

## 다권선형 LDM의 추력특성 해석

(Analysis of Thrust Characteristics of Multi-winding LDM)

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

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

### 요 약

본 논문에서는 단권선 가동자석형 LDM을 대상으로, LDM 질량의 증가없이 철심 중심부의 포화를 억제하면서 일정 추력을 발생시켜 장 스트로크화가 가능한 다권선형 LDM을 제안하였다.

제안된 LDM의 추력특성을 해석하기 위하여 유한요소해석 소프트웨어인 Maxwell 2-D를 이용하여, 영구자석 자극과 코일 사이의 공극에서 발생하는 힘( $F$ )중, 수직력( $F_y$ )과 수평력( $F_x$ )을 분석하였다. 이로부터 일정 추력을 발생할 수 있는 영구자석 폭과 권선 폭의 비 1:0.84를 결정하여, 전기자 권선을 분할 권선하였다. 이러한 결과에 대한 타당성은 다권선형 LDM을 설계, 제작하여 실험을 통해 입증하였다.

### Abstract

In this paper, to achieve the constant thrust force of the double side moving-magnet type LDM, the new armature winding of the LDM was proposed so as to restrain the saturation of the center yoke without increasing the mass of LDM. According to analyzing the magnetic flux distribution throughout the air-gap of the LDM, the magnet and winding width (1:0.84) was determined. The 2D finite element analysis was performed for force analysis on air-gap.

### 1. 서 론

LDM은 비교적 구조가 간단하고, 추력/질량 비가 크므로 고속운전이 가능하다는 장점을 지니고 있으나, 모터 자체의 위치결정 능력이 떨어지므로 위치결정 센서와 결합시켜 페루프 제어를 행하여야 한다. 정추력을 유지하기 위해서 자기회로의 자기포화로 인한 추력의 왜형이나 여자 절환시의 리플을 고려하여야 한다.

가동자석형 LDM에서 전기자 권선을 단일권선으로 성층한 경우에는 전기자 철심 중앙 부분에서 자기포화로 인해 정추력의 발생이 힘들며, 큰 추력을 얻기 위해서는 가동자의 질량이 커지므로 응답특성이 늦어진다는 단점이 있다. 따라서, 전기자 철심 중앙부분에서 자기포화를 억제하면서 정추력을 얻기 위한 방법으로 적합한 철심폭을 결정하는 것이 필수적이다[1],[2].

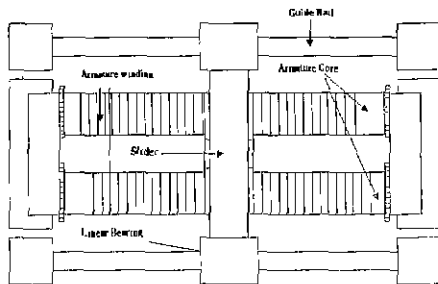
그러나, 이 경우 LDM의 무게가 증가하게 됨으로 LDM 자체 무게의 증가, 속도의 감소 및 가격면에서 효율적이지 못하다. 따라서, LDM 자체 무게의 증가 없이 철심 중심부의 포화를 억제하면서 일정 추력을 발생시키기 위한 방법으로, 본 연구에서는 다권선형 LDM의 설계방안을 제안하였다. 이를 위해 LDM의

\*정회원 : 동국대학교 전기공학과 박사수료  
 \*\*정회원 : 동국대학교 전기전자공학부 교수 공박  
 \*\*\*정회원 : 동국대학교 전기전자공학부 부교수 공박  
 \*\*\*\*정회원 : 동국대학교 산업기술연구원  
 전임연구원 공박  
 접수일자 : 2000년 5월 23일

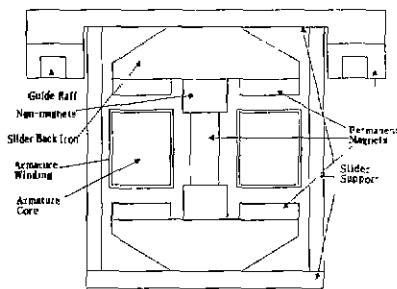
힘 중, 수직력과 수평력을 분석함으로써 일정 추력을 발생할 수 있는 영구자석 폭과 권선 폭의 비를 유한 요소법 해석을 통해 결정하여, 전기자 권선을 분할 권선하였으며, 실험을 통하여 이에 대한 타당성을 입증하고자 한다.

## 2. 단권선형 LDM의 구조 및 동작원리

그림 1은 본 논문에서 선정한 단권선형 LDM의 기본 구조를 나타낸 것으로, 고정자는 양측에 연결(S45C)로 된 2개의 긴 전기자 철심과 단부효과(End Effect)를 고려하기 위한 짧은 직사각형의 보조 철심을 가지고 있으며, 여기에 여자 코일을 양측에 성층한 양측식(Double Side)형태로 구성되어 있다. 또한, 가동부는 고추력을 발생시키기 위해 양측 고정자의 여자 권선에 대해 총 6개의 희토류계 NdFeB형 영구자석으로 구성하였으며, 추력 대 체적 및 중량을 경량화하여, 속도 응답특성을 개선할 수 있도록 가동자의 철심 형상이 개선된 구조로 되어있다.



(a) A plane view of LDM



(b) Front view of slider

그림 1. 단권선형 LDM의 구조  
Fig. 1. Construction of LDM

LDM 각각의 전기자 철심에는 2207회로 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 로렌츠 법칙에 따라 다음과 같은 전자기력을 얻을 수 있다[3]~[6].

$$\vec{F} = - \int_0^{3l_c} \left[ \frac{N\omega_m}{l_t} \right] \vec{B}_g \times i d\vec{l}_c \quad (1)$$

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

여기서,  $3l_c$ 는 LDM의 편축만을 고려할 때, 가동자 자석 3개가 전기자 철심과의 상호작용으로 추력을 발생시키게 되는 유효 도체길이를 의미한다. 식(1)을 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 사용한다. 표 1은 개선하고자 선정한 단권선형 LDM의 사양을 나타낸다.

표 1. 단권선형 LDM의 사양  
Table 1. Specifications of mono-winding LDM

항 목	치 수	항 목	치 수
발생추력 [N]	4.5	코일직경 [mm]	0.5
공급전류 [A]	1.5	자석치수 [mm]	NdFeB 24×27.6×5.2
코일턴수 [회]	2207	가동자철심 [mm]	S45C 68.8×12×27.6

## 3. 단권선형 LDM의 설계 및 해석

그림 2는 단권선형 LDM의 이동변위 200[mm]에 대해 여자전류의 변화에 따른 발생추력을 측정된 결과를 나타낸 것이다.

그림 2로부터, 1.5[A]이상의 전류를 증가시킴에 따라 철심의 자기포화로 공극 자속밀도가 감소하므로 변위에 대해 일정한 추력이 발생하지 않음을 알 수 있다. 특히 스트로크의 양 끝부분에서는 추력이 크게 발생함을 알 수 있다.

따라서, 본 연구에서는 이러한 단권선형 LDM의 단점을 개선하기 위해, 단 스트로크 LDM의 정추력을 발생시키기 위해서 제한된 철심폭을 증가시키기 보다는 LDM 자체의 부피를 경량화하면서 장 스트로크화가 가능한 다권선형 LDM을 제안하였다.

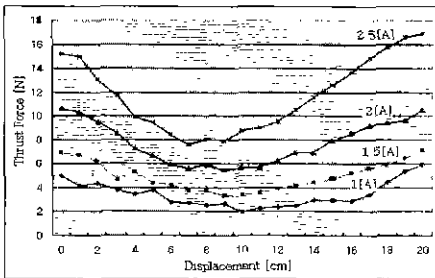


그림 2. 단권선형 LDM의 추력 특성  
Fig. 2. Thrust characteristics of mono-winding LDM

### 3.1. 다권선형 LDM의 설계

다권선형 LDM의 추력에 대한 설계를 하기 위해서는 우선, 힘의 분석이 요구된다.

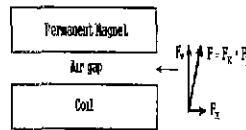
자석과 코일 사이에 작용하는 힘( $F$ )는 수평력( $F_x$ )과 수직력( $F_y$ )의 합성 벡터가 된다. 이때 수직력은 흡인력이며 수평력은 가동자를 이동시킬 수 있는 추력 성분이 된다. 따라서, 추력을 크게 하기 위해서는 수평력을 크게 설계하여야 하며, 위치 정밀도를 크게 하기 위해서는 흡인력인 수직력을 크게 하여야 한다. 이를 고려하여 적합한 정추력을 발생하도록 설계하여야 하는데 이때 고려할 사항은 영구자석 폭 대 코일 폭의 비이다.

본 연구에서는 일정 추력을 발생하면서 위치결정 능력을 갖는 설계를 위해 영구자석 폭 대 코일 폭의 비가 1:1, 1:0.84, 1:0.5인 경우를 각각 고려하여 설계 하였다.

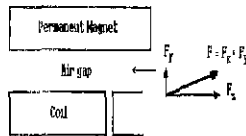
그림 3(a), (b) 및 (c)는 가동자인 영구자석과 고정자인 여자코일의 폭 비에 따라 발생하는 힘의 특성을 분석한 결과로서, 그림 3(a)는 영구자석과 코일

폭의 비가 1:1인 경우로서, 이때 공극에서 발생하는 힘은 추력성분인 수평력에 비해서 흡인력인 수직력이 크게 발생함을 나타낸 것이다.

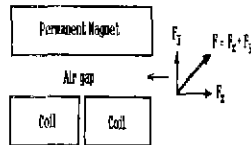
이러한 구조의 LDM은 위치정밀도는 높지만, 여자 절환시 가동자의 변위에 따라 추력 발생이 어렵고, 추력의 리플이 크게 발생하므로 부적절하다.



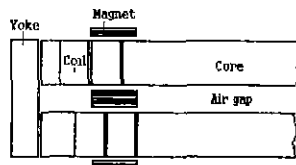
(a) Ratio between magnet and coil width(1:1)



(b) Ratio between magnet and coil width(1:0.84)



(c) Ratio between magnet and coil width(1:0.5)



(d) Structure of multi-winding LDM

그림 3. 영구자석과 코일 사이의 추력 벡터  
Fig. 3. Thrust vector between permanent magnet and coil

그림 3(b)는 영구자석과 여자코일의 폭 비가 1:0.84인 경우로서, 그림 3(a)에 비해서 공극에서 수직력은 다소 작지만 수평력이 증가함으로서 적합한 추력이 발생할 수 있는 구조이다. 또한, 여자절환시 추력의 리플도 감소시킬 수 있는 형태이다.

그림 3(c)는 영구자석과 여자코일의 폭 비가 1:0.5인 경우로서 공극에서 발생하는 수평력과 수직력의 합성 추력은 약 45° 방향으로 작게 발생하며, 그림

## 다권선형 LDM의 추력특성 해석

3(a)와 (b)의 경우보다 작으며 에너지 이용 효율이 낮다. 코일을 순차로 1상씩 여자시킬 경우 추력의 리플이 주기적으로 발생하므로 진동이 심하며, 여자 절환에 따른 이동거리가 작으므로 고속제어가 어려운 구조이다.

그림 3(d)는 본 연구에서 제안한 2중여자의 양측식 구조를 지닌 LDM의 평면도를 나타낸 것으로, 그림 3(b)의 편측식 모델을 양측으로 구성한 구조이다.

### 3.2. 다권선형 LDM의 자계 및 힘 특성 해석

#### 3.2.1. 유한요소법에 의한 자계 해석

본 연구에서는 정추력을 발생하며, 리플을 감소시킬 수 있는 자석 폭 대 여자코일의 폭 비를 결정하기 위한 해석방법으로 비선형 특성을 고려한 설계 및 해석이 가능한 유한요소법을 적용하였다.

이를 위해, 대상 LDM의 자계 해석을 위해 해석하고자 하는 영역을  $n$ 개의 1차 삼각형 요소로 분할하고, 전 영역에 대한 전체 절점(node)수가  $n$ 개라고 할 때, 각 요소의 미지 절점 벡터 포텐셜을  $\widehat{A}_{zie}$ 라고 하면, 삼각형 요소( $e$ ) 내의 한 점( $x, y$ )에서의 벡터 포텐셜  $A_z^{(e)}$ 는 식(3)과 같이 표현된다.

$$A_z^{(e)} = \sum_{i=1}^3 N_{ie} \widehat{A}_{zie} \quad (3)$$

식(3)에서 형상함수  $N_{ie}(x, y)$ 는 식(4)의 좌표함수로 정의된다.

$$N_{ie}(x, y) = \frac{1}{2\Delta^{(e)}} (b_{ie} + c_{ie}x + d_{ie}y) \quad (4)$$

여기서,  $\Delta^{(e)}$ 는 각 삼각형 요소의 면적이며,  $b_{ie}$ ,  $c_{ie}$ ,  $d_{ie}$ 는 각각 다음과 같다.

$$b_{ie} = x_{je}y_{ke} - x_{ke}y_{je}$$

$$c_{ie} = y_{je} - y_{ke}$$

$$d_{ie} = x_{ke} - x_{je}$$

여기서,  $ie, je, ke$ 는 순환수를 나타내는 첨자이다.

따라서, 각 요소에 있어서의 벡터 포텐셜  $A_z^{(e)}$ 는 식(4)의 형상함수와와의 관계식으로부터 식(5)와 같이 주어진다.

$$A_z^{(e)} = \frac{1}{2\Delta^{(e)}} [1 \ x \ y] \begin{bmatrix} b_{1e} & b_{2e} & b_{3e} \\ c_{1e} & c_{2e} & c_{3e} \\ d_{1e} & d_{2e} & d_{3e} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_{z1e} \\ A_{z2e} \\ A_{z3e} \end{bmatrix} \quad (5)$$

또한, 자기벡터 포텐셜  $\overrightarrow{A}_{zie}$ 과 자속밀도  $\overrightarrow{B}$ 의 관계는 다음과 같이 정의된다.

$$\overrightarrow{B} = \nabla \times \overrightarrow{A}_{zie} \quad (6)$$

따라서, 자속밀도  $B^{(e)}$ 의  $x, y$  성분인  $B_x, B_y$ 는 식(6)에 의하여 다음과 같이 된다.

$$B_x = \frac{\partial A_z^{(e)}}{\partial y} = \frac{1}{2\Delta^{(e)}} (d_{1e}A_{z1e} + d_{2e}A_{z2e} + d_{3e}A_{z3e})$$

$$B_y = -\frac{\partial A_z^{(e)}}{\partial x} = -\frac{1}{2\Delta^{(e)}} (c_{1e}A_{z1e} + c_{2e}A_{z2e} + c_{3e}A_{z3e})$$

이때의 자속밀도의 크기는 식(7)과 같이 된다.

$$B^{(e)} = \sqrt{B_x^2 + B_y^2} \quad (7)$$

여기서,  $B_x = \text{Re}\{B_x\}$ ,  $B_y = \text{Re}\{B_y\}$

#### 3-2-2. 수평력과 수직력 해석

물체에 작용하는 전자력  $\overrightarrow{F}$ 는 다음과 같이 주어진다.

$$\overrightarrow{F} = \frac{1}{\mu_0} \left[ \int_D \overrightarrow{B}(\overrightarrow{B} \cdot \overrightarrow{n}) dD - \int_D \frac{1}{2} B^2 \overrightarrow{n} dD \right] = \oint_s \overrightarrow{P} dD \quad (8)$$

여기서,  $\overrightarrow{P}$ 는 Maxwell stress tensor,  $D$ 는 물체의 표면적 및  $\overrightarrow{n}$ 은  $D$ 의 수직인 외향 단위법선 벡터이다. 따라서, 식(8)로부터 물체에 작용하는 힘은 그 물체를 둘러싸고 있는 표면적에 작용하는 stress tensor  $\overrightarrow{P}$ 의 면적분과 같음을 알 수 있으며, 요소내에서 발생한 Maxwell stress tensor의  $x, y$  성분인  $P_x, P_y$ 는 각각 식(9) 및 식(10)과 같이 주어진다.

$$P_x = \frac{1}{2\mu_0} \{ (B_x^2 - B_y^2) n_x + 2n_y B_x B_y \} \quad (9)$$

$$P_y = \frac{1}{2\mu_0} \{ (B_y^2 - B_x^2) n_y + 2n_x B_x B_y \} \quad (10)$$

여기서, 만일 적분경로를  $x$ 축에 수평으로 취하면,  $n_x = 0$ 이 되므로, 식(9)와 식(10)은 다음과 같이 된다.

$$P_x = \frac{1}{\mu_0} B_x B_y n_y \quad (11)$$

$$P_y = \frac{1}{2\mu_0} (B_y^2 - B_x^2) n_y \quad (12)$$

따라서, LDM의 힘  $F_x$ 와  $F_y$ 는 식(13)과 식(14)로부터 계산할 수 있다.

$$F_x = \int_l \frac{h_e}{\mu_0} B_x B_y n_y dl \quad (13)$$

$$F_y = \int_l \frac{h_e}{2\mu_0} (B_y^2 - B_x^2) n_y dl \quad (14)$$

여기서,  $h_e$ 는 철심의 유효적층폭이며,  $l$ 은 적분 경로이다.

### 3.3. 유한요소법에 의한 시계해석 결과

그림 4는 해석된 LDM의 자속분포를 나타낸 것이다. 이 때, 해석조건으로 여자전류는 1.5[A], 요소분할 수 22,100, 절점수는 45,200으로 하였다. 그림 4는 다권선형 LDM의 자속분포를 나타낸다.

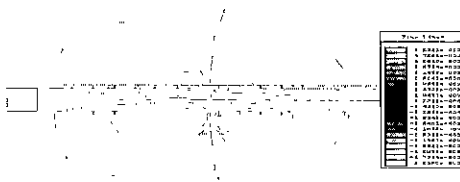
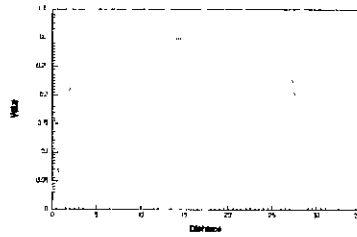


그림 4. 다권선형 LDM의 자속 분포도  
Fig. 4. Flux distribution of multi-winding LDM

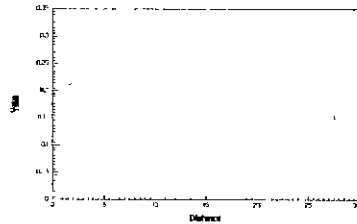
그림 5는 그림 4의 해석과정에 의해서 영구자석과 여자전류에 의해서 변위 28[mm]대해 발생된 공극에서의 자속밀도 크기를 나타낸다. 그림 5(a)는 단권선형 LDM에 대한 공극 자속밀도로 약 0.295[T]정도의 크기를 얻을 수 있었다.

그림 5(b)는 자석 폭 대 권선 폭이 1:1인 경우로서 약 0.295[T]정도, 그림 5(c)는 자석 폭 대 권선 폭이 1:0.84인 경우로서, 약 0.282[T]정도, 그림 5(d)는 자석 폭 대 권선 폭이 1:0.5인 경우로서 약 0.27[T]정도의 크기를 얻을 수 있었다.

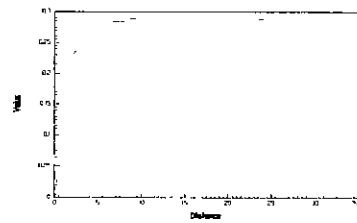
해석 결과로부터 자석 폭 대 권선 폭의 비는 1:0.84 인 경우 공극 자속밀도가 왜형 되지 않는 적합한 형태를 나타내고 있으며, 이로부터 정추력 발생 및 추력의 리플을 감소시킬 수 있다.



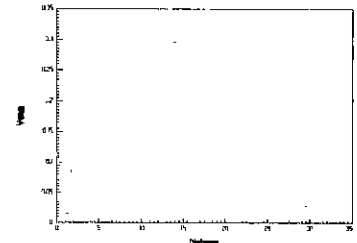
(a) Mono-winding LDM



(b) Magnet width vs. coil width 1:1



(c) Magnet width vs. Coil width 1:0.84



(d) Magnet width vs. coil width 1:0.5

그림 5. 자석폭 대 권선폭 비에 따른 공극자속밀도  
Fig. 5. Flux density of air-gap according to magnet width vs. coil width

## 4. 시뮬레이션 및 실험 결과

### 4.1. 유한요소법에 의한 추력 해석 결과

그림 6~그림 8은 그림 3(a), (b) 및 (c)의 모델에 대한 유한요소 해석에 의해 힘의 특성을 분석한 결과로서 1.5[A]를 기준으로 시뮬레이션하였다.

LDM의 공극에서 발생하는 힘의 분력은 수평력과

## 다권선형 LDM의 추력특성 해석

수직력으로 분류할 수 있으며, 이 힘은 렌츠 힘의 원리를 이용한 유한요소법으로 구하였다.

그림 6은 영구자석폭 대 고정자 코일의 폭 비가 1:1, 1:0.84, 1:0.5인 경우 유한요소법으로 해석한 결과로서, 폭 비 1:0.84일 때가 추력을 발생하는 수평력이 가장 크고, LDM 전 변위에 대해서 완만한 특성을 발생함을 알 수 있다.

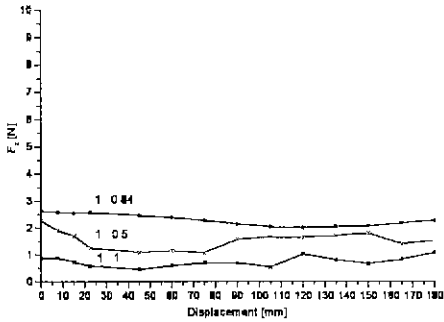


그림 6. 자석폭 대 코일폭 비에 따른 수평력  $F_x$   
Fig. 6. Horizontal force  $F_x$

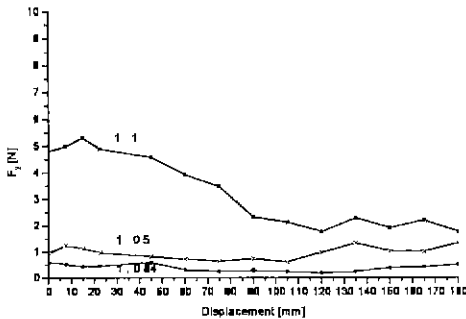


그림 7. 자석폭 대 코일폭 비에 따른 수직력  $F_y$   
Fig. 7. Vertical force  $F_y$

그림 7은 3가지 폭비에 대한 수직력( $F_y$ )의 해석 결과를 비교한 것이다. 이 경우, 폭 비 1:0.84 일 때가 수직력이 가장 작음을 알 수 있다. 그림 8은 그림 6과 그림 7을 벡터 합성한 힘의 크기를 나타내고 있다. 그림의 경우 본 논문에서 제안한 폭 비 1:0.84 일 때가 변위에 대해서 합성 힘의 변화가 가장 완만하여 정추력의 발생은 물론, 추력의 리플도 적게 발생함을 알 수 있다.

그러나, 폭 비 1:1인 경우는 수직성분의 흡인력인

합성 힘은 크지만 그 왜형의 변화가 심하여 리플이 커져 정추력 발생이 용이치 않음을 알 수 있다.

또한, 폭 비 1:0.5 인 경우는 수평력과 수직력의 크기가 거의 같아 그 합성력이 수평력과 45° 이상으로 되어 리플이 발생하게 되어 정추력 발생이 용이치 않다.

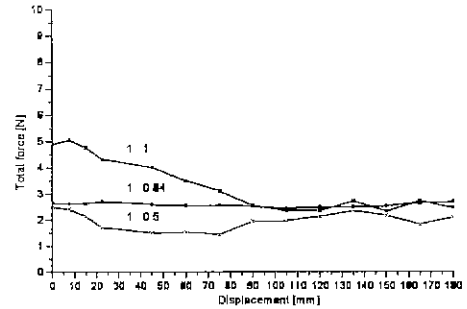


그림 8. 자석폭 대 코일폭 비에 따른 합성력  $F$   
Fig. 8. Total force  $F$

따라서, 본 연구에서는 자석 대 코일 폭 비를 여러 가지 형태로 변환하여 설계, 해석한 결과 1:0.84인 경우 추력의 리플이 감소하고 일정한 추력이 발생함을 알 수 있었다.

## 4.2. 실험 결과

### 4.2.1. 변위에 따른 추력 특성

그림 9는 영구자석 폭 대 코일 폭 비가 1:0.84인 다권선형 LDM의 추력 특성을 나타낸 것으로, 전류를 1[A]~7[A]로 증가시키면서 변위에 대해 추력을 측정한 결과, 전 이동변위에 대해 거의 일정한 추력 특성을 발생함을 알 수 있다.

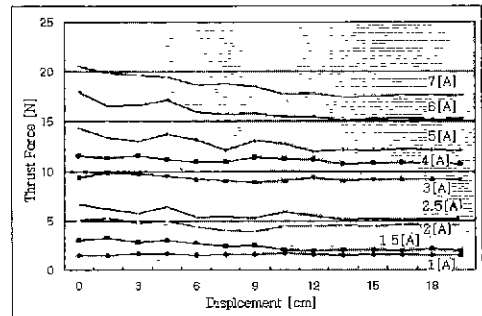


그림 9. 다권선형 LDM의 변위에 대한 추력특성  
Fig. 9. Thrust characteristics of multi-winding LDM to displacement

4.2.2. 전류에 따른 추력 특성

그림 10은 단권선형 LDM과 다권선형 LDM의 전 변위 중앙부분에서 전류를 증가시키에 따른 추력을 측정 한 것으로, 단권선형 LDM은 여자전류 2.5[A]에서 더 이상 추력이 증가되지 않는다는 것을 알 수 있다. 그러나, 다권선형 LDM의 경우는 8[A]까지 전류를 증가시켜도 추력이 포화되지 않고 일정하게 상승함을 알 수 있다.

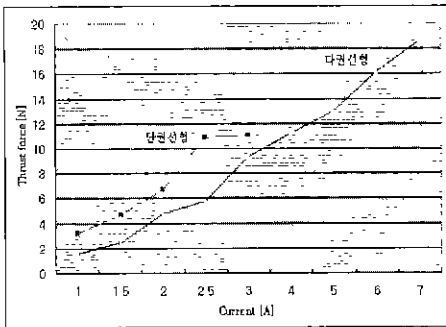


그림 10. 전류에 대한 LDM의 추력 성능  
Fig. 10. Thrust performance to current

그림 11은 1:0.84의 분할권선법을 통한 다권선형 LDM의 정추력 특성을 실측한 것으로 여자 절환시 추력에 리플성분이 포함된 결과이다. 여기서 여자전류 5[A]로 여자절환시 약 12[N]의 정추력에 대해서 3% 정도의 미소한 추력 리플이 발생함을 알 수 있다.

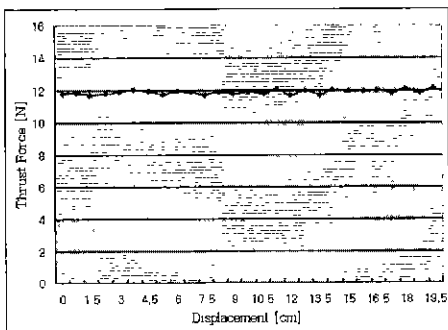


그림 11. 다권선 LDM의 추력 리플  
Fig. 11. Thrust ripple of multi-winding LDM

그림 12는 본 연구에서 실제 제작한 다권선형 LDM의 실체도를 나타낸 것으로, 전기자는 연철로 된 하나의 각형 철심에 150회의 독립된 권선 14개가 분할 권선되어 있다. 구동방법은 전기자 철심에 분할

권선된 14개의 각 권선에 여자전류를 순차적으로 인가하여 가동자가 움직이게 된다.

표 2는 다권선형 LDM의 설계 사양을 나타낸다.

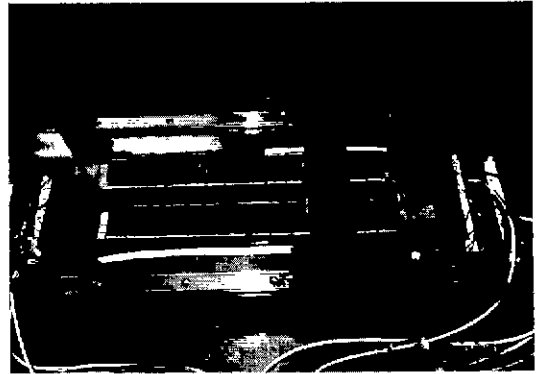


그림 12. 다권선형 LDM  
Fig. 12. Construction of multi-winding LDM

표 2. 다권선형 LDM 사양  
Table 2. Specifications of multi-winding LDM

항 목	치 수	항 목	치 수
발생추력[N]	12	코일[mm]	0.5
공급전류[A]	4	자석[mm]	24×27.6×5.2
코일턴수[회]	150×14개	철심[mm]	68.8×12×27.6
공극	0.282	변위[mm]	211.7
자속밀도[T]			

5. 결 론

본 논문에서는 적합한 자석 폭 대 코일 폭의 비를 결정하여 여자시 추력의 리플이 억제되며, 큰 정추력과 고 응답성 및 위치정밀도를 지닐 수 있는 양측 다권선형 LDM을 설계하였다. 이를 위하여 유한요소법에 의한 자체해석으로부터 힘의 특성을 수직력과 수평력으로 나누어 분석하며, 이로부터 영구자석폭 대 코일폭의 비를 1:0.84로 설계하여 전 변위에 대해 추력의 리플이 감소되며 정추력을 발생하도록 해석하였다.

실험결과로부터, 본 논문에서 제안한 다권선형 LDM의 경우는 단권선형 LDM에 비해 전 변위 200[mm]에 대해서 상당히 큰 전류인 7[A]에서도 추력이 포화되지 않고 18[N]의 정추력이 발생됨을 알 수 있었다. 따라서, 제안한 다권선형 LDM은 단권선

형 LDM에 비해서 우수한 정추력 특성을 지니고 있음을 실험을 통해 입증할 수 있었다.

앞으로 고성능 제어장치를 결합시키면 각종 산업 분야의 반송용 기기에 유용하게 적용될 수 있을 것으로 기대된다.

### 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," *Phillips Tech. Rev.* Vol. 40, No. 11/12, pp. 329~337, 1982.
- [3] A Basak and 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, et al., "Electrical Time Constant of a Moving-Magnet-Type Linear DC Motor," *T. IEE Japan*, Vol. 119-D, No. 3, pp. 327~332, 1999.
- [5] T. Mizuno, et al., "Kinetic Performance of a Moving-Magnet-Type Linear DC Motor," *IEEE Trans. on Mag.*, Vol. 35, No. 5, pp. 3313~3315, 1999.
- [6] H. Wakiwaka, et al., "Consideration of High-speed Positioning of Linear DC Motor," *T. IEE Japan*, Vol. 119-D, No. 3, pp. 315~320, 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 대림 대학 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 정밀기기제어팀 연구원. 1994년~현재 동 서울대학 전기과 겸임교수. 1999년~현재 동국대 산업 기술연구원 전임연구원.