

# 가동자석형 LDM의 속도응답특성 개선

(Improvement with Speed Reponse of Moving Magnet Type LDM)

맹인재\* · 백수현\*\* · 김 용\*\*\* · 윤신용\*\*\*\*

(In-Jae Maeng · Soo-Hyun Baek · Yong Kim · Shin-Yong Yoon)

## 요 약

본 논문에서는 2개의 전기자 구조로된 대형 voice coil용 가동자석형 LDM을 대상으로, LDM의 추력 대 체적비를 고려하여 가동자의 철심의 체적을 추력의 감소없이 최적화함으로써 LDM의 응답 특성을 향상시킬 수 있는 방법에 대해 살펴보았다. 자기회로는 선형이라는 가정하에 LDM 해석을 수행하여 LDM의 가동자를 설계하였으며, 유한요소해석 소프트웨어인 Maxwell-2D에 의해서 철심의 포화를 고려한 가동자 철심의 두께를 결정하였다. 이러한 결과에 대한 타당성은 기존형 LDM과 가동자 철심의 형상이 개선된 개선형 LDM의 2대를 설계, 제작한 실험 결과에 의해서 입증하였다.

## Abstract

In this paper, to improve the mechanical response of the Moving Magnet Type LDM, the design of the LDM was optimized to achieve a large force to volume ratio without reduction the force. The model of the LDM and its optimization procedure were developed on the initial assumption that the magnetic circuit is linear. To analyze the magnetic flux distribution throughout the volume of the LDM and the slider back iron, a 2D finite element analysis of the LDM was performed.

## 1. 서 론

최근에 FA 및 OA의 산업응용분야에서 회전운동을 직선운동으로 변환시키는 대신, 직접 직선 운동이 가능한 선형구동장치의 수요가 급증하고 있다.

이러한 선형구동장치의 일종인 LDM(Linear DC Motor)은 구조가 간결하며, 고 신뢰성과 우수한 응답

및 큰 추력대 중량비와 유지보수가 간편하다는 특징이 있다. 이러한 특징으로 인해 최근 LDM은 서보용 응용장치 및 로봇 등에 중요한 구동장치로 사용되고 있다.

LDM은 가동형태에 따라 가동 코일형(Moving Coil Type)과 가동 자석형(Moving Magnet Type)으로 구분된다. 가동 자석형은 가동부를 영구자석으로 대체함으로써 전력 공급을 위한 전기적 연결이 용이함과 동손에 의한 발열이 없으며, 가동부의 자석을 강자성체로 사용할 경우 공극에서 높은 자속밀도를 얻을 수 있으므로 슬롯리스(slotless)형 전기자로 구성할 경우 큰 추력을 얻을 수 있다. 이러한 슬롯리스

\* 정회원 : 동국대학교 전기공학과 박사수료  
\*\* 정회원 : 동국대학교 전기전자공학부 교수 공박  
\*\*\* 정회원 : 동국대학교 전기전자공학부 부교수 공박  
\*\*\*\*정회원 : 동국대학교 산업기술연구원 전임연구원 공박

접수일자 : 2000년 5월 3일

전기자형 LDM은 구조가 간단하므로 소형화 및 제어가 용이하다는 장점이 있다. 그러나, 가동자석형 LDM의 경우, 큰 추력 및 빠른 응답특성을 얻기 위해서는 가동자의 질량이 커지므로 응답특성이 나빠진다는 단점이 있다. 따라서, 가동자석형 LDM의 속도 응답특성의 향상 및 큰 추력을 얻기 위해서는 가동자의 체적 및 질량을 개선할 필요가 있다[1]~[3]

본 논문에서는 2개의 전기자 구조로 된 대형 voice coil용 가동자석형 LDM을 대상으로, LDM의 추력 대 체적 비를 고려하여 가동자 철심의 체적을 추력의 감소없이 최적화함으로써 LDM의 기계적 응답 특성을 향상시킬 수 있는 방법에 대해 살펴보았다. 본 연구에서는 설계이론에 의해 가동자의 철심의 체적을 구하였으며, 이에 대한 타당성을 입증하기 위해 철심의 포화를 고려한 자계해석용 소프트웨어인 Maxwell-2D를 이용하여 적합한 철심의 최적을 결정하였다.

이러한, 결과에 대한 타당성은 실제 제작한 기준형 LDM 및 가동자 개선형 LDM의 실험장치의 비교 검토를 통하여 입증하였다.

## 2. LDM의 특성 해석 및 설계

### 2.1 LDM의 원리와 구조

그림 1은 본 연구에서 선정한 기준형 LDM의 기본 구조를 나타낸 것으로, 고정자는 변위에 대해 큰 추력을 발생하기 위해 양측에 연철로 된 2개의 긴 철심과 단부효과(End Effect)를 고려하기 위한 짧은 직사각형의 전기자 철심을 가지고 있으며, 여기에 여자 코일을 성층한 2중 여자방식(Double Excite)형태로 구성되어 있다. 또한, 가동부는 고추력을 발생시키기 위해 양측 고정자의 여자 권선에 대해 총 6개의 희토류(NdFeB) 자석으로 구성되어 있다.

기준형과 개선형 LDM 각각의 전기자 철심에는 같은 턴수의 권선이 감겨져 있으며, LDM의 구동방식은 2개의 전기자 철심에 여자전류를 동시에 인가함으로써 자석에서 발생하는 자속과의 상호작용으로 LDM의 가동자가 움직이게 된다.

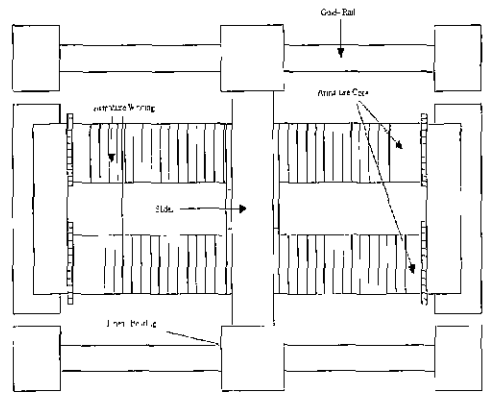
LDM은 플레밍의 왼손법칙에 의해 구동하지만, 실제 모델을 고려하여, 이를 더욱 구체화하면 로렌츠의 법칙에 따라 다음과 같은 전자력을 얻을 수 있다. 즉, LDM 자계  $\vec{B}_g$  내에 위치한 코일의 길이  $l_i$ , 턴수  $N$

인 전기자 권선에 전류  $i$ 를 인가하면, 자석에서 발생하는 자속과 전기자 권선에서 발생하는 자속과의 상호작용으로 로렌츠의 법칙에 의해 전자기력인 추력이 발생한다.

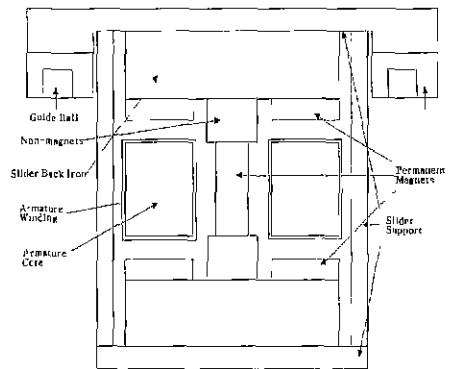
이에 따라 발생하는 전자기력은 다음과 같다[2]~[4].

$$\vec{F} = - \int_0^{l_i} \left[ \frac{N\omega_m}{l_i} \right] \vec{B}_g \times i d\vec{l}_c \quad (1)$$

여기서,  $\vec{F}$  : 전자기력       $N$  : 전체 권선수  
 $\omega_m$  : 자석 폭       $l_i$  : 코일 길이  
 $\vec{l}_c$  : 유효도체 길이       $i$  : 여자 전류  
 $\vec{B}_g$  : 공극 자속밀도



(a) 평면도



(b) 가동자 정면도

그림 1. 기준형 LDM의 구조  
 Fig. 1. Construction of Double Excited LDM

여기서,  $3l_c$ 는 LDM의 원측단을 고려할 때, 가동자 자석 3개가 전기자 철심과의 상호작용으로 추력을 발생시키게 되는 유효 도체길이를 의미한다. 식(1)를 스칼라 형태로 나타내면 식(2)와 같다.

$$F = 3 \left[ \frac{N\omega_m}{l_t} \right] B_g i l_c \quad (2)$$

따라서, 추력을 발생하는 기본식은 식(2)를 사용하며, 이로부터 추력은 식(2)의 파라미터들에 영향을 받게 됨을 알 수 있다.

본 연구에서는 추력 대 체적 및 중량을 경량화하며, 속도 응답특성을 개선할 수 있는 가동자의 철심 두께 개선을 연구대상으로 하였다. 이를 위하여, 식(2)의 파라미터 중 공극의 지속밀도인  $B_g$ 에 종속적인 철심의 지속밀도를 해석하여 가동자의 철심 두께를 설계하였다.

그림 1은 본 연구에서 선정한 기준형 LDM의 평면도와 가동자의 정면도를 나타낸 것이다. 표 1은 선정한 기준형 LDM의 설계 사양을 나타낸다.

표 1. 기준형 LDM의 사양  
Table 1. Specification of Standard LDM

항 목	치 수	항 목	치 수
정 추력 [N]	4	코일직경 [mm]	0.5
정격전류 [A]	1.5	자석치수 [mm]	NdFeB 24×27.6×5.2
코일턴수 [회]	2207	가동자 철심[mm]	S45C 68.8×12×27.6

### 2.2 동특성 해석

LDM의 고속 응답성을 해석하기 위해서는 전기-기계 결합식으로부터 전압방정식과 기계적 방정식을 이용하여 과도상태에서의 동특성을 고려하여 해석하여야 하며, 동특성해석을 위한 전압방정식과 기계방정식은 식(3)과 식(4)와 같이 표현된다.

$$V = Ri(t) + L \frac{di(t)}{dt} + k_e v(t) \quad (3)$$

$$F = k_f i(t) = M \frac{dv(t)}{dt} + D v(t) \quad (4)$$

여기서,  $V$  : 공급전압  $R$  : 전기자 저항  
 $L$  : 전기자 인덕턴스  $i$  : 여자 전류

$k_e$  역기전력 정수 (=  $NIB$ )

$v$  : 가동자 이동속도  $F$  · 추력

$M$  : 가동자의 질량

$D$  : 점성 마찰계수

$k_f$  : 추력정수 (=  $NIB$ )

일반적으로, 점성 마찰계수는 매우 작으므로 무시하면, 식(3)과 식(4)로부터 식(5)의 속도에 관한 식을 구할 수 있다.

$$\frac{MR}{k_f k_e} \frac{dv(t)}{dt} + v(t) = \frac{V}{k_e} \quad (5)$$

초기속도  $v(0)$ 를 영으로 하여 식(5)의 미분방정식을 풀면, 다음 식(6)과 같은 시간에 따른 가동자의 속도를 구할 수 있으며, 이때, 기계적 시정수는 식(7)과 같다.

$$v(t) = \frac{V}{k_e} \left( 1 - e^{-\frac{t}{\tau_m}} \right) \quad (6)$$

$$\tau_m = \frac{MR}{k_f k_e} \quad (7)$$

이로부터, 식(7)은 기계적 시정수를 나타내고, 과도상태의 속도가 정상상태인 최종치의 63.2%에 도달할 때까지를 의미하며, 가동자석형 LDM의 기계적 시정수는 가동자의 질량 등에 밀접한 관계가 있음을 알 수 있다.

### 3. 가동자 철심의 최적화

그림 2는 해석을 위한 기준형 LDM의 직사각형인 가동자 철심의 구조를 나타낸 것이다.

본 연구에서는 그림 2의 직사각형인 가동자 철심의 전체 체적에 걸쳐 지속밀도 분포가 균일하지 않다는 가정하에서 LDM의 추력 대 체적 비를 개선하고, LDM의 속도응답 특성을 향상시키기 위한 가동자 철심의 체적에 대한 최적화를 해석하였다.

가동자의 지속밀도의 경로는 철심의 위쪽 모서리 부분에서는 작으므로 무의미하며, 가동자 철심의 중심부분에 가까울수록 증가한다. 이는 추력을 발생하는 공극지속밀도가 고정자와 가동자 사이의 공극을

유지하는 부분의 철심에 집중되기 때문에 이로부터 먼 부분의 자속분포는 작게 되고 추력에 큰 영향을 미치지 못하므로, 가동자의 체적 중 일부는 쓸모없거나 제거해도 무방하다. 따라서, 가동자 철심의 자속분포를 해석함으로써, 가동자 철심의 형태와 최소면적을 계산할 수 있다.

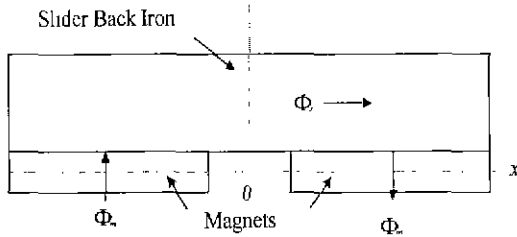


그림 2. 직사각형 가동자 철심  
Fig. 2. Rectangular back iron

우선, 가동자 철심의 모든 최적화 과정에서는 제한요소를 가정해야 한다.

자기회로는 선형이고, 가동자 철심에 부착된 자석의 면적 및 가동자 철심 재료의 포화 자속밀도는 자석과 가동자 철심에서 일정하므로, 대칭성을 고려하여, 가동자의 편측부분만을 고려하여 해석하였다. 자속밀도는 가동자 철심의 측면에서부터 중앙까지 형성된다. 가동자 철심 내의 전체 자속  $\Phi_s$ 는  $x$ 축과 병렬로 되며, 이는 그림 2에서  $x$ 축방향으로 가동자 철심의 위치에 대해 선형이다. 따라서, 가동자 철심의 전체 자속은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\Phi_s(x) = B_m[A_m - \omega_m(x - l_{gm}/2)] \quad (8)$$

여기서,  $\Phi_s$  : 가동자 철심의 자속 [Wb]

$B_m$  : 가동자 철심의 최대 자속밀도 [T]

$A_m$  : 영구자석 단면적 [ $mm^2$ ]

$\omega_m$  : 영구자석 폭 [mm]

$l_{gm}$  : 자석간의 간격 [mm]

$\Phi_s$ 는  $l_{gm}$ 에 걸쳐 일정하며, 가동자 철심의 자속  $\Phi_s$ 는 포화자속밀도  $B_{sat}$ 이하가 되도록 하여야 한다. 따라서, 포화자속밀도  $B_{sat}$ 는 다음과 같이 표현된다.

$$B_{sat} > \frac{d\Phi}{dA} \quad (9)$$

$$dA = \omega_m dL \quad (10)$$

여기서,  $A$  :  $x$ 축에 대한 가동자의 면적

$L$  : 가동자의 두께

$B_{sat}$  : 가동자 철심의 포화 자속밀도

식(9)와 식(10)으로부터,  $A$ 에서  $L$ 을 변위  $x$ 의 함수로 표현하면, 가동자 철심에서 포화를 발생시키지 않는 가동자의 최소 두께를 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} L(x) &= \int_{t_c+l_{gm}/2}^x \left( \frac{1}{\omega_m B_{sat}} \right) \frac{d\Phi_s}{dx} dx \\ &= \frac{B_m}{B_{sat}} [t_c + (l_{gm}/2) - x] \end{aligned} \quad (11)$$

여기서,  $t_c$  : 영구자석의 길이

따라서, 가동자의 체적  $V_s$ 은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$V_s = (2t_c + l_{gm}) L \omega_m \quad (12)$$

이로부터, 개선된 가동자 철심의 새로운 형태는 그림 3과 같이 형성할 수 있으며, 이에 대한 직사각형 가동자 철심의 체적  $V_s$ 과 개선된 가동자 철심의 체적  $V_{so}$ 의 비는 다음 식과 같이 구할 수 있다.

$$\frac{V_s}{V_{so}} = 1 + \frac{t_c}{t_c + l_{gm}} \quad (13)$$

표 2는 앞의 설계 이론에 따라 개선된 기준형 LDM의 가동자 철심 사양을 나타내며, 본 연구에서는 가동자 철심의 재료로 연철 S45C를 사용하였다.

표 2. 가동자 철심의 사양  
Table 2. Specification of Slider back iron

$B_{sat}$	$B_m$	$t_c$	$\omega_m$	$l_{gm}$	$V_s$	$V_{so}$
1.57 [T]	1.32 [T]	24 [mm]	27.6 [mm]	20.8 [mm]	22,787 [ $mm^3$ ]	16,163 [ $mm^3$ ]

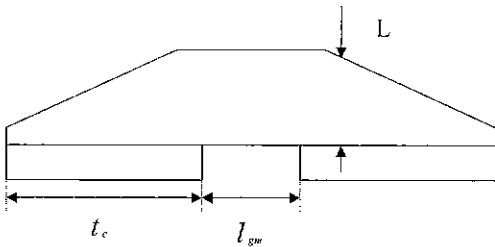


그림 3. 개선된 가동자 철심의 구조  
Fig. 3. Structure of Improved Slider back iron

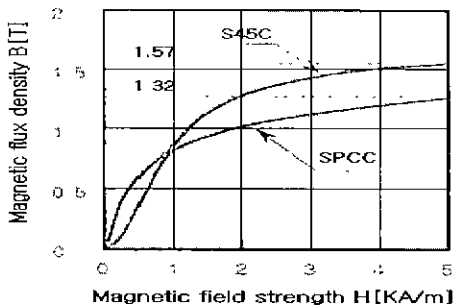


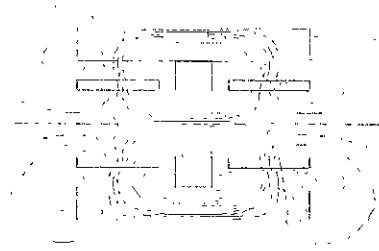
그림 4. S45C 연철의 B-H 곡선  
Fig. 4. B-H Curve of S45C Mild Steel

본 연구에서는 식(11)을 이용하여 가동자 철심을 개선시켰으며, 기준형과 가동자가 개선된 모델을 제작하여 비교한 결과, 약 41%의 체적 감소와 약 30[%]의 질량 감소를 이룰 수 있었으며, 이에 따라 약 10[%]의 추력이 향상되었다.

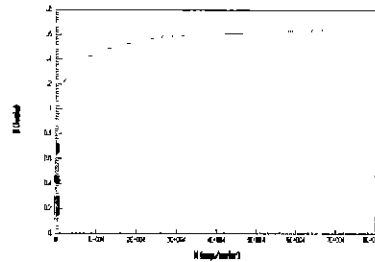
### 3.1 유한요소해석

그림 5와 그림 6은 앞의 설계 이론을 검증하기 위해 유한요소해석 소프트웨어인 Maxwell-2D를 이용하여 가동자 철심의 자속밀도를 해석한 결과를 나타낸 것으로, 그림 5는 기준형 LDM의 가동자 철심의 자속분포와 B-H 특성을, 그림 6은 개선된 모델의 가동자 철심의 자속분포와 B-H 특성을 나타낸다.

그림 5와 그림 6으로부터 기준형 LDM에 비해서 개선형 LDM의 자속밀도는 가동자 철심 체적의 감소에도 불구하고 다소 증가하였음을 알 수 있으나, 철심의 포화인 1.57[T]에는 이르지 않는 약 0.95[T]임



(a) 자속분포



(b) B-H 곡선

그림 5. 기준형LDM의 철심 자속분포 및 B-H곡선  
Fig. 5. Flux Distribution and B-H Curve of Standard LDM

을 알 수 있다. 따라서, 철심의 포화를 고려한 가동자 철심 체적의 감소가 타당함을 알 수 있다.

### 3.2 동특성 결과

그림 7과 그림 8은 가동자의 질량이 486.4 [g]에서 373 [g]으로 감소되었을 경우에 대한 각각의 시뮬레이션 결과로서, 그림 7은 시간에 따른 추력특성을 나타내며, 기동시에 가속도의 증가에 의해 전류 및 추력의 변화가 빠르게 응답함을 알 수 있다

그림 8은 시간에 따른 속도 및 가속도 특성을 나타낸 것이다. 그림 8로부터 LDM의 기계적 시정수는 가동자의 질량과 밀접한 관계가 있으므로, LDM의 속도응답특성을 향상시키기 위해서는 가동자 철심이 포화되지 않는 최적의 철심 구조를 설계함으로써 동특성을 개선할 수 있음을 알 수 있다.

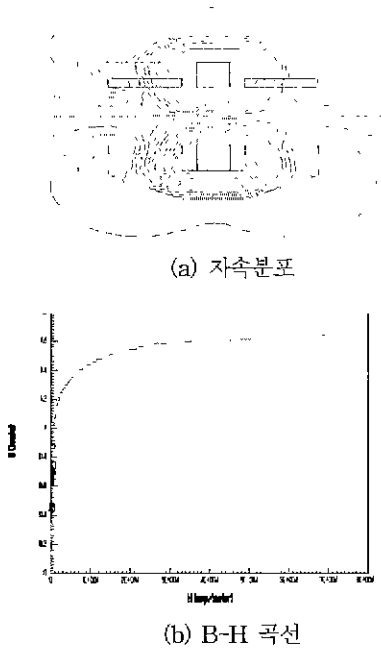


그림 6. 개선형LDM의 철심 자속분포 및 B-H곡선  
Fig. 6. Flux Distribution and B-H Curve of Improvement LDM

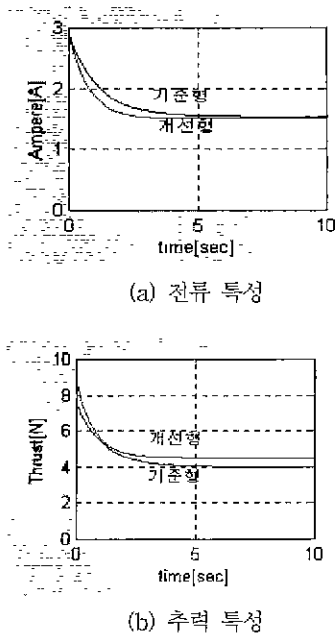


그림 7. 전류 및 추력 특성  
Fig. 7. Current and Thrust vs. Time

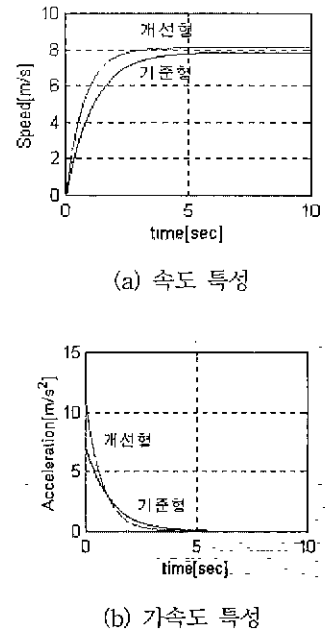


그림 8. 속도 및 가속도 특성  
Fig. 8. Speed and Acceleration vs. Time

#### 4. 실험결과

##### 4.1 실험 장치

그림 9는 본 연구에서 선정하여 실제, 제작한 기준형 LDM으로, 2중여자방식에 의해서 구동되는 가동자석형 LDM의 구조를 나타낸다. 여기서 가동자는 큰 추력을 발생하기 위해서 두 개의 자로 철심(S45C)과 6개의 NdFeB35 영구자석으로 구성하였다.



그림 9. 기준형 LDM의 구조  
Fig. 9. Construction of Standard LDM

이에 따라, 양측에서 약 2배의 추력을 발생시키도록 구성하였으며, 고정자는 2중 철심에 단일 권선으로 철심을 성층하였으며, 고정자 철심의 양끝에는 보조 철심을 삽입함으로써 단부효과를 고려하도록 구성하였다. 철심에 대한 여자권선의 성층은 6층으로 하였으며, 권선 굵기는 0.5[mm]로 권선하였다.

양측 여자코일의 권선은 병렬로 연결하여 동시 여자가 되도록 구성하였다. 양측 여자권선의 끝부분은 단부효과에 의한 추력의 상승을 억제하도록 끝에서 7.5[mm]부터 성층하였으며, 또 다른 끝부분은 45[mm]부터 성층하였다. 선형 지지기구는 LDM의 질량과 부피에 적합하며 마찰저항이 적은 LM형 가이드레일을 사용하였다.

그림 10은 개선형 LDM의 구조를 나타낸 것으로, 기본형 LDM과 동일한 구조이나 가동자만 지속의 경로를 고려하여 체적을 개선한 구조이다.

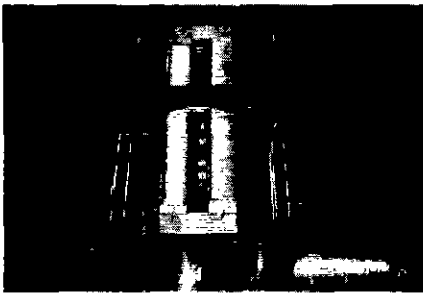


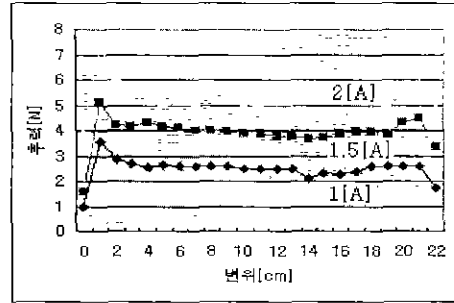
그림 10. 개선형 LDM의 구조  
Fig. 10. Construction of Improvement LDM

그림 11은 각 변위에 대해 발생하는 추력 특성을 나타낸 것으로, 기준형 및 개선형 LDM에 각각 전류 1[A], 1.5[A], 2[A]를 각각 인가하였을 경우, 총 변위 225[mm]에 대해 측정한 결과를 나타낸 것이다.

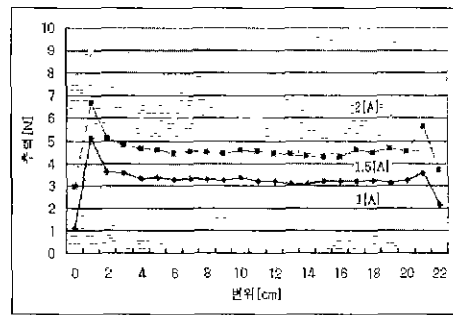
그림 11(a)의 경우, 철심의 자기포화로 공극의 자속밀도가 감소하므로 변위에 대해 일정한 추력이 발생하지 않음을 알 수 있다. 특히, 스트로크의 양 끝 부분에서는 추력이 크게 발생함을 알 수 있다. 또한 스트로크 중앙부분에서는 철심의 포화로 인해 추력이 감소함을 알 수 있다. 이때의 정격전류는 1.5[A]로 선정하였다.

그림 11(b)는 개선형 LDM의 추력 특성을 나타낸 것으로, 가동자의 체적과 질량이 감소되었으나, 기준형 LDM에 비해 약 10[%] 증가된 추력 특성을 나타

내고 있다. 여기서, 가동자 질량의 감소로 기계적 시정수를 감소시킬 수 있으므로, 이에 따른 속도 응답 특성의 향상이 가능함을 알 수 있다.



(a) 기준형 LDM의 추력 특성



(b) 개선형 LDM의 추력 특성

그림 11. 변위에 대한 추력 특성  
Fig. 11. Thrust Characteristics according to Displacement

표 3은 기준형 LDM과 개선형 LDM의 사양을 나타내며, 그림 12는 기준형 LDM과 개선형 LDM의 변위에 대한 추력 성능을 비교 검토한 결과로서, 이때 전류는 정격전류 1.5[A]를 기준으로 하였다. 그림에서 가동자의 체적과 질량을 감소시켰으므로 추력 특성을 향상시킬 수 있음을 알 수 있다. 이것은 단권선 단극형으로 LDM을 설계함에 따라 추력의 불균형과 왜형이 발생함을 알 수 있다. 특히, 철심의 양 끝 부분에서는 단부효과를 개선하기위해 보조철심을 삽입하여 끝부분의 응답특성을 향상하기위해 추력의 크기를 조절할 수 있도록 구성하였다.

표 3. LDM 설계치수 및 사양  
Table 3. Specification and Dimension of LDM

항 목	기준형 LDM	개선형 LDM
공극자속밀 [T]	0.285	0.285
정격 전류 [A]	1.5	1.5
추력 [N]	4	4.5
스트로크 [mm]	230	230
코일턴수[Turn]	2207	2207
자석 치수 [mm]	24×27.6×5.2	24×27.6×5.2
공극 [mm]	5.2	5.2
인덕턴스 [mH]	66.37	66.37
철심 재질	S45C	S45C
가동자 질량 [g]	486.4	373
코일 직경 [mm]	0.5	0.5
역기전력상수	2.6	3
추력상수 [N/A]	2.6	3

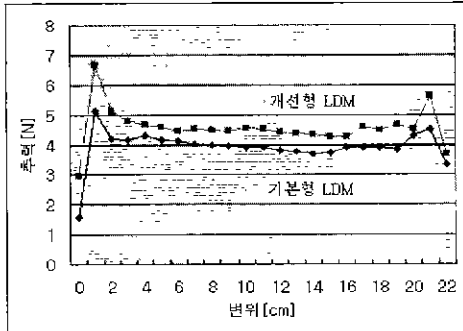


그림 12. 변위에 대한 추력 성능  
Fig. 12. Thrust Performance according to Displacement

### 5. 결 론

본 논문에서는 2중 여자방식의 가동자석형 LDM을 대상으로, 직사각형인 가동자의 체적 전체에 걸쳐 자속밀도 분포가 균일하지 않다는 가정하에서 LDM의 속도 응답특성을 향상시키기 위해 추력의 감소없이 가동자 철심의 체적을 감소시켜 추력 대 체적비를 개선시킬 수 있는 방법을 고찰하였다.

본 논문에서는 설계이론을 바탕으로 기준형 LDM

과 가동자 철심 구조가 개선된 개선형 LDM 2대를 제작하였으며, 그 결과 가동자 철심이 포화되지 않는 최적의 철심구조를 설계함으로써, 약 30%정도의 가동자 질량의 감소를 이룰 수 있었다 이로 인하여 기계적 응답특성의 향상으로 속도 응답특성을 개선시킬 수 있었다. 따라서, 기준형 LDM의 기계적 시정수는 1.56[ms]인 것에 비해 개선형 LDM의 경우 0.89[ms]로 약 70%의 기계적 시정수를 개선할 수 있었다 더불어 발생 추력도 약 10%정도 증가시킬 수 있었다.

### 참 고 문 헌

- (1) A Basak, "Permanent Magnet d.c. Linear motors," Oxford University Press. 1996
- (2) L. Honds and K. H Meyer, "A Linear d.c motor with permanent magnets," Philips Tech Rev. Vol. 40, No. 11/12, pp. 329~337, 1982.
- (3) A Basak, A. F Flores Filho, "Investigation of A Novel Double Armature Brushless DC Linear Motor," IEEE Trans. on Mag., Vol. 31, pp 789~795, 1995.
- (4) T. Mizuno, etc., "Electrical Time Constant of a Moving-Magnet-Type Linear DC Motor," T. IEE Japan, Vol. 119-D, No 3, pp 327~332. 1999.

### ◇ 저자소개 ◇

#### 맹 인 재 (孟仁在)

1968년 11월 18일생 1991년 대전산업대 전기공학과 졸업 1994년 동국대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 동국대 대학원 전기공학과 박사과정 수료.

#### 백 수 현 (白壽鉉)

1949년 5월 2일생 1972년 한양대 전기공학과 졸업 1974년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1981년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1977년~현재 동국대 전기공학과 교수 대한전기학회 학술이사(평의원) 1999년 현재 동국대 산업기술연구원 원장.

#### 김 용 (金 龍)

1957년 3월 20일생. 1981년 동국대 전기공학과 졸업. 1983년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1994년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사) 1998년~1995년 대림대학 제어계측과 교수 1995년~현재 동국대 전기공학과 부교수.

#### 윤 신 용 (尹信容)

1964년 9월 1일생. 1992년 서울산업대 전기공학과 졸업 1994년 동국대 전기공학과 졸업(석사). 1999년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1994년~1997년 전자 부품연구원 정밀기기 제어팀 연구원 1994년~현재 동 서울대학 전기과 겸임교수. 1999년~현재 동국대 산업 기술연구원 전임연구원.