

2상 8극 HB형 리니어 펄스 모터의 정밀위치 제어를 위한 미세스텝 구동

論 文
48B-12-1

Microstep Drive of 2 Phase 8 Pole HB Type Linear Pulse Motor for Precise Position Control

金 成 憲* · 李 殷 雄** · 李 東 周*** · 具 泰 萬§
(Sung-Hun Kim · Eun-Woong Lee · Dong-Ju Lee · Tae-Man Koo)

Abstract - In this study, it has been aimed that the accuracy of position control be increased by microstep drive to the 2 phase 8 pole HB type prototype of linear pulse motor of which winding are applied sine wave current and the vibration and noise in the lower speed region be decreased.

The fixed off-time method which controls the exciting current bandwidth, was applied to the microstep current controller. When the LPM was driven 1/8 microstep its accuracy of position was 0.109[mm](=tooth pitch 3.5[mm]). Also, the elimination method of harmonics in the static thrust force is proposed. It was confirmed that the position error range of the prototype LPM was ± 0.2 [mm].

Key Words : Linear Pulse Motor, Microstep Control, Chopper Amplifier, Static Thrust Force, Harmonics, Position Error

1. 서 론

리니어 펄스 모터(LPM)는 입력펄스 신호에 따라 정해진 스텝량으로 직선운동이 가능한 선형 구동원으로 개루프 제어에 의한 위치 및 속도제어가 가능하여 프린터, 디스크 드라이브 등의 컴퓨터 주변기기 및 반도체 생산장비에 널리 사용된다. 그러나 LPM은 1상 여자에서 치 피치만큼 이동되도록 구조적으로 결정되어 정밀위치제어가 곤란하다. 또한 중속 및 저속영역에서 탈조에 의한 공진영역이 존재하고 최대응답 주파수가 제한되는 등의 문제점을 가지고 있다[1][2].

1970년 중반 이후 로봇 및 X-Y 테이블 등의 분야에서 고 정밀 위치제어의 필요성이 증대되어 왔다. 이를 충족시키기 위해서는 모터 자체의 치 피치를 구조적으로 세분화하는 방법이 있지만 가공상의 제한이나 가공오차가 존재한다. 그래서 기계적인 가공방법에 의하지 않고 구동용 드라이버에서 고분해능화를 구현하는 방법으로 미세스텝 구동방식이 중점적으로 연구되어 왔다[3][4].

본 연구에서는 LPM의 위치정밀도를 향상시키고 저속영역에서 발생하는 진동 및 소음을 줄일 수 있는 미세스텝 구동방식을 검토하였다. 미세스텝 구동방식은 출력 브리지 회로를 초퍼 구동했을 때 여자전류 밴드 폭을 제어하는 고정 오프

시간(fixed off-time)방식을 적용하였다[5][6].

특히 HB형 LPM은 정추력 특성이 변위에 대하여 정현파라고 하면 미세스텝은 정밀위치 제어에 유용한 수단이 된다. 그러나 변위에 무관하게 일정전류로 여자시키기 때문에 정추력 특성은 기본파이외에 고조파 성분이 포함된다. 고조파 성분은 위치 정밀도에 영향을 미치므로 제거하기 위해서는 정추력 고조파 성분의 크기가 같고 역상인 추력을 발생시키는 여자전류를 결정하면 된다. 그래서 정밀 위치제어시에 오차의 요인이 되는 정추력 고조파 성분을 여자전류에 의하여 최소화할 수 있는 방법을 검토한 바 있다[7]. 또한 LPM에서 자화작용으로 발생하는 자기수반 에너지에 의한 추력을 구하여 위치 오차를 해석하고, 정지위치 오차를 측정함으로써 시작기 LPM의 최대 위치오차 범위를 제시한다.

2. 2상 8극 HB형 LPM의 구조

그림 1과 같은 2상 8극 HB형 시작기 LPM은 위치정밀도를 향상시키고 제작시의 기계적인 오차를 줄이고자 두 개의 2상 4극 LPM을 z축 방향으로 $\frac{1}{2}$ 치 피치만큼 어긋나게 겹쳐 놓은 구조이다. A상 권선 여자시, A'극과 \overline{A} 극은 권선 기자력의 방향과 영구자석의 기자력의 방향이 서로 반대이기 때문에 서로 상쇄되고 자료가 A극과 \overline{A} 극을 통해서 구성되기 때문에 3차원적인 분포를 하게 된다. A, A', \overline{A} , \overline{A} '극에는 A상 권선이 직렬로 감겨져있고 B, B', \overline{B} , \overline{B} '극에는 B상 권선이 직렬로 감겨 있어 바이폴 2상 모터로 구동된다. 이와같은 구조는 상 절환시 자기회로의 평형이 유지되는 장점을 가지고 있어서 정특성이 변위에 대하여 정현파라고 하면 미세스텝 구동에 적합하다[8].

*正會員 : 天安工業大學 制御計測科 教授 · 工博

**正會員 : 忠南大 工大 電氣工學科 教授 · 工博

***正會員 : 忠南大 工大 電氣工學科 博士課程

§正會員 : 蔚山大 工大 電氣工學科 教授 · 工博

接受日字 : 1999年 9月 6日

最終完了 : 1999年 12月 4日

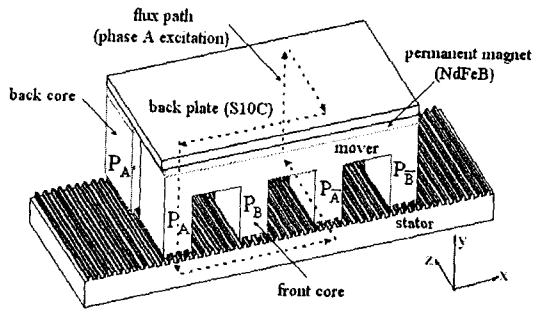


그림 1 2상 8극 HB형 LPM
Fig. 1 2 phase 8 pole HB-type LPM

3. 미세스텝 구동방식

3.1 구동원리

미세스텝 구동방식은 그림 2와 같이 모터의 인접 상간의 여자전류를 정현파적으로 변화시켜 기본 스텝각의 중간영역에서도 위치설정이 가능한 구동방식이다.

2상 8극 LPM에서 미세스텝 구동으로 미소변위를 얻는 동시에 각 여자때의 합성추력이 1상 여자시의 추력과 동등해지도록 하려면 여자전류가 정현파상이어야 한다.[3] 이때 얻어진 LPM의 정지추력 특성은 항상 추력리플이 없이 일정하여 LPM을 다상화한 것과 같은 효과가 있다. 따라서 (1)고정밀 위치제어 (2)저속영역에서의 공진에 의한 탈조 방지 (3)속도 맥동의 감소 (4)응답특성 개선 등과 같은 성능 향상이 기대된다[9]

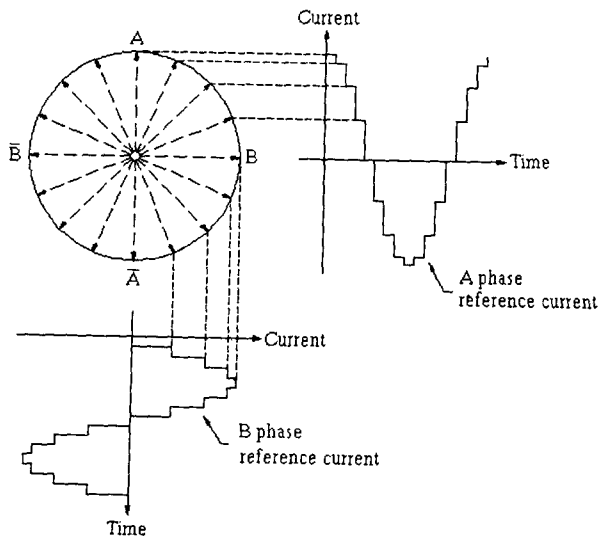


그림 2 기준전류와 토크벡터의 관계
Fig. 2 Reference current vs. torque vector

3.2 수학적 해석

N턴을 감은 권선에 단위전류 $i[A]$ 를 흘릴때 발생하는 추력 F 는 식 (1)과 같이 주어진다.

$$F = \frac{1}{2} (N \cdot i)^2 \cdot \frac{\partial P}{\partial \theta} \quad [N.m] \quad (1)$$

여기서, P = 퍼어미언스 [H], θ = 각변위[rad]

미세스텝 구동을 하기 위해서 LPM의 상A와 상B에 식(2)와 식(3)과 같이 90°상차를 갖는 정현적인 전류가 각 권선 N_A, N_B 에 흐른다고 가정하자.

$$i_A = -I_0 \sin \theta \quad (2)$$

$$i_B = -I_0 \cos \theta \quad (3)$$

여기서, I_0 = 기준 여자전류의 최대치 [A]

그리고 식(2)와 식(3)을 각각 식(1)에 대입하여 각 상에서 발생하는 추력을 구하면 다음과 같다.

$$F_A = k_A I_0^2 \sin^2 \theta \quad (4)$$

$$F_B = k_B I_0^2 \cos^2 \theta \quad (5)$$

$$k_A = \frac{1}{2} N_A^2 I_0 \frac{\partial P_A}{\partial \theta} \quad (6)$$

$$k_B = \frac{1}{2} N_B^2 I_0 \frac{\partial P_B}{\partial \theta} \quad (7)$$

여기서, N_A =A상의 턴수, N_B =B상의 턴수

P_A =A상의 퍼어미언스, P_B =B상의 퍼어미언스

따라서, 상A와 상B에 의한 합성 추력은 식(8)로 표현된다.

$$\begin{aligned} F_{total} &= F_A + F_B \\ &= I_0^2 (k_A \sin^2 \theta + k_B \cos^2 \theta) \end{aligned} \quad (8)$$

그런데 식(8)에서 상A와 상B의 턴수가 같고 A상과 B상치가 같아서 그에 의한 퍼어미언스 변화가 같다면, 합성 추력은 식 (9)와 같이 일정하게 된다.

$$\begin{aligned} F_{total} &= k_0 I_0^2 (\sin^2 \theta + \cos^2 \theta) \\ &= k_0 I_0^2 \Rightarrow \text{"Constant"} \end{aligned} \quad (9)$$

여기서, $k_0 = k_A = k_B$

그림 3은 A상, B상에 의한 추력과 합성추력을 나타내고 있다. 즉, LPM에서 미세스텝 구동으로 미소 변위를 얻는 동시에 각 여자때의 합성 추력이 1상 여자시의 추력과 동등해

지려면 정현 파상의 여자전류로 제어하면 된다. 그러므로 발생추력에 맥동이 없는 일정한 추력을 얻을 수 있고 정전압 구동시 입력 펄스에 따라 각 스텝이 이동할때 발생하는 진동 및 소음을 줄일 수 있다. 그러나 실제에 있어서 LPM을 미세스텝 구동 방식으로 제어할 때 기계적인 극피치 오차, 치 피치 오차, 정추력에 포함된 고조파, 영구자석에 의한 디텐트력 등에 의한 영향으로 위의 식(9)와 같이 매우 일정한 추력은 얻기가 어렵기 때문에 LPM의 정지위치 오차가 존재한다.

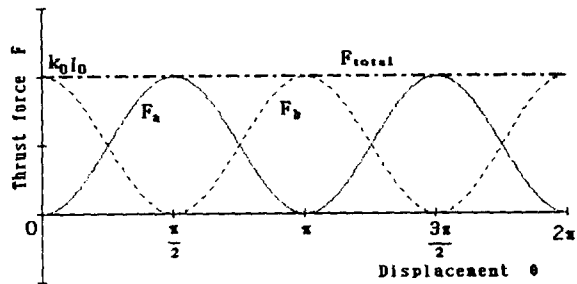
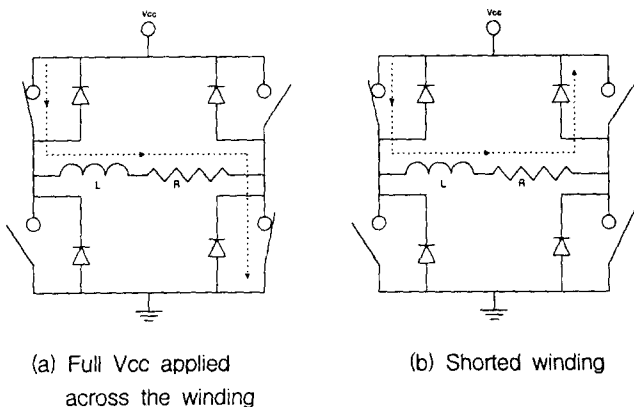


그림 3 미세스텝 구동에 의한 추력
Fig. 3 Thrust force by microstep drive

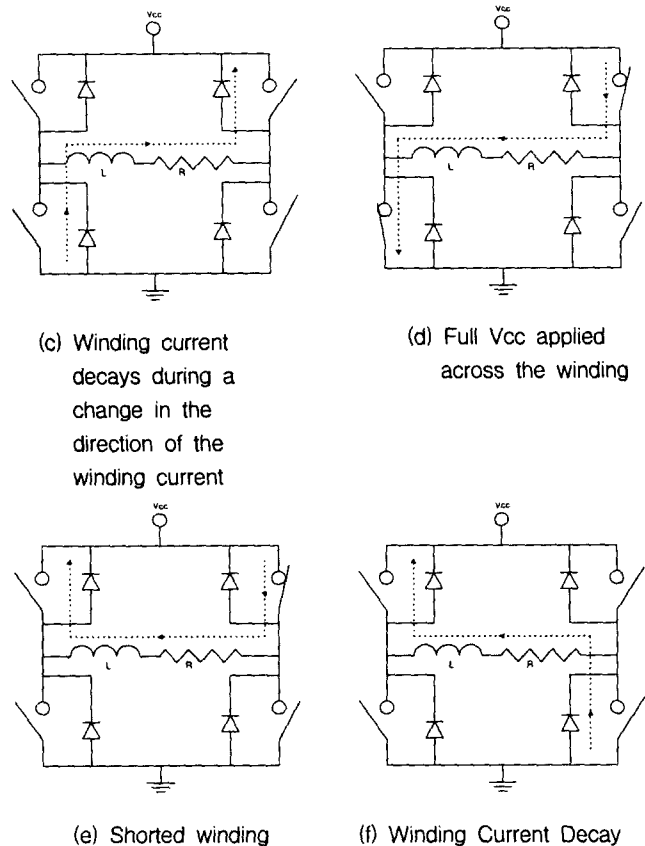
3.3 초퍼증폭기를 이용한 고정 오프시간 방식

LPM을 미세스텝 제어하기 위하여 초퍼증폭기를 이용한 고정 오프시간 방식을 적용하였다. 기준전압보다 여자전류가 적게 유지하는 기간은 그림 4의 (a), (d)와 같이 여자전류는 $V_{cc}R$ 를 향해 빠르게 증가하는 동작을 한다. 오프시간 동안 여자전류는 모터권선을 단락하게 되므로 순환전류에 의하여 서서히 감소하는 동작을 하며 그림 4의 (b), (e)에 나타낸다.

그림 5는 LPM을 제어하기 위한 초퍼 증폭기의 오프 시간을 $43.6\mu s$ 로 하였을 때의 오프시간 밴드 폭과 상전류 파형을 나타내고 있으며, 그림 6는 초퍼 증폭기를 이용한 고정 오프 시간방식으로 미세스텝 제어를 수행하였을 경우의 여자전류의 실제 파형을 나타낸 것이다. 초퍼 증폭기 (a)와 (b) 그리고 (d)와 (e)에 해당하는 출력단 초퍼동작을 나타낸다.



(a) Full Vcc applied across the winding
(b) Shorted winding



(c) Winding current decays during a change in the direction of the winding current
(d) Full Vcc applied across the winding
(e) Shorted winding
(f) Winding Current Decay during change in the of direction the winding current

그림 4 초퍼증폭기 초핑 상태
Fig. 4 Chopper amplifier chopping state

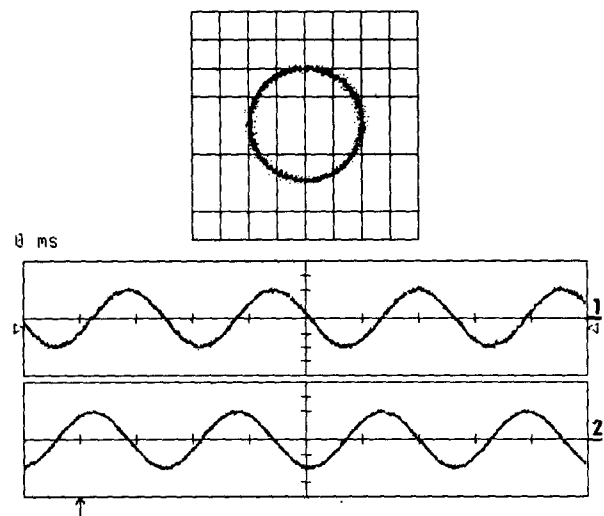
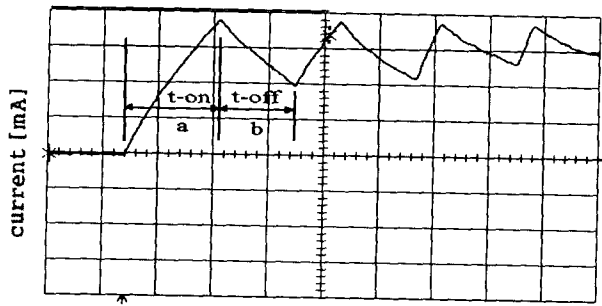
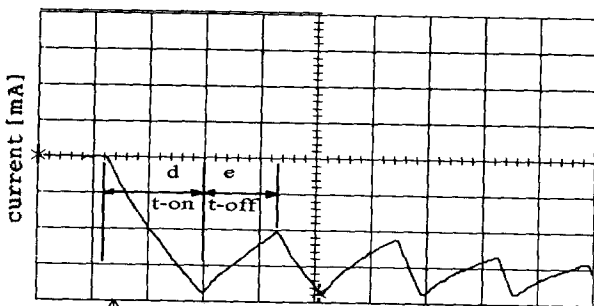


그림 5 초퍼된 상전류 파형 (off-time= $43.6\mu s$)
Fig. 5 Chopped winding current (fixed off-time= $43.6\mu s$)



time [30ms/div]
(a) 0 ~ 1/2 pitch



time [30ms/div]
(b) 1/2 ~ 1 pitch

그림 6 초퍼된 실제전류 파형
Fig. 6 Chopped actual current

3.4 시스템의 하드웨어 구성

미세스텝 구동방식에 적용한 초퍼증폭기는 D/A변환기, 기준전류와 상전류를 비교하여 오차신호를 발생시키는 증폭기, 제어로직 회로, 전력변환 회로가 단일 칩속에 내장되어 있다. 또한 마이크로프로세서와 결합하면 LPM의 정전압 구동, 정전류 구동, 미세스텝 구동이 가능하여 제어시스템을 컴팩트하고 저가격형으로 구성할 수 있도록 그림 7과 같은 제어시스템을 구성하였다. 여기서 미세스텝 변위 데이터에 따른 기준신호를 발생시키기 위한 마이크로프로세서는 텍사스 인스트루먼트사의 TMS320C31을 사용하였다.

또한 소프트웨어에 의하여 전 스텝(치피치=3.5mm)에 대하여 임의로 분해능을 설정 가능하도록 하여 다양한 위치제어 성능을 갖도록 그림8 같은 LPM 구동 프로그램의 흐름도를 구성하였다.

3.5 정추력 고조파 해석과 제거방안

일반적으로 미세스텝 구동은 위치에 관계없이 일정전류로 여자시키기 때문에 정추력 특성에 기본파 이외의 고조파 성분이 포함되고 이 고조파성분은 위치 정밀도에 영향을 준다. 따라서 정추력 고조파 성분을 제거하기 위해서는 변위에 따른 여자전류값을 변화시켜야 된다. 즉, 변위에 따른 정추력

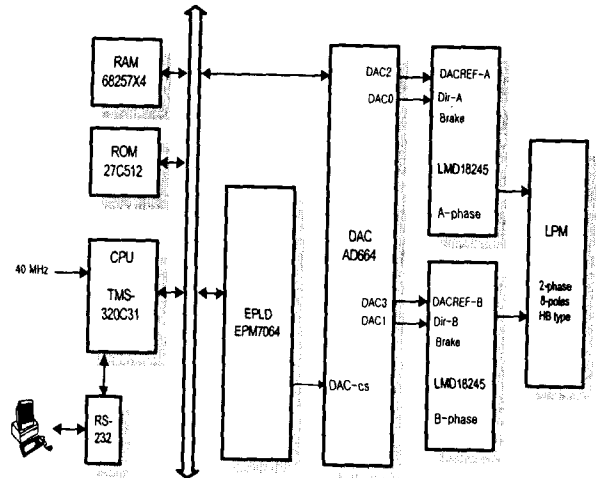


그림 7 미세스텝 구동을 위한 제어시스템 구성도
Fig. 7 System block diagram for microstep drive

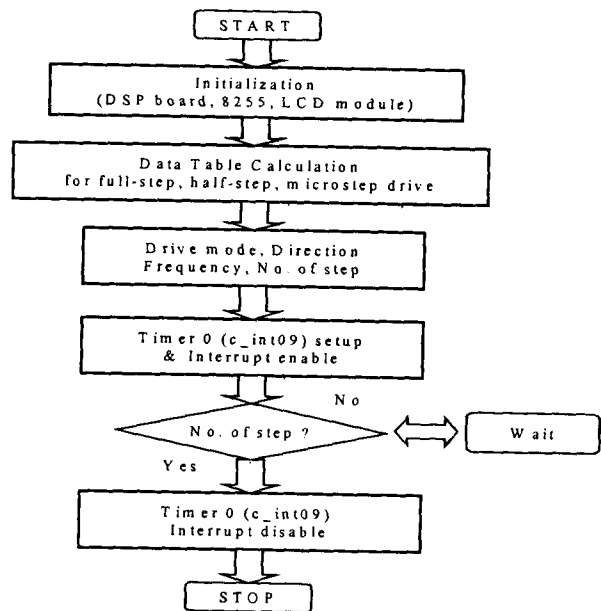


그림 8 LPM 구동 흐름도
Fig. 8 Flow chart for LPM drive

고조파 성분과 정확히 같은 역상 추력을 발생하는 여자전류를 결정하면 된다.

그림 9에 나타낸 미세스텝 구동시 정추력 특성에 포함된 기본파 및 고조파의 정추력특성은 식(10)으로 근사화할 수 있다.

$$F(x) = k'_1 \sin\left(\frac{2\pi}{\tau} x\right) + k'_2 \sin\left(\frac{4\pi}{\tau} x\right) + k'_3 \sin\left(\frac{6\pi}{\tau} x\right) + k'_4 \sin\left(\frac{8\pi}{\tau} x\right) \quad (10)$$

여기서, $k'_1 = k_1 I_0$, $k'_2 = k_2 I_0$, $k'_3 = k_3 I_0$, $k'_4 = k_4 I_0$

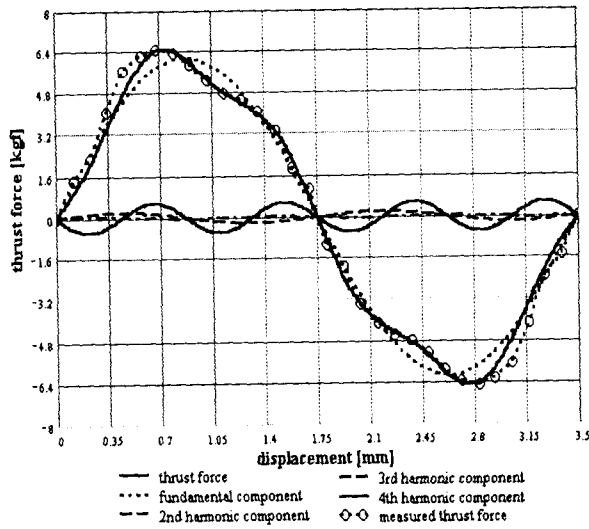


그림 9 정추력 특성 곡선
Fig. 9 Static thrust characteristics

정추력 특성에 포함된 고조파 성분의 크기를 구하기 위하여 FFT해석을 하여 미세스텝 구동시 정추력 곡선에 4차 고조파가 상당히 함유되어 있음을 확인하였다. 이 4차 고조파 추력은 가동자 상단에 위치하고 있는 영구자석에 의한 디텐트력에 의한 성분으로 분석된다. 그림 10은 FFT 해석결과에 의한 기본파와 각 고조파 성분의 크기를 보여준다.

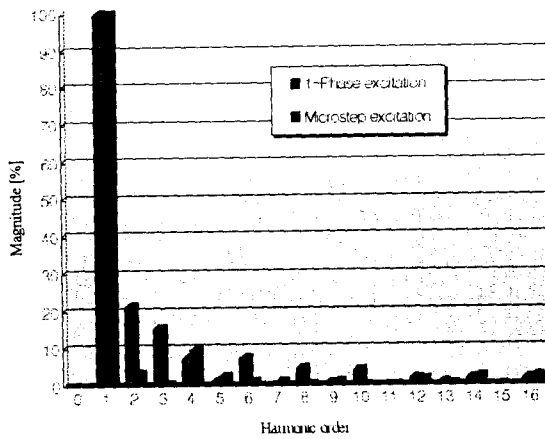


그림 10 FFT에 의한 고조파 성분 해석
Fig. 10 Harmonic analysis by FFT

일반적인 미세스텝 구동시의 기준 여자전류는 식(11)로 표현된다.

$$i(x) = I_0 \sin\left(\frac{2\pi}{\tau} x\right) \quad (11)$$

먼저, 고조파 제거를 위한 기준 여자전류의 크기를 식(12)로 가정하기로 한다.

$$I(x) = I_0 - I_2(x) - I_3(x) - I_4(x) \quad (12)$$

$I_2(x)$: 2고조파 전류를 제거하기 위한 전류

$I_3(x)$: 3고조파 전류를 제거하기 위한 전류

$I_4(x)$: 4고조파 전류를 제거하기 위한 전류

참고문헌[7]에 따라 기준 여자전류의 순시치를 계산하면 식(13)과 같다.

$$\begin{aligned} i'(x) &= I(x) \sin\left(\frac{2\pi}{\tau} x\right) \\ &= \left[I_0 - \frac{k_2 I_0 \sin\left(\frac{4\pi}{\tau} x\right)}{D(x)} - \frac{k_3 I_0 \sin\left(\frac{6\pi}{\tau} x\right)}{D(x)} \right. \\ &\quad \left. - \frac{k_4 I_0 \sin\left(\frac{8\pi}{\tau} x\right)}{D(x)} \right] \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{\tau} x\right) \quad (13) \end{aligned}$$

여기서,

$$\begin{aligned} D(x) &= k_1 \sin\left(\frac{2\pi}{\tau} x\right) + k_2 \sin\left(\frac{4\pi}{\tau} x\right) \\ &\quad + k_3 \sin\left(\frac{6\pi}{\tau} x\right) + k_4 \sin\left(\frac{8\pi}{\tau} x\right) \end{aligned}$$

그림 11은 수정된 미세스텝 여자전류 파형을 나타낸다. 식(13)에서 구한 기준 여자전류가 권선에 흐르도록 전류를 제어할 수 있다면 고조파 성분이 제거된 정현적인 정특성을 얻을 수 있다.

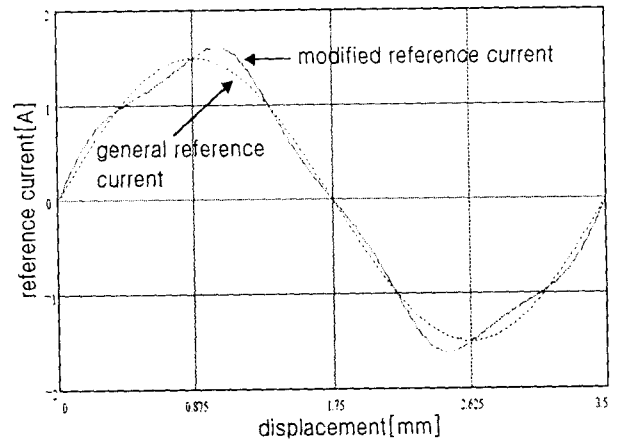


그림 11 기준전류 파형의 비교
Fig. 11 Comparison of reference current waveform

4. 특성시험

4.1 특성측정 시스템

그림 12에 나타낸 측정 시스템은 추력을 얻기 위한 로드 셀과 변위를 표시하기 위한 리니어 포텐쇼미터로 구성되어 있다. 정추력은 측정범위를 1/2 피치(1.75mm)로 하고, 가동자를 마이크로미터를 사용하여 특정위치에서 눈금을 3.5mm로 맞춘

후 3rpm의 싱크로너스모터를 이용하여 일정속도로 마이크로미터를 밀어 낸다. 이때 리니어 포텐쇼미터(24V/5kΩ)에 나타나는 전압강하를 변위로 하고, 로드 셀 증폭기의 출력값을 추력으로 하여 X-Y 기록계로 처리하였다.

LPM은 스텝구동을 하므로 오버슈트가 존재하게 되는데 정지시에는 정착 시간을 길게하고 운전시에는 진동·공진·난조의 원인이 된다. 이러한 오버슈트는 가동자의 스텝응답으로 나타낼 수 있는데 정지시의 정착 시간을 측정하면 된다. 또한 LPM의 정지오차를 측정하는 방법으로 가동자를 임의의 안정점 위치에서 정·역으로 같은 스텝수 만큼 왕복하여 구동하면 위치오차와 안정점에서의 정렬상태를 알 수 있다.

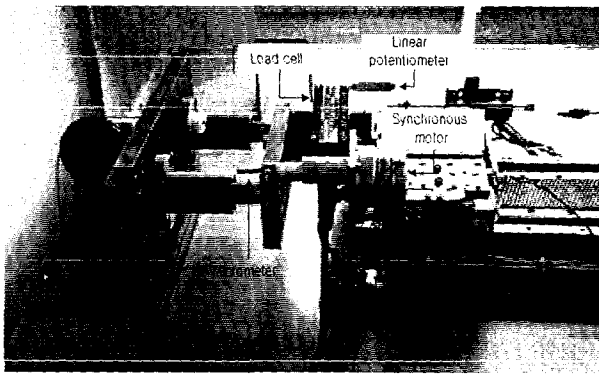


그림 12 정추력 실험장치
Fig. 12 Experiment of static thrust force

4.2 스텝응답 특성

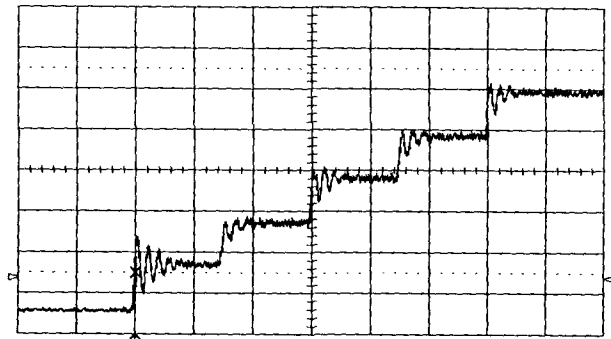
그림 13의 (a), (b), (c)는 LPM을 1상여자, 1-2상여자, 2상 여자시 300ms 간격으로 5 스텝씩 가동자를 전진시켰을 때의 정지에 따른 가동자의 위치파형을 나타내는 것으로 진동특성은 2상여자 구동이 1상여자 구동시보다 크게 나타나고 있음을 보여주고 있다.

또한 그림 13의 (d), (e)는 미세스텝 구동시의 스텝응답으로 풀 스텝에 대하여 각각 2⁴ 와 2⁸ 분해능을 갖고 300ms 간격으로 5 스텝씩 충분히 갈 때의 가동자의 위치파형을 보여주고 있다. 진동 특성면에서 미세스텝 구동이 2상 여자방식과 비교하여 자연공진 주파수나 고조파에 의하여 발생하는 진동과 오버슈트에 의한 영향을 감소시키고 직선성이 개선되어 응답성이 향상되었음을 알 수 있다.

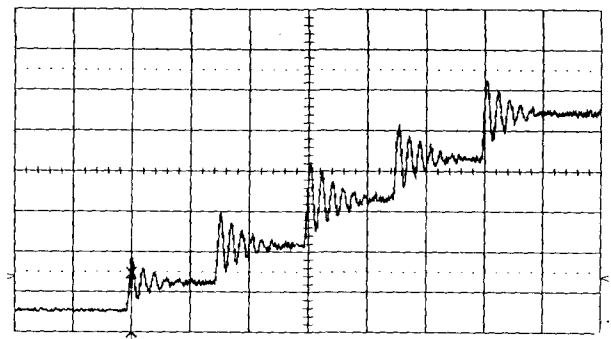
4.3 위치오차의 측정

외력이 없는 경우 위치결정 안정점은 식(14)에 있어서 F_k=0, 또는 dF_k/dx<0의 조건을 만족하는 점이다[10].

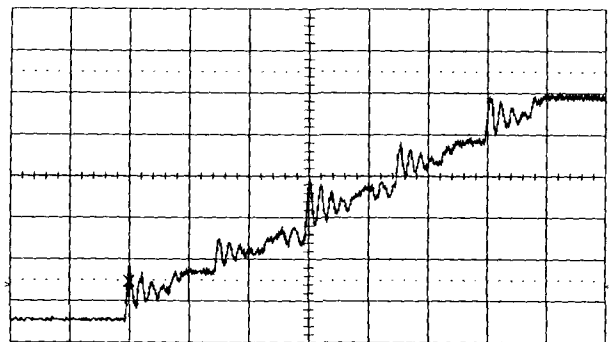
$$F_k = -F_{0k} \sin \frac{2\pi}{\tau} \left(x - \frac{\tau}{4}(k-1) - \epsilon_k \right) \quad (14)$$



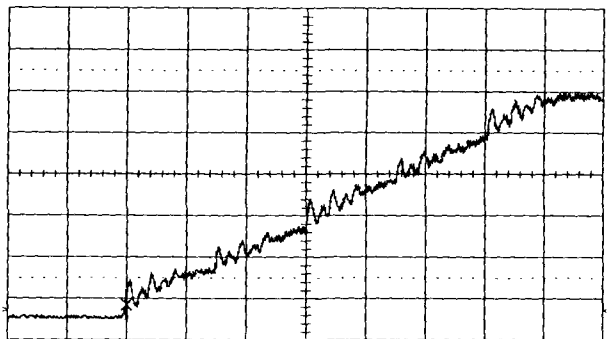
(a) 1 phase excitation drive



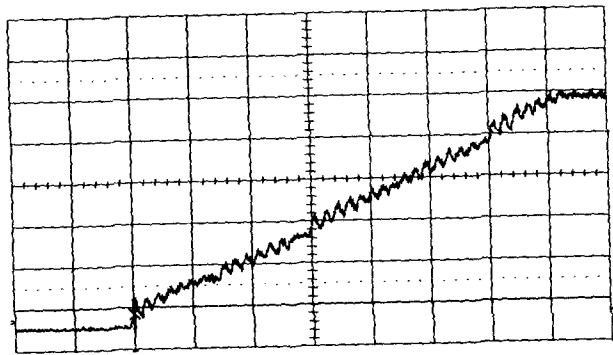
(b) 2 phase excitation drive



(c) 1-2 phase excitation drive



(d) 4 microstep drive



(e) 8 microstep drive

그림 13 가동자 위치 파형
(횡축 : 200ms/div, 종축 : 0.875mm/div)
Fig. 13 Mover position profile
(horizontal : 200ms/div, vertical : 0.875mm/div)

참고문헌[10]에 따라 계산하면 제 k상 여자시의 안정점은 식(15)와 같다.

$$x_k = \frac{\tau}{2}(k-1) + \varepsilon_k \quad (15)$$

위식에서 ε_k 는 제 k상을 여자시킨 경우의 위치결정 오차인 것을 알 수 있다.

그림 14는 가동자의 1스텝마다의 위치파형을 보여주고 있는데 각 스텝마다의 값은 메모리스코프의 평균전압 산출기능을 이용하면 이론적 평형점에 대한 가동자의 실제 정지점을 알 수 있으므로 위치오차를 계산할 수 있다. 그림 15는 정전압 풀스텝방식에 의해 정방향으로 1스텝씩 이동하도록 구동하여 10스텝까지 운전한후, 다시 역방향으로 1스텝씩 이동하도록 구동시키면서 위치검출신호로부터 얻은 위치오차를 나타내고 있다. 그림 15로부터, 본 시작기 LPM의 최대위치오차 범위는 약 $\pm 0.2\text{mm}$ 정도되는 것으로 추정되었다.

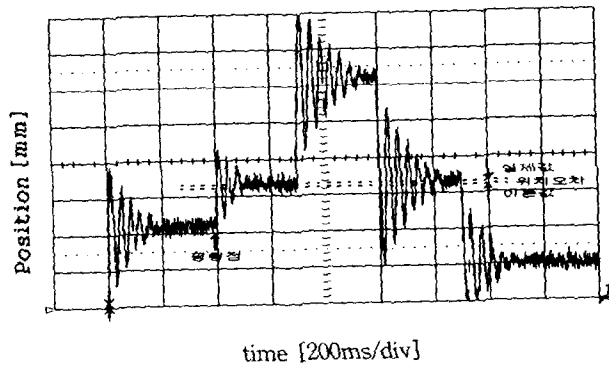


그림 14 측정된 가동자 위치
Fig. 14 Measured mover's position

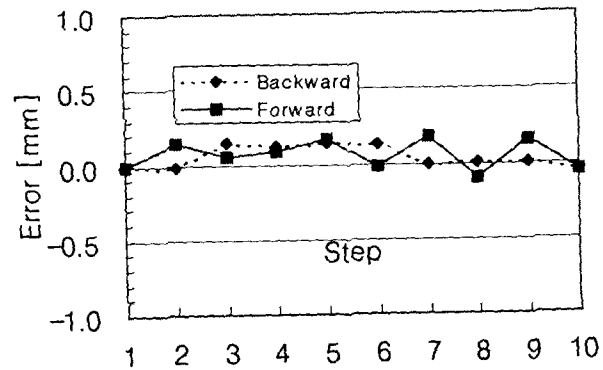


그림 15 위치정도 오차
Fig. 15 Position accuracy error

5. 결 론

본 연구에서는 출력 브리지 회로의 스위칭을 통하여 여자전류 밴드 폭을 제어하는 미세스텝 제어를 구현하였다. 실험결과 1/8 미세스텝(시작기 LPM 치피치 $3.5\text{mm} \times 1/4 = 0.109\text{mm}$)에서 진동 없이 매끄러운 구동특성을 보여 주었다.

LPM의 성능을 평가하기 위한 측정시스템을 설계·제작하여 스텝 응답 및 정추력을 측정하였다. 또한 정추력 특성중에 포함된 고조파를 해석하여 정추력 고조파 성분과 역상의 추력을 발생시킬 수 있는 여자전류를 계산하여 고조파에 의한 영향을 제거할 수 있는 방안을 제시하였다.

LPM의 자기수반 에너지를 이용한 추력식을 구하여 위치오차를 해석하고, 정지위치 오차를 측정하였다.

2상 8극 HB형 시작기 LPM의 위치 오차는 최대위치오차 범위가 약 $\pm 0.2\text{mm}$ 정도인 것을 확인하였다. 따라서 미세스텝 구동시 위치결정 정도에 대한 정의와 측정기술의 표준화를 위한 해석적 토대를 마련하였다.

참 고 문 헌

- [1] Takashi Kenjo and Akira Sugawara, "Stepping Motor and Their Microprocessor Controls", Oxford University Press, 1994.
- [2] Benjamin C. Kuo, "Step Motors and Control Systems", SRL Publishing Company, Champaign, Illinois, 1979.
- [3] Daiki Ebihara Syuji Moriya, Morimasa Kajioka Kazusi Yamaguchi., "The Drive of the Linear Pulse Motor by the Microstep Driver", LD-90-24, 1990.
- [4] Daiki Ebihara Syuji Moriya, Hideo Dohmeki., "The Characteristics of Two-Phase Eight-Pole Linear Pulse Motor by using Micro-Step Drive", Trans. on IEEE, Vol. MAG-23, No.5, 1987. 9.
- [5] National Semiconductor Data Book, TL/H/ 11678, RRD-B30M96, <http://www.national.com>, 1996.
- [6] Masayuki Sanada, Shigeo Morimoto, "Vibration Sup-

- pression for Linear Pulse Motor", 0-7803-1993-1/94, IEEE, 1994.
- [7] 김성현, 이은웅, 김일중, 이동주, "2상8극 HB형 LPM의 구동방식에 따른 추력의 고조파 해석", 대한전기학회 하계학술대회, pp.228-231, 1996.7
- [8] 김일중, "磁氣回路의 平衡을 고려한 하이브리드形 리니어 펄스 모터의 特性解析", 충남대학교, 박사학위논문, 1995.
- [9] 이동주, "리니어 펄스 모터의 구동특성 해석 및 마이크로 스텝제어", 석사학위논문, 충남대, 1998.
- [10] 김성현, 이은웅, 이동주, "2상 8극 HB형 LPM의 위치오차 해석", 대한전기학회 추계학술대회 논문집, 1997. 11. 29

저 자 소 개



김 성 현 (金 成 憲)

1954년 9월 10일 생. 1981년 숭실대 전기공학과 졸업(학사). 1983년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1999년 충남대 대학원 전기공학과 졸업(공학박) 현재 천안공업대학 제어계측과 교수

Tel : (0417) 550-0285

E-mail : shkim@dragon.cntc.ac.kr

이 은 웅 (李 殷 雄)

전기학회논문지 제47권 8호 참조

이 동 주 (李 東 周)

전기학회논문지 제47권 8호 참조



구 태 만 (具 泰 萬)

1974년 한양대 전기공학과 졸업. 1981년 충남대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1989년 한양대 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 1974~1976년 한국과학기술연구소. 1976~1985년 국방과학연구소. 1985~현재 울산대 전기전자 및 자동화 공학부 교수

Tel : (052) 259-2182

E-mail : tmkoo@uou.ulsan.ac.kr