

고속 정밀용 브러시 없는 리니어 직류 모터 개발

이강원* , 조영준** , 송창섭***

Development of a Brushless Linear DC Motor for High Speed and Precise Position Control

Kang-Won Lee* , Young-Jun Cho** , Chang-Seop Song***

ABSTRACT

Recently, we have developed a linear brushless DC motor(LBLDCM) with high speed and precise position control performance to apply it to the semiconductor assembly and inspection machinery. It is composed of double side alignment by two armature-stator pairs and each pair is consist of a moving armature with 8 poles by 3 phase coils and a stator with rare earth permanent magnet (Nd-Fe-B) arrays.

Through the thrust force analysis on a simplified and whole model of the suggested LBLDCM by an Electromagnetic FEM solver, skew angle of magnet arrays to reduce the thrust force ripple and the winding conditions of the armature is designed. From experimental results, the user's requirements was satisfied and we confirmed distinctly that the repeatable accuracy less than a micron of the linear motion can be obtained at high speed by the developed LBLDCM. This is owing to directly drive the work without the gear train.

Key Words : Linear motor(리니어 모터), Linear brushless DC motor(LBLDCM:브러시 없는 리니어 직류모터), Thrust force(추력), Moving armature(MA: 전기자자동형), Precise position control(정밀 위치 제어).

1. 서 론

직선운동의 고속화와 고정밀화를 실현시킨 리니어 모터 기술은 60년대 후반 고속철도를 위하여 기본개념을 도입 하면서 70년대 이후 일반 산업분야에 대한 응용개발이 이루어져 왔고, 최근 관련 소재 전자 및 제어기술의 급속한 발전에 힘입어 본격적인 산업화 단계에 이르고 있다.⁽¹⁾

리니어 직류모터(Linear DC motor :LDM)는 직선운

동기구의 직접구동형 모터(Direct drive motor)로서 종래 회전형 모터와 감속기구에 의한 직선운동기구에 비하여 구조가 간단하고 유지 보수가 용이하다. 감속기구가 없이 구동되는 단순 구조로 인하여 속도 저하와 기어열에 의한 기계적 백래시(Backlash)가 없으며, 1m/sec 이상의 고속운동과 0.01 μ m의 초정밀 위치결정제어가 가능하다.^(2,3) 이와 같은 특성으로 최근 초정밀 위치제어가 요구되는 반도체장비를 비롯한 산업자동화 및 계측장비 등에

* 한양대학교 대학원, 한국생산기술연구원.
 ** 한국생산기술연구원.
 *** 한양대학교 정밀기계공학과.

다양하게 응용되고 있다.

리니어 직류모터는 가동자와 고정자의 구성에 따라 코일가동형(Moving Coil:MC), 자석가동형(Moving Magnet :MM) 및 전기자가동형(Moving Armature:MA) 모터로 구분할 수 있으며, 코일가동형은 보이스 코일이나 평코일을 가동자로 하고 영구자석을 고정자로 하는 구조로 미소 행정용으로 활용되며, 미소 위치결정에 좋은 특성을 나타낸다. 자석가동형 리니어 모터는 여자코일을 고정자로 하여, 영구자석을 평코일에 직각으로 배열하고 고정자인 여자코일에 전원을 공급한다. 전기자가동형은 영구자석으로 구성되는 고정자와 이동자계를 발생시키는 전기자로 구성되며, 전기자는 다상 다극 구조의 권선구조와 철심 등을 기본구조로 하기 때문에 가동중량이 크게 되어 제어 특성은 다소 떨어지지만, 높은 출력을 얻을 수 있다. 또한, 리니어 직류모터는 가동자의 전원 공급방법에 따라 브러시형과 브러시리스형이 있으며, 브러시형은 구조가 복잡하며 접촉저항에 의한 노이즈가 발생하는 단점이 있다.

본 연구에서는 반도체 장비와 일반 산업용 자동화기에 활용할 수 있는 출력이 큰 모터 개발을 목표로 하여 전기자가동형 브러시 없는 리니어 직류모터(Linear Brushless DC Motor: LBLDCM)를 개발하고자 하였으며, 요구사양에 적합한 모터를 설계하고 제작하여 성능을 평가하였다.

2. 설계 사양 및 기본 구조

개발하고자 하는 모터의 요구사양은 Table 1과 같다. 기본적인 사양을 검토해 보면 큰 추력(Thrust force)과 가속능력을 요구하고 있다. 따라서 큰 추력을 얻을 수 있

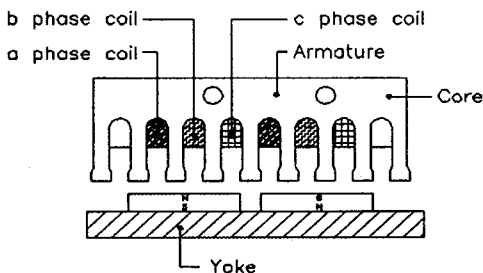


Fig. 1 Basic structure of a moving armature type LDM without brush.

Table 1 Desired specifications of LDM.

Maximum force	800N (10% Duty)
Continuous force	350N
Maximum speed	2 m/sec
Maximum acceleration	2 g
Load inertia	5 Kgf

고, 서보(Servo)화가 용이한 전기자가동형 브러시 없는 리니어 직류모터를 기본구조로 채용하였다.

모터의 추력을 증가시키려면 영구자석으로 구성되는 고정자와 전기자가 커지게 된다. 본 연구에서는 모터의 크기를 최소화하고자 보자력이 큰 희토류(Rare earth) 자석을 활용하였고, Fig. 1과 같은 전기자가동형 브러시 없는 3상 직류모터의 기본구조를 채택하여 극(Pole)수를 늘리고자하였다.

Fig. 1과 같은 구조를 단편(Single side alignment)형 모터라 하며, 3상이 한 조의 자극을 이루는 전기자와 평면 요크(Yoke)위에 영구자석이 자극을 교번하여 등간격으로 배치된 고정자가 일정한 공극을 유지하며 마주보는 구조이다. 따라서 전기자에서 발생하는 추력은 전기자의 극수에 비례한다. 이러한 구조에서는 고정자 자석의 자계가 불연속적으로 분포되며 전기자 슬롯(Slot)의 형상과 결합되어 구조와 배치되어 추력의 균일성을 저해하는 추력 리플(Force ripple)이 발생된다. 따라서, 모터 고정자 설계단계에서 균일한 자계 분포를 얻기 위한 노력이 요구된다. 이와 같은 구조의 모터에서 균일한 추력분포를 얻기 위하여 자극과 슬롯수의 조합을 변경하거나 자석이나 슬롯에 경사를 주는 방법이 많이 활용하고 있다. 본 연구에서는 Fig. 1의 단극형 모터를 다극화하고 고정자 자석을 경사지게 하는 조건을 설계하여 3상 8극 단편형 모터를 개발하였고, Fig. 2와 같이 단편형 모터 2쌍을 서로 마주보게 배치하는 양편추진형 모터를 고안하였다. 양편형 배치는 모터의 추력을 배가하고 크기 최소화와 불균형 자계 분포를 서로 상쇄하는 효과도 기대하였다.

3. 모터의 설계

모터의 설계는 초기설계에서 결정된 모터의 형식을 기준으로 하여 원하는 성능사양을 만족하도록 각 구성요소

의 사양을 구체화하는 작업이다. 따라서 제시된 전기적 입력조건과 다양하게 연결되어 있는 설계변수(Design parameters)간의 상호 상관관계가 성능에 미치는 영향을 적절하게 고려하여 구성요소의 최적사양을 결정하는 것이다. 본 연구에서는 앞서 검토된 단편형 3상 8극 전기자와 고정자를 설계대상으로 하였으며, 그 결과를 양편형에 응용하였다.

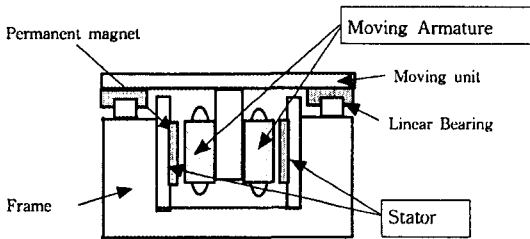


Fig. 2 Section view of the LBLDCM with double side aligned moving armature.

3.1 추력정수 설정

자석과 수평으로 배치된 전기자코일에 전류 I 를 인가하면, 프레밍의 왼손법칙에 따라 전류방향에 수직인 방향으로 식 (1)과 같은 추력 F 이 발생된다. 발생되는 추력과 모터의 정격전류와의 관계로부터 모터의 추력정수 (Thrust force constant: K_f)가 설정된다.

$$F = n \cdot t \cdot B \cdot I \cdot L = K_g \cdot \Phi \cdot I = K_f \cdot I \quad (1)$$

식(1)의 $K_g (=n \cdot t \cdot p / l)$ 는 전기력상수, t 는 코일권선수, n 은 전기자코일의 유효 도체부수(평축코일 경우 $n=2$), Φ 는 자극의 자속수(Wb), l 은 자석에 대향하는 코일의 길이(m), B 는 자속밀도(T), p 는 극(Pole)수이다. 이 관계식은 모터를 구성하는 모든 구성요소의 설계기준을 제시하고 있으며, Table 1로부터 추력정수를 계산하면 70 N/A가 된다.

3.2 자성재료의 선정

리니어 모터설계에 있어서 중요한 인자 중의 하나가 자석자기회로를 구성하는 영구자석의 선택과 설계이다. 자기회로 설계에 있어서 영구자석의 선택은 소모전력과 식 (2)로 표현되는 모터의 기계적시정수 (τ_m)를 결정하는

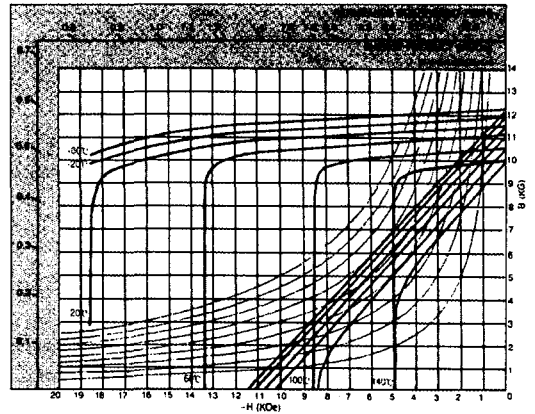


Fig. 3 Characteristic curve of a permanent magnet NEO-MAG-33.

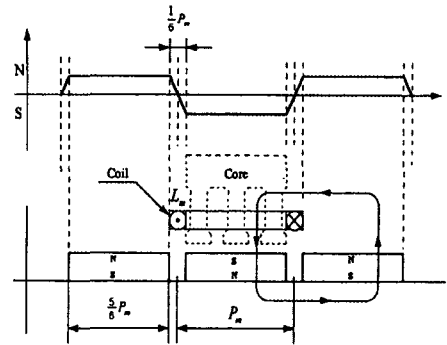


Fig. 4 Magnetic circuit of a LBLDCM with 3-phase commutation.

주요인자이기 때문에 매우 세심한 준비가 요구된다.⁽⁴⁾

$$\tau_m = \frac{mR}{B^2 l^2} = \frac{m\rho}{B^2 V} \quad (2)$$

(m :가동부질량, R : 권선저항, ρ :저항율, V :권선체적)

결과적으로 모터의 추력향상과 응답특성을 위하여 최대 에너지 적(Maximum energy product: $(BH)_{max}$)이 큰 자석을 선택하는 것이 좋다.⁽⁵⁾ 자석의 최대에너지 적은 단위체적에 축적하고 있는 에너지가 크다는 것을 의미한다. 따라서 시제품 개발을 위해 본 연구에서는 비교적 부피가 작고 단위체적 당 축적에너지가 큰 등방성 네오뎀계(Nd-Fe-B) 희토류 자석을 선정하여 소모전력과 배치공간간의 최소화를 이루면서 원하는 제어특성을 만족할 수 있도록 하였다. 선정된 자석의 특성곡선은 Fig. 3과 같다.

3.3. 자기회로 설계

Fig. 4과 같이 배치된 자기회로에서 요크(Yoke)내 기 자력 손실을 무시하고, 동작점 $P(B_m, H_m)$ 와 공극에서의 자 계의 세기가 H_m 과 H_g 이고, 자석과 공극의 두께가 t_m 과 t_g 일 때 에너지보존법칙에 의한 암페어의 회로법칙 (Ampere's Circuital Law)은 식 (3)으로 정의된다.

$$H_m \cdot t_m - H_g \cdot t_g = 0 \quad (3)$$

공극의 자속밀도(B_g)는 동작점의 자속밀도와 자석의 잔 류 자속밀도 B_r 와의 관계식 (4)와 같이 표현된다.

$$B_m = B_r - \mu_m \mu_o H_d, \quad B_g = \mu_o H_g \quad (4)$$

이 때 μ_m 과 $\mu_o (= 4\pi \times 10^{-7} H/m)$ 는 영구자석과 공 기중의 비투자율이다. 공극의 누설자속을 고려하면, 누설 자속계수 f_m 에 대하여 다음 식 (4)로 정리된다.

$$B_m = f_m \cdot B_g, \quad B_g = \frac{B_r}{f_m + \mu_m \frac{t_g}{t_m}} \quad (5)$$

누설자속계수는 자로의 효율을 결정하는 요소이며, 모 터설계에 있어서 철심의 재료와 형상을 결정하는 기준이 된다. 자석두께 t_m 는 잔류 자속밀도와 공극 자속밀도로에 의하여 다음 식(6)으로 계산된다.

$$t_m = \mu_m t_g \cdot \frac{B_g}{B_r - f_m B_g} \quad (6)$$

따라서, 3상 통전구조에서 자석의 폭 W_m 은 Fig. 4와 같이 각 상이 정확히 한 개의 자석 위에 놓여지도록 설계 하고, 자석길이 L_m 는 전자석 코일의 유효길이 l_g 에 의하여 결정된다. 이때, 자석의 동작점에서의 퍼미언스 계수 (Permeance coefficient: P_c)는 자석의 단면적 S_m 과 코 일의 유효길이에 의한 공극부 단면적($S_g = S_m \cdot l_g$) 및 기자 력 손실계수 γ_m 와의 관계로 식 (7)으로 정의된다.

$$P_c = \frac{B_m}{H_m} = \frac{t_m}{S_m} \cdot \frac{S_g}{l_g} \cdot \frac{f_m}{\gamma_m} \quad (7)$$

위 식 (7)을 이용하여 동작점을 확인한다. 자기회로 는 이와 같은 과정을 반복하면서 적합한 조건을 찾아

설계한다.

3.4. 전기자 설계

단편형 리니어 직류모터의 여자방식은 180° 통전 방식 이 많이 사용되지만, 시제품에서는 추력리플을 최소화하 고 추력을 높이기 위하여 3상 배열에 의한 120° 통전구조 를 채용하여 8극으로 배치하였다. Fig. 4에서 자석배열 의 피치가 p_m 일 때 120° 통전형 전기자 코일의 통전개각폭 는 식 (8)과 같이 되도록 설계한다.

$$t = [(2m-1)p_m - \frac{1}{3}p_m], m = 1, 2, 3, n \quad (8)$$

설계된 한 슬롯내 전기자의 코일 권선횟수 n_i 는 기하학 적 관계로부터 식 (9)로 나타낼 수 있다

$$n_i = f_c \frac{4S_s}{\pi(D_c + t_c)} \quad (9)$$

위 식에서 f_c 는 점유율(일반권선:0.75, 정렬권선:0.9) 이고 t_c 는 피막두께, D_c 는 코일직경, S_s 는 슬롯 단면적이다. 만일 1회전당 코일 길이가 l 이면, 코일의 저항 R_c 와 코일에 흐르는 전류 I 에 의해 발생하는 전류밀도 i_c 는 식 (10), (11)로 계산된다.

$$R_c = 1.75 \times 10^{-5} n \cdot l \cdot \pi \frac{D_c^2}{4} (\Omega) \quad (10)$$

$$i_c = I_s / \pi \cdot \frac{D_c^2}{4} \quad (11)$$

시제품에서는 폴리에스테르 동선(PEW 0.45)의 직경 을 0.45mm로 선정하였다.

4. 모터 해석 및 실험

리니어 직류모터는 자기장과 전기장의 연성관계에 의해 추력을 발생하는 메커니즘으로 시간에 따라 전자기계 가 변화하는 시스템이다. 모터의 추력을 해석하는 방법에는 등가회로해석, 퍼미언스법 및 수치해석법 등 다양한 해석 기법이 있다.⁽⁶⁾ 본 연구에서는 유한요소법(FEM)에 의한 범용 전 자기장 해석 프로그램(Maxwell® Field Simulator 6.2)을 이용하여⁽⁷⁾ 앞서 개념 설계한 모터추력을

해석하여, 추력과 자석배열에 따른 추력리플 최소화를 위한 설계 대책을 수립하고 나아가 전기자의 권선사양을 결정하였다.

본 연구에서는 3상 8극 단편형 모터에 대하여 해석하고 그 결과를 고안된 모터설계에 응용하였다.

4.1. 자석의 배열에 따른 추력의 영향

자석은 평면으로 구성된 요크 위에 진행방향으로 일정한 간격을 유지하며 배열되어 있다. 따라서 리니어 직류 모터는 구조적으로 회전형 모터와 달리 불균형 자계분포가 되어 정지시 안정된 자로를 유지하기 위한 자기흡인력(Magnetic attraction)과 구동시 과도한 부상력(repulsion force)이 발생되고, 이로 인하여 모터의 제어특성을 저하시키는 추력리플이 발생된다.⁽⁸⁾ 구조적인 추력리플을 해결하기 위하여 자석에 경사각(Skew)을 주는 방법을 활용하였고, Fig. 5와 같이 3상 1극 모터의 단순화된 3차원 모델을 작성하여 해석하였다. 추력은 고정된 공극(1mm)에서 한 피치(23mm)를 이동하면서 계산되었다. Fig. 6은 단순화 모델을 한 자석 내에 이동시켜 해석한 결과로 자석경사에 따른 추력분포를 보여주고 있다. 길이

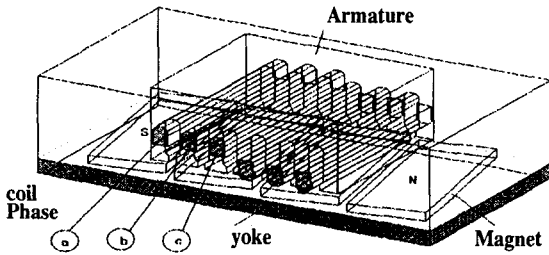


Fig. 5 Simplified model of LBLDCM with a 3-phase single-pole structure.

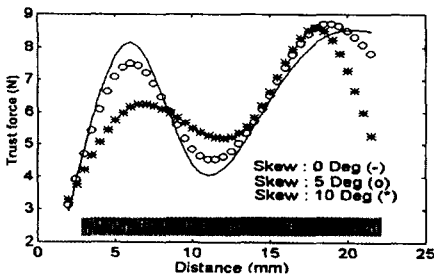


Fig. 6 Thrust force distribution in a magnet segment for various skew angles.

가 50mm이고 폭19mm인 자석을 간극 4mm로 배치한 기본구조에 대하여 경사각이 10° 정도일 때 추력리플이 현저히 줄어드는 경향을 볼수 있으며, 8극 전기자에 대한 합성추력은 저하되지 않고 추력리플이 3%이하로 줄어들었다.

하지만 10° 이상에서는 리플은 조금 줄지만 합성추력의 저하가 이루어졌다. 추력리플을 줄일 수 있는 자석의 배치 경사각은 자석길이와 배치간극에 의하여 결정되는 요소이다. 따라서 적절한 자석배치와 적정 공극 유지를 통하여 추력리플 현상인 코깅력(Cogging force)을 최소화할 수 있다.

4.2 추력 해석

단편형 3상 8극 전기자에 정전류를 입력하고 위치를 이동하며 발생하는 추력을 해석하였다. 그 결과 8극 구조의 3차원 모델에 대한 추력은 단극형 모델의 추력과 비례관계에 있고, 인가 입력 전류에 대해서도 정비례관계가 성립하였다.

Fig. 7은 10°의 경사각을 주어 자석을 배치한 고정자와 8극 전기자쌍을 서로 마주보게 2열 배치한 양편형 모터에 대하여 인가되는 전류의 방향을 고려하지 않고 전기자의 위치를 이동하면서 각 상에 의하여 발생된 해석 추력분포를 나타내었다. 이때 평균 합성 추력은 전류의 방향을 고려하여 각 상의 추력에 절대값으로 취하고 각 상에 대하여 중첩시켜 구하였다. 이와 같이 계산한 합성 추력에서 추력리플이 평가될 수 있다.

전기자를 다극화하는 이유는 이와 같은 단극 구조의 과도한 리플을 정규화하여 최소화하는 의미와 추력의 극대화에 있다. 따라서 정격 전류 입력에 따른 추력 해석 결과를 토대로 단편형 8극 전기자와 고정자 쌍을 양편에 서로 마주보게 하여 2조를 배치하였다. 양편에 배치된 전기자

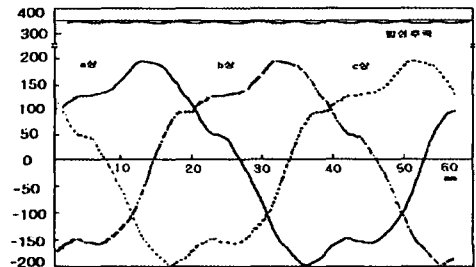


Fig. 7 Thrust force analysis results of the whole model for the suggested LBLDCM.

를 각각 병렬로 연결하고, 연결된 모터의 전기자에 정격 전류입력에 의하여 합성 추력 350N을 얻기 위한 전기자 코일의 권선조건을 해석하여 직경을 0.45mm로 하여 58 회 권선하였다.

4.3 추력 측정

설계사양에 따라 모터의 구조를 설계하고 추력해석을 통하여 Table 2와 같이 주요 구성부품의 사양을 결정하여 시제품을 제작하여 추력을 측정하였다. 요크는 순철을 단조하여 제작하고, 철심재료는 0.35mm 두께의 규소강판(RM8, Kawasaki)을 진행방향에 수직으로 적층하여 자석의 길이와 일치시키고, 영구자석은 0.3 (T)를 유지하도록 착사하였다

측정을 위하여 Fig. 8과 같이 단편형 모터를 이용하여 추력을 측정한 결과 Fig. 9와 같은 평균 추력을 얻었다. 측정 결과는 해석 결과와 비슷함을 볼 수 있으며, 정지시의 안정된 자로 평형을 극복하기 위하여 최소 전류가 인가되어야 함을 알 수 있다. 이것은 선형운동 베어링의 마찰보다 정지시 철심과 자석간의 흡착력으로 해석되며 스텝핑 모터의 홀딩 토크와 같이 해석 될 수 있다.⁽⁹⁾

Table 2 Design specifications.

Structure Type		Double side array
Armature	Pole pitch	23 mm
	Coil diameter	0.45 mm
	No. of turn	58
Stator	Yoke (LxWxT:mm)	1000 x 100 x 8
	P.M (LxWxT:mm)	50 x 19 x 4
	Skew	10°

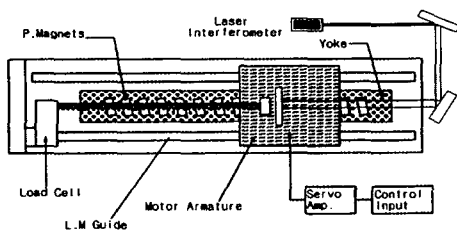


Fig. 8 Experimental apparatus for thrust force measurement and performance test.

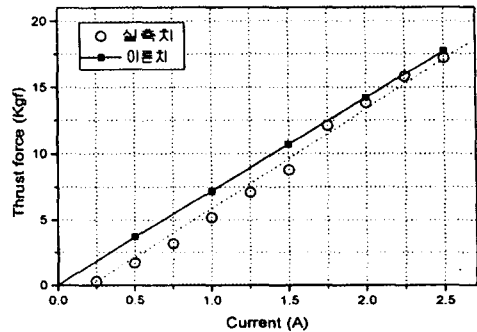


Fig. 9 Analysis and test results of the developed single side aligned LBLDCM.

5. 구동 시스템 설계 및 제작

리니어 직류모터 구동을 위하여 기존의 PWM 방식의 AC 서보증폭기를 기본 기술로 하여 리니어 모터 제어특성에 맞게 응용개발 하였다.

대용량 모터 구동을 위하여 싸이리스터(Thyristor)의 고전압 전류특성과 MOSFET소자의 스위칭 특성을 보완하여 개발된 고전압 전류 바이폴라 스위칭소자 IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor)를 이용하였다. 최근에 개발된 인버터 유도 모터용 IGBT는 1200V, 400A의 전력을 15~20KHz 대역으로 스위칭 할 수 있는 것으로 보고되고 있다.⁽¹⁰⁾

3상 120° 통전 제어(Commutation control)를 위하여 3개의 홀(Hall)소자에 의한 자극 검출회로를 설계하여 통전 순서제어에 활용하였고 또한, 바이폴라 아나로그 전압 입력에 의하여 방향과 속도를 제어할 수 있도록 설계 하였다.

Fig. 10에서 제어입력회로는 차동증폭기(A)와 자동속도조절기(B) 및 속도 되먹임 회로(C)로 이루어진다. 속도 되먹임 신호는 리니어 엔코더의 펄스를 전압으로 변환하고 이득을 조정할 수 있게 하였다. 자동전류조정기(E)를 통과한 전류 신호는 자극 검출회로(K)와 전류 되먹임 회로(L)에 의하여 동기되어 120° 통전신호로 변환되어 각 상에 인가되는 전류로 증폭하고, PWM(F)소자는 각 상의 제어입력을 사인반송파로 변조(3KHz)한다. 전력소자를 구동하기 위한 구동회로(H)와 IGBT(I) (6MBI 30L-060, FUJI Elec, Co)는 전력증폭과 스위칭기능을 가지고 있다. 개발된 서보증폭기의 사양은 Table 3과 같다.

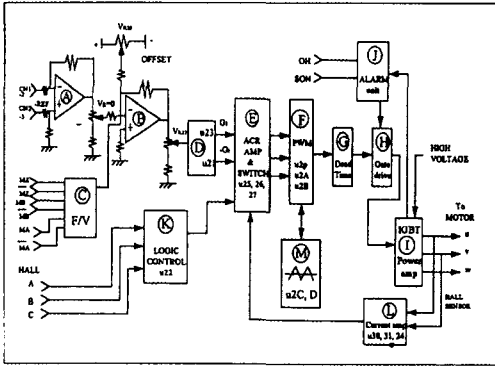


Fig. 10 Block diagram of the servo amplifier for LBLDCM.

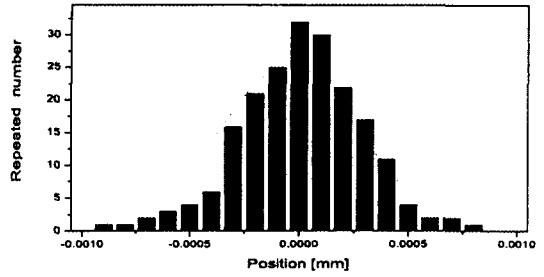


Fig. 11 Measuring results of repeatable position accuracy.

Table 3 Servo amplifier specifications.

항 목	단 위	성능사항	
연속 정격 출력	kw	1.3	
연속 정격 전류	A	9.75	
순시 최대 전류	A	29.1	
제어 방식		IGBT PWM 방식	
속도 위치 검출 방식		Linear Encoder	
속도 제어	속도지령	V	0 ~ ±10
	주파수 특성	Hz	100 Hz
	부하변동	%	± 0.067% 미만 (0~100%)
	전압변동	%	± 0.067 미만(정격 ±10%)
입 력 전 원		AC 1상 200/220V ±10%, 50/60 Hz ±2Hz	

6. 위치 결정 제어 특성 실험

개발된 모터와 서보증폭기를 이용하여 Fig. 8과 같이 1축 직선운동장치를 구성하여 2위치 반복 위치결정 실험을 실시하였다. 반복 정밀도를 측정하기 위하여 DSP에 의한 상용 모터 구동 제어기(PC/DSP, ADSP2105 40MHz, MEI, Co)의 PID 서보제어 알고리즘을 이용하여 등속 운전상태에서 목표위치에 대한 위치오차를 측정하였다. 위치 검출용 센서는 0.1 μ m분해능을 갖는 증분형 리니어 엔코더(LID 311, Heidenhain)를 사용하였고, 레이저 간섭계를 이용하여 측정하였다. 200회 반복 측정에 대한 결과는 Fig. 10과 같이 1 μ m내의 정규분포를 이루고 있으며, ±0.5 μ m의 반복 위치정밀도를 충분히 확보할 수 있다.

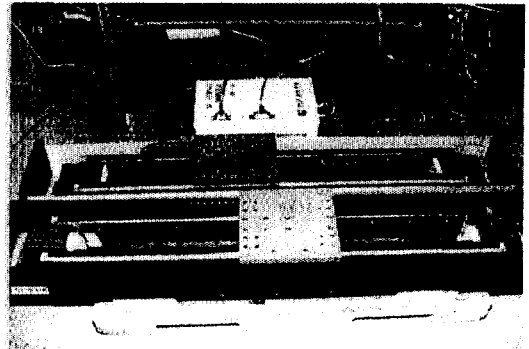


Fig. 12 View of a developed linear brushless DC motor with double side aligned moving armatures.

7. 결론 및 향후 계획

요구사항에 따라 앞에서와 같이 브러시 없는 리니어 직류모터를 설계하여 Fig. 1과 같이 두 개의 전기자를 양편에 배치한 350N의 추력을 갖는 상품화 단계의 시제품과 구동용 서보증폭기를 개발하였다.

전자장 유한요소법에 의한 해석과 설계를 통하여 제작하고 실험한 결과, 목표사항에 부합하는 성능과 추력을 얻을 수 있었다. 또한, 상용 DSP에 의한 PID 서보 제어 알고리즘에 의한 반복 위치결정제어실험을 통하여 고속(1.2m/sec)에서 ±0.5 μ m이하 반복 위치제어 성능을 보였다. 적용시 구동부의 경량화 설계와 직선베어링에 의한 소음대책 및 전기적 노이즈에 다소 민감한 서보증폭기의 회로를 보완하면 보다 좋은 응답특성을 확보할 수 있을 것으로 사료되며, 시제품은 현재 반도체 조립 및 검사 장치 개발에 응용되고 있다.

본 전기자가동형 브러시 없는 리니어 직류모터 개발을

통하여 리니어 직류모터의 핵심요소 및 설계기술과 제조 기술을 확보하였고, 이를 토대로 고추력화와 고성능화에 대한 연구를 추진하여 산업 자동화 분야에 대한 응용성을 확대하고자 한다.

후 기

본 연구는 G7 첨단생산시스템 개발 1단계 사업 중 삼성 항공(주) 부설연구소가 주관한 "초정밀 조립기술 개발에 관한 연구"사업의 위탁 연구사업비 지원에 의하여 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. 正田英介, "리ニア드라이브技術 とその 用," 오ーム社, pp. 50-92, 1991.
2. Ben L. Triplett, "DC Linear Motors," Motor-con, Proceeding, pp. 104-108, Oct., 1986.
3. Anwar Chitayat, "Linear Motor Technology Recent Advances On Improving Stiffness, Force and Speed," 3rd Biennial Int'l Manufacturing Technology Research Forum, Chicago, Illinois August 1989.
4. 山田一, "産業用リニアモータ," 工業調査會, pp. 38-52, 1981.
5. 白木 學, 宮尾修美, "解リニアサーボモータ と ツステム 設計," 總合電子出版社, pp. 139-146, 1986.
6. Nabeel A. O. Demerdash and Mohd A. Alhama, "Three-Dimensional Finite Element Analysis of Permanent Magnet Brushless DC Motor Drives --Status of the State of the Art--," IEEE Trans. on Ind'l Electronics, Vol. 43, No. 2, pp. 268-275, April, 1996.
7. ANSOFT, "Maxwell 3D Field Simulator User's Reference," pp. A2-A20, Dec, 1993.
8. Thomas M. Jahns. "Pulsating Torque Minimization techniques for Permanent Magnet AC Motor Drives -A Review," IEEE. Trans. on Ind, Elec., Vol. 43, No. 2. pp. 321-330, April, 1996.
9. Yosio Kano, etc., "Constant Control of moving Magnet type Linear motor," T.IEE. Japan, Vol. 115 -D, No. 3, pp. 249-254, 1995.
10. Yasuhiko Dote and Sakan Kinoshita, Brushless Servomotors, Claredon Press, pp. 73-78, 1990.