

자기회로 불평형을 고려한 가동 코일형 리니어 진동 액추에이터의 운전특성 개선

論 文
49B - 11 - 1

Performance Improvement of Moving Coil Type Linear Oscillatory Actuator Considering Asymmetric Magnetic Circuit

金 德 顯* · 嚴 相 俊** · 姜 圭 洪*** · 洪 正 杓[§] · 金 奎 卓^{§§}

(Duk-Hyun Kim · Sang-Joon Eum · Gyu-Hong Kang · Jung-Pyo Hong · Gyu-Tak Kim)

Abstract - This paper presents an approach toward improving the performance of Moving Coil type Linear Oscillatory Actuator (MC-LOA) with the application of Finite Element Method (FEM) to a simple control system. MC-LOA has an unbalanced magnetic circuit due to its asymmetric structure and there is a different flux distribution on the air-gap along the current direction. The interaction driven by two fluxes between the Permanent Magnet (PM) and the current causes the unbalanced thrust and interferes with the proper oscillation of MC-LOA. In order to solve the above problems and improve the driving performance, it is necessary to analyze the rate of the unbalanced thrust according to the current direction by using FEM. Then, the analysis results are used to determine the input currents for both directions. Controlling the input currents can be easily achieved by a simple control system, such as Pulse Width Modulation (PWM), without complex units. The validity of the approach is verified by the experimental results..

Key Words : Asymmetric structure, FEM, MC-LOA and PWM

1. 서 론

일정 변위에 대한 왕복운동이 요구되는 시스템에 회전형 전동기를 이용하는 경우, 회전운동을 직선운동으로 변환하기 위해 스크루-너트, 랙-피니언, 기어-체인 등과 같은 별도의 기계적 변환장치가 필요하므로 전체 시스템이 복잡하게 되는 비효율성, 유지보수의 어려움 등의 단점을 가진다[1,2].

이러한 단점은 직선 추력을 발생하는 선형전동기를 이용하면 쉽게 해결할 수 있으므로 선형 전동기에 대한 관심은 날로 고조되고 있다. 즉, 선형기기를 이용하여 직선운동 시스템을 구현하면 기계적 변환장치가 필요 없으므로 시스템이 간단해 질 뿐 아니라 효율적인 구성이 가능하다. 즉, 고속 운송 시스템에 적용하기 위하여 시작된 선형 전동기에 대한 연구는 콤퓨래서와 같은 가전기기, 공작기기 등과 같은 정밀산업용 기기의 구동원에 이르기까지 광범위하게 진행되고 있다 [1-3]. 선형기기중에서 가동 코일형 리니어 진동 액추에이터 (Moving Coil type Linear Oscillatory Actuator, MC-LOA)는 간단한 기계 구조 및 가동자의 관성이 적어 속응성이 뛰어나므로 소변위 왕복운동을 필요로 하는 시스템의 구동원으로 적합하다[1,2]. 그러나 MC-LOA는 기하학적으로 완전한

대칭적 구조가 아니므로 불평형의 자기회로를 수반하게 되며, 이러한 불평형 자기회로는 인가 전류의 방향, 즉 가동자의 이동방향에 따라 공극에서 자속밀도 및 추력의 편차가 발생하는 주원인이 된다[3-7]. 가동자의 이동방향에 따라 발생하는 추력의 차이는 결국 이동변위의 중심이 한쪽 방향으로 이동하는 결과를 낳게 되어 안정적인 운전을 지속할 수 없게 된다. 지금까지 MC-LOA의 연구는 이동에 따른 파라미터의 변화, 진행방향에 따른 추력편차, 동특성 해석, 가동자의 편심현상 등에 관한 특성해석이 주류를 이루고 있으며, 진행방향에 따른 추력차를 제거하여 안정적인 운전을 시행한 연구는 발표되지 않고 있다[3-7].

따라서, 본 논문에서는 MC-LOA의 특성해석을 바탕으로 제어회로에서 정·역방향 진행시의 인가 전류의 크기를 달리 해 주고, 동특성 해석을 이용하여 초기 기동시 가동자가 가지는 변위특성을 고려한 초기 통전시간을 결정함으로써 안정적인 운전을 행할 수 있도록 하였다. 즉, 유한요소법을 이용한 전자기적 특성해석을 기반으로 하여 정·역방향 운전시의 기자력 차이만큼을 전원부에서 보상하여 줌으로써 전체 시스템을 단순화시킬 수 있음은 물론 MC-LOA의 안정적인 운전특성을 확보할 수 있는 방법을 제시하였다.

2. MC-LOA의 특성해석

2.1 해석모델

식 (1)과 (2)는 각각 기계적인 방정식과 전기적인 방정식으로 식 (1) 및 (2)를 결합하여 요구추력과 발생추력을 계산하였으며, 퍼미언스법을 이용한 등가자기회로법을 통하여 시간

* 正 會 員 : 安東情報大 電氣科

** 準 會 員 : 昌原大 電氣學科 碩士課程

*** 正 會 員 : 昌原大 電氣學科 博士課程

[§] 正 會 員 : 昌原大 電氣學科 助教授 · 工博

^{§§} 正 會 員 : 昌原大 電氣學科 副教授 · 工博

接受日字 : 2000年 03月 22日

最終完了 : 2000年 10月 29日

에 따라 변위가 정현적으로 변화하는 MC-LOA를 설계하였으며, 유한요소법(Finite Element Method, FEM)을 이용하여 세부설계를 진행하였다.

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

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

여기서, F : 추력[N], M : 부하질량[kg], a : 가속도 [m/sec²], D : 마찰계수, v : 속도[m/sec], F_m : Lorentz force [N], N : 코일 턴수, B_g : 공극자속밀도[Wb/m²], l : 유효도체 길이[m], K_f : 추력상수 이다.

퍼미언스 계수를 고려하여 영구자석의 동작점을 결정하고 유한요소법을 이용하여 파라미터를 산정 하는 등의 자기 회로의 설계 과정을 거쳐 최대변위 ±3[mm], 운전 주파수 12[Hz], 전체 부하중량 3[kg]을 만족하도록 설계된 해석모델의 치수와 사양을 그림 1 및 표 1에 나타내었다[5].

영구자석을 포함하고 있는 MC-LOA는 불평형 자기회로 및 큰 공극으로 인하여 누설자속의 정도가 일반 회전기에서 보다 크다. 따라서, 누설자속의 정확한 계산이 요구되며 그림 1에서와 같이 철심두께 및 옆면거리가 누설자속에 영향을 크게 주는 파라미터이다. 철심의 두께와 옆면거리를 변화에 따른 누설계수는 유한요소법을 이용하여 정밀하게 산정 하였으며 이러한 해석 결과를 바탕으로 그림 1에서와 같이 철심두께 25[mm], 옆면거리 20[mm]를 가지는 모델을 선택하였으며 이때의 누설계수는 1.3174가 된다.

2.2 특성해석

전체 모델 중앙에 있는 철심을 기준으로 상·하 대칭구조를 가지는 해석 모델은 그 1/2 만을 채택하고 고정경계조건을 적용하여 해석 대상을 결정하였다. 식 (3)은 해석을 위한 지배방정식을 나타낸다.

$$\frac{1}{\mu} \frac{\partial^2 A}{\partial x^2} + \frac{1}{\mu} \frac{\partial^2 A}{\partial y^2} = -(J_0 + J_m) \quad (3)$$

여기서, μ 는 투자율, A 는 자기 벡터 포텐셜, J_0 는 코일의 전류밀도 그리고 J_m 은 영구자석의 자화전류밀도를 나타내며, A, J_0, J_m 은 각각 $\vec{A}, \vec{J}_0, \vec{J}_m$ 의 z 방향 성분이다.

그림 2는 영구자석과 코일을 동시에 여자시킨 경우 그림 1의 코일중심부에서의 공극 자속밀도이다. 가동자가 철심 내부로 진행하는 방향을 정방향, 반대방향으로의 진행을 역방향으로 표시하면 정방향 진행시 공극 자속밀도는 역방향 진행시보다 현저히 큰 값을 가지게 된다. 이는 영구자석에 의한 자속은 항상 일정한 방향이지만, 전류에 의한 자속은 정방향 운전시는 영구자석에 의한 자속과 중첩되고 역방향 운전시에는 상쇄되기 때문이다. 따라서, 전체 자속은 가동자의 진행방향에 따라 증가 및 감소를 반복하는 자속의 불평형이 발생한다. 전류방향에 따른 공극자속밀도의 차이는 가동자의 진행방향에 따른 추력차의 원인이 되어, 이동변위의 중심이 그 추

력의 차이만큼 한쪽으로 치우치게 된다[3-7]. 결국 이러한 자속밀도의 차이는 가동자의 진행 방향에 따른 추력편차를 발생시키며 이를 **push effect**, **pull effect** 등으로 명명하기도 하였다[3,4]. 이러한 현상으로 인하여 일정 소변위 왕복운동을 해야 하는 LOA의 변위 중심이 이동하는 현상이 발생하여 일정 소변위 왕복운동을 지속할 수 없게 된다.

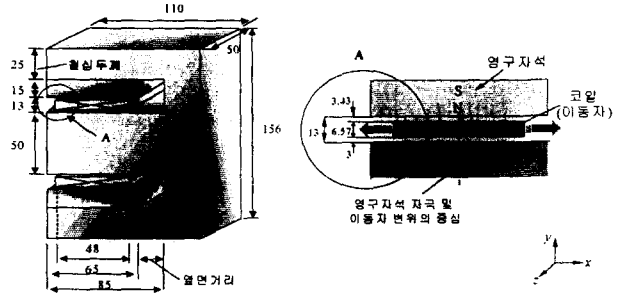


그림 1 해석모델의 치수 [단위 : mm]
Fig. 1 Dimension of analysis model [unit : mm]

표 1 해석모델의 사양
Table 1 Specification of analysis model

항목	값	단위
철심	두께	25×10^{-3} m
	축방향 길이	50×10^{-3} m
	재질	S30
영구자석	잔류자속밀도	1.15 T
	폭×길이×두께	$65 \times 50 \times 15 \times 10^{-9}$ m ³
	recoil permeability	1.05
코일	턴 수	309
	정격전압	10.6 V (peak)
	전류	3 I (peak)
	저항	2.71 Ω
	도체직경	0.882×10^{-3} m
	도체 단면적	0.5027×10^{-6} m ²
	전류밀도	2.9395×10^6 A/m ²
기계적 공극	3.43×10^{-3} m	
마찰계수	0.003 N·sec/m	

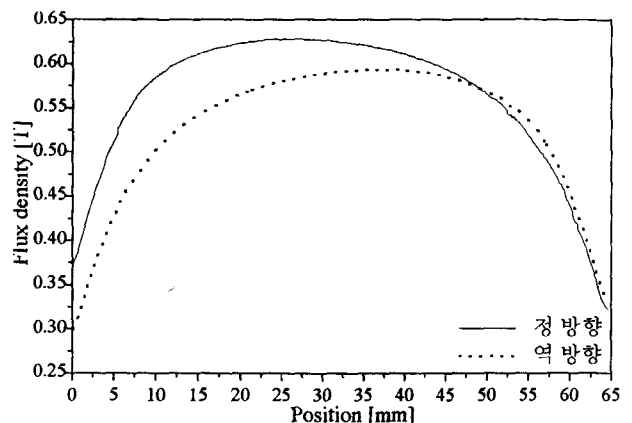


그림 2 공극 자속밀도 분포
Fig. 2 Air-gap flux density distribution

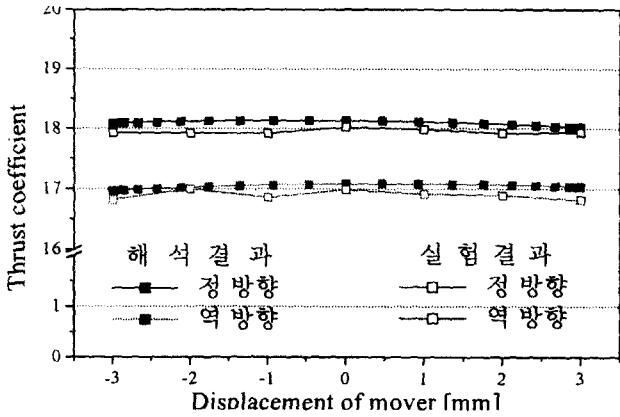


그림 3 변위에 따른 추력상수 분포
Fig. 3 Thrust coefficient distribution

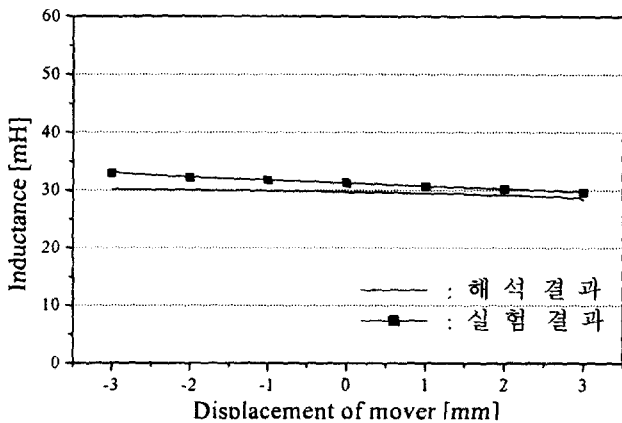


그림 4 가동자의 위치에 따른 인덕턴스
Fig. 4 Inductance according to mover position

그림 3은 가동자 진행방향별 추력상수(K_f)의 분포에 대한 해석결과와 실험결과를 나타낸 것이다. 제작된 시작기의 추력은 Loadcell (제작사 : CAS, 모델명 : BCL-10L)을 이용하여 측정하였으며, 추력상수의 크기 및 진행방향에 따른 그 값의 차이가 해석결과와 일치하므로 만족스러운 결과를 얻었다. 그림에서 알 수 있듯이 정방향 진행 시의 추력상수는 역방향 진행 시 보다 약 1.05 정도가 크게 나타난다. 이와 같이 정·역방향 운전시의 추력상수의 차이는 그에 대응하는 추력의 차이를 의미하며 그 차이가 클수록 가동자의 편심현상은 급격하게 발생한다. 이러한 추력 편차는 코일 기자력에 의하여 발생하므로 정·역방향 운전시의 추력 편차의 최소화 및 관성 등을 적게 하기 위해서는 영구자석에 의한 기자력은 크게 하고 코일 기자력은 작아지도록 LOA를 설계하여야 한다.

그림 4는 정방향 운전시 가동자의 위치에 따른 인덕턴스에 대한 해석결과와 실험결과를 나타낸 것이다. 자속밀도의 편차에 기인하여 인덕턴스는 자속이 집중하는 영역에 가동자가 위치한 경우 증가하고 위치별 편차가 크게 나타나고 있다.

3. 시스템 구성 및 구동회로

설계된 MC-LOA의 구동전원은 주파수 12[Hz]를 가지는 단상의 정현파를 필요로 한다. 그러나 이러한 단상 정현파를

이용한 MC-LOA의 구동은 가동자의 운전방향에 따라 발생하는 추력의 차를 보상할 수 없으므로 시스템에서 요구하는 변위특성을 충족시킬 수 없다. 한편, 기기 자체가 가지는 이러한 구조적인 단점은 제어시스템을 통하여 보상할 수 있으나 이를 구현하기 위해서는 복잡한 구조의 제어기의 구성과 많은 비용이 필수적으로 요구된다. 그러나 기기 자체가 가지는 특성을 정밀하게 분석·예상할 수 있다면 제어기 구성에 있어서의 부담을 충분히 줄일 수 있다. 즉, 본 논문에서 제시하는 방법은 정밀한 MC-LOA의 특성 해석 결과를 제어기의 구성에 적용함으로써 복잡한 구조의 제어기 구성이 필요 없이 간단한 원리만을 이용하여 시스템의 특성을 만족시킬 수 있는 구동방법이라고 할 수 있다.

3.1 시스템의 구성

설계된 LOA용 FET형 구동회로의 주요기본 사양은 표 2와 같다. LOA에서의 동작 및 성능보장을 요구하는 입력전압은 비교적 낮은 전압에서 동작한다. 본 논문에서는 이를 위해 시스템의 주 회로를 MOSFET소자를 사용한 직접형 인버터 방식으로 구성하였다. 그림 5는 시스템의 구동회로를 나타내는 블록선도이다.

3.2 Pulse Width Modulation (PWM)의 적용

PWM, 즉 펄스폭 변조방식으로 알려져 있는 이 방법은 DC-DC 컨버터 또는 DC-AC 컨버터에 많이 이용되는 방법으로 원하는 전압을 출력하는데 많이 쓰이는 방법이다. 이를 구현하기 위해서는 다수의 디지털회로 그리고 스위칭 소자가 필요하다[8]. 본 논문에서 요구하는 전압 형태를 구현하기 위하여 실시간으로 펄스폭의 변화를 유도시켜 가동자의 이동방향 즉, 정·역방향 운전시에 필요한 전류의 형태를 얻기 위한 전압파형을 유도하였다. 현재는 디지털기술의 발달로 마이크로컴퓨터, DSP 등에서 펄스를 발생하여 증폭회로와 함께 많이 사용하고 있으며, 본 논문에서는 MOS-FET의 게이트 신호를 만들기 위하여 8Bit 8051 프로세서와 PC를 이용하였다.

3.3 추력의 차이를 보상하기 위한 정·역방향 운전시 입력전류의 계산

본 논문에서 사용한 제어회로는 원하는 주파수의 정현파 전류를 얻을 목적으로 MOS-FET를 구동소자로 이용하는 PWM 방식의 제어를 사용하였다[8].

표 2 드라이버 기본사양
Table 2 Specification of driver

항 목		사 양	
시스템	주회로 방식	MOSFET 형 단상 인버터	
	MOSFET 정격	100V, 20A	
	입력전압 범위	DC 0V~15V	
	출력	정격 전압	AC 12V
		용량	50 VA
정격 주파수		12Hz	
제어	제어기	8Bit 8051 processor	
	제어방식	Open-loop Control	
	제어대상	전류제한제어	

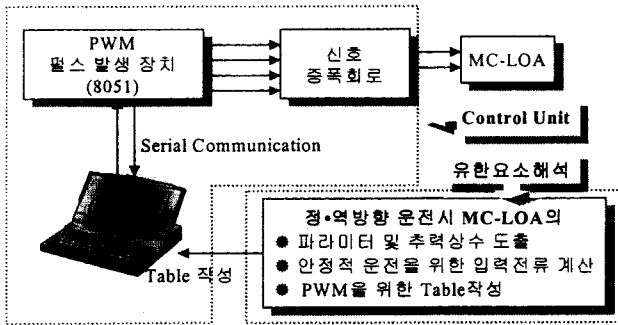


그림 5 구동회로 시스템 블록선도
Fig. 5 Block diagram for driving system

그러나 가동자의 이동방향에 따른 추력의 차이를 제거하고 MC-LOA의 운전특성을 만족시키기 위해서는 완전한 정현파의 입력전류가 아닌 상·하 비대칭적 형상을 가지는 정현파의 입력전류가 필요하다. 즉, 정방향 운전시 발생하는 추력은 역방향 운전시보다 크게 나타나므로 그 차이를 보상해 주기 위하여 정방향시 발생하는 잉여 추력만큼 입력전류를 감해주고, 역방향시 모자란 추력은 입력전류를 증가시키는 방법으로 제어회로를 구성하였다.

입력전류의 피크치가 3 [A]일 때, 가동자의 이동방향에 따라 발생하는 추력을 유한요소 법 통해 구한 결과는 각각 정방향일 때 54.26 [N]이고 역방향일 때 52.12 [N]이다. 이 결과 및 식 (2)를 이용하여 추력상수를 계산하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \text{정방향 운전시 발생추력} : 54.26 &= K_f \times 3 \\ \therefore K_f &= 18.09 \end{aligned} \tag{4}$$

$$\begin{aligned} \text{역방향 운전시 발생추력} : 51.12 &= K_f \times 3 \\ \therefore K_f &= 17.04 \end{aligned} \tag{5}$$

한편 식 (1)을 이용하여 구한 요구추력은 52 [N]이다. 따라서 식 (4)와 (5)에서 52 [N]의 발생추력을 얻기 위한 각각 전류값들의 피크치는 정방향일 때 약 2.87 [A], 역방향일 때 3.05 [A]이다.

3.4 PWM 구현을 위한 테이블 작성

구동소자인 MOS-FET의 게이트 신호를 제어하기 위해 8051 프로세서를 사용하여 제작하였으며, PWM 전류 파형을 구현하기 위한 테이블은 그림 6과 같다

필요한 형태의 전류를 얻어내기 위해서는 구현하고자 하는 주파수의 샘플링 타이밍을 알아야 한다. 설계된 MC-LOA는 12[Hz]의 주파수를 가지며 상·하로 비대칭적 사인파 형태의 입력전류를 필요로 한다. 주기 T를 가지는 사인파 형태의 전류에 있어서 반주기 1/2 T만큼을 40개의 등간격을 가지는 영역으로 나누어 각각의 영역에 대응하는 테이블의 번호를 정하고, 그 영역에서 FET의 게이트 신호 T_G를 결정하기 위하여 FET의 온 시간 (T_{ON})과 오프 시간 (T_{OFF})과의 비율을

테이블 번호에 대응시켜 저장한다. 저장된 T_{ON}/T_{OFF}의 비율에 따라 FET의 게이트 신호를 제어할 수 있으며, 결국 원하는 전류형태를 만들 수 있다. 이러한 과정을 통해 만들어진 테이블을 표 3에 나타내었으며 이를 실제로 FET의 게이트 신호를 만들어 주기 위하여 사용하였다. 여기서 원하는 형태의 사인파, 즉 정방향일 때에는 피크치로 2.87 [A]에 해당하는 전류를 만들고, 역방향일 경우에는 3.05 [A]의 전류를 만들기 위해서 3 [A]의 정현파를 만드는 스위칭 타이밍에 비하여 정방향일 경우 약 4.5 [%] 가량 오프시간의 비율을 늘이고, 역방향일 경우 약 1.6 [%] 가량 온 시간의 비율을 증가시켰다. 이와 같은 과정을 통하여 정방향일 경우 2.87 [A]의 피크치 전류를 가지며, 역방향일 경우 3.05 [A]의 피크치 전류를 가지는 입력전류를 만들 수 있다.

3.5 드라이버 구동

그림 7은 제작된 구동회로의 구성도이다. 여기서 FET1을 처음 반주기(여기서는 1/24 초)동안 샘플링 한 시간을 이용하여 온-오프 시키며 그 주기동안에는 FET4를 항상 온 시켜준다. 이럴 경우에 MC-LOA 에는 반주기의 정현파 전류가 흐른다. 처음 반주기를 지난 두 번째 반주기 동안에는 FET3을 계속 온시킨 상태에서 FET2를 온-오프 시킨다. 이 때 MC-LOA에는 처음 반주기 동안 구동되었던 방향과 반대의 방향의 정현파 전류가 흐르게 된다. 이와 같은 과정을 반복하면서 부하인 MC-LOA에는 원하는 모양의 정현파 전류가 인가되게 된다[9].

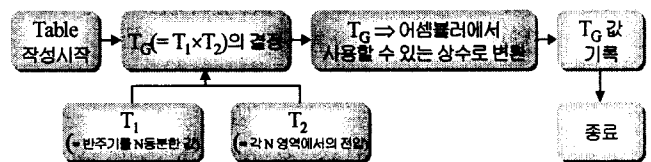


그림 6 PWM Table 작성 순서
Fig. 6 Flowchart of PWM Table

표 3 PWM 구동을 위한 Table
Table 3 Table for operation PWM

Table 번호	T _{ON} /T _{OFF} [%]	Table 번호	T _{ON} /T _{OFF} [%]	Table 번호	T _{ON} /T _{OFF} [%]	Table 번호	T _{ON} /T _{OFF} [%]
1	7	11	71	21	96	31	65
2	14	12	75	22	95	32	60
3	21	13	80	23	94	33	54
4	28	14	84	24	92	34	48
5	35	15	87	25	90	35	42
6	42	16	90	26	87	36	35
7	48	17	92	27	84	37	28
8	54	18	94	28	80	38	21
9	60	19	95	29	75	39	14
10	65	20	96	30	71	40	7

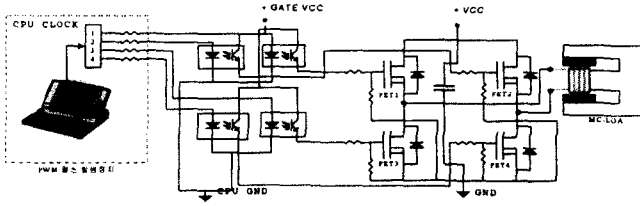


그림 7 구동시스템
Fig. 7 Driver unit

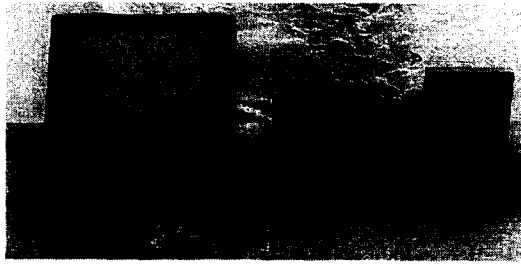


그림 8 제작된 시작기 및 구동회로
Fig. 8 Test machine and driver units

4. 동특성 해석 및 실험을 통한 타당성 검증

그림 8에서와 같이 설계된 모델의 시작기와 제어회로를 제작하여 본 논문에서 제안한 방법의 타당성을 검증하였다.

4.1 동특성 해석

유한요소법에 의한 MC-LOA의 동특성 해석은 계산 시간의 증가에 비해 결과는 전압방정식을 운동방정식과의 결합으로 해석한 결과와 큰 차이가 없다. 따라서 본 절에서는 MC-LOA의 동특성을 분석하기 위해서 전압방정식과 운동방정식을 결합하여 해석하였다[7]. 전압방정식을 구성하는 파라미터들은 유한요소법으로 산정 하였으며 시간 변화에 대한 특성은 시간 미분항을 이산화시켜 계산하는 시간 차분법을 적용하였다[7].

한편 동특성 해석 결과를 살펴보면 알 수 있듯이 LOA의 운전특성, 즉 변위특성은 인가되는 전압의 형태에 따라 많은 영향을 받음을 알 수 있다. 특히 초기 기동상태에 있어서는 가동자가 가지는 관성과 기계적·전기적 시정수 등이 정상상태와는 다르므로 초기에 인가될 전압 형태를 적절히 설정해 주어야 한다. 따라서 본 논문에서는 가동자의 이동방향에 따라서 발생하는 추력의 차이를 보상해줄 뿐 아니라 기동시 안정적으로 정상상태에 신속하게 도달할 수 있는 전압의 형태를 결정하여 제시하였다.

그림 9는 초기 기동시부터 전류의 방향이 바뀌기 전까지 처음 반주기동안에 인가되는 전압의 주기와 정·역방향 운전시 발생하는 추력의 차이를 보상해 주는 전압의 인가 여부에 따라서 수행한 동특성 해석결과이다. 그림 9의 (가)는 정상상태에서와 같은 주기의 전압을 초기상태에도 그대로 적용하였을 때의 해석결과를 나타낸다. 변위특성을 보여주는 (a)와 (b)의 그림은 각각 정·역방향 운전시 발생하는 추력의 차이

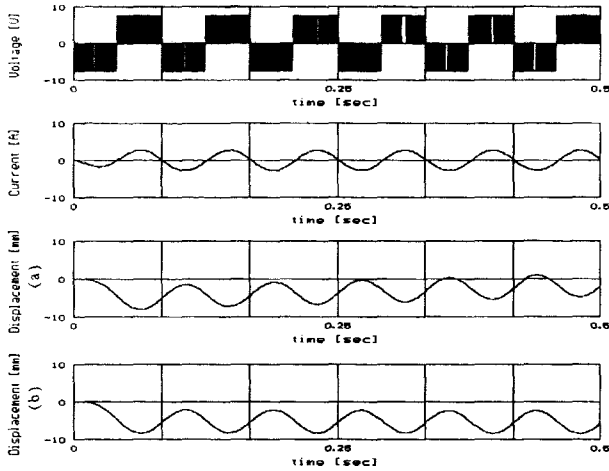
를 고려하지 않았을 경우와 그 차이를 보상하기 위한 전압을 인가했을 경우의 해석결과이다. 인가된 전압에 의하여 LOA에 흐르는 전류의 양상을 살펴보면 처음 반주기에 통전되는 시간과 정상상태에 통전되는 시간은 거의 유사함을 알 수 있다. 하지만 변위특성곡선 (a)와 (b)를 살펴보면 알 수 있듯이 정상상태에서와는 달리 초기 기동시 정지되어있던 가동자는 인가되는 전원에 의하여 빠른 응답속도를 가지며 이동하게 되므로 처음 반주기동안에 가동자는 과도한 이동 변위를 가지게 된다. (a)의 경우 초기 기동시 가동자가 인가된 전원방향으로 이동했다가 추력이 큰 정방향쪽으로 급격히 변위의 중심이 이동해 가는 현상이 나타난다. (b)의 경우 추력의 차이를 보상해 주는 전압을 인가하였으므로 가동자가 안정된 왕복운동을 구현할 수 있었으나 과도한 초기 이동거리로 인해 이동변위의 중심이 이동해버린 상태에서 왕복운동이 구현됨을 볼 수 있다. 그림 9의 (나)의 경우는 이러한 현상들을 보완하기 위해 초기 기동시 반주기동안의 전압주기를 적절히 조절한 경우 동특성 해석결과이다. 즉 초기 기동시 가동자의 과도한 변위량을 감소시키기 위하여 초기 전압의 통전시간을 정상상태의 반으로 줄인 후 해석을 수행한 결과 그에 비례하여 같은 주기에서의 전류의 통전시간이 감소하였으며 가동자의 초기 이동변위량도 만족할 만한 범위 안에 머물게 할 수 있었다. (나)에서의 (a)와 (b) 역시 (가)에서와 동일한 각각의 경우에 해당하는 변위특성곡선을 나타낸다. (a)의 경우 초기 변위량은 줄일 수 있었지만 역시 추력의 차이로 인하여 이동변위의 중심이 급격히 이동해하는 현상을 볼 수 있다. 그러나 (b)의 경우 추력의 차이를 고려하여 그 차이만큼을 인가 전압을 통하여 보상해 준 경우이므로 초기 변위특성은 물론 정상상태에 있어서도 시스템에서 요구하는 운전특성을 확보할 수 있음을 확인 할 수 있다.

4.2 실험결과와의 비교

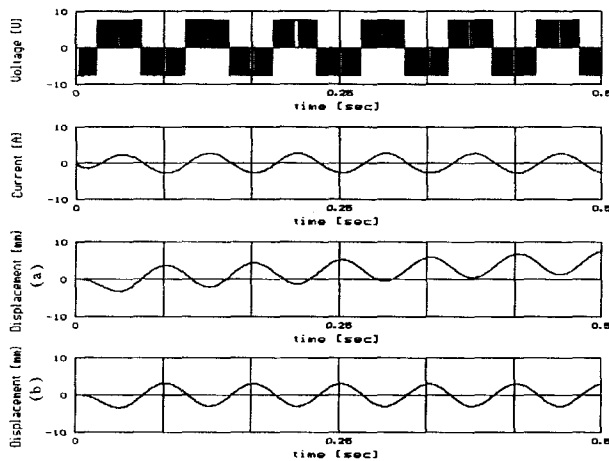
이러한 동특성 해석의 타당성과 자기회로 불평형 현상을 실험을 통하여 검증·분석하였다. 그림 10은 정·역방향 운전시 발생하는 추력의 차이를 고려하지 않았으며, 초기 반주기동안 정상상태와 동일한 전압형태를 인가하였을 때 변위와 전류특성을 해석결과와 비교하여 나타내었다. 그림 10 (a)에서는 해석결과에서 알 수 있었듯이 실험을 통한 결과에서도 추력의 차이에 의해 가동자의 이동변위 중심이 한쪽으로 급격히 치우쳐 이동해 가는 현상이 발생하여 정상적인 운전이 지속되지 못하게 된다. 그림 10 (b)는 이때 인가된 PWM 전압으로 구현되어 실제로 LOA에 입력되는 전류를 current probe (제작사 : LeCroy, 모델명 : AP011)를 이용하여 측정 한 것과 그에 해당하는 해석결과를 보여주고 있다.

그림 11은 해석결과에서와 같이 정·역방향시 발생하는 추력의 차이를 보상해주며 초기 기동시 통전시간을 반으로 줄인 전압을 인가하였을 경우 실험결과를 보여준다. 역시 해석결과와 잘 일치함을 확인할 수 있으며, 그림 11 (a)의 경우 발생추력의 불평형을 해소하여 가동자가 만족스럽게 왕복운동을 함을 알 수 있으므로 LOA의 시스템 성능을 좌우하는 가동자의 편심작용은 완전히 제거되어 안정적인 운전이 가능함을 입증하였다. 그림 11 (b)는 이때 전류값들에 대한 측정결과와 해석결과로서 그림에서 알 수 있듯이 상·하 비대칭

적인 전류, 즉 정방향일 때 전류의 피크치는 역방향일 때보다 작은 크기를 가지고 입력되고 있음을 확인할 수 있다.



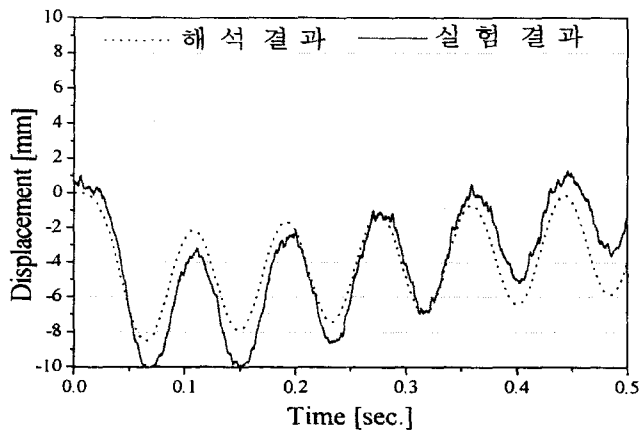
(가) 기동시 정상상태와 동일한 전압을 인가했을 경우



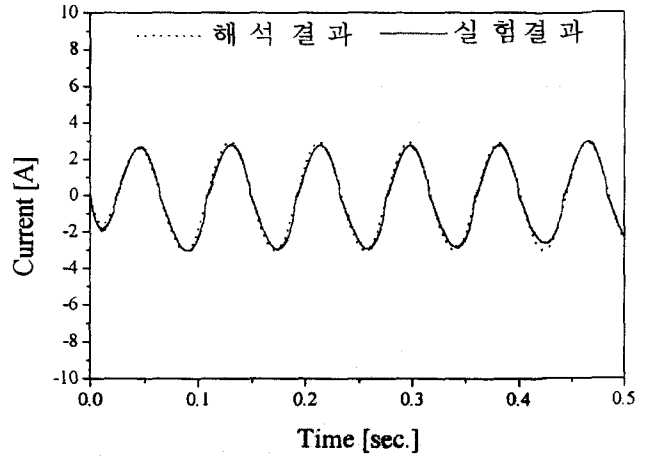
(나) 기동시 인가전압의 통전시간을 조절하였을 경우

그림 9 동특성 해석결과

Fig. 9 Dynamic characteristic analysis results



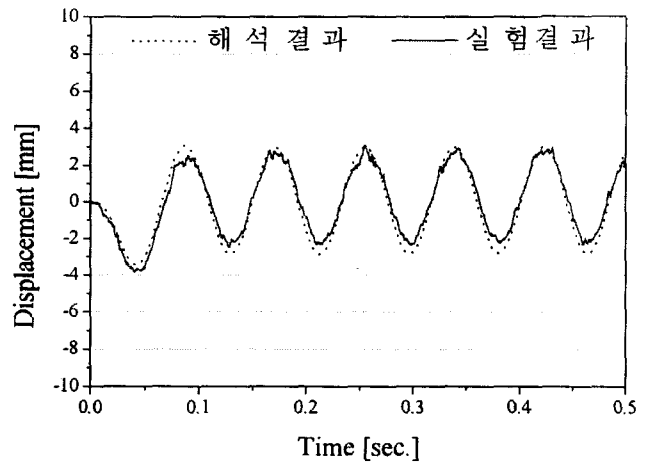
(a) 변위특성



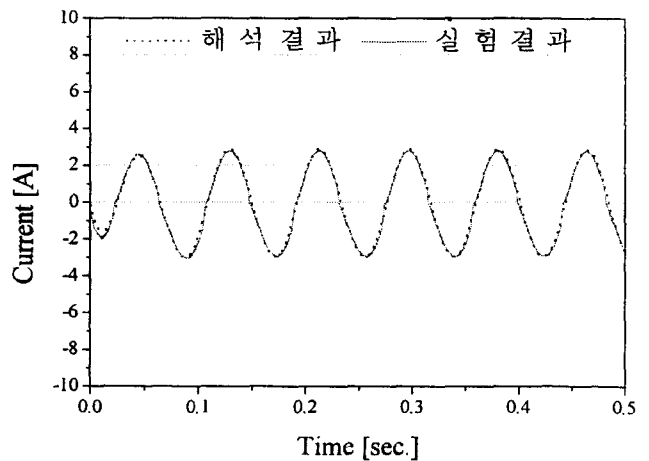
(b) 전류특성

그림 10 추력차를 보상하지 않은 경우 변위 및 전류특성

Fig. 10 Displacement and current characteristic not considering the thrust difference



(a) 변위특성



(b) 전류특성

그림 11 추력차를 보정한 경우 변위 및 전류특성

Fig. 11 Displacement and current characteristic considering the thrust difference

5. 결 론

MC-LOA는 대칭구조를 취하지 못하므로 자기회로의 불평형이 초래되어 인가전류의 방향에 따라 공극 자속밀도에 차이가 발생한다. 즉, 가동자의 진행방향에 따라 추력 차가 발생하여 MC-LOA 구동시 이동변위의 중심 자체가 한쪽으로 치우치게 되어 시스템이 요구하는 운전특성을 만족시킬 수 없다.

따라서, 본 연구에서는 MC-LOA의 특성해석을 바탕으로 구동 회로에서 기본 설정 값을 기준으로 정방향 운전시 4.5[%] 온 시간을 단축, 역방향 운전시 온 시간을 1.6[%]증가시켜 정상상태에 있어서 안정적인 운전을 도모하였다. 또한 동특성 해석을 바탕으로 하여 기동시 안정적으로 정상상태에 신속하게 도달할 수 있는 초기전압의 형태를 결정하여 제시하였다. 이는 유한요소법을 이용한 전자기적 특성해석을 기반으로 하여 정·역방향 운전시의 기자력 차이만큼을 전원부에서 보상하여 줌으로써 전체 시스템을 단순화시킬 수 있음은 물론 MC-LOA의 안정적인 운전특성을 확보할 수 있었으며 그 결과들을 실험을 통하여 입증하였다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 지정 창원대학교 공작기계기술 연구센터의 지원에 의한 것입니다.

참 고 문 헌

- [1] BASAK, "Permanent Magnet DC Linear Motors", CLARENDON PRESS · OXFORD, 1996
- [2] Naila Mikhaei-Boules, "Design and analysis of linear actuator for active vibration cancellation.", General Motors Corporation, 1995.
- [3] 장석명 외 "영구자석 계자와 전기자 자속의 상호작용 효과를 고려한 가동코일형 리니어 모터의 정특성", 전기학회 논문지 vol. 48B, no. 1, pp19~26, 1999. 1.
- [4] 장석명 외 "리니어 왕복운동 제어시스템 구동용 가동코일형 리니어 액츄에이터의 설계제작 및 제어정수 도출", 전기학회 논문지 vol. 48B, no. 5, pp241~248, 1999. 5.
- [5] 김덕현 외 "불평형 자기회로를 고려한 가동 코일형 리니어 진동 액츄에이터의 설계 및 특성 해석", 전기학회 논문지, vol. 49B, no. 6, pp403~410, 2000. 6
- [6] 엄상준 외 "자기회로 불평형을 고려한 MC-LOA의 설계 및 특성해석", pp. 145-147, vol.A 대한 전기학회 하계학술대회, 1999
- [7] 정인성 외, "유한요소법에 의한 리니어 압축기의 압력을 고려한 동특성 해석", 전기학회 논문지, vol. 47, no. 5, pp. 1862~1868, 1998. 11.
- [8] Thomas L. Floyd, "Electronic Devices", Fourth Edition, Prentice-Hall, 1996
- [9] 김태완, 서광덕, "전동차용 고성능 IGBT형 보조전원장치 개발", 전력전자학회 논문지 제4권 제 6호, pp. 500~506, 1999. 12

저 자 소 개



김 덕 현 (金 德 顯)

1966년 7월 10일생. 1992년 한양대 공대 전기공학과 졸업. 1996년 창원대 공대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1991년~1996년 한화기계 자동화 사업부. 현재 동 대학원 전기공학과 박사과정, 안동 정보대학 전기과 전임강사.

Tel : 054-820-8133

E-mail : dh0710@www.ait.ac.kr



엄 상 준 (嚴 相 俊)

1973년 4월 19일생. 1999년 창원대 공대 전기공학과 졸업. 현재 동 대학원 전기공학과 석사과정.

Tel : 055-279-7519

E-mail : bigmac@cosmos.changwon.ac.kr

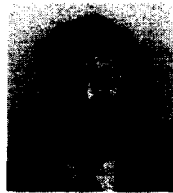


강 규 홍 (姜 圭 洪)

1967년 11월 5일생. 1992년 창원대 공대 전기공학과 졸업. 1994년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1994년~1998년 LG전자(주) 주임연구원. 현재 동 대학원 전기공학과 박사과정

Tel : 055-279-7519

E-mail : kgh1004@cosmos.changwon.ac.kr



홍 정 표 (洪 正 杓)

1959년 4월 17일생. 1983년 한양대 공대 전기공학과 졸업. 1985년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1985년~1990년 LG정밀(주) 중앙연구소 주임연구원 19 90년~1992년 삼성전기(주) 종합연구소 선임연구원. 1995

년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 1996년~1996년 한양대 산업 과학연구소 선임연구원. 현재 창원대 공대 전기공학과 조교수

Tel : 055-279-7517

E-mail : jphong@sarim.changwon.ac.kr



김 규 탁 (金 奎 卓)

1961년 11월 12일생. 1982년 한양대 공대 전기공학과 졸업. 1984년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1991년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 현재 창원대 공대 전기공학과 부교수. 1996년~1997년 일본 早稻田大 客員研究員

Tel : 055-279-7515

E-mail : gtkim@sarim.changwon.ac.kr