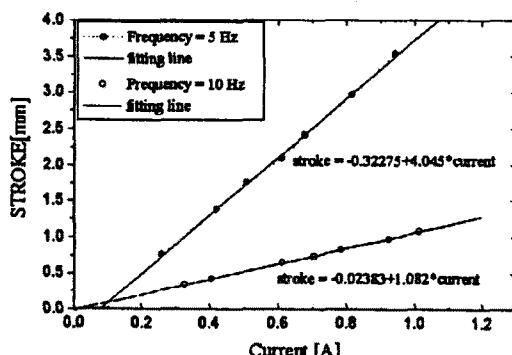


그림 6 입력전류의 크기에 따른 스트로크 변화

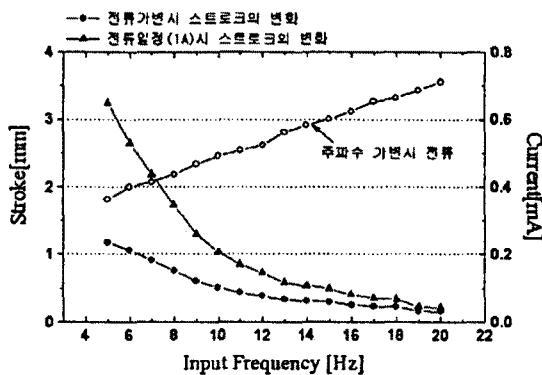


그림 7. 주파수에 따른 전류와 스트로크의 변화

그림 7은 입력전류를 일정하게 하고 주파수를 5~20Hz까지 변화시키는 경우의 스트로크의 변화를 계측하여 나타내었다. 그림에서와 같이 전류를 1[A]로 고정시킨 경우가 전류가 일정치 않은 경우보다 주파수의 변화에 따라 스트로크는 지수함수적 으로 감소함을 볼 수 있다.

3. 결 론

보이스코일형 LOA에서 주파수 일정, 전류가변시와 전류 일정, 주파수 가변시의 정상특성 실험을 행하여 그 결과를 검토분석 하였다. 이를 통해 보이스코일형 LOA는 선형성이 우수하며 제어시스템의 구동력발생용 액터에이터로 적합한 것을 볼 수 있었다.

[참 고 문 헌]

- [1] Nasair, S.A ", Linear Electric Motors: Theory, Design, and Practical Applications", Prentice-Hall Inc., 1987
- [2] 장석명 외 “전자장이론을 적용한 FEM 해석에 의한 보이스코일 평판형 LOA설계”, 한국하계전기학회, 96