

리니어 진동 액츄에이터(LOA)의 특성 및 응용

°장석명\* 박찬일\*\* 박희창\*\* 정태영\*\* 김형규\*\* 손영수\*\* 문석준\*\*

\*충남대학교 전기공학과 \*한국기계연구원

Character and Application of Linear Oscillating Actuator(LOA)

°Seok-Myeong Jang\* Chan-Il Park\*\* Hee-Chang Park\*\* Tae-Young Chung\*\*  
Hyung-Kyoo Kim\* Young-Soo Son\*\* Seok-Jun Moon\*\*

\*Dpt. of Electrical Eng. Chungnam Univ.  
\*\*Korea Institute of Machinery & Metals

ABSTRACT

In this paper, a moving iron core type LOA is designed and analyzed electro-magnetically and is applied to the active control of structural vibration as an active mass driver. Structural vibration is sensed by the accelerometer attached the structure and reduced by the optimally controlled motion of active mass of LOA giving anti-phase inertia force to the structure. As a result, the basement of the application of LOA as an active mass driver is successfully established.

1. 서론

리니어 모터중에서도 일반적으로 운전범위가 short stroke인 기계적 특성을 갖는 장치를 리니어 진동 액츄에이터(LOA)라 한다. 이러한 액츄에이터는 마이크로 폰, 픽업, 스피커와 같은 Vibrator 및 스틸링 엔진, 콤프레샤, 섬유기계의 방직기등에 널리 이용되고 있다. 또한, LOA는 구조 및 재질에 따라 다음과 같이 분류된다.[1-4]

- (1) 철심 가동형 LOA
- (2) 영구자석 가동형 LOA
- (3) 가동 코일형 LOA
- (4) 솔레노이드형 LOA

본 연구에서 채택한 LOA는 가동철심형으로, 디스크형 철심으로 이루어진 가동자와 가동자를 중심으로 양측에 위치하여 코일이 감겨진 고정자 철심으로 구성되어 있다. 고정자 코일에 교번적으로 전류를 인가하면 고정자 철심과 가동자 사이에 순차적으로 힘이 작용하여 왕복운동을 하게된다. 따라서 LOA는 인공심장의 박동장치, 펌프의 액츄에이터로 널리 응용이 시도되고 있다. 따라서 본 논문에서는 LOA를 능동제어 시스템에 응용하기위한 기본단계로 LOA의 제어 주파수에 따른 역학적 특성을 이론적으로 계산하고, 실험하여 비교, 검토함으로써 응용을 위한 기본자료를 얻고자 하였다.

2. LOA의 구조

가동자는 두개의 고정자 사이에 위치하며 고정자 코일을 여자시킴에 따라 축방향으로 왕복운동을 한다. 그림1은 두개의 고정자와 가동자로 구성된 LOA를 나타냈으며, 고정자 코일은 PWM방식에 의해 한 권선씩 교번적으로 여자된다.

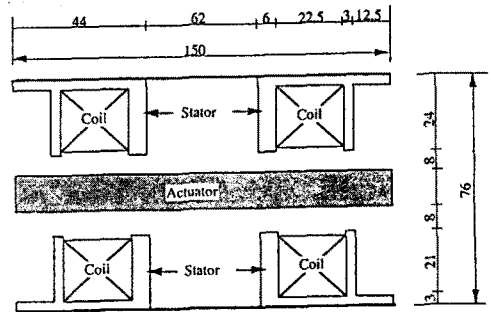


그림1. LOA의 단면도 (단위 ; mm)  
Fig.1 Cross-sectional view of LOA (dimension ; mm)

3. 자속밀도 및 힘의 계산

주어진 해석모델의 현상을 고찰하기위한 Maxwell 방정식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \vec{\nabla} \times \vec{A} &= \vec{B} & (1) \\ \vec{\nabla} \cdot \vec{B} &= 0 & (2) \\ \vec{\nabla} \times \vec{H} &= \vec{J} & (3) \end{aligned}$$

식 (1)-(3)의 Maxwell 방정식을 이용하면 원통좌표계의  $\vec{\nabla} \times \vec{A}$ 는 다음의 식(4)가 된다.

$$\vec{\nabla} \times \vec{A} = \left( \frac{1}{r} \frac{\partial A_z}{\partial \theta} - \frac{\partial A_\theta}{\partial z} \right) \vec{r} + \left( \frac{\partial A_r}{\partial z} - \frac{\partial A_z}{\partial r} \right) \vec{\theta} + \frac{1}{r} \left( \frac{\partial}{\partial r} (r A_\theta) - \frac{\partial A_r}{\partial \theta} \right) \vec{z} \quad (4)$$

주어진 해석모델에서의 최대칭을 고려하면,

$$A_r = A_z = 0 \quad (5)$$

$$\frac{\partial A_\theta}{\partial \theta} = 0 \quad (6)$$

이므로 식(4), (5), (6)으로부터 자기 벡터 포텐셜에 의한 지배방정식을 구하면 식(7)과 같다.

$$\frac{\partial}{\partial r} \left\{ \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (rA_\theta) \right\} + \frac{\partial}{\partial z} \left( \frac{\partial A_\theta}{\partial z} \right) = -\mu J_\theta \quad (7)$$

따라서 식(7)에서 자속밀도  $B_r$  및  $B_z$ 를 계산하고 다음의 식(8)을 이용하여 공극에서의 축방향 힘을 구할 수 있다.

$$F_z = \frac{r}{\mu_0} \iint B_z B_r dr d\theta \quad (8)$$

$B_z$ : 자속밀도의 축방향 성분

$B_r$ : 자속밀도의 반경방향 성분

그림2는 등가 자속선도를 나타낸 그림이다.

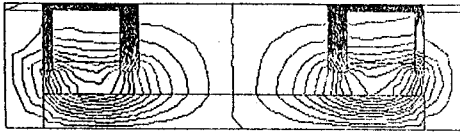


그림2. 등가 자속선도

Fig.2 Equi-potential line of magnetic flux density

#### 4. LOA의 응용

##### 4.1 실험장치의 구성

가동질량 제어장치로서의 제어효율을 평가하기 위해 B x W x H = 400mm x 350mm x 700mm인 실험장치를 설계, 제작 하였다. 실험장치의 고유 진동수는 12.5Hz이다. 진동구조물의 진동은 구조물 상부에 설치된 가속기에 의해 측정되고, 가동질량은 레이저 센서에 의해 측정된다. 실험장치는 그림3, 4에 나타난 바와 같이 시험을 위하여 shaking table위에 설치하였다.

##### 4.2 가동질량 구동기의 역학특성

그림5는 실험으로 측정한 LOA의 개루프 전달함수 및 그의 수학적 형상화를 나타낸 그림이다.

##### 4.3 Numerical simulation

구조물의 조화공진 시험에서의 시간이력 응답에 대한 모의실험결과를 그림6에 표시하였다. 그림6은 구조물의 절대가속도의 감소효과를 명백히 보여준다.

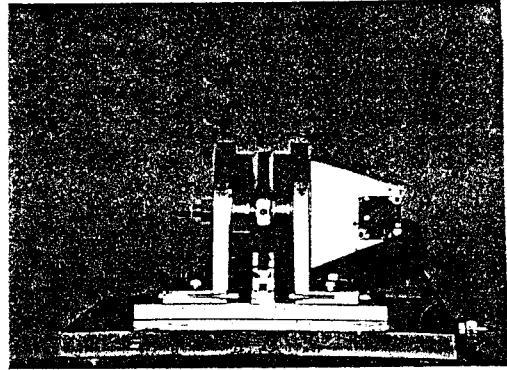
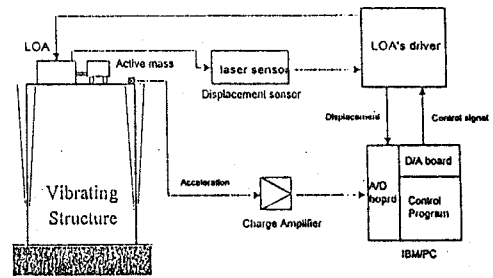


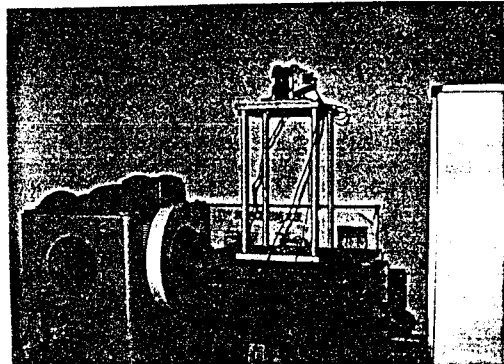
그림3. LOA의 사진

Fig.3 The photograph of LOA



(a) 구성도

(a) Schematic diagram



(b) 사진

(b) Photograph

그림4. LOA의 제어장치

Fig.4 Control system of LOA

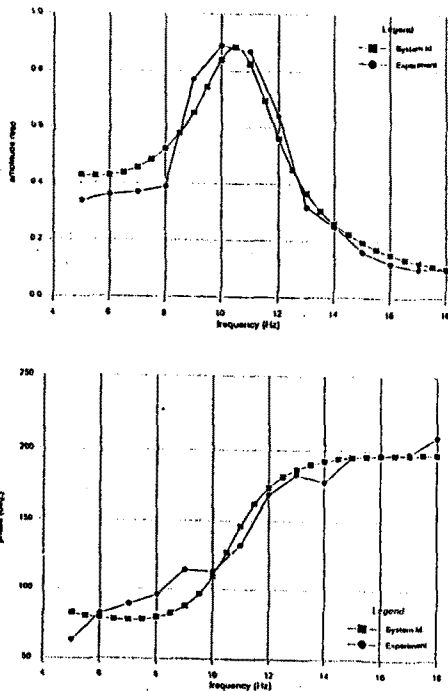


그림5. LOA의 전달함수의 응답특성  
Fig.5 The response of transfer function of LOA

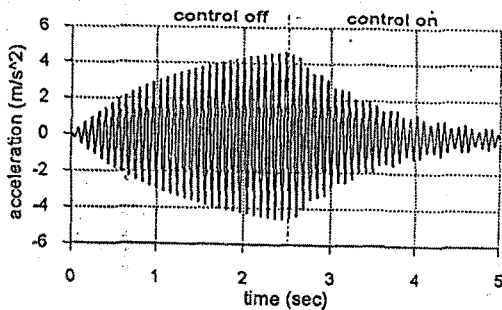


그림6. 구조물의 시간이력응답  
Fig.6 Time history response of structure

## 5. 결론

본 연구는 구조진동의 능동제어에 가동철심형 LOA를 가동질량 구동기로의 응용 가능성을 검토하기 위한 기본 단계를 파악하기 위하여 장치를 설계, 제작 및 실험을 하였으며, 실험을 통하여 LOA를 10Hz 이상의 진동 시스템의 능동제어에 응용할 수 있음을 보였다.

## 참고문헌

1. S. A. Nasar et al "Linear Electric Motors : Theory, Design, and Practical Application", Prentice-Hall, Inc., 1987.
2. "Linear Motor and Their Application", IEEJ Magnetic Actuators committee (book), 1983
3. D. Ebihara et al "Development and Design of Single-winding Linear Oscillatory Actuator", T. IEEJ, Vol. 113-D, No. 1, 1993
4. M. Yamaguchi et al "Static Thrust Analysis of a Cylindrical Moving Core Type Linear Oscillatory Actuator", T. IEEJ. Vol. 112-D, No. 7, 1992