

스프링 댐퍼를 이용한 가동 자석형 리니어 진동 액추에이터의 설계 및 특성해석

論 文
52B-1-2

Design and Characteristic Analysis of Moving Magnet Type Linear Oscillatory Actuator with Spring Damper

曹 誠 皓* · 金 德 顯** · 金 奎 卓***
(Sung-Ho Cho, Duk-Hyun Kim, Gyu-Tak Kim)

Abstract - This paper deals with the design of Moving Magnet type Linear Oscillatory Actuator(MM-LOA) using spring damper based on the design procedure and the characteristic analysis. MM-LOA is applied to variable load such as vacuum pump and compressor. The structure of piston type is selected to reduce a noise. MM-LOA has over-displacement in starting state because of the low inertia of mover. To improve the starting characteristic, spring damper is used. The optimum spring constant of spring damper is detected and in consideration of spring damper, MM-LOA redesigned. The parameter is calculated by Finite Element Method(FEM). For the dynamic characteristic analysis, time differential method composed of voltage and kinetic equation is used. The propriety of the improved model is verified through the experimental results.

Key Words : MM-LOA, Spring damper, FEM, Time differential method, Characteristic analysis

1. 서 론

진공 펌프, 섬유기기, 압축기(compressor)와 같은 소변위 왕복운동을 필요로 하는 시스템의 구동원으로서 유·공압을 이용한 기계식 액추에이터나 회전형 전동기가 널리 이용되어 왔다. 그러나 회전형 전동기를 이용하는 경우에는 회전운동을 직선운동으로 변환하기 위한 캠, 기어 등의 기계적 동력 전달 장치가 반드시 필요하며, 이러한 동력 변화 메커니즘으로 인하여 효율저하, 소음, 진동의 발생은 물론 고속화, 경량화에도 한계를 가질 수 밖에 없다. 따라서 소변위 왕복운동 시스템의 구동용 전동기로 선형 진동 액추에이터(Linear Oscillatory Actuator : LOA)에 대한 관심이 고조되고 있다 [1,2].

가동 코일형 LOA는 정밀성 및 제어응답성이 좋은 장점을 가지고 있으나 가동자 코일에 전원을 공급해야 하므로 구동 코일의 내구성, 피로에 의한 파손 등의 단점으로 고속운전에 한계가 있다. 따라서 진공 펌프와 같은 정밀성 및 제어응답성을 요구하지 않은 시스템의 경우 가동 영구자석형 LOA의 이용이 요구되고 있다[3].

따라서, 본 논문에서는 25[W]급 진공 펌프용으로 적합한 가동 영구자석형 LOA(Moving Magnet type Linear Oscillatory Actuator : MM-LOA)의 설계과정을 제시하고 요구사항을 만족하는 액추에이터를 설계하였다. 먼저 진공 펌

프의 기계적 구조선택이 선행되어야 한다. 선형적 구동에 사용되는 공압식 액추에이터에는 크게 다이어프램(Diaphragm)과 피스톤(Piston)의 두 가지 타입이 있으며, 다이어프램식 구조의 경우 저가라는 이점 외에는 소음, 재질 강도의 부족 등의 많은 단점을 갖고 있다. 따라서 저소음 진공 펌프를 제작하기 위해서 피스톤식 방식이 필수적이므로 본 논문에서는 Twin 피스톤식 구조를 채택하여 저소음 및 고효율 진공펌프를 가능하게 하였다. 가동자 이동에 따른 파라미터의 변화를 고려하기 위해 절점이동기법을 이용한 유한요소해석을 수행하여 변위에 따른 파라미터를 산출하였으며, 가속, 감속, 정지 동작을 반복하는 LOA의 경우 과도상태를 포함하는 동특성 해석이 매우 중요하므로 기계적 운동방정식과 전기적 전압방정식을 결합하여 시간차분법으로 해석하였다. 가동 영구자석형 LOA는 가동자가 갖는 관성과 기계적, 전기적 시정수 등의 원인으로 초기 기동시 시스템을 벗어나는 불안정 과도상태가 발생하며 이를 개선시키기 위해 스프링 댐퍼를 이용하였다. 그러나 초기 기동특성을 개선시키기 위해 스프링 댐퍼를 이용할 경우 스프링에 의한 공진현상으로 초기 설계된 MM-LOA의 특성 또한 변화하여 설계사양을 만족시키지 못한다. 따라서 시스템 전체를 벗어나지 않는 범위이하의 과변위를 갖게 하는 최적의 스프링상수를 찾고 이를 고려하여 설계사양에 맞도록 다시 재설계하였다.

설계된 진공펌프용 MM-LOA의 설계기법과 동특성 시뮬레이션 알고리즘의 타당성을 검증하기 위해 시험기를 제작하였다. 고속왕복운동을 하는 MM-LOA의 과도상태를 포함하는 변위특성을 실시간 측정을 위해 분해능이 높은 변위센서를 사용하였다. 실험결과를 통해 설계 및 동특성 해석의 타당성을 증명하였으며, 저소음 운전이 가능함을 확인하였다.

* 準 會 員 : 昌原大 電氣工學科 碩士課程
** 正 會 員 : 安東情報大學 電氣科 助教授 · 工博
*** 正 會 員 : 昌原大 電氣工學科 教授 · 工博
接受日字 : 2002年 5月 28日
最終完了 : 2002年 12月 19日

2. MM-LOA의 설계

설계하고자 하는 MM-LOA의 설계사양은 표 1과 같다.

표 1 설계사양

Table 1 Design specification

전 원	전원주파수	요구출력	요구이동변위
AC 110[V]	60[Hz]	25[W]	±2.5[mm]

시간에 따라 변위가 정현적으로 변화하는 MM-LOA의 요구추력의 경우 설계사양의 요구출력, 이동변위, 입력주파수로부터 산출할 수 있으며, 동특성에 큰 영향을 주는 가동자 무게도 설계사양으로부터 산출하였다[4]. 여기서 요구추력은 최대 53[N], 가동자 무게는 0.177[kg]로 산정된다. MM-LOA는 퍼미언스법을 이용한 등가자기회로법으로 설계하였으며, 유한요소법을 통해 설계의 신뢰성을 확보하였다[4].

MM-LOA의 설계를 위한 기계적인 방정식과 전기적인 방정식을 결합한 각각의 방정식은 식 (1)과 (2)로 나타낸다.

$$F = Ma + Dv + kx + F_L \quad [N] \quad (1)$$

$$F_m = NB_g I l = K_f I \quad [N] \quad (2)$$

여기서, F : 추력, M : 부하질량, D : 마찰계수, v : 속도, k : 스프링상수, F_L : 부하추력, F_m : Lorentz force, N : 코일 턴수, B_g : 공극자속밀도, l : 유효도체 길이, K_f : 추력상수 이다.

MM-LOA의 구조는 슬롯, 치가 있는 구조이므로 설계 프로세서에서는 Karter 계수를 이용하여 슬롯에 의한 공극의 증가효과를 보정하였다[5].

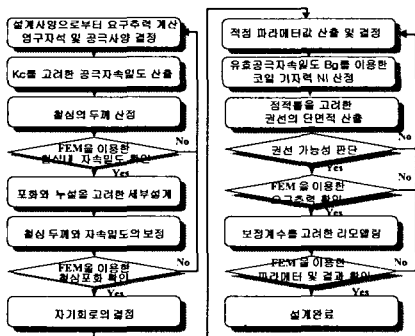


그림 1 MM-LOA 설계과정
Fig. 1 Design process of MM-LOA

그림 1은 MM-LOA 설계과정을 나타낸 것이다. 영구자석은 잔류자속밀도가 0.4[T]인 Ferrite 계열을 사용하였다. 누설자속, 포화 및 기자력 손실계수는 유한요소법을 이용하여 계산하였다[6].

2.1 설계모델 및 사양

그림 2는 설계하고자 하는 MM-LOA의 구조를 나타낸 구

림이다. 이러한 구조는 형상이 간단하여 제작이 용이하고 자기회로의 경우 대칭 평형 구조이므로 이동변위의 중심이 한 쪽으로 치우치는 편심작용이 발생하지 않은 이점이 있다[7]. 인가전압은 상용전원을 사용하므로 주파수가 60[Hz]로 높은 주파수를 사용한다. 따라서 철손을 줄이기 위해 코아브는 얇은 강판을 성층하였다.

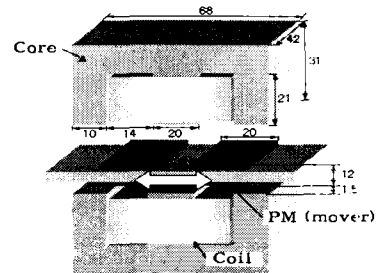


그림 2 MM-LOA의 구조
Fig. 2 The structure of MM-LOA

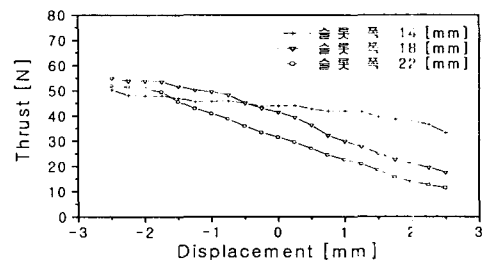


그림 3 슬롯폭 변화에 따른 추력특성
Fig. 3 Thrust characteristic according to slot width variation

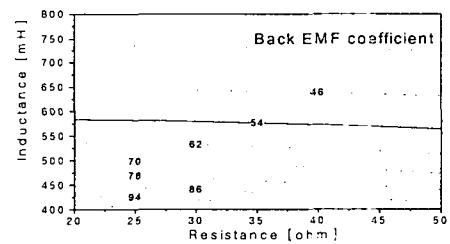


그림 4 MM-LOA 설계 파라미터 산정
Fig. 4 Design parameter calculation of MM-LOA

표 2 설계된 기본모델의 설계사양
Table 2 Specification of initial designed model

항 목	값	단 위	
철 심	두께	0.01	m
	폭	0.042	m
영구자석	잔류자속밀도	0.4	T
	크기	0.02x0.042x0.012	m³
	recoil permeability	1.07	
코 일	턴 수	2240	턴
	저항	43.5	Ω
	피복포함 지름	0.000456	m
	도체 단면적	0.0001257	m²
기계적 공극	0.0015	m	

1림 1의 설계과정에 의해 설계된 MM-LOA 사양은 표 2와 같다.

그림 3은 변위에 따른 정추력을 슬롯 폭 14, 18, 22[mm]로 변화시켜 가며 구한 값을 나타낸 것이다. 영구자석의 폭이 0[mm]인 경우, 영구자석에 대한 슬롯 폭의 비율이 약 0.9~1일 때 이동변위에 따른 추력변화가 크며, 슬롯폭이 증가할수록 유효 공극이 증가하므로 추력 변동율과 요구추력을 고려하여 슬롯폭은 14[mm]로 선정하였다.

그림 4는 설계에 기본이 되는 변위사양(±2.5mm)을 만족하게 하는 파라미터를 산정하여 나타낸 것이다. 이것은 임의의 파라미터로 동특성 해석후, 정상상태시 최대 변위가 ±2.5[mm]가 되는 역기전력상수, 저항, 인덕턴스를 나타낸 것이다. 역기전력상수가 54인 경우 그림 4에서 알 수 있는 바와 같이 역기전력상수는 인덕턴스 변화에 매우 민감하게 작용한다. 즉, 역기전력상수가 54인 경우, 인덕턴스는 약 570~580[mH]인 값을 가져야 되나 저항은 20~50[Ω]의 어느 것을 선택하여도 무방하다.

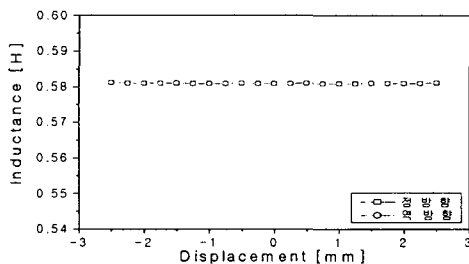
2.2 파라미터 평가

가동자 이동에 따른 파라미터의 변화를 고려하기 위해 절첩이동기법을 이용한 유한요소해석을 수행하여 변위에 따른 파라미터를 산출하였다[8].

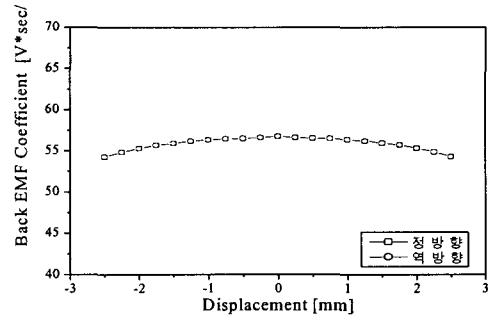
설계된 MM-LOA의 모델은 치, 슬롯이 있는 구조이기 때문에 2.1절에서의 추력은 에너지법으로 계산하였다[1]. 한편 역기전력상수는 $e = -N \frac{d\phi}{dt} = -\frac{\partial \Psi}{\partial x} \cdot \frac{\partial x}{\partial t} = K_e \cdot v$ [V]로 유한요소해석을 통해 계산하였다. 유한요소해석을 통하여 산출된 인덕턴스와 역기전력상수를 그림 5에 나타내었다[6,9].

인덕턴스 특성은 가동자 이동방향에 따른 차이가 없으며 이동변위에 관계없이 거의 일정하게 나타나고 있다. 이는 자기회로가 평형으로 구성되어 가동자 이동변위에 따른 코일 기자력이 거의 일정하게 작용하고 있음을 나타낸다. 그 크기는 581[mH]로서 그림 4의 파라미터를 산정한 것과 비교한 결과 10~20[mH]정도의 오차가 나타난다. 산정된 인덕턴스는 코일 엔드단의 누설인덕턴스를 포함하고 있는 값이다. 오차는 3[%]정도로 큰 오차가 없음을 알 수 있다.

그림 5의 역기전력상수 특성 역시 인덕턴스 특성과 마찬가지로 가동자 이동방향에 따른 차이가 없으며 가동자 이동변위에 관계없이 거의 일정하게 나타나고 있다. 이 값은 그림 1에서 산정한 54와 비교하여 오차가 4[%]정도의 값으로 큰 오차가 없다. 이것으로 동특성 해석 방법의 타당성과 설계사양에 부합하는 설계가 이루어졌음을 입증할 수 있었다.



(a) 인덕턴스



(b) 역기전력상수

그림 5 설계된 기본모델의 파라미터 특성

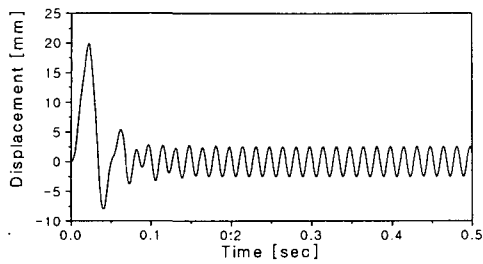
Fig. 5 Parameter characteristic of initial designed model

2.3 특성 해석

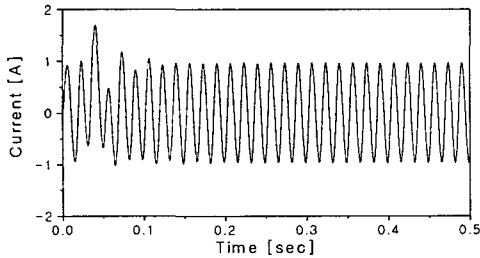
설계된 MM-LOA 모델에 대해서 동특성 해석을 수행하였다. 가동자 이동에 따른 파라미터의 변화를 정확하게 고려하여 동특성 해석을 하기 위해서는 on-line-process에 의한 해석을 수행하여야 한다. 그러나 설계된 MM-LOA의 특성해석과 파라미터 평가결과를 살펴보면 가동자 이동방향과 이동변위에 따른 인덕턴스와 역기전력상수는 오차가 없이 거의 일정한 값으로 나타나고 있음을 알 수 있다. 따라서, 설계된 MM-LOA에 대한 동특성 해석은 오랜 시간을 요구하는 on-line-process를 적용하는 대신 유한요소해석을 통해 구한 파라미터 값들을 근사함수로 처리하여 기계적인 운동방정식과 전기적인 전압방정식을 결합하여 시간차분법으로 해석하였다[4]. 동특성 해석시 가동자 무게 M 는 0.177[kg], 스프링 상수 k 는 0[kg/mm]로 하였으며, 부하력 F_L 은 가변부하로서 최대시 10[N]이다. 이때 인덕턴스 및 역기전력 상수는 3차 함수로 근사화하였다.

그림 6은 설계된 모델의 특성을 나타낸 것이다. 파라미터 평가에서 살펴본 역기전력상수는 약 54~57정도였다. 따라서, 초기 설계사양으로부터 산정된 속도를 고려하면 역기전력특성은 설계목표와 잘 부합하고 있음을 알 수 있다. 그림 6의 (a)은 시간에 따른 변위특성을 나타내고 있으며, 가동자가 갖는 관성과 기계적, 전기적 시정수 등의 원인으로 기동초기에는 정상상태시 요구이동변위의 약 8배정도 크게 나타나고 있다. 정상상태에서의 최대이동변위값은 설계사양인 ±2.5[mm]를 만족하고 있다. 그림 6의 (b)은 MM-LOA의 전류특성, (c)는 추력특성을 나타내고 있다. 전기적인 추력은 가동자 무게에 의한 힘과 부하력의 위상을 고려한 함으로 나타나는데, 요구 추력은 설계사양의 요구 변위와 입력 주파수로 구한 속도와 요구출력으로부터 산정된 53[N]을 잘 만족하고 있다.

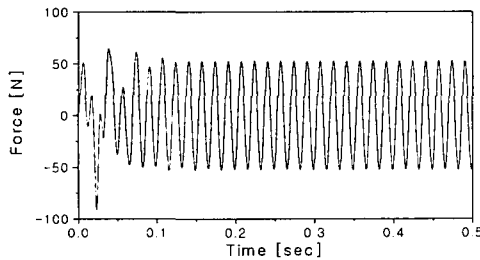
설계된 모델에서 가동자가 기계적으로 이동할 수 있는 최대 변위는 약 7[mm]정도이므로 특성해석에서 보는바와 같이 기동초기에 정상상태시 최대이동변위의 약 8배인 20[mm]가 되므로 가동자의 과변위를 제한하여 이 범위를 벗어나지 않게 할 수 있는 방법이 설계 및 기계 구조적으로 고려되어야 한다.



(a) 변위특성



(b) 전류특성



(c) 추력특성

그림 6 초기 설계된 모델의 동특성 해석

Fig. 6 Characteristic analysis of initial designed model

3. MM-LOA 기동특성 개선

2장의 해석결과에서 알 수 있듯이 설계된 MM-LOA는 기동초기에 가동자의 과변위현상이 발생한다. 따라서 과변위 현상이 발생하는 과도상태를 향상시키기 위한 연구가 먼저 선행되어야 한다. 본 논문에서는 스프링 댐퍼를 이용하여 과도특성을 개선하였다.

3.1 스프링을 고려한 설계

기존의 MM-LOA를 이용한 진공펌프는 다이어프램식 구조를 사용하여 기동시 생기는 과변위현상을 억제시키고 있으나, 이 다이어프램식 구조는 높은 소음과 재질 강도의 부족으로 높은 압력에서는 사용이 제한되는 문제점등이 있다[10]. 이러한 단점을 해결하기 위해선 피스톤식 구조가 필수적이다. 그러나 피스톤식 구조를 사용할 경우 기동시 과변위현상은 그대로 문제점으로 남게 된다. 따라서 스프링 댐퍼를 이용하여 기동시 과변위현상을 최소화하도록 하였다.

스프링을 시스템에 부착하는 방법은 두 가지로 먼저 가동자가 요구이동변위 2.5[mm]를 벗어날 경우 스프링이 작용하게 설치하는 방법과 처음부터 가동자와 스프링이 연결되어 작동하게 하는 방법이 있다. 두가지 방법의 타당성을 확인하기 위해 각각 동특성 해석을 수행하였다.

스프링상수값을 변화시켜 변위특성을 살펴보았다. 스프링상수값은 가동자가 완전공진이 되게 하는 스프링상수값의 20[%], 30[%], 40[%]로 하였다. 스프링상수 k 는 식 (3), (4)에 의해 구할 수 있다.

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (3)$$

$$k = \omega_n^2 m = (2\pi f)^2 m \quad (4)$$

여기서, ω_n : 공진주파수, k : 스프링 상수, m : 가동자 무게, f : 기계적 운동주파수이다.

입력되는 전기적 주파수와 기계적 운동주파수가 완전히 같을 때 완전공진이 일어난다. 따라서 f 가 60[Hz]일 때 완전공진이 되는 스프링상수값을 가지며 그 값은 2.568[kg/mm]이다.

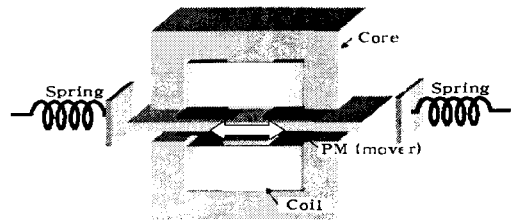
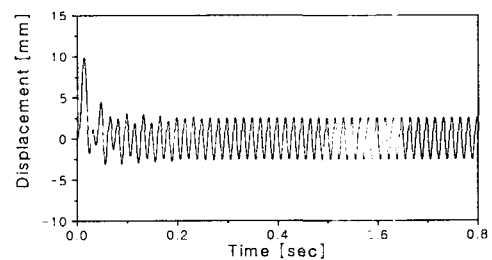
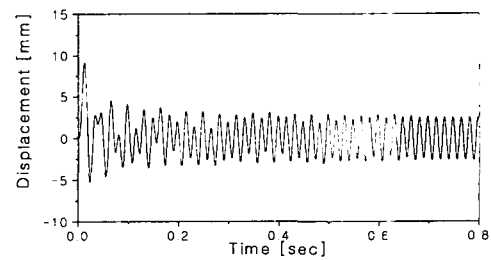


그림 7 스프링을 이용한 MM-LOA의 구조 (비연결 구조)

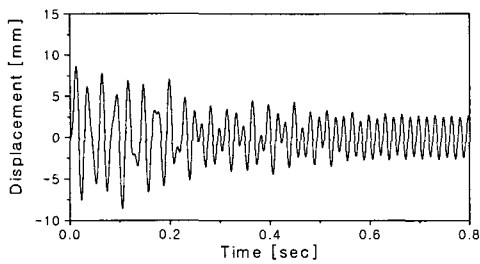
Fig. 7 The structure of MM-LOA using spring (non-connecting structure)



(a) $k=0.514$ [kg/mm]



(b) $k=0.771$ [kg/mm]



(c) $k=1.028[\text{kg}/\text{mm}]$

그림 8 스프링을 이용한 MM-LOA의 변위특성
Fig. 8 Displacement characteristic of MM-LOA using spring

그림 8의 (a)은 스프링상수가 0.514[kg/mm]인 경우 MM-LOA의 변위특성을 나타낸 것이다. 초기 기동시 최대이동변위가 9.828[mm]로 스프링을 부착하지 않은 경우와 비교했을 때 49[%]정도 감소하였다. 그림 8의 (b), (c)는 스프링상수가 0.771, 1.028[kg/mm]로 증가한 경우 변위특성을 나타낸 것이다. 그림 8의 (a)에 비해 최대변위가 다소 줄어드는 것을 볼 수 있으나 정상상태 도달 시간이 길어지는 것을 알 수 있다. 따라서 이 방법은 과변위 현상을 다소 줄일 수는 있지만 과도 시간이 길어지고 과변위 또한 기계적으로 이동할 수 있는 변위인 7[mm]이하로 줄이긴 어렵다. 또한 가동자의 이동변위가 좌·우 2.5[mm]이상 이동시에 스프링과 접촉되므로 많은 소음을 유발하는 단점 등이 있을 것이라 사료된다.

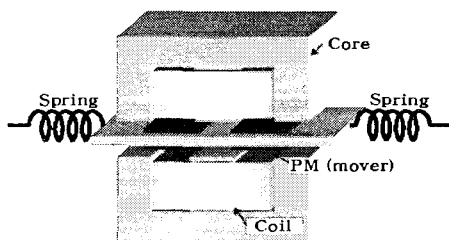


그림 9 스프링을 이용한 MM-LOA의 구조 (연결 구조)
Fig. 9 The structure of MM-LOA using spring (connecting structure)

그림 9은 처음부터 스프링과 가동자가 연결된 경우를 나타낸 것이다. 이 구조는 초기 기동시 과변위를 기계적으로 이동 가능한 범위인 7[mm]이하로 줄일 수 있고, MM-LOA의 비운전시 가동자를 시스템의 중심에 위치하게 하는 가동자의 초기위치문제도 같이 해결할 수 있는 구조이다. 그러나 스프링에 의한 공진현상으로 정상상태시 변위가 설계사양의 최대요구변위 $\pm 2.5[\text{mm}]$ 를 만족하지 못하게 된다. 따라서 스프링을 고려한 MM-LOA의 재설계가 이루어져야 한다.

그림 10은 스프링을 고려한 MM-LOA의 재설계과정을 나타낸 것이다. 초기 과변위현상을 없앨 수 있는 최적의 스프링상수를 구하고 설계사양도 만족하도록 파라미터 산정 및 동특성 해석을 반복해서 수행하였다.

그림 11은 스프링상수 변화에 따른 초기 기동시 최대이동

변위를 나타낸 것이다. 여기서 스프링상수가 0.694[kg/mm] (완전공진시의 스프링상수의 27[%])일 때 4.42[mm]로 정상상태시 변위의 1.76배인 아주 양호한 최대변위를 나타낼 수 있다.

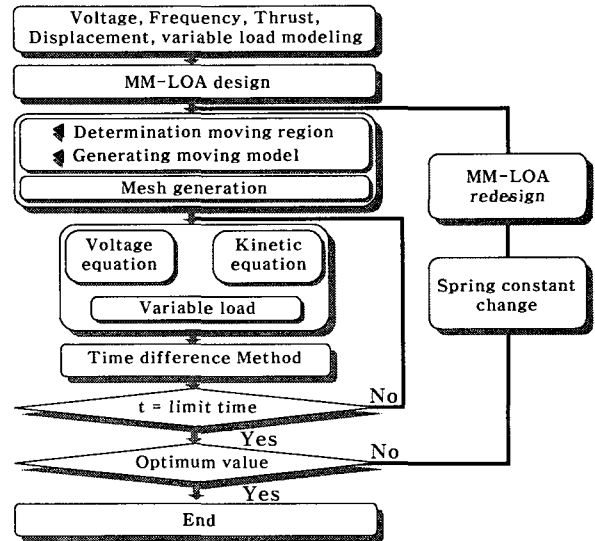


그림 10 MM-LOA의 특성해석 및 재설계과정
Fig. 10 Process for characteristic analysis and redesign

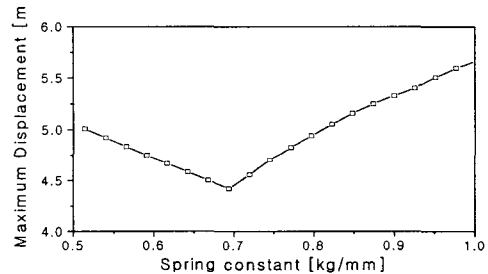
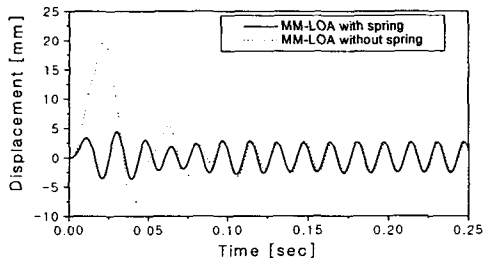


그림 11 스프링상수에 따른 최대변위특성
Fig. 11 Maximum displacement characteristic

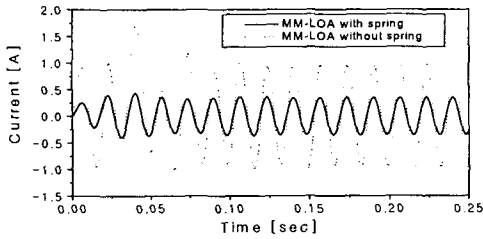
3.2 재설계된 MM-LOA의 동특성

2.3장에서 특성해석과 같은 방법으로 동특성 해석을 수행하였다. 동특성 해석결과, 기본모델에서 문제가 되었던 초기기동시 과변위현상은 크게 개선되었다. 기동시 최대이동변위가 4.42[mm]로 감소하였으며 정상상태시에도 설계사양인 요구이동변위 $\pm 2.5[\text{mm}]$ 를 만족하는 양호한 운전을 하였다.

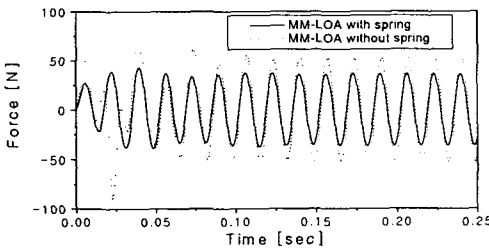
그림 12는 재설계된 MM-LOA의 제반 특성을 기본모델과 비교해서 나타낸 것이다. 그림 12의 (b)는 스프링을 고려하여 재설계된 MM-LOA의 전류특성이다. 스프링의 공진현상에 의해 입력전류는 기본모델에 비해 약 1/2정도로 크게 줄었다. 또한, 재설계된 MM-LOA의 추력특성은 기본 모델에 비해 26[%]정도 감소하였다. 그러나 스프링의 공진에 의해 시스템에서 발생하는 총추력은 설계시 요구추력 53[N]을 만족하였다.



(a) 변위특성



(b) 전류특성



(c) 추력특성

그림 12 재설계된 MM-LOA의 동특성 해석
Fig. 12 Characteristic analysis of redesigned MM-LOA

4. 시작기를 통한 동특성 측정

시작기를 통해 설계 및 과도특성개선의 타당성을 입증하기 위하여 재설계된 MM-LOA를 제작하였다. 그림 13은 진공펌프용 MM-LOA의 시작기의 실제 사진과 피스톤의 구조를 나타낸 것이다. 스프링은 피스톤 안쪽에 설치되어 있으며 피스톤은 MOA의 가동자와 연결되어 있다.

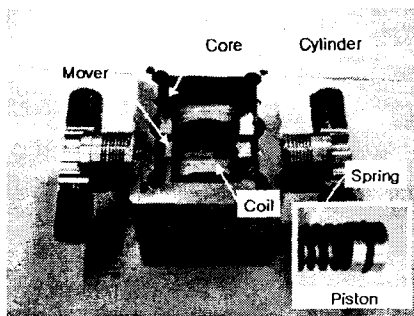


그림 13 진공펌프용 MM-LOA의 시작기
Fig. 13 Test machine of MM-LOA

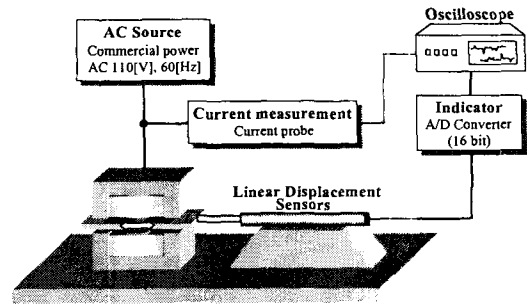
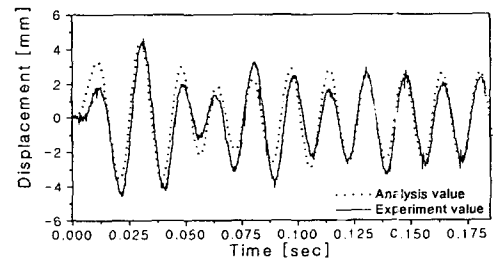


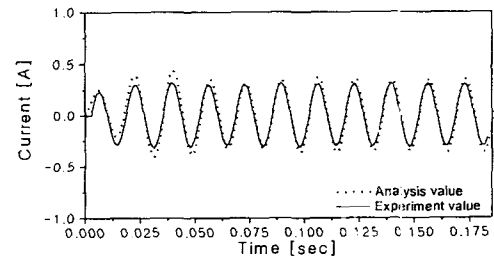
그림 14 시작기의 동특성 측정을 위한 실험장치 구성도
Fig. 14 Measurement system

그림 14는 MM-LOA의 동특성 측정을 위한 실험 구성도이다. 가동자 변위를 측정하기 위해 변위센서(penny Giles SLS 130)를 가동자에 부착하여 센싱하였으며 변위센서의 신호를 A/D converter를 통해 변환, 연산하여 변위를 측정하였으며 전류도 동시에 측정하였다. 여기서, MM-LOA에 입력되는 전압 및 주파수는 상용전원(AC 110[V], 60[Hz])으로 하였다.

그림 15는 과도상태를 향상시킨 MM-LOA의 동특성을 해석치와 실험치로 비교한 그림이다. 전압인가 후 약 0.125초이후 정상상태에 도달함을 알 수 있다. 초기 과도상태에 발생되는 실험치의 시간지연은 변위센서에 의한 지연때문이라 사료된다. 실험 결과, 전류 및 변위특성이 해석치와 거의 일치함을 알 수 있다. 따라서 MM-LOA의 초기 기동시 과변위현상을 개선하기 위해서는 스프링 댐퍼를 이용하고 이를 고려한 설계가 이루어져야함을 실험으로 입증하였다.



(a) 변위특성



(b) 전류특성

그림 15 시작기의 기동시 동특성 실험결과
Fig. 15 Measured dynamic characteristic of the test machine in starting state

5. 결 론

본 논문에서는 MM-LOA의 설계 및 특성해석을 수행하였다. 설계하고자 하는 MM-LOA의 경우 치-슬롯이 있는 구조이므로 Karter 계수로 보정하여 퍼미언스 법을 이용하여 개질적인 구조를 설계하였으며, 세부 설계는 유한요소법을 이용하여 보정하였다. 설계된 MM-LOA의 특성해석을 위해 기계적인 운동방정식과 전기적인 전압방정식을 결합하여 시간차분법으로 해석하였다. 특성해석을 수행한 결과, 초기 기동시 기계적으로 이동할 수 있는 범위를 벗어나는 매우 큰 과변위 현상이 발생함을 확인하였다.

따라서 본 논문에서는 MM-LOA에서 발생하는 초기 기동시 과변위현상을 제거하기 위하여 스프링 댐퍼를 이용하였다. 기동시 최대변위를 최소화시킬 수 있는 최적의 스프링상수를 찾고, 그 스프링상수를 고려한 재설계를 통해 설계사양을 만족하면서 과변위현상을 최소화시킬 수 있었다.

설계와 본 연구에서 제시된 스프링 댐퍼를 이용한 과도특성 개선의 효과 및 MM-LOA의 동특성 해석의 타당성을 검토하기 위해 진공펌프용 MM-LOA의 시작기를 제작하였고, 실험을 통하여 입증하였다. 이로써 상용전원을 이용한 정밀도, 제어응답성을 요구하지 않는 진공펌프등과 같은 시스템에 적합한 MM-LOA를 설계, 응용하기 위한 기반을 확립하였다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부·한국과학재단 지정 창원대학교 공작기계기술연구센터의 지원에 의한 것입니다.

참 고 문 헌

- [1] D.H Kim, G.H Kang, J.P Hong and G.T Kim, "An Approach toward Improving Performance of Moving Coil Type Linear Oscillatory Actuator Considering Asymmetric Magnetic Circuit", Conference Record of the 2000 IEEE Industry Application Society, Vol. 1., pp. 286~292.
- [2] D.H Kim, G.H Kang, J.P Hong and G.T Kim, "Design and Characteristic Analysis of Moving Coil type Linear Oscillatory Actuator Considering Asymmetric Magnetic Circuit", COMPUMAG Conference, Vol. II, pp. 162~163. 2001.7.
- [3] 장석명 외, "리니어 왕복운동 제어시스템 구동용 가동코일형 리니어 액추에이터의 설계 제작 및 제어정수 도출", 전기학회 논문지 vol. 48B, No. 5, pp. 241~248, 1999. 5.
- [4] 김덕현, 엄상준, 강규홍, 홍정표, 김규탁, "불평형 자기회로를 고려한 가동 코일형 리니어 진동 액추에이터의 설계 및 특성해석", 전기학회 논문지, vol. 49B, No. 6, pp. 403~409, 2000. 6.
- [5] S.A. Nasar, I.Boldea, "Linear Motion Electric Machines", John Wiley & Sons Inc., 1976.

- [6] 기초전력공학공동연구소, "직선추진시스템 구동용 전동기의 설계기술", 최종보고서, 2000. 9
- [7] 정상섭, 장석명, "가동자 위치에 따른 인덕턴스 변화와 Push/pull 효과를 고려한 가동코일형 LOA의 동특성", 전기학회 논문지 vol. 50B, No. 7, pp.307~314,2001.6.
- [8] 임기채,우준근,홍정표,김규탁,"영구자석선형동기전동기의 디텐트력 저감법", 전기학회 논문지 vol. 49B, No. 11, pp. 749~756, 2000.11.
- [9] S.A. Nasar, "Electromagnetic Energy Conversion Devices and System", PRENTICE-HALL INC., 1970.
- [10] 권순홍 외, "펄프공학", 유림문화사, 2000. 6. 25

저 자 소 개



조 성 호 (曹 誠 皓)

1975년 11월 1일생. 2001년 창원대학교 공대 전기공학과 졸업. 현재 동 대학원 전기공학과 석사과정.
Tel: 055-279-7519, Fax : 055-263-9956
E-mail : invucho@hanmail.net



김 덕 현 (金 德 顯)

1966년 7월 10일생. 1992년 한양대학교 공대 전기공학과 졸업. 1996년 창원대학교 공대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1991년~1996년 한화기계 자동화 사업부. 현재 동 대학원 전기공학과 박사과정, 안동 정보대학 전기과 조교수.
Tel : 054-820-8133
E-mail : dh0710@www.ait.ac.kr



김 규 탁 (金 奎 卓)

1961년 11월 12일생. 1982년 한양대학교 공대 전기공학과 졸업. 1984년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1991년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 1996년~1997년 일본 早稻田大 客員研究員. 현재 창원대학교 공대 전기공학과 교수.
Tel : 055-279-7515
Fax : 055-263-9956
E-mail : gtkim@sarim.changwon.ac.kr