

불평형 자기회로를 고려한 가동 코일형 리니어 진동 액추에이터의 설계 및 특성해석

論 文
49B-6-6

Design and Characteristic Analysis of Moving Coil type Linear Oscillatory Actuator Considering Unbalanced 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 deals with a study to improve the performance of Moving Coil type Linear Oscillatory Actuator (MC-LOA) considering unbalanced magnetic circuit. MC-LOA has an unbalanced magnetic circuit due to its asymmetric structure. In this type of LOA, the airgap flux density tends to have different magnitude along mover's displacement and the current directions. The above property causes eccentric of displacement center and interferes with the proper oscillation of LOA. Therefore, this paper presents two models having the unbalanced magnetic circuit and the other balanced by the saturated core. In order to compare the characteristics between the two models, a characteristic analysis for both the basic model and the improved model is performed by their dynamic analysis composed of kinetic and electric equations and Finite Element Method (FEM). The propriety of the improved model is verified through the experimental results.

Key Words : Asymmetric structure, FEM, MC-LOA

1. 서 론

소변위 왕복운동을 필요로 하는 시스템의 구동원으로 유·공압을 이용하는 기계식 액추에이터나 회전기가 많이 사용되고 있다. 그러나 회전기를 이용하는 경우, 회전운동을 직선운동으로 변환시키는데 필요한 기계식 변환장치로 인해 시스템 전반의 효율 개선 한계, 속응성 및 구조적인 복잡함 등으로 인하여 선형 액추에이터 (Linear Oscillatory Actuator, LOA)에 대한 관심이 고조되고 있다[1,2].

이러한 선형 액추에이터 중에서 가동 코일형 LOA (Moving Coil type LOA, MC-LOA)는 구조가 간단하고 가동자의 관성이 적어 고속의 소변위 왕복운동에 적합하며, 잔류자속 밀도가 높은 영구자석을 사용함으로써 고에너지밀도의 자기회로 구성도 가능하여 대용량에 이르기까지 그 응용 범위가 확대되고 있다[1,2]. 그러나 이러한 구조의 LOA를 대용량의 산업용으로 사용할 경우에는 운전 주파수의 제한이 뒤따르게 되어 일반적으로 상한 주파수를 약 20[Hz]로 보고 있다[2,3].

MC-LOA는 구조적으로 한쪽이 개방되어 있는 불평형의 자기회로를 가지므로 자기회로 설계시 양단부의 누설을 고려하여 설계한다[3-5]. 그러나 이러한 방법으로는 무부하 상태의 자기회로 불평형은 개선이 가능하나, 가동자가 왕복운

동을 할 때 코일의 인가전류 방향에 따라 발생하는 공극자속의 불평형으로 인해 일정 소변위 왕복운동을 해야 하는 LOA의 변위 중심이 이동하는 현상이 발생하여 왕복운동을 지속할 수 없는 문제는 해결이 어렵다[2]. 이러한 현상을 최소화시키기 위하여 철심이나 코일 형태의 최적화, 구동회로의 운전 주파수를 적절히 선정하는 등의 연구결과가 발표되고 있으나 이동방향에 따른 불평형 문제를 해결한 연구는 발표되지 않고 있다[2,3]. 이러한 이동방향에 따른 공극 자속의 불평형 원인은 결국 자기회로의 불평형과 코일에 흐르는 전류에 의해 발생하는 자속이 영구자석에 의한 자속과 중첩 또는 상쇄되기 때문이다.

따라서, 본 논문에서는 이러한 현상을 최소화하기 위하여 철심의 포화를 유도한 설계를 수행하였다. 즉, 자기회로의 경로인 철심을 포화시킴으로 전기장하의 비를 자기장하와 비교하여 상대적으로 줄임으로써 전기장하에 의한 영향을 최소화시킨 결과 전류에 의해 발생하는 자속에 의한 영향이 감소하여 전류방향에 따른 공극에서의 자속밀도의 차이를 최소화시키도록 하였다. 즉, 코일에 흐르는 전류방향에 따른 추력 편차를 해소하기 위하여 전류의 방향에 관계없이 자기회로가 평형상태가 되도록 형상설계를 수행하였다.

2. MC-LOA의 설계

기계적인 방정식과 전기적인 방정식을 결합하여 시간에 따라 변위가 정현적으로 변화하는 MC-LOA를 퍼미언스법을 이용한 등가자기회로법으로 설계하였으며, 유한요소법 (Finite Element Method, FEM)을 통하여 설계의 신뢰성을 확보하였다. 식 (1)과 (2)는 결합된 각각의 방정식을 나타내는 식이다.

* 正 會 員 : 安東情報大學 電氣科 專任講師
** 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 : 1999年 12月 9日
最終完了 : 2000年 4月 18日

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

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

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.

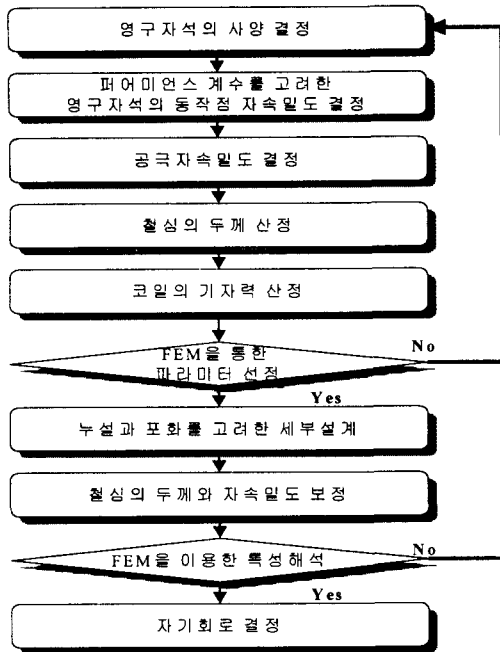


그림 1 자기회로 설계과정
Fig. 1 Magnetic circuit design process

그림 1은 자기회로 설계 과정을 나타낸 것이다. 자기회로 설계시, 자기회로가 불평형이므로 등가자기회로법으로는 누설자속, 포화 및 기자력 손실계수 등의 정밀 산정이 어렵다. 따라서 본 논문에서는 설계과정에서 유한요소해석을 통하여 누설자속 및 기자력 손실을 계수를 보정해주는 방법을 적용하였다.

2.1 설계모델

위의 과정을 거쳐 최대변위 ±3[mm], 운전 주파수 12[Hz], 전체 부하중량 3[kg]을 만족하도록 설계된 모델의 치수와 사양은 그림 2와 표 1과 같다.

MC-LOA는 기계적인 공극에 영구자석을 포함하고 있고 불평형 자기회로를 가지므로 누설계수 σ 는 일반 회전기에서 보다 커지게 된다. 그러므로 누설계수를 보정하기 위하여 철심의 두께와 옆면거리에 대하여 유한요소해석 결과를 그림 3과 4에 나타내었다.

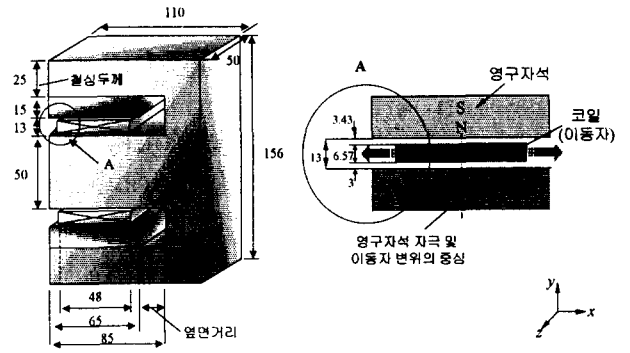


그림 2 기본모델의 치수 [단위 : mm]
Fig. 2 Dimension of initial model [unit : mm]

표 1 설계된 기본모델의 사양
Table 1 Specification of initial designed 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 턴
	저항	2.71 Ω
	도체직경	0.882×10^{-3} m'
기계적 공극	도체 단면적	0.5027×10^{-6} m'
	전류밀도	2.9395×10^6 A/m'
마찰계수	3.43×10^{-3} m	
	0.003	N · sec/m

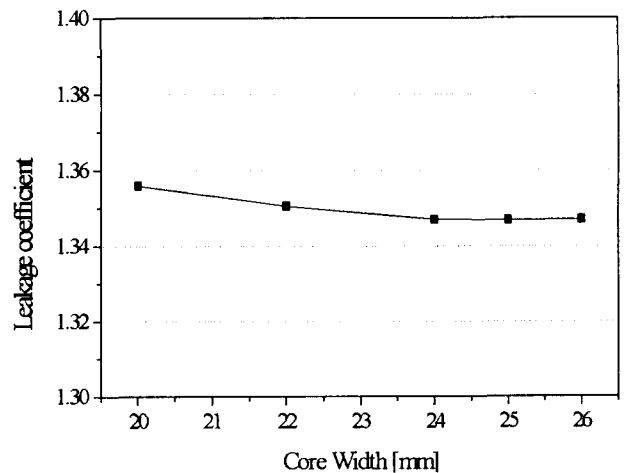


그림 3 철심두께에 따른 누설계수
Fig. 3 Leakage coefficient according to core thickness

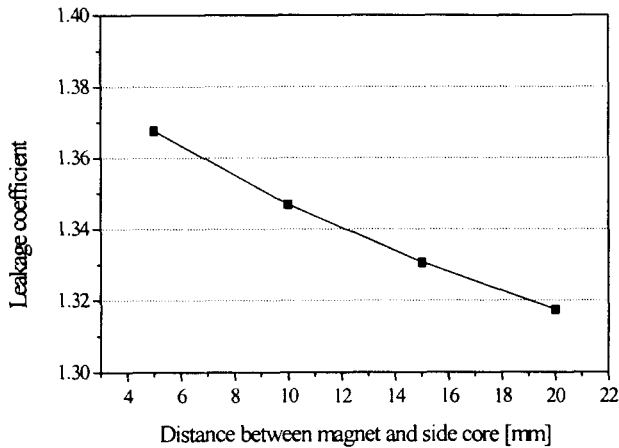


그림 4 옆면거리에 따른 누설계수
Fig. 4 Leakage coefficient according to side distance

이러한 해석 결과를 통하여 철심두께 25[mm], 옆면거리 20[mm]를 선택함으로써 누설계수는 약 1.3174가 된다. 이 치수로 설계한 기본모델에서 영구자석과 코일을 동시에 여자한 경우의 철심 내부에서의 최대 자속밀도는 정방향일 때와 역방향일 때 각각 약 1.7[T]와 1.58[T]로 그 변화량이 8.2[%]에 달하며, 이는 전류에 의한 자속의 영향을 많이 받고 있으므로 완전히 포화되지 않음을 알 수 있다.

2.2 기본 모델 해석

해석 모델은 상·하 대칭구조를 가지므로 전체 모델 중앙에 있는 철심을 기준으로 1/2 만을 채택하고 고정경계조건을 적용하여 해석 대상을 결정하였다. 해석을 위한 지배방정식은 식 (3)과 같다.

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

여기서, μ 는 투자율, A 는 magnetic vector potential, J_0 는 코일전류의 전류밀도 그리고 J_m 은 영구자석의 자화전류밀도를 나타내며, A , J_0 , J_m 은 각각 \vec{A} , \vec{J}_0 , \vec{J}_m 의 z방향 성분이다.

그림 5는 영구자석과 코일을 동시에 여자시킨 경우 그림 2에서의 영구자석 양쪽 끝단을 잇는 공극 자속밀도 분포를 나타낸 것이다. 가동자가 철심 내부로 진행하는 방향을 정방향, 반대방향으로의 진행을 역방향으로 표시하면 정방향 진행시 공극 자속밀도는 역방향 진행시보다 현저히 큰 값을 가지게 된다. 이는 자기회로의 불평형으로부터 발생하여 전류 방향에 따른 영향이 이러한 현상과 중첩되어 자속밀도의 불평형이 크게 발생하였기 때문이다[6]. 이러한 현상은 자기회로의 불평형과 코일전류에 의한 자속의 영향 때문이다. 즉, 영구자속에 의한 자속은 항상 일정한 방향으로 흐르지만, 전류에 의한 자속은 정방향 운전시는 영구자석에 의한 자속과 중첩되고 역방향 운전시에는 상쇄되기 때문이다.

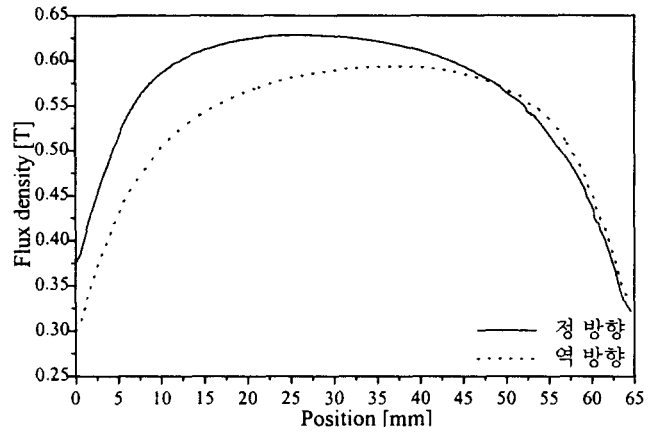


그림 5 공극 자속밀도 분포
Fig. 5 Air-gap flux density distribution

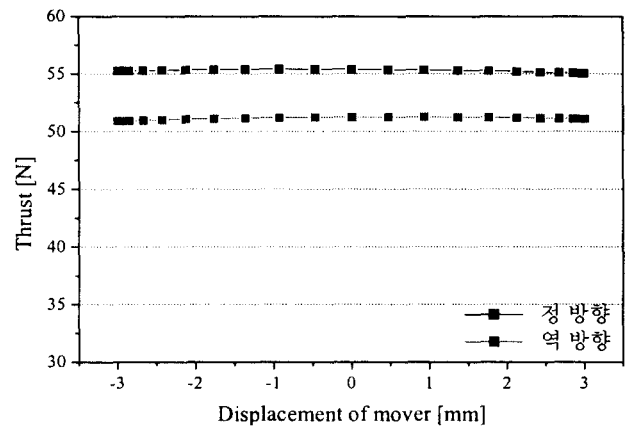


그림 6 변위에 따른 추력 분포
Fig. 6 Thrust distribution according to displacement

따라서, 전체 자속은 이동자의 진행방향에 따라 증가 및 감소를 반복하는 자속의 불평형이 발생한다. 전류방향에 따른 공극자속밀도의 차이는 이동자의 진행방향에 따른 추력차의 원인이 되어, 이동변위의 중심이 그 추력의 차이만큼 한쪽으로 치우치게 되어 일정 소변위 왕복운동을 지속할 수 없게 된다. 이를 push effect, pull effect등으로 명명하기도 하였다[3,4].

그림 6은 가동자 진행방향별 추력 분포를 나타낸 것이다. 정방향 진행 시의 추력이 역방향 진행 시 보다 약 3.1[N] 정도가 크게 나타난다. 이와 같이 정·역방향 운전시의 추력 편차가 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.

3. 불평형 자기회로를 고려한 설계

2장의 해석결과에서 알 수 있는 바와 같이, MC-LOA는

자기회로 불평형으로 인한 추력 편차로 인하여 가동자의 편심현상이 발생한다. 따라서 본 연구에서는 이동 방향에 따른 추력의 편차를 최소화시키기 위하여 자기회로가 평형이 되도록 구조적인 형상설계를 행하였다. 이동방향에 따른 추력의 편차는 자기회로의 불평형과 가동자의 진행방향을 결정해 주는 전류에 의해 발생하는 자속의 영향 때문이다. 즉 이러한 전류에 의한 자속의 영향을 최소화 시키는 방법은 철심부를 포화시키는 방법이다. 그러나 철심이 포화되면 추력이 감소하여 효율을 비롯한 LOA의 제반특성이 저하되므로 먼저 포화되기 이전의 기본모델에서 추력이 최대로 발생하는 코일의 형상을 도출하였다. 그 결과 동일 기자력에서는 코일 폭을 줄이면 추력은 증가되나 추력의 편차는 변화가 거의 없었다. 또한 코일 형상을 어떻게 변화시켜도 추력의 편차는 줄어들지 않았다. 따라서, 본 연구에서는 추력이 최대로 발생하는 코일의 폭과 높이를 산출한 후 이로부터 추력의 편차를 최소화시키도록 하였다.

그림 7은 철심 두께에 따른 철심 자속밀도의 분포를 나타낸 것이다. 기본모델에서는 정방향시 약 1.71[T], 역방향시 약 1.58[T]로 철심의 포화는 무시할 수 있으나 자속밀도는 약 8.2[%] 정도의 차이가 발생하였다. 그러나 철심두께 17[mm]로 포화를 시킨 경우, 자속밀도는 정방향일 때 약 2.01[T], 역방향일 때 약 1.99[T]으로 그 차이를 거의 해소할 수 있다.

그림 8은 철심두께에 따른 추력 변화를 나타낸 것이다. 두께 25[mm]의 기본모델의 경우, 가동자 진행방향별 추력 편차는 3.1[N]을 발생하였고, 철심두께를 변화시켜 포화가 될수록 전류에 의한 영향을 덜 받게 되므로 추력 편차는 감소한다. 그러나 철심부의 자기저항 증가로 공극 자속밀도는 감소하게 되어 추력의 저하를 초래하게 되므로 설계목표를 만족할 수 없다. 따라서, 추력 저하와 추력 편차를 동시에 최소화하는 설계를 수행해야함을 알 수 있다. 자기회로를 포화시킨 17[mm]의 경우 추력은 48.9[N]으로 약 9[%] 감소한 반면, 추력 편차는 0.8[N]으로 매우 작아졌다. 추력의 편차를 완전히 해소시키기 위해서는 철심 두께를 13[mm] 이하로 하여야 하나 이는 추력 감소가 매우 커지므로 비효율적이다.

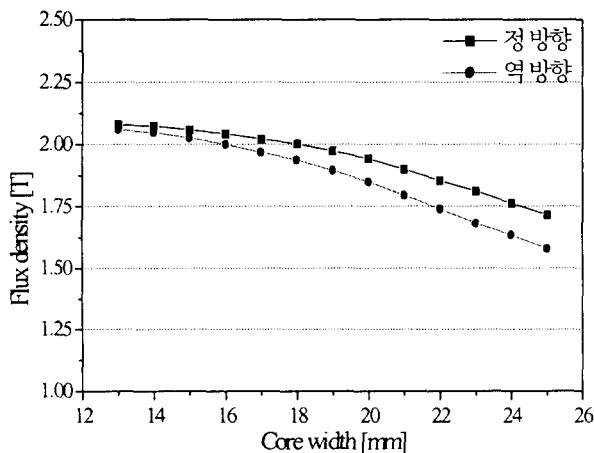


그림 7 철심의 두께에 따른 철심내 자속밀도
Fig. 7 Inside core flux density according to core thickness

따라서 추력의 편차를 최소화시키면서 시스템의 성능을 만족하기 위해서는 구조적으로 발생하는 자기회로의 불평형을 해결하는 것이 설계의 정밀성을 추구할 수 있을 것이다. 따라서 본 연구에서는 해석의 타당성을 입증하기 위해서 추력은 저하하지만 자기회로의 평형을 구성하는 철심 두께 17[mm]의 개선모델을 산정하여 제작 및 검증하였다.

추력의 편차를 최소화시킨 개선된 모델의 자속밀도 분포 및 변위에 따른 추력 특성을 그림 9와 그림 10에 나타내었다. 개선모델과 기본모델을 비교하기 위하여 기계적인 공극 길이는 같게 하였다. 즉, 영구자석과 코일을 동시에 여자시킨 경우 공극 자속밀도 분포를 그림 9에, 가동자 진행방향별 추력 분포를 그림 10에 나타내었다. 개선된 모델에서 추력 편차는 약 0.8[N]으로 기본모델에 비해 급격히 줄었고, 약 4[N]의 추력이 저하되었다. 이 4[N]의 추력 감소를 보상하기 위해서는 기본모델보다 0.16[A]의 전류를 증가시켜야하므로 LOA 시스템의 효율은 다소 감소되었으나 시스템이 안정적으로 운전할 수 있음을 알 수 있다.

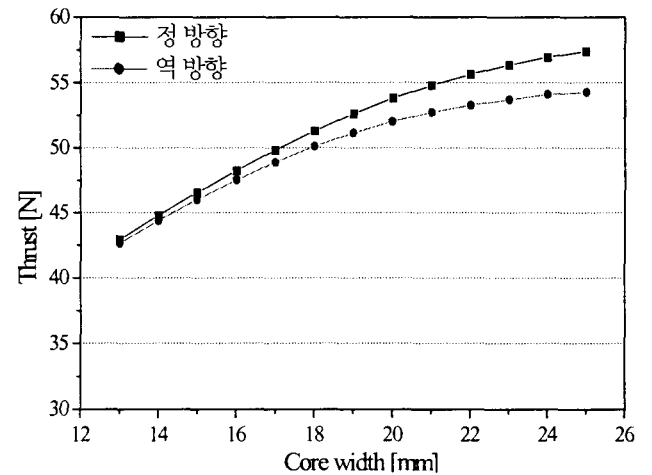


그림 8 철심두께에 따른 추력
Fig. 8 Thrust according to core thickness

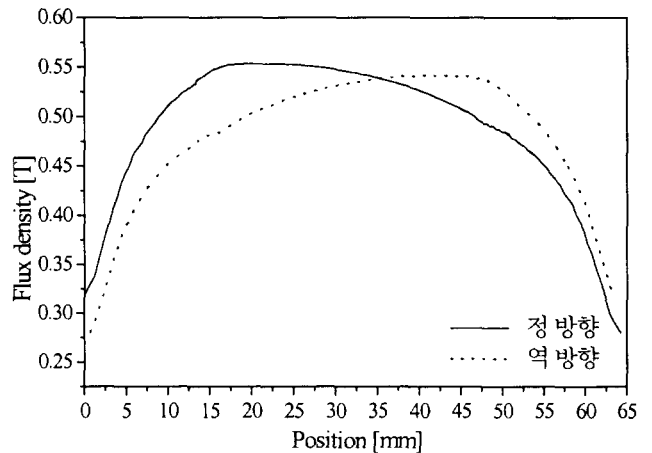


그림 9 공극 자속밀도 분포
Fig. 9 Air-gap flux density distribution

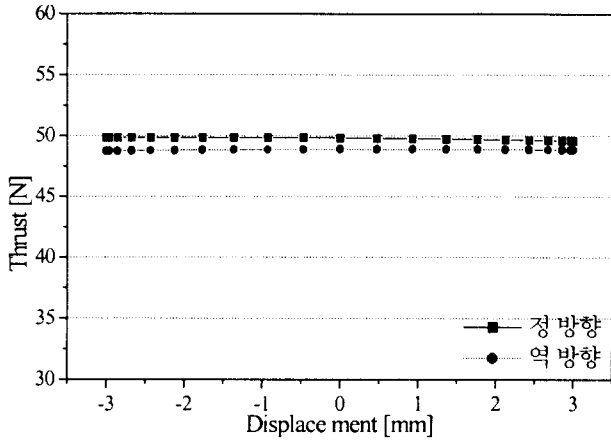


그림 10 변위에 따른 추력분포
Fig. 10 Thrust distribution according to displacement

4. 시작기를 통한 설계의 타당성 검증 및 동특성 해석

설계과정을 통하여 최종적으로 결정된 두 개의 모델은 철심의 두께가 25[mm]인 포화시키기 전의 기본모델과 17[mm]의 철심 두께를 가지는 개선모델이며 그 나머지 사양은 두 개의 모델 모두가 동일한 값을 가진다.

설계된 LOA의 운전 주파수는 12[Hz]를 가지는 단상 정현파를 필요로 한다. 3상의 출력만을 가지는 일반적인 상용 인버터를 단상으로 사용할 경우 고조파 문제 및 상당 불평형의 문제 등으로 인하여 구동 전원으로서의 구현이 어렵다. 따라서, 본 연구에서는 적용 가능한 구동회로를 제작 사용하였다. MOS-FET를 구동소자로 하고 8051 프로세서를 이용한 PWM 방식의 제어를 할 수 있도록 구성하였다.

4.1 시작기 제작 및 정특성 평가

설계 및 해석의 타당성을 입증하기 위하여 기본 설계된 기본모델과 철심의 두께를 17[mm]로 선정하여 자기회로 불평형을 최소화한 개선모델 등 2대의 MC-LOA를 제작하였다.



그림 11 기본모델 시작기 (철심두께 = 25mm)
Fig. 11 Test machine of initial model (core thickness = 25mm)

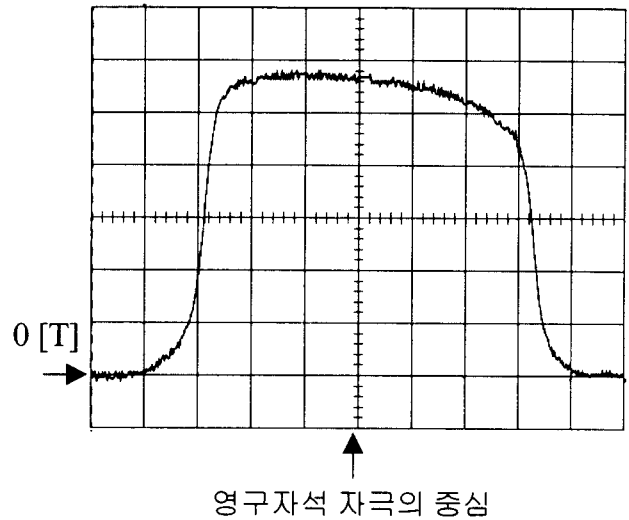


그림 12 정방향 운전시 공극의 자속밀도 (기본모델, 0.11[T/div])

Fig. 12 Air-gap flux density in the case of forward operating (initial model, 0.11[T/div])

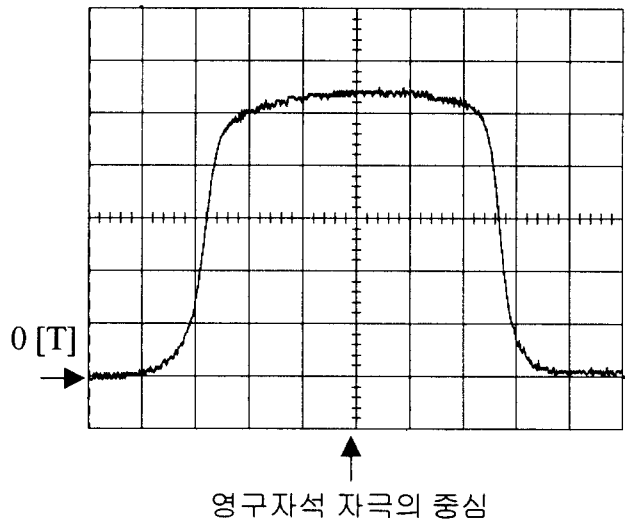


그림 13 역방향 운전시 공극의 자속밀도 (기본모델, 0.11[T/div])

Fig. 13 Air-gap flux density in the case of backward operating (improved model, 0.11[T/div])

제작된 MC-LOA의 무부하 상태 공극자속밀도와 진행 방향별 전류가 인가된 상태에서의 공극자속밀도, 인덕턴스, 추력상수를 실험을 통하여 평가한 후 해석치와 비교·분석하였다. 그림 12와 그림 13은 포화를 시키지 않은 기본모델에 있어서의 부하 상태에서 공극자속밀도를 Gauss meter를 이용하여 실험한 결과로써 1 division당 0.11[T]를 나타낸다. 전류의 방향에 따라 자속밀도의 크기뿐만 아니라 자속밀도

분포의 편차도 크게 발생함을 알 수 있다.

자속밀도의 측정은 이동자를 영구자석 자극의 중심이자 변위 중심인 위치에 고정시키고 정격전류의 피크치에 해당하는 직류전류를 흘린 상태에서 공극에 가우스 메터(Walker 사, 모델명 : MG-3DP)를 x방향으로 이동시키면서 측정하였다.

그림 14는 가동자의 위치에 따른 인덕턴스를 측정된 결과이다. 자속밀도의 편차에 기인하여 인덕턴스도 기본모델은 자속이 집중하는 영역에 가동자가 위치한 경우 인덕턴스는 증가하고 위치별 편차가 크게 나타나고 있다. 반면 개선모델은 가동자 위치별 인덕턴스도 거의 일정한 값을 가짐을 알 수 있다. 그림 15는 가동자의 이동에 따른 추력 특성에 관한 실험 결과를 나타내었다. 추력의 크기 및 진행방향별 추력의 차이가 해석치와 거의 일치한다. 따라서 자기회로를 평형구조로 형성하면 MC-LOA의 파라미터의 편차가 거의 해소되므로 왕복운동에 따른 추력 및 변위특성을 개선하기 위해서는 자기회로의 불평형이 해소되어야함을 실험으로 입증하였다.

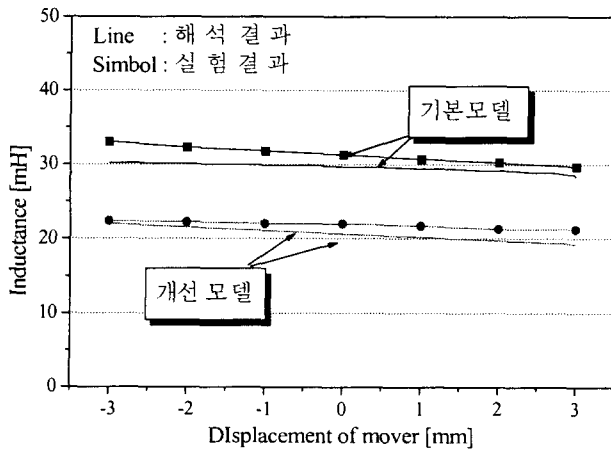


그림 14 가동자의 위치에 따른 인덕턴스의 측정결과
Fig. 14 Measured inductance according to mover position

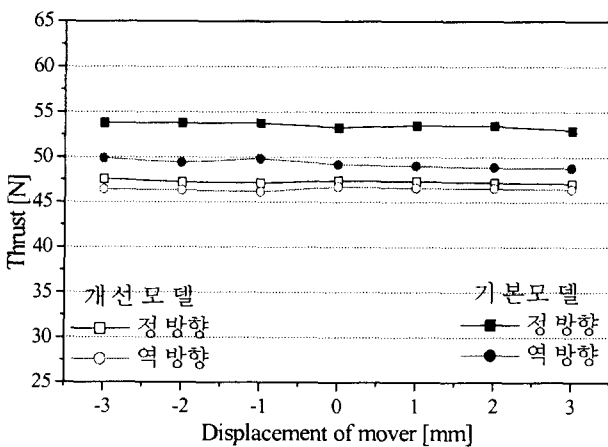


그림 15 가동자의 위치에 따른 추력의 측정결과
Fig. 15 Measured thrust according to mover position

4.2 동특성 해석

유한요소법에 의한 MC-LOA의 동특성 해석은 계산 시간의 증가에 비해 그 결과는 전압방정식을 운동방정식과의 결합으로 해석한 결과와 큰 차이가 없다. 따라서 본 절에서는 MC-LOA의 동특성을 분석하기 위해서 전압방정식과 운동방정식을 결합하여 각각의 시간 스텝에 대하여 해석하였다 [8]. 전압방정식을 구성하는 파라미터들은 유한요소법으로 산정 하였으며 시간 변화에 대한 특성은 시간 미분항을 이산화시켜 계산하는 시간 차분법을 적용하였다.

동특성 해석결과, 포화되지 않은 기본모델은 요구 추력에 맞는 ± 3 [mm]의 변위를 가지나 추력의 편차에 의해 가동자의 이동변위 중심이 한쪽으로 진행되는 편심작용이 급속히 일어나고 있다. 반면 개선된 모델에서는 동일한 코일 기자력에서 추력의 저하에 의해 변위량이 감소하고 속도도 저하하였으나 LOA의 시스템 성능을 결정하는 편심작용은 크게 해소되었다.

동특성 해석의 타당성과 자기회로 불평형 현상을 실험을 통하여 분석하였다. 그림 16은 기본모델의 변위 특성을 해석치와 실험치를 비교한 그림이다. 실험 결과, 기본모델의 경우 변위량은 가동자의 진행시간에 대해 해석치보다 실험치가 적게 나타났다. 이는 변위 중심이 편심작용에 의해 이동하게 되면 공극 자속밀도가 적어지므로 발생하는 결과이다. 그리고, 가동자의 변위 중심 이동은 해석치보다 실험치가 더 급격하게 발생하고 있는데, 이는 기계적 구조와 설치조건에 의한 영향이라 사료된다. 이때의 입력전류의 파형을 그림 17에 나타내었다.

그림 18은 개선모델의 변위 특성 실험 결과와 해석치를 비교한 그림이다. 기본모델에 비해 자기회로의 불평형을 해소하여 가동자의 중심이 기본모델보다 훨씬 덜 편심되어 왕복운동을 함을 알 수 있다. 그리고, 그만큼 공극 자속밀도의 감소가 덜 하므로 변위의 해석치와 실험치가 만족되는 것으로 생각된다. 따라서 가동 코일형 LOA의 설계를 위해서는 소변위 왕복운동의 특성을 만족하기 위한 자기회로의 평형상태를 구성하는 것이 설계의 주요 관점이 된다.

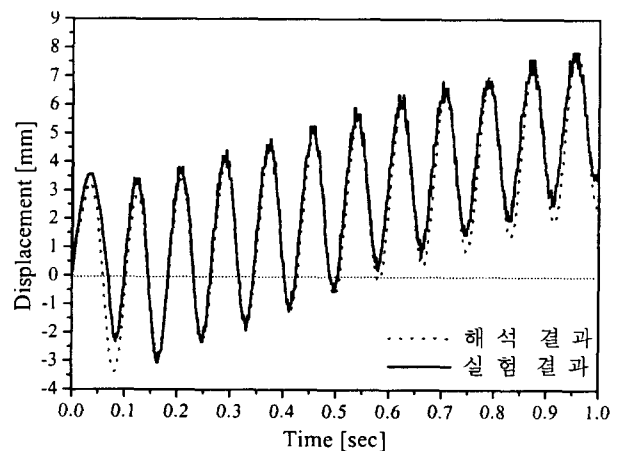


그림 16 기본모델의 변위특성 실험결과
Fig. 16 Measured displacement characteristic of initial model

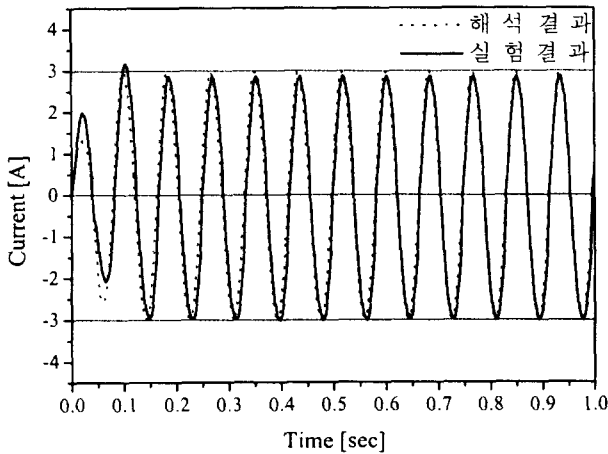


그림 17 시간에 따른 전류특성
Fig. 17 Measured current characteristic

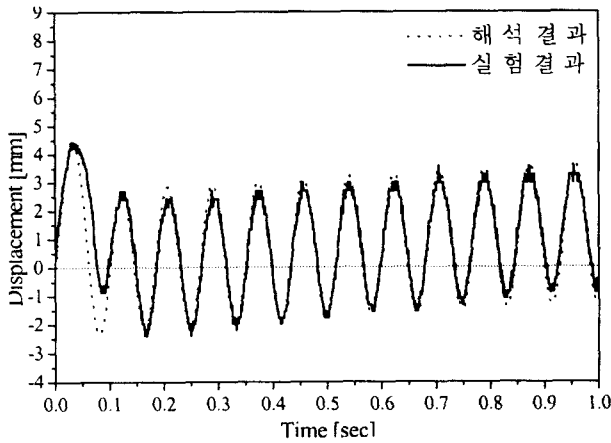


그림 18 개선모델의 변위특성 실험결과
Fig. 18 Measured displacement characteristic of improved model

5. 결 론

본 논문에서는 MC-LOA의 설계 및 특성해석을 수행하였다. 등가 자기회로로 구성한 퍼미언스 법을 이용하여 MC-LOA의 개괄적인 구조 및 자기회로를 설계하였으며, 세부 설계의 과정에서는 유한요소법을 병행하여 그 결과를 보정해주는 방법을 이용하였다. 초기설계된 결과를 바탕으로 유한요소법을 다시 이용하여 특성해석을 수행한 결과 이동자의 이동방향 즉, 인가 전류의 방향에 따라 추력의 차이가 발생함을 확인하였다. 이는 MC-LOA가 가지는 구조적 불평형이 자기회로의 불평형의 원인이 되고 이로 인하여 공극에서의 쇄고 자속량이 전류의 방향에 따라 달라지는 양상을 띄게 된다. 결국 이러한 공극에서의 현상은 이동자의 방향에 따른 공극 자속밀도의 차이를 유발시키며, 이로 인해 이

동자의 방향에 따른 추력의 차이가 발생하여 변위의 중심이 이동하는 결과를 낳게 된다.

따라서 본 연구에서는 이러한 가동자의 방향에 따른 공극 자속밀도와 추력의 차이를 제거하기 위하여 철심의 포화를 유도하는 MC-LOA의 설계를 수행하였다. 즉, 코일에 흐르는 전류의 방향에 따른 공극 자속밀도의 차이는 전류에 의한 자속의 영향이 다소 크기 때문이므로, 포화된 철심을 이용할 경우 이러한 영향을 최소화시킬 수 있다.

철심의 포화로 인하여 추력은 다소 저하하지만 자기회로의 불평형에 의한 추력의 편심현상은 최소화되도록 LOA를 설계·제작하였고, 실험을 통하여 설계의 타당성을 입증하였다. 이러한 구조적 설계는 구동회로를 간단하게 할 수 있고 자기회로의 불평형도 해소하는 장점을 가지지만 추력이 저하하는 문제점이 있다. 앞으로, 개선모델의 추력감소와 구동회로 제어 소자에 무리한 영향을 줄이면서도 특성이 만족되는 LOA 시스템을 구성할 수 있으리라 생각되고, 이는 다음의 과제로 삼는다.

감사의 글

본 연구는 한국전력공사 지원(기초전력공학공동연구소 관리)에 의한 연구 결과임

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, pp. 19~26, 1999. 1.
- [4] 장석명 외, "리니어 왕복운동 제어시스템 구동용 가동코일형 리니어 액츄에이터의 설계 제작 및 제어정수 도출", 전기학회 논문지 vol. 48B, no. 5, pp. 241~248, 1999. 5.
- [5] William H. Hayt, JR., "Engineering electromagnetics." Fifth edition, McGRAW-HILL international editions, 1989
- [6] 엄상준, 김덕현, 강규홍, 홍정표, 김규탁, "자기회로 불평형을 고려한 MC-LOA의 설계 및 특성해석", pp. 145-147, vol.A 대한 전기학회 하계학술대회, 1999
- [7] H. Wakiwaka, H. Yajima, S. Senoh and H. Yamada, "Simplified Thrust Limit Equation of Linear DC Motor", IEEE, Vol. 32, pp. 5073-5075.
- [8] 정인성 외, "유한요소법에 의한 리니어 압축기의 압력을 고려한 동특성 해석", 전기학회 논문지, vol. 47, no. 5, pp. 1862~1868, 1998. 11.

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, 안동정보대

학 전기과 전임강사

Tel : 0571-820-8133

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



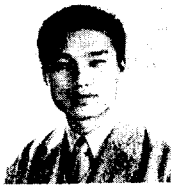
홍 정 표 (洪 正 杓)

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

원. 1995년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 1996년~1996년 한양대 산업 과학연구소 선임연구원. 현재 창원대 공대 전기공학과 조교수

Tel : 0551-279-7517

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



엄 상 준 (嚴 相 俊)

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

Tel : 0551-279-7519

E-mail : bigmac@cosmos.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 : 0551-279-7515

E-mail : gtkim@sarim.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 : 0551-279-7519

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