

구동 방식을 고려한 가동코일형 LOA의 동특성

장석명, 권철, 정상섭, 성소영, \*이성래, \*김봉수  
 충남대 전기공학과, (주) 우영\*

Dynamic Characteristic of Moving Coil Type LOA  
 with Consideration of Driving Method

S.M. Jang, C. Kweon\*, S.S. Jeong, S.Y. Sung, \*S.L. Lee, \*B.S Kim  
 Chung-Nam National Univ., Wooyoung\*

**Abstract** - This paper presents to find suitable driving voltage source for moving-coil-type linear oscillatory actuator(LOA). Thus, we construct control system and proposed three type driving voltage source. This scheme demonstrated experiments. Then, we find suitable driving voltage source for LOA.

1. 서 론

電磁氣力 가동코일형 리니어 왕복 액추에이터(linear oscillatory actuator; 이하 LOA)는 NdFeB 영구자석 계자를 갖는 자기회로와 보빈 및 가동코일로 이루어지며, 리니어 왕복운동을 위한 추진력 발생장치이다[1]. 지금까지 LOA의 구동형태는 구형파로 구동하거나 PWM을 이용하여 정현파로 구동하였다[2]. 그러나 PWM으로 정현파나 구형파를 만들어서 구동하는 경우에는 고조파를 함유할 뿐만 아니라, 전압과 전류의 위상이 틀어져 역률이 나빠진다[3]. 따라서, 본 논문에서는 LOA에 가장 적합한 구동전원을 찾기 위하여 여러 형태의 구동전원소스를 구성하여 실험을 하였다. 또한 LOA의 특성에 의해서 초기구동시의 응답특성을 개선하기 위한 실험을 하였다. 이 실험 결과 전류 위상 지연 및 응답특성을 개선할 수 있는 구동전원소스를 찾을 수 있었다.

2. 가동코일형 LOA와 구동 및 제어 시스템

2.1 가동코일형 LOA(1)

가동코일형 LOA는 그림 1과 같이 영구자석에 의한 고정자와 플라스틱 보빈에 코일을 감은 가동자로 구성된다. 그리고 코일에 정현파 또는 구형파의 교번전류를 인가하면 가동자는 일정 스트로크로 고속 왕복운동을 하게 된다. 만일 가동자가 x 방향으로만 운동한다면 가동자에 작용하는 추력은 식(1)과 같다.

$$F_x = 2lNB_g i = k_T i \quad (1)$$

여기서 l, N은 각각 공극자계속에 있는 가동코일의 축방향 유효길이와 유효 권선수를 나타낸다. 또한 B\_g는 영구자석에 의한 공극자속밀도, i는 가동자 코일에 흐르는 전류, k\_E는 추력 및 유기전압 상수이다.

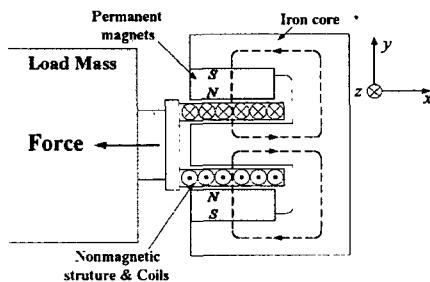


그림 1 가동코일형 LOA

2.2 제어 시스템 구성

제어시스템은 그림 2와 같이 구성하였다. 제어 알고리즘을 구현하기 위해 16bit 마이크로 프로세서인 80C196KC를 사용하였다. 제어 알고리즘은 비례적분제어기 및 주파수변환부를 소프트웨어로 구성하였다. 제어시스템의 구성은 80196KC에서 제어알고리즘에 의해서 연산된 제어명령을 다시 아날로그로 바꾸어주는 D/A Converter, 제어명령을 구동신호로 변조해 주는 PWM 변조부 및 Power driver부, 제어기와 플랜트 사이의 절연을 위한 목적으로 설치된 포토커플러부가 있으며 플랜트의 위치를 센싱하는 LVDT센서, 센서신호를 디지털 신호로 변환해 주는 A/D Converter부로 구성되어 있다. 제어기는 변위 신호를 피드백하여 PI제어기로 하였다.

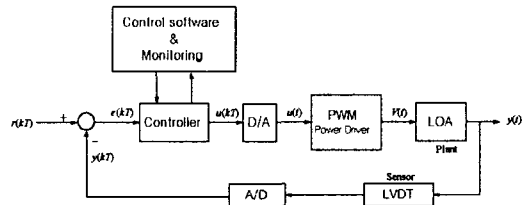


그림 2 제어 시스템 구성

그림 3은 PWM구동부의 H브리지를 사용하여 구성하였다. 이렇게 구동전원소스를 PWM 신호로 LOA에 인가함으로써 기존의 방식인 구형파와 전원소스와 비교할 경우 LOA의 운전을 보다 더 부드럽게 할 수 있다.

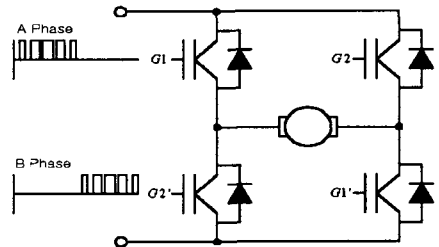


그림 3 PWM 구동 드라이버

2.3 구동 전원의 형태

그림 4에 LOA의 성능비교를 위한 구동전원파형을 보였다. Type I은 일반적인 정현파 구동신호이고, Type II는 LOA의 관성 모멘트에 대한 영향을 고려하여 만든 구동전원소스이며, Type III는 Type II를 개선하여 LO가 초기에 좀더 부드럽게 움직이도록 구성하였다. 따라서 그림 4(c)와 같이 초기구동전압을 높게 설정하고 점차적으로 원점에 도달할 때는 정현적으로 감쇠되어지는

파형을 인가하였다. 이렇게 구성함으로써 전류의 위상이 뒤쳐지는 문제를 극복할 수 있다.

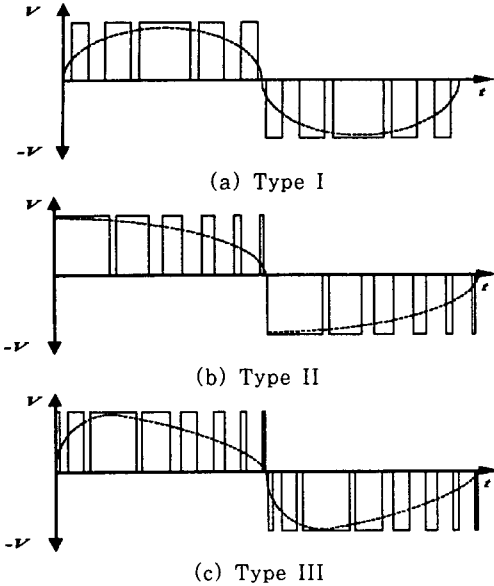
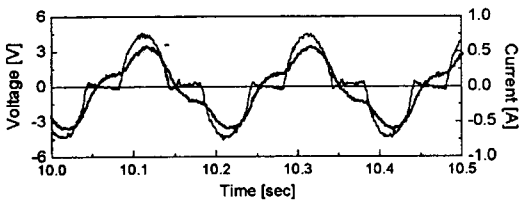


그림 4 여러 형태의 PWM 구동전원소스

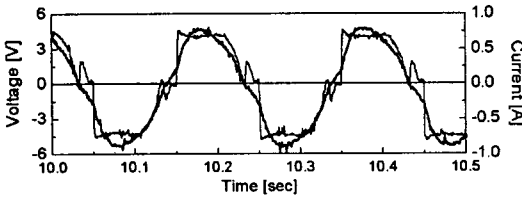
### 3. 구동 방식에 따른 특성 실험

#### 3.1 전압 및 전류의 파형 분석

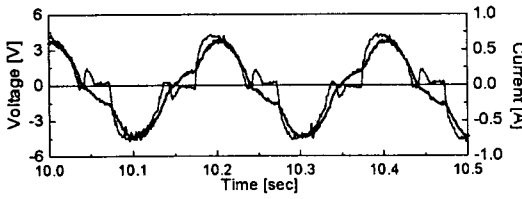
그림 5는 5Hz로 구동시켰을 경우의 전압 및 전류 파형을, 그림 6은 10Hz로 구동시켰을 경우의 전압 및 전류 파형을 나타낸 것이다. 그림 5(b) 및 그림 6(b)의 전류 파형은 Type I, III보다 전류 크기와 시정수가 높음을 알 수 있다. 그러나 그림 6(B)의 전압파형과 같이 주파수가 높을수록 피크 전압이 상승됨을 알 수 있다. 이것은 고조파 성분에 큰 영향을 주는 요인이다. 그림 5(c)와 그림 6(c)의 전류 파형의 크기 및 시정수 같은 세 방식 중 중간 값을 갖고 있다



(a) Type I

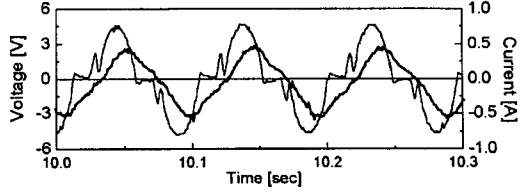


(b) Type II

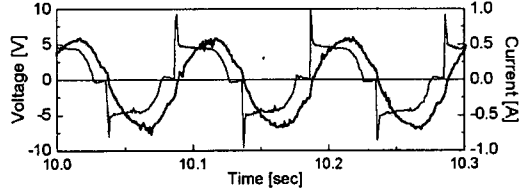


— Voltage [V] — Current [A]

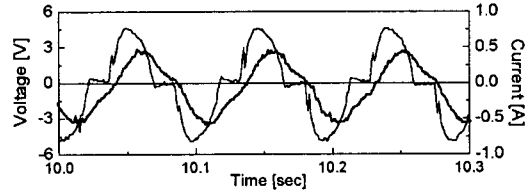
(c) Type III  
그림 5 구동방식에 따른 전압 및 전류 파형(5Hz)



(a) Type I



(b) Type II

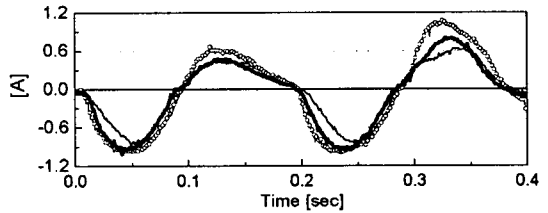


(c) Type III

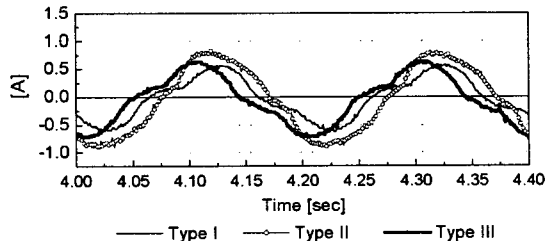
그림 6 구동방식에 따른 전압 및 전류 파형(10Hz)

#### 3.2 전류의 위상 비교

그림 7(a)는 초기 구동시 Type I, II, III의 전류값이다. 초기 구동시에 위상 및 시정수가 가장 빠른 방식은 Type II > Type III > Type I 으로 나타났다. 그러나 정상상태로 구동될 때는 그림 7(b)와 같이 전류의 위상차가 Type III > Type I > Type II 로 변함을 알 수 있다. 초기 구동시에 가장 빨랐던 Type II 방식은 가장 느린 형태로 구동됨을 알 수 있었다. 이로써 Type III 가 가장 빠른 응답을 나타냄을 확인할 수 있었다.



(a) 초기구동



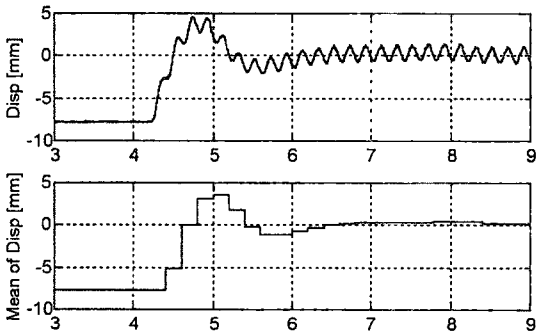
(b) 정상동작

— Type I — Type II — Type III  
그림 7 전류 위상비교(5Hz)

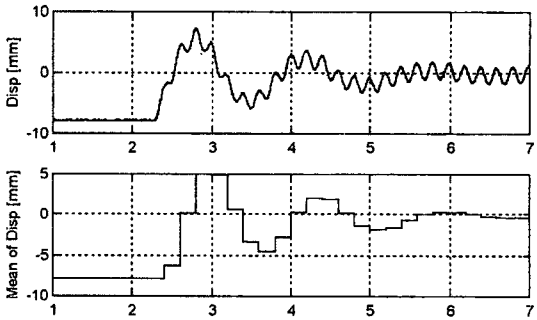
#### 3.3 변위 및 평균값 응답 특성

그림 7(a), (b), (c)는 구동전원소스(Type 1, 2, 3)를 했을 때 얻은 응답특성을 나타내고 있다. 그림 7(a)

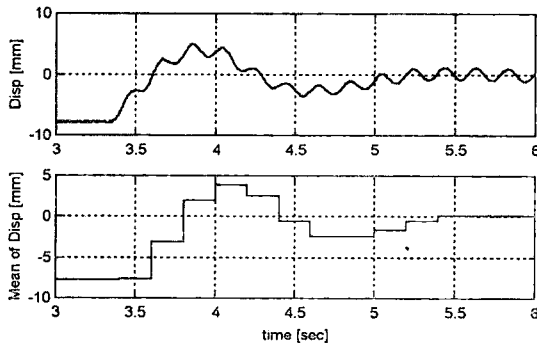
(b), (c)의 변위신호에 대한 한 주기의 평균값을 비교해 볼 때 오버슈트가 낮고 응답특성이 가장 좋은 타입은 그림 7(c)이며 그림 7(b)신호는 오버슈트가 많이 발생하여 정상상태에 도달하는데 시간이 가장 길었다. 이는 type 3의 방식이 LOA에 인가되어질 때 전류의 위상을 앞당김으로써 type 1과 type 2의 방식보다 응답성능을 개선할 수 있게 되었다. type 2와 같은 방법은 초기 응답시간을 단축할 수 있으나 오버슈트가 많이 발생하고 고조파 함유율이 높으며 정상상태에 도달하는 시간이 길어 적합한 제어 방법이 아님을 확인할 수 있었다. 따라서 type 3의 방식이 LOA 시스템에 가장 적합한 구동 전원소스임을 확인할 수 있었다.



(a) Type I



(b) Type II



(c) Type III

그림 8 구동방식에 따른 변위 및 평균값 파형(5Hz)

### 3.4 고조파 분석

각 구동전원에서의 고조파를 분석하기 위해서, 10Hz로 구동하였을 때의 전류신호를 FFT분석을 하여 그림 9에 나타냈다. 그림 9에서 보느냐와 같이 Type I과 Type III은 비슷한 특성을 가지나 Type III가 구동주파수에서 가장 큰 크기를 갖고 있고, Type II는 구동주

파수대에서 가장 작은 크기를 갖는다. 따라서 LOA구동 전원은 Type III가 가장 좋음을 알 수 있다.

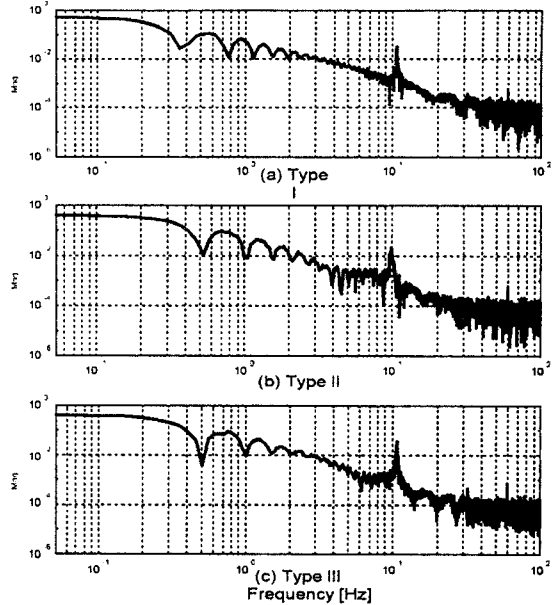


그림 9 구동방식에 따른 고조파 분석(10Hz)

## 4. 결 론

본 논문에서는 구동 전원에 따른 성능분석을 하기 위해 비례적분 제어기를 사용한 위치제어 시스템을 구성하여 여러 형태의 구동전원을 실험을 하여 LOA의 이상적인 구동전원에 대해서 고찰하였다. 또한 전류신호의 FFT 분석을 통해서 각 전원의 주파수 영역을 살펴보았다. 그래서 LOA에 맞는 가장 이상적인 구동전원은 Type III와 같은 형태임을 알 수 있었다. 즉, Type III는 초기 구동시 전류의 시정수를 높여 빠른 응답을 얻게 함으로써 정상상태에 도달하는 시간을 단축할 수 있었고, 정상상태에서 전류의 위상을 앞서게 함으로써 역률을 개선할 수 있었다.

### [참고 문헌]

- [1] 장석명 외, "전자장 이론 적용 FEM해석에 의한 보이스코일 평판형 LOA의 설계", 대한전기학회 하계 학술대회 논문집, Part A, pp. 216-218, 7, 22-23, 1996
- [2] 장석명 외, "능동 진동제어 시스템에의 보이스코일형 LOA응용", 전기학회 논문지, 제 46권 제6호, pp. 862-868, 1997.6
- [3] 장석명 외, "영구자석 계자와 전자 자속의 상호작용 효과를 고려한 가동코일형 리니어모터의 정특성", 전기학회 논문지 48B권 1호, pp19-26, 1999. 1
- [4] 장석명 외, "리니어 왕복운동 제어시스템 구동용 가동코일형 리니어 액추에이터의 설계제작 및 제어정수 도출", 전기학회 논문지, 제 48B권 제 5호, pp241-248, 1999.