

# 펄스폭 변조법을 이용한 LPM 위치오차의 저감

박경빈\*, 배동관\*, 김광현\*, 박현수\*\*

\*전남대학교 전기공학과, \*\* (주)넥스타테크놀로지

## The Position Error Reduction of LPM Using PWM

Kyung-Bin Park\*, Dong-Kwan Bae\*, Kwang-Heon Kim\*, and Hyun-Soo Park\*\*

\*Dept. of Electrical Engineering and RRC/HECS, Chonnam National Univ.

\*\*Nexstar Technology Co., LTD.

### ABSTRACT

This paper describes the reduction of vibration and position error of Linear Pulse Motor(LPM) with the control method of PWM duty ratio by using Motion Controller in LPM. The LPM is operated on micro-stepping drive, that the linear scale is sequently returned the position signals of a micro-meter. And next micro-step is controlled with the scale factor when position error is occurred. The scale factor is experimently acquired.

### 1. 서 론

리니어 펄스 모터는 1스텝 이동시 입력펄스에 비례하고, 개루프 운전이 가능하다. 또한 제어회로가 간단하며 단위체적당 고효율을 얻을 수 있다. 특히, 리니어 펄스 모터는 직선운동시 별도의 변환장치가 필요하지 않아 공장자동화, 사무 자동화 기기의 구동기에 대한 연구가 활발히 진행중이다. 그러나, 구조적으로 큰 진동이 발생함으로써 추력이 급격히 떨어지거나 최악의 경우 역전이나 탈조 현상이 발생하고 소음의 원인이 되는 단점이 있다. 그래서 마이크로 스텝 여자 방식을 주로 채택하여 제어하고 있지만, 기계적인 구조에 의한 추력의 왜형으로 인해 진동 및 위치오차는 존재하게 된다.

이런 문제점을 해결하기 위해서, 제어대상을 모델링하여 정현파 여자전류를 인가하고, 추력의 왜형 성분인 고조파를 제거함으로써 추력 리플과 진동을 감쇄시키는 위치오차를 저감법을 사용하고 있다.

그러나 이러한 방법은 제어대상의 모델링시 여러 가지의 가정에 의해 간략화된 모델링에서 유추한

것이므로 추력의 리플과 진동을 발생시켜 위치 오차가 생길 수 있다.<sup>[1]</sup>

따라서, 본 논문에서는 여자전류의 지령에 해당하는 PWM 펄스폭과 리니어 스케일에서 피드백된 절대 위치 오차를 관측하여 비례적인 Scale Factor로 보정함으로써 위치오차를 줄일 수 있는 방법을 제시하고자 한다.

### 2. LPM의 구조 및 여자

#### 2.1 LPM의 기본구조

그림 1은 본 논문에서 적용한 모터의 기본구조를 나타낸다. 가동자에는 두 개의 전자석 모듈(A상, B상)과 영구자석 및 치로 구성되어 있으며, 전자석은 각각 두개의 극을 가지고, 각 극은 고정자와 같은 수의 치를 가진다.

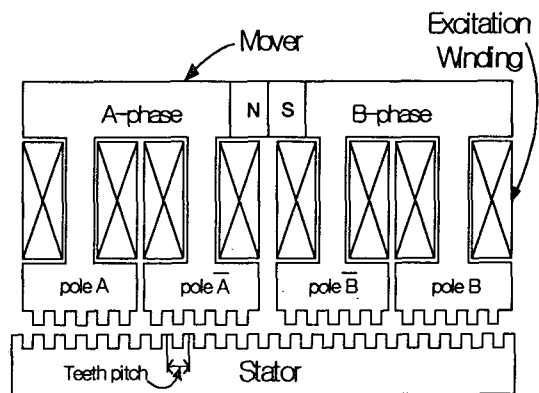


그림 1 2상 4극 HB형 LPM의 기본구조  
Fig. 1 Basic construction of the LPM with 2 phase 4 poles HB type prototype

A상 두 극은 1/2 치 피치, A-B상간 가동자 극은 1/4 치 피치의 거리를 갖는다.<sup>[2]</sup>

## 2.2 마이크로 스텝 여자

마이크로 스텝 여자방식은 풀 스텝을 N개의 마이크로 스텝으로 나누며, 입력 펄스의 변화에 따라 상전류를 제어하는 정전류 방식이다. LPM의 추력식은 다음과 같다.

$$F_A = -K_f I_A \sin \frac{2\pi}{\tau} x \quad (1)$$

$$F_B = K_f I_B \cos \frac{2\pi}{\tau} x \quad (2)$$

여기서,  $K_f$ : 추력상수,  $\tau$ : 치피치,  $x$ : 모터의 변위  
 $I_A, I_B$ : 상전류

식 (1), (2)에 의해서 전체 추력식은

$$\begin{aligned} F &= F_A + F_B \\ &= -K_f I_A \sin \frac{2\pi}{\tau} x + K_f I_B \cos \frac{2\pi}{\tau} x \end{aligned} \quad (3)$$

마이크로 스텝 방식에 의하여 구동될 때, 전체 추력은 다음과 같다.

$$F_{(A+B)} = -K_f I_M \sin \left( \frac{2\pi}{\tau} x - \alpha \right) \quad (4)$$

식 (4)에서 전기적인 각도  $\alpha$ 가 변함에 따라 가동자는 이동을 한다.

$$\alpha = \frac{2\pi}{4N} \quad (5)$$

식 (5)은 하나의 풀 스텝을 N개의 마이크로 스텝으로 분할한다고 하면, 마이크로 스텝당 전기적인 각도이다.<sup>[5]</sup> 식 (5)에서 추력의 평형점은 가동자의 전기각  $\alpha$ 와 상 전류의 위상각  $2\pi x/4$ 이 동일한 곳에 위치하며, 전류 위상각을 일정 미세각씩 변화시켜 가동자를 미세스텝으로 이동시킬 수 있다.<sup>[6]</sup>

## 2.3 진동 저감 제어

Look-up table에 저장되어 있는 정현파형의 상 전류값들은 PWM generation을 하여 구동 드라이버인 IPM의 게이트부에 입력되어 전압값으로 바뀌게 된다. LPM의 가동자는 구동시 리니어 스케일에서 가동자의 위치정보를 검출하고 마이크로 스텝당 전기적인 각도마다 리니어 스케일의 펄스를 카운터한 값들을 비교하여 가동자의 진동을 검출할 수 있다. 이때 진동이 발생하면 전기각에 해당하는 Look-up table의 상전류값에 오차를 가감하고 PWM의 펄스폭을 조정한다.

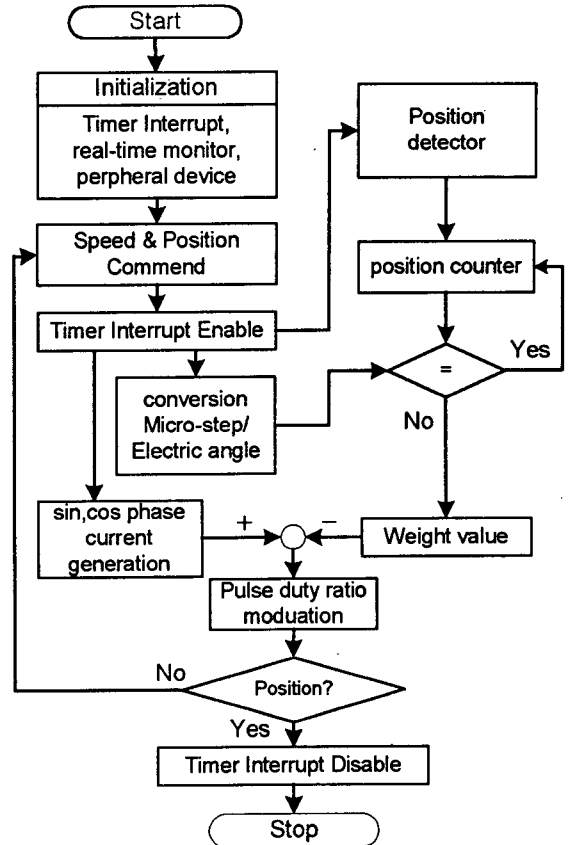
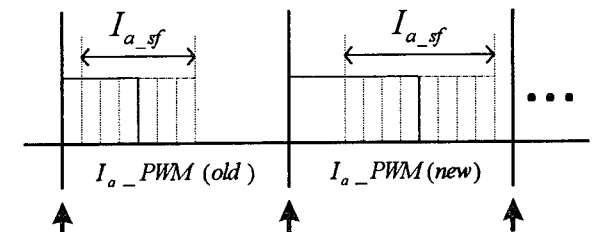


그림 2 LPM 제어 흐름도  
 Fig. 2 Flow chart for LPM drive

그림 2은 제안된 위치오차 저감 방법의 제어 흐름도를 나타내고 있다. 이는 마이크로 스텝여자시 분해능이 높은 리니어 스케일에서 피드백된 위치정보를 관측하여 기준 지령치에 대한 PWM의 듀티비를 그림 3와 같이 조정함으로써 각각의 마이크로 스텝을 제어하여 위치오차를 저감한다.



PWM 인터럽트 주기  
 (Timer 1 interrupt)

$$I_a\_PWM (new) = I_a\_PWM (old) + I_{a\_sf}$$

$$I_b\_PWM (new) = I_b\_PWM (old) + I_{b\_sf}$$

여기서,  $I_{a\_sf}, I_{b\_sf}$ : 상전류의 scale factor

그림 3 PWM 변조

Fig. 3 The duty ratio of PWM

### 3. 시스템 구성 및 실험방법

#### 3.1 시스템 구성

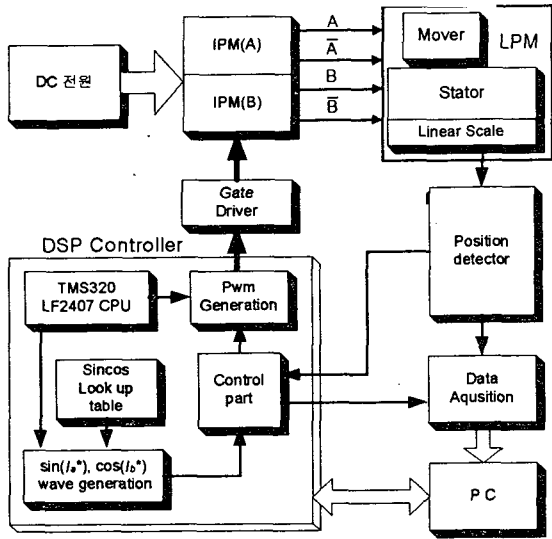


그림 4 LPM 시스템 구성도  
Fig. 4 System block diagram of LPM drive

제어대상인 HB형 LPM은 치피치( $\tau$ )가 1.2[mm]이고 공기부상식으로 공기압을 5기압으로 공급시, 공급은 20 $\mu$ m이다. 모터전용 마이크로 프로세서인 TI사의 TMS320 LF2407과 DEBUG tool을 사용하여 실시간으로 속도, 위치, PWM 듀티비를 제어 하였다.

리니어스케일은 HAIDENHAIN사의 LS 406C이고 분해능은 20 $\mu$ m이다. 또한 마이크로 프로세서의 연산능력을 높이기 위해서 리니어 스케일의 펄스 카운터는 별도의 보조회로를 통하여 16채널의 Digital input port로 카운터된 값들을 받았다. LF2407의 PDPINTA 단자를 사용하여 이상 전류로부터 마이크로 프로세서를 보호하였다.

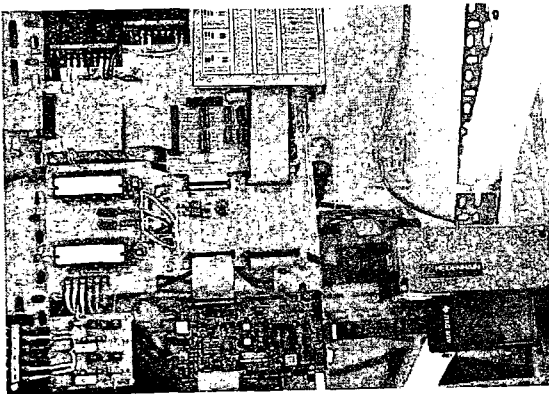


그림 5 실험 장치  
Fig. 5 Experiment equipment

시스템의 구성은 그림 4과 같고 Position detector의 펄스 수와 Control part에서의 변조된 지령치를 NI사의 LabVIEW로 실시간 계측하여 디스플레이 하였다. 실험장치 구성은 그림 5와 같이 하였다.

#### 3.2 실험방법

마이크로 컨트롤러 TMS320 LF2407은 리니어 스케일에서 위치정보를 연속적으로 피드백해서 위치지령과 비교한다. 여자 전류지령은 32Hz이고, 인가된 전류는 2:4A이다.

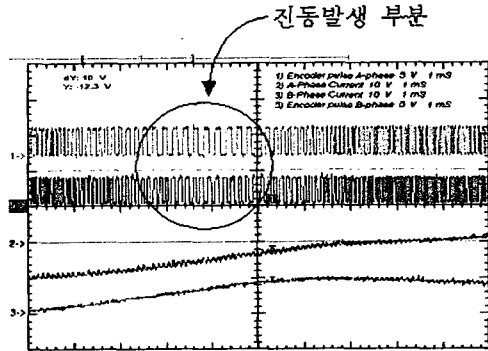


그림 6 일반적인 마이크로 스텝 제어  
Fig. 6 Common Micro-step Drive

그림 6와 같이 스위칭 주파수를 9kHz로 인가 했을 때 진동이 발생하는 부분을 알 수 있다.

LF2407 프로세서의 PWM 벡터 테이블을 통해 정현파/여현파의 전류지령치는 임의의 동작주파수 32Hz로 구동시 16bit Data에 해당하는 펄스폭을 가지며, 동작주파수의 1주기당 약 281개의 펄스가 생성된다. LPM의 가동자가 이동하면 Linear Scale에서 1 pulse/20 $\mu$ m 신호가 나오며, 5 fold와 4체배를 거쳐서 1 pulse/ $\mu$ m의 분해능을 갖는 위치신호를 얻는다. 이 가동자의 위치증분 신호를 Position detector에서 PWM 발생주기인 Timer 1 interrupt 동안 카운터하여 Control part에 입력된다.

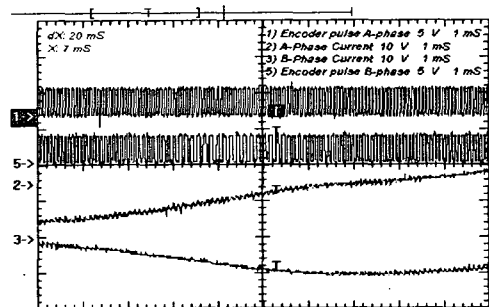


그림 7 PWM 펄스폭 변조 제어  
Fig. 7 Control Micro-step Pulse duty ratio Modulation

Control part에서는 마이크로 스텝 여자시 전기각의 이동량에 따른 PWM수와 리니어 스케일의 펄스수를 각각 비교한다. 또한 위치오차에 따라 이렇게 비교된 값을 벡터데이블의 전류지령치(Ia\*, Ib\*)에 가감시키므로써 PWM 발생부에서 각각의 펄스폭을 조정할 수 있도록 하였다.

결과적으로, 마이크로 스텝 여자시 위치오차를 최소화하기 위해서 Position detector에서 진동 정도를 케환받아 정현파형의 기준전류를 인가하더라도 구조적 원인으로 발생하는 진동에 따른 위치오차에 대해 각각의 제어 주기에 따라 전류의 패턴을 변조시킴으로써 그림 7과 같이 위치오차를 저감하였다.

#### 4. 실험결과 및 검토

마이크로 스텝으로 제어하더라도 LPM의 구조적인 단점으로 인해 공극의 자기저항이 불평형되는 지점에서 영구자석의 자속량과 상여자 전류의 비대칭 구간이 존재한다. 이를 해결하기 위해 리니어 스케일에서 위치정보를 전기각 이동량에 따라 연속적으로 피드백하여 상여자 지령치에 위치오차의 보정치를 가감하여, 전기각의 일정각도 간격으로 제어한 결과 진동이 일어나는 구간에 대해 저감됨을 알 수 있었다. 이러한 진동 발생구간에서의 PWM 펄스폭의 Scale factor를 비례 이득량으로 조절하여 진동과 위치오차를 저감할 수 있었다.

#### 5. 결 론

본 연구에서는 마이크로 스텝구동시 발생하는 구조적인 진동발생과 위치오차를 마이크로 스텝 제어의 전기각 일정 주기별로 제어함으로써 저감시키고자하였다. 리니어 스케일의 위치를 케환하여 PWM 발생부의 펄스폭을 가감하여 조정함으로써 위치오차가 저감됨을 알 수 있었다. 이는 마이크로 스텝 제어를 하더라도 발생하는 위치오차에 비해서 그 범위가 수 $\mu$ m로 감소함을 알 수 있었다. 향후, 저속/고속 구간에서 전류량에 따라 진동 및 위치오차를 저감하기 위한 scale factor의 정량화가 필요하다.

이 논문은 한국과학재단 지정 전남대학교 고품질 전기전자부품 및 시스템 연구센터의 연구비 지원에 의해 연구되었음.

- [1] 박종범, 박정일, 이석규, "리니어펄스모터의 제어 성능 향상을 위한 신경 회로망을 이용한 전류 제어기 설계," '98 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp. 486~489, July, 1998.
- [2] 배동관, 박경빈, 이양규, 김광현, 박현수, "뉴로-퍼지이론을 이용한 리니어 펄스 모터의 새로운 저진동 정밀제어 알고리즘", '01하계전력전자학술대회 논문집, pp. 18~21, July, 2001.
- [3] Takashi Kenjo, Akira Sugawara "Stepping Motors And Microprocessor Controls", OXFORD UNIVERSITY, pp. 47~50, 1994.
- [4] 이상호, 김동희, "2相 Linear Stepping Motor의 진동특성에 관한 연구," 전력전자학술대회, pp. 159~162, 21-24 July, 1999
- [5] 임태빈, 정중기, 하근수, 윤신용, 김철진, "레이저 인터파라미터를 이용한 LPM의 동특성 해석," 전자연구, pp. 4~10, June, 1997.
- [6] 이광운, 장원식, 박정배, 여형기, 유지운, "2상 하이브리드 스텝 모터의 미세스텝 구동회로의 설계 및 제작에 관한 연구", 97 대한전기학회 창립 50주년 하계학술대회 논문집, pp. 2149~2151, 1997.