

양측 여자형 다분할 LDM의 특성해석

(Characteristics Analysis of Double Side Excitation Type Multi-separated LDM)

윤신용* · 백수현 · 김 용

(Shin-Yong Yoon · Soo-Hyun Baek · Yong Kim)

요 약

산업의 발달에 따라 선형 직류 모터의 응용이 확대되고 있다. 본 연구에서는 가동자석형 양측식 다분할 여자 LDM의 해석을 연구대상으로 하였다. 본 LDM의 구조에서 가동자는 큰 추력을 얻도록 영구자석 6개를 사용하였으며, 고정자는 철심의 포화를 억제하도록 다 분할형 권선을 성층하였다. 또한 양측 여자 권선은 지그재그형으로 성층하여 추력의 리플을 억제하고, 정추력을 발생시킬 수 있도록 설계하였다. 여기에 다 분할시 영구자석대 권선 폭의 비가 중요하므로 본 연구에서는 폭비를 1 : 1, 1 : 0.84 및 1 : 0.5의 3개 부분으로 나누어 해석하였다. 해석 방법은 복잡한 수치해석의 유한요소법 보다는 퍼미언스 및 자기저항 법을 이용하여 파라미터를 계산하였다. 제작된 실험장치를 통하여 추력을 측정된 결과는 전 변위에 대해서 정추력이 발생함을 알 수 있었다.

Abstract

The use of linear DC motor is spreaded according to industrial development. This study was objected to study the analysis of double side excitation LDM with moving magnet type. In this LDM structure, the mover made use of permanent magnet with six pieces so as to large thrust, the stator was bedded for the multi separated type winding to repress the iron saturation. Also, double side excitation winding is suppressed to thrust ripple with stratification to zigzag type and designed to production for static thrust. Then it is important to ratio of permanent magnet to winding width at multi separate, this paper analyzed to separate to three pieces of 1:1, 1:0.84 and 1:0.5 with width ratio. The analysis method calculated the parameter useful for permeance and magnetic resistance more than FEM of complicated numerical value analysis. Through manufactured experiment system, measurement result of thrust was almost acquired to constant thrust for all displacement.

Key Words : Double side excitation LDM, Thrust, Width ratio, Permanent magnet, Permeance, Magnetic resistance.

* 주저자 : 동국대학교 산업기술연구원 전임연구원
Tel : 02-2260-3347, Fax : 02-2263-4625

E-mail : yshy@dongguk.edu

접수일자 : 2002년 4월 22일

1차심사 : 2002년 4월 26일

심사완료 : 2002년 7월 19일

1. 서 론

최근 산업기술의 급속한 발전으로 FA, OA, 정보기
기 및 의료용 기기 등의 분야에서 자동화 기술을 활

Journal of KIIEE, Vol. 16, No. 4, July 2002

용한 생산방식의 도입이 확대되고 있다. 따라서 고도의 정밀성을 유지하면서 우수한 응답 특성을 갖기 위해 설계 단계부터 최적 조건을 도출하고 있다. 특히 산업 현장에 널리 사용되는 서보 모터가 우수한 성능을 갖기 위해서는 정밀화 및 고속화 등을 고루 갖추어야 한다.

그러나 지금까지 선형 운동을 필요로 하는 서보 모터를 사용할 시에는 회전자 축의 회전 운동을 직선 운동으로 변환하는 기구를 부착함으로써 한계점을 나타내고 있다. 따라서 최근에는 선형 운동이 요구되는 시스템의 발달과 함께 효율이나 역률 면에서는 회전기에 비해 다소 떨어지거나 변환 장치에 의한 에너지 손실이나 비효율성을 제거할 수 있는 선형 모터를 이용하여 직접 직선 추력을 얻으려는 연구가 활성화, 응용되고 있다[1,4].

본 논문에서 다물 대 추력용 반송장치에 응용되는 가동자석형 리니어 직류모터(LDM : Linear Direct-current Motor)은 가동부를 영구자석으로 대체함으로써 경량화 및 간소화가 가능하다. 가동부의 자석을 강자성체로 사용함으로써 공극이 큰 구조에서도 높은 자속밀도를 얻을 수 있다. 그러나, 고정자 철심 중심부의 포화로 인해 정추력을 발생하지 못한다는 단점이 있으므로, 철심 중심부에서의 포화를 억제하여 일정 추력을 발생할 수 있는 방법으로 전기자 코일을 다권선화하는 방법을 본 논문에서 제안하였다 [5, 7].

본 논문에서는 LDM의 자기회로에 대한 해석을 위해서 퍼미언스 법과 자기회로망 법을 이용하였다. 특히 다권선화를 위해서는 자석길이에 대한 전기자 권선 비가 매우 중요한 요소로 작용하게 된다. 정 추력을 위한 적합한 폭비 선정을 위해 1 : 1, 1 : 0.84 및 1 : 0.5로부터 특성 해석 및 설계 기준이 되는 퍼미언스 계수와 자기저항을 구하여, 그 결과로부터 전 변위에 일정한 파라미터를 기준으로 정 추력용 LDM을 설계하고자 한다. 이를 위하여 1 : 1 에서부터 1 : 0.5 이하까지의 수직력에 대한 추력을 비교, 해석하여 안정적인 일정 추력을 얻고자 하였다. 이에 대한 타당성은 실험장치의 정 추력특성을 통하여 다권선화 LDM[6]의 합리적인 설계방안을 제시하고자 한다.

2. 양측 여자형 LDM의 구조

리니어 모터는 기존의 회전형 모터에 직선운동 변환장치를 결합함으로써 직선운동을 얻는 방법과 달리 직접 선형 운동이 가능하다. 그림 1은 본 논문에서 제안된 양측여자형 LDM의 구조이다. 고정자는 양측 여자자로 할 수 있는 2개의 직사각형 연철로 구성되고 철심자로의 단부효과(end effect)에 대한 자기적인 특성을 고려하여 고정자 주 철심과 짧은 보조철심 사이에 비자성체를 삽입하였다.

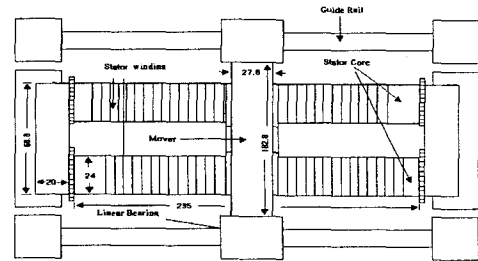


그림 1. 양측여자형 LDM의 구조
Fig. 1. Structure of Double Sided Excitation Type LDM

가동자는 고추력을 발생시키기 위해 6개의 NdFeB 계열 자석으로 구성하였다. 고정자 권선은 정추력을 발생하기 위하여 고정자 철심에 다분할 성층하였으며 이 독립권선에 여자전류를 순차제어 함으로써 가동자가 이동하도록 하였다.

LDM의 추력은 영구자석에 의한 공극자속밀도 B_g 내에 위치한 길이 l_c , 턴수 N 인 고정자 권선에 전류 i 를 흘리면 자석에서 발생하는 자속과 고정자권선에서 발생하는 자속과의 상호작용으로 전자력이 발생한다. 이 전자력의 크기를 로렌쯔의 법칙을 이용하여 구하면 식(1)과 같다.

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

여기서, \vec{F} : 전자력 N : 코일턴수
 ω_m : 자석 폭 l_t : 코일길이
 \vec{l}_c : 유효도체 길이 \vec{i} : 여자전류
 \vec{B}_g : 공극 자속밀도

양극 여자영 다분할 LDM의 특성예석

여기서 $3\vec{l}_c$ 는 LDM의 1/2 구조를 고려할 때, 가동자 자석 3개가 고정자 여자코일과의 상호작용으로 추력을 발생시키게 되는 유효도체 길이이다. 식(1)은 \vec{B}_g 와 \vec{i} 가 수직으로 교차할 시 식(2)로 나타낼 수 있다.

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

3. 자기회로 해석

본 LDM에서 단일 권선으로 고정자 철심을 성층한 경우에는 중앙부분에서 자기포화로 인하여 정추력의 발생이 곤란하므로 정추력을 얻기 위해 고정자 권선을 분할 성층하는 고정자 권선법을 제안하고 영구자석 대 권선 폭 비의 적합한 산정을 다루고자 한다. 이때 정 추력을 얻기 위해 고정자 철심 폭을 증가시켜야 하므로 체적이 증가되는 단점을 지니게 된다. 이를 개선하기 위해서는 고정자 권선의 형상을 추력 대 질량비를 고려하여 개선하여야 한다.

적합한 폭 비를 산정하기 위해서 퍼미언스법을 사용하여 자석 한 개를 중심으로 퍼미언스 P값 및 인덕턴스 값을 산출하고 이로부터 공극 자속밀도를 산정하여야 한다. 또한 자기회로방법을 이용하여 모터 전체의 다권선화 정도에 의한 자기저항을 계산하여 전 변위에 대한 추력 특성을 예측할 수 있다.

3.1 퍼미언스법에 의한 자기회로 해석

가동자의 변위에 따른 공극 퍼미언스 계산을 위해 자석 대 권선비가 1:0.5, 1:0.8, 1:1인 경우에 대하여 직선과 원호로 구성된 가상 자로를 구성하고 퍼미언스법을 수행하였다. 무슬롯(Slotless) 형태이기 때문에 같은 형태의 가상 자로가 모터의 동작 영역에서 반복적으로 수행된다. 자로의 구성에 따라 전체 해석 길이 l 을 n 개의 변위로 가정하였고 이 영역을 분할하여 각각의 영역을 계산 후 전체 퍼미언스 P를 계산하였다. 이로부터 인덕턴스 L값을 산출하여 실험에 의해 얻어진 값과 비교하고 이 퍼미언스 계수로부터 공극 자속밀도 값을 산출하였다.

자기저항의 역수인 퍼미언스는 다음 식과 같이 표현된다.

$$dP = \mu_0 \mu_r \frac{l_g dx}{l_g} \quad (3)$$

$$P = \mu_0 \int \frac{dA}{l} \quad [H/m] \quad (4)$$

여기서, μ_0 : 공기의 투자율, dA : 공극의 미소단면적, l_g : 공극의 길이

1) 1:0.5 인 경우

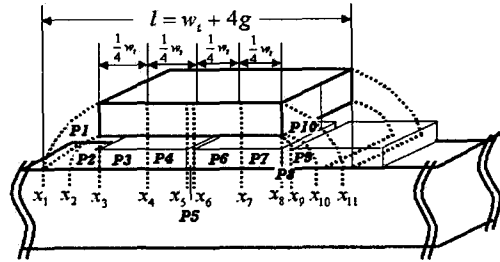


그림 2. 1:0.5인 경우의 공극 자로
Fig. 2. Air gap magnetic pass of 1:0.5 case

따라서, 가동자의 변위에 대해 식(4)을 이용하여 각 공극자로의 퍼미언스를 구하면 다음과 같다.

$$P_1 = \mu_0 \frac{3\pi g^2}{4} \quad (5)$$

$$P_2 = \mu_0 \frac{\pi g^2}{4} \quad (6)$$

$$P_3 = \mu_0 \int_{x_3}^{x_4} \frac{w_c}{g} dx = \mu_0 \frac{w_c w_t}{4g} \quad (7)$$

$$P_4 = \mu_0 \int_{x_4}^{x_5} \frac{w_c}{g} dx = \mu_0 \frac{w_c}{g} \left(\frac{1}{4} w_t - \Delta x_1 \right) \quad (8)$$

$$P_5 = \mu_0 \int_{x_5}^{x_6} \frac{w_c}{g} dx = \mu_0 \frac{2w_c \Delta x_1}{g} \quad (9)$$

$$P_8 = \mu_0 \int_{x_8}^{x_9} \frac{w_c}{g} dx + \mu_0 \frac{0.052\pi}{0.31g} \\ = \mu_0 \left(\frac{0.052\pi}{0.31g} + \frac{w_c \Delta x_2}{0.69g} \right) \quad (10)$$

$$P_9 = P_2 - P_8 = \mu_0 \left(\frac{\pi g^2}{4} - \frac{0.052\pi}{0.31g} + \frac{w_c \Delta x_2}{0.69g} \right) \quad (11)$$

1 : 0.5 인 경우의 전체 퍼미언스값은 다음과 같다.

$$P_{total} = 2P_1 + P_2 + 2P_3 + 2P_4 + P_5 + P_8 + P_9$$

2) 1 : 0.8 인 경우

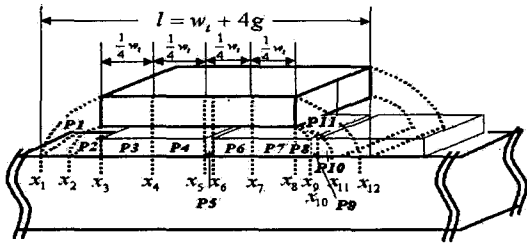


그림 3. 1 : 0.8인 경우의 공극 자로
Fig. 3. Air gap magnetic pass of 1 : 0.8 case

$$P_1 = \mu_0 \times \frac{3\pi g^2}{4} \quad (12)$$

$$P_2 = \mu_0 \times \frac{\pi g^2}{4} \quad (13)$$

$$P_3 = \mu_0 \int_{x_3}^{x_4} \frac{w_c}{g} dx = \mu_0 \times \frac{w_c w_t}{4g} \quad (14)$$

$$P_4 = \mu_0 \int_{x_4}^{x_5} \frac{w_c}{g} dx = \mu_0 \frac{w_c}{g} \left(\frac{1}{4} w_t + \Delta x_1 \right) \quad (15)$$

$$P_5 = \mu_0 \int_{x_5}^{x_6} \frac{w_c}{g} dx = \mu_0 \frac{w_c}{g} (\Delta x_2 - \Delta x_1) \quad (16)$$

$$P_6 = \mu_0 \int_{x_6}^{x_7} \frac{w_c}{g} dx = \mu_0 \frac{w_c}{g} \left(\frac{1}{4} w_t - \Delta x_2 \right) \quad (17)$$

$$P_8 = \mu_0 \int_{x_8}^{x_9} \frac{w_c}{0.69g} dx + \mu_0 \frac{1.012\pi}{0.31g} \\ = \mu_0 \Delta x_3 \left(\frac{1.012\pi}{0.31g} + \frac{w_c}{0.69g} \right) \quad (18)$$

$$P_9 = P_9' + P_9'' - P_8 \\ = \mu_0 \left(\frac{0.052\pi}{0.31g} + \frac{w_c}{0.69g} (\Delta x_4 - \Delta x_3) \right) \quad (19)$$

$$P_{10} = \mu_0 \left(\pi g^2 - \frac{1.064\pi}{0.31g} - \frac{w_c \Delta x_4}{0.69g} \right) \quad (20)$$

1 : 0.8 인 경우의 전체 퍼미언스 값은 다음과 같다.

$$P_{total} = P_1 + P_2 + 2P_3 + P_4 + P_5 + P_6 + P_8 + P_9 + P_{10} \quad (21)$$

3) 1 : 1 인 경우

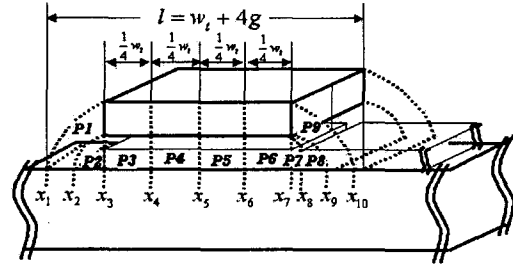


그림 4. 1 : 1인 경우의 공극 자로
Fig. 4. Air gap magnetic pass of 1 : 1 case

$$P_1 = \mu_0 \times \frac{3\pi g^2}{4} \quad (22)$$

$$P_2 = \mu_0 \times \frac{\pi g^2}{4} \quad (23)$$

$$P_3 = \mu_0 \int_{x_3}^{x_4} \frac{w_c}{g} dx = \mu_0 \times \frac{w_c w_t}{4g} \quad (24)$$

$$P_7 = \mu_0 \left(\frac{0.052\pi}{0.31g} + \frac{w_c \Delta x_1}{0.69g} \right) \quad (25)$$

$$P_8 = \mu_0 \left(\frac{\pi g^2}{4} - \frac{0.052\pi}{0.31g} - \frac{w_c \Delta x_2}{0.69g} \right) \quad (26)$$

1 : 1 인 경우의 전체 퍼미언스 값은 다음과 같다.

$$P_{total} = 2P_1 + P_2 + 4P_3 + P_7 + P_8$$

각 경우에 있어서 자석 하나 당 퍼미언스 계수와 인덕턴스의 값은 표 1과 같다.

표 1. 퍼미언스 계수 및 인덕턴스
Table 1. Permeance coefficient and inductance

자석과 코일 폭의 비 (Ratio of magnet and coil width)	1 : 0.5	1 : 0.8	1 : 1
퍼미언스 계수 (Permeance coefficient [10 ⁻⁷])	3.73239	3.73278	3.73278
인덕턴스 (Inductance [mH])	0.18776	0.22870	0.83682

3.2 자기 회로망법에 의한 자기회로 해석 3.1에 의해 구해진 퍼미언스 계수로부터 공극 자속

양측 여자형 다분할 LDM의 특성분석

밀도를 산출하고, 자기 회로방법을 수행하여 실제 다 권선 양측 여자형 LDM에서 발생하는 자기저항 계수를 구함으로써 설계된 모터의 특성을 예측할 수 있다. 먼저 모터의 단면으로부터 자기 등가회로는 그림 5와 같이 나타낸다.

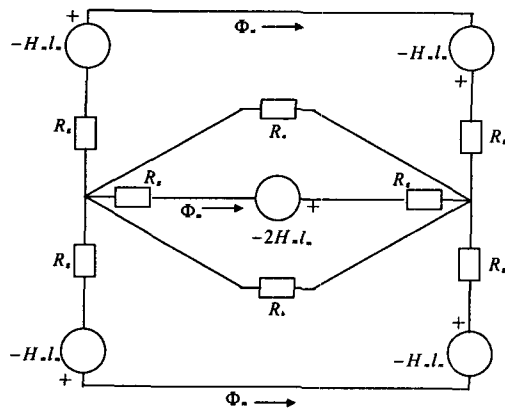


그림 5. LDM의 자기 등가회로
Fig. 5. Magnetic equivalent circuit of LDM

그림 5와 같은 자기회로에 대하여 에너지보존에 의한 암페어 주회 적분법칙은 식 (27)과 같이 정의된다.

$$\oint H \, dS = 0 \quad (27)$$

회로 내 요크의 기자력 손실을 무시하면 식 (28)이 성립한다.

$$H_m \cdot t_m - H_g \cdot t_g = 0 \quad (28)$$

여기서 H_m : 동작점에서 자계 세기,
 t_m : 자석 두께
 H_g : 공극에서 자계 세기,
 t_g : 공극 두께

감자곡선 상에서 동작점 P(B_m, H_m)와 공극에서 자속밀도와의 관계는 다음 근사 식(29)가 성립한다.

$$B_m = B_r - \mu_m \cdot \mu_0 \cdot H_m, B_g = \mu_0 \cdot H_g \quad (29)$$

여기서 μ_m : 영구자석의 비투자율
 μ_0 : 공기 중의 투자율

공극에서의 누설 자속계수를 f_m 이라 하면 동작점과 공극에서의 자속 밀도는 식(30)이 된다.

$$B_m = f_m \cdot B_g \quad (30)$$

누설 자속계수는 자로의 효율을 결정하는 요소이며, 모터 설계에 있어서 철심 재료와 형상을 결정하는 기준이 된다. 그러나 자속밀도를 계산하는데 있어서 누설 자속계수 f_m 와 기자력 손실 계수 σ 의 실제치를 얻는다는 것은 불가능하다. 따라서 설계시에는 주로 경험치를 사용한다. 이들의 경험치는 다음과 같다.

- 누설 자속계수 :
- Slot 수가 많을 경우(5 또는 그 이상) : 1.05~1.2
 - Slot 수가 적을 경우 (3이하) : 1.5~1.9
- 기자력 손실계수 : 1.05~1.2
- 자기등가회로의 대하여 암페어 법칙을 적용하면 기자력은 식(31)과 같다.

$$3H_m l_m + 3H_g l_g + \frac{1}{2} R_{ab} B_m A_m = 0 \quad (31)$$

여기서, $R_{ab} = \frac{R_a R_b}{R_a + R_b}$ 이다.

R_a, R_b : 가동자 철심의 자기저항

$\frac{1}{2} R_{ab} B_m A_m$ 는 철심의 기자력을 나타내며, 공극에서의 기자력 H_g 에 대해 정리하면 식 (32)와 같다.

$$H_g = - \frac{(3H_m l_m + \frac{1}{2} R_{ab} B_m A_m)}{3l_g} \quad (32)$$

$$B_m A_m = B_g A_g \quad (33)$$

식(33)으로부터 B_m, B_g 는 식(34), (35)와 같다.

$$B_m = B_g \frac{A_g}{A_m} \quad (34)$$

$$B_g = \mu_0 H_g \quad (35)$$

식(33)을 식(35)에 대입하면, 식(36)을 얻을 수 있다.

$$B_g = - \frac{\mu_0 \left(3H_m l_m + \frac{1}{2} R_{ab} B_m A_m \right)}{3l_g} \quad (36)$$

또한, 식(36)을 식(34)에 대입하면 식(37)과 같다.

$$B_m = -\mu_0 \frac{A_g}{A_m} \frac{3H_m l_m + \frac{1}{2} R_{ab} B_m A_m}{3l_g} \quad (37)$$

식(37)을 퍼미언스 계수로 나타내면 다음과 같다.

$$\frac{B_m}{H_m} = -\mu_0 f_m \left(\frac{A_g}{A_m} \right) \frac{l_m}{l_g + \frac{3}{2} \mu_0 A_g \left(\frac{R_a R_b}{R_a + R_b} \right)} \quad (38)$$

여기서, H_m : 자석의 보자력

H_g : 공극의 기자력

f_m : 누설자속 계수

식(38)로부터 전기자 철심의 자기저항은 공극에서의 자기저항임을 알 수 있다. 자기저항은 다음과 같이 주어진다.

$$R_{ab} = \frac{\left(\frac{k+2x}{\mu l_c w_c} + \frac{2l_0}{\mu_0 S_0} \right) \left(\frac{k+2l_t-2x}{\mu l_c w_c} + \frac{2l_0}{\mu_0 S_0} \right)}{\left(\frac{k+2x}{\mu l_c w_c} + \frac{2l_0}{\mu_0 S_0} \right) + \left(\frac{k+2l_t-2x}{\mu l_c w_c} + \frac{2l_0}{\mu_0 S_0} \right)} \quad (39)$$

여기서 각 자로에 대한 저항성분 및 비자성체의 저항성분은 다음과 같다.

$$R_a = \frac{k+2x}{\mu l_c w_c}, \quad R_b = \frac{k+2l_t-2x}{\mu l_c w_c},$$

$$R_0 = \frac{2l_0}{\mu_0 S_0}$$

일반적으로 공극 자속 밀도는 다음 식으로 정의된다.

$$B_g = \frac{B_m}{f_m C_f} = \frac{B_m}{f_m} \frac{S_m}{S_g} \quad (40)$$

공극에서 자속밀도 B_g 와 자석의 두께 사이에는 구체적으로 다음식이 성립한다.

$$B_g = \frac{B_r}{f_m + \mu_m \frac{t_g}{t_m}}, \quad t_m = \mu_m t_g \cdot \frac{B_g}{B_r - f_m B_g} \quad (41)$$

여기서, C_f : flux fringing 계수,

σ : 기자력 손실 계수

t_g : 공극의 길이,

t_m : 자석의 두께,

f_m : 누설자속 계수

이때 자석의 폭과 전기자의 폭을 동일하게 함으로써 유효 도체부의 길이가 최대가 되도록 고정자를 정하고 두께는 식(41)을 이용하여 결정한다. 다권선형 LDM에 있어서 평면구조의 영구자석과 코일과의 공극부 단면적 S_g 는 권선코일의 폭이 w_{coil} 이라면 다음 식으로부터 계산된다.

$$S_g = S_m \cdot w_{coil} \quad (42)$$

공극에서 총 자속 수는 $\Phi = S_g \cdot B_g$ 가 되고 퍼미언스 관계로부터 자계의 세기가 계산된다.

4. 시뮬레이션 및 실험결과

4.1 설계사양

표 2는 설계 단계를 거쳐 얻어진 LDM의 제원을 나타낸다.

양극 여자형 다분할 LDM의 특성예측

표 2. LDM 설계 치수 및 사양
Table 2. Specifications and dimension of LDM

파라미터(Parameter)	값(Value)
추력(Thrust force) [N]	17
전기자 크기 (Armature Dimension) [mm]	24×235×24
자석 크기 (Magnet Dimension) [mm]	24×27.6×5.2(NdFeB)
공극자속밀도 (Air gap flux density) [T]	0.487
입력전류 (Input current) [A]	4
코일턴수 (Turns per coil) [Turn]	149×14
공극길이 (Air gap length) [mm]	5.2
인덕턴스 (Inductance) [mH]	0.27
코일저항 (Coil resistance) [Ω]	1.7
철심재질 (Core material)	S45C
가동자 질량(Mover mass) [g]	373
코일직경 (Coil diameter) [mm]	0.5

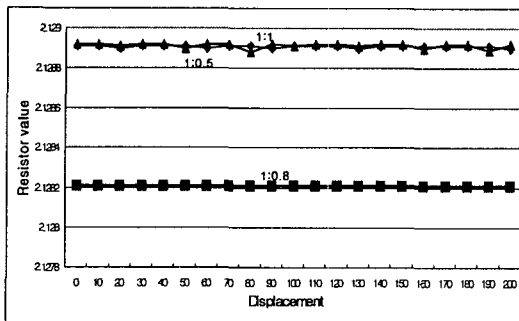


그림 6. 계산된 자기 저항값
Fig. 6. Calculated magnetic resistance of value

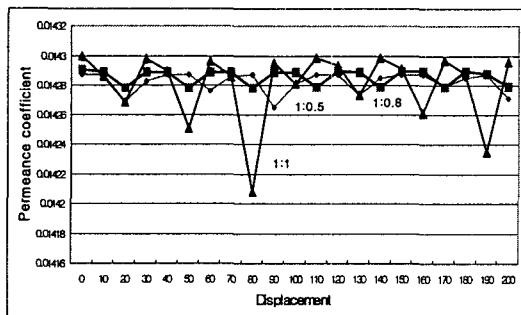


그림 7. 계산된 퍼미언스 계수값
Fig. 7. 11 Calculated value of permeance coefficient

그림 6과 그림 7은 각각의 영구자석 대 권선 폭 비에서 변위 10[mm]에 대한 자기저항 및 퍼미언스 계수의 계산 값이다.

그림 8과 9는 본 논문에서 제안한 다권선 LDM의 공극 자속밀도의 계산 및 실험치이다. 실험의 경우 제작된 모터의 특성을 실험을 위해서 전류가 인가되지 않은 무여자시의 경우와 정격 최대 전류 4[A]가 인가된 경우로 나누어 측정되었다.

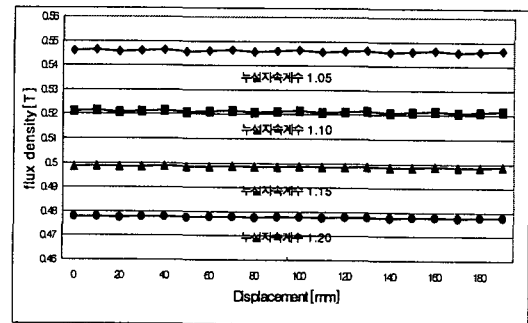


그림 8. 계산된 공극 자속밀도
Fig. 8. Calculated flux density of airgap

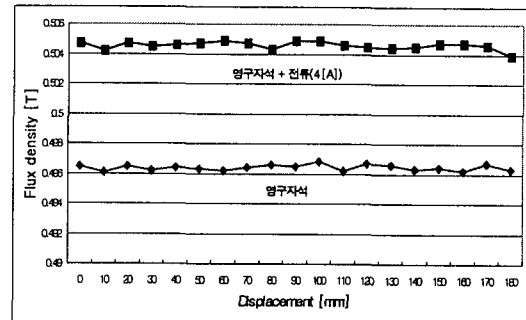


그림 9. 측정된 공극 자속밀도
Fig. 9. Measured flux density of airgap

그림 10은 본 LDM의 추력특성을 나타낸 것으로서 전류를 1[A]에서 7[A]까지 증가시키면서 위치에 따른 추력을 측정된 결과, 이동 변위에 대해 거의 일정한 추력이 발생하지만 3[A]에서 더욱 정추력이 발생함을 알 수 있다. 여기서 전류의 크기는 추력의 크기에 비례하여 증가하지만 7[A]에서는 철심의 자기포화로 추력이 왜형짐을 알 수 있다.

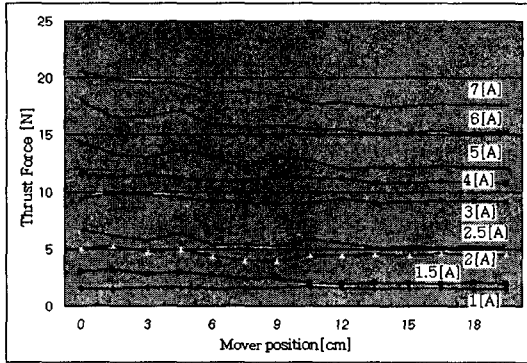


그림 10. 변위에 대한 추력 특성
Fig. 10. Thrust characteristics according to mover position

추력 측정을 위해서 로드셀(Load cell)을 이용하였으며, 이동 변위는 리니어 포텐쇼미터(Potentiometer)를 결합한 X-Y플로터를 이용하여 측정하였다. 또, 공극 자속밀도는 가우스미터(Gauss meter)를 이용하여 측정하였다.

그림 11은 제작된 양측식 여자형 LDM의 구조를 나타낸다.

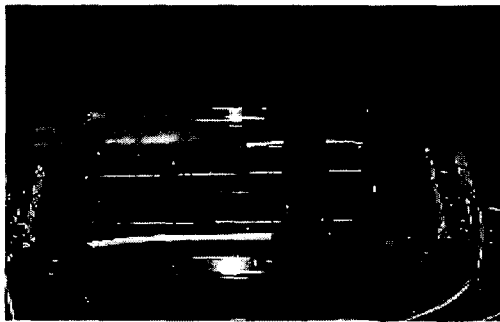


그림 11. 양측 여자형 LDM의 구조
Fig. 11. The structure of double excitation type LDM

그림 12는 측정시스템의 구성을 나타낸다. 여기서 여자전류의 변화에 따른 추력의 변화는 가동자가 이동하는 방향의 반대편에 설치한 로드셀로 각각의 이동 변위에 대하여 측정하였다.

측정의 정확성을 확보하기 위하여 오차의 범위가 0.03[%]이며 우수한 선형성을 갖는 로드셀(SB20)을 사용하였다.

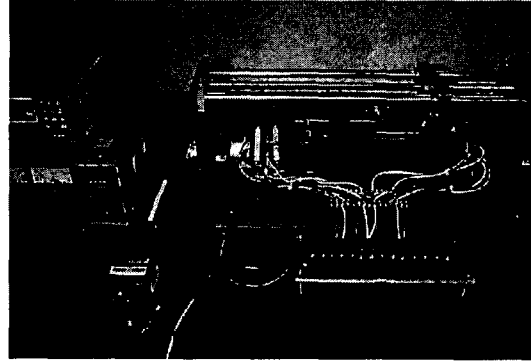


그림 12. 제안된 양측 다분할 여자형 LDM과 측정 시스템
Fig. 12. Proposed double sided excitation LDM and measurement system

5. 결 론

본 논문에서는 OA, FA, 정보기기, 반송용기기, 공작기기 등에 적합한 큰 정추력 및 빠른 응답속도 특성을 지닌 다분할형 양측여자 LDM의 자체해석 방법을 제시하였다. 이를 위하여 복잡한 수치해석 방법인 유한요소법 보다는 간편한 퍼미언스법과 자기회로방법을 이용하여 계산하였다.

제안된 대상모터에 대한 영구자석 대 권선 폭비를 선정하기 위해 퍼미언스법과 자기 회로방법을 통하여 1 : 0.5, 1 : 0.84 및 1 : 1의 폭 비에 대한 퍼미언스 계수와 자기저항 값을 구하였다. 해석결과 1 : 0.84일 경우 퍼미언스 계수와 자기저항의 값이 거의 일정한 값을 지님을 알 수 있었다. 이는 일정한 공극 자속밀도를 의미하며 이에 따라 정추력이 발생함을 알 수 있다.

따라서 실험결과 1 : 0.84의 비로 다권선화 하였을 때 거의 전 변위에 대해서 일정한 공극 자속밀도와 정 추력이 발생함을 알 수 있었다.

앞으로 제작된 다권선 LDM에 적합한 고효율 구동회로 및 제어를 적용하면 고응답, 정추력 서보특성을 갖는 우수한 선형 시스템으로서 각종 응용분야에서 실용화될 수 있을 것으로 기대된다.

References

- [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] 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.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 임달호, "전기계의 유한요소법," 동명사, 1987.

◇ 저자소개 ◇

윤 신 용 (尹信容)

1964년 9월 1일생. 1992년 서울산업대 전기공학과 졸업. 1994년 동국대 전기공학과 졸업(석사). 1999년 동대학원 전기공학과 졸업(박사). 1994년~1997년 전자부품연구원 정밀기기제어팀 연구원. 1997년~현재 동서울대학 전기과 겸임교수. 1999년~현재 동국대 산업기술연구원 전임연구원.

백 수 현 (白壽鉉)

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

김 용 (金 龍)

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