

μ-Step 구동방식에 의한 LPM의 제어

*백수현 *윤신용* *김용 **임태빈 ***김철진
*동국대학교 **전자부품연구소 ***한라공업전문대학

LPM Control by μ-Step drive method

*S. H. Baek *S. Y. Youn *Y. Kim **T. B. Im ***C. J. Kim
*DongGuk Univ **KETI ***Han Ra Col

Abstract

In this paper, We applied the μ-stepping method on the Phase Excitation Sequence of Hybrid type LPM. Linear Pulse Motor can operate in an open loop control as an effective positioning actuator. PWM driver was used for low power loss and automatically adjusted voltage at rate current. Finally we find that through the position-velocity for timing Triangular and Trapezoidal Profile are very affected by velocity and acceleration parameter.

1. 서론

Linear Pulse Motor (LPM)은 X-Y 레코더, 전자 타이프라이터, 전송장치, FDD의 헤드디스크 등과 같은 OA 및 FA 분야에서 사용된다. LPM은 기계적인 연결장치없이 선형동작에 의해 정확한 위치제어를 할 수 있는 장치로서의 장점을 지니고 있으므로 본 연구에서는 FA용 정밀기기의 위치, 속도제어용으로 Bipolar 2상 Hybrid형 LPM을 대상으로 고정밀도를 달성하기 위해 μ-Step 구동방식을 적용하였다. [1]

LPM의 고정자와 가동자의 자기 흡인력의 변화에 따른 진동과 가동자의 고유진동수에 입력 펄스의 주파수가 일치할 경우 LPM의 진동이 발생되거나 동작이 원활하지 않지만 μ-Step 구동방식을 적용할 경우는 정밀위치제어를 할 수 있다

따라서 LPM의 정밀위치제어에는 여자신호를 2상 (full-step)이나 1-2상 (half-step) 여자방식에 의해서 제어할 수 있지만, 진동을 억제하고 보다 정확한 위치제어를 위해서는 μ-Step 제어 방식을 적용하는 것이 더욱 정확하므로 이에 대한 연구의 필요성이 더욱 중요시되고 있다.

본 연구에서는 LPM의 μ-Stepping 제어를 적용하기 위해서 구동회로의 기준 입력신호와 검출저항 신호를 정전류제어이한 정밀 위치제어가 가능하도록 구성하였다. [3] [4]

2. LPM의 기본구성

본 연구에 적용된 LPM의 기본구성은 그림 2-1과 같이 2상-4극-3 Teeth의 구조로 되어 있다. 본 LPM의 구조는 왼쪽과 오른쪽편의 가동자 Teeth 사이에 반 Pitch의 차이가 존재하며, A상 가동자 부분은 B상 가동자 부분의 위치로부터 1/4 Pitch 편차가 발생한다.

따라서 본 LPM의 full-step 드라이브 모드에서 1/4 Teeth Pitch의 Step 길이가 발생한다. 이러한 것은 full-step을 μ-Step에 의한 기준 Step으로 나눌수 있으며 분해능은 Inch 당 12,500 Step이다. 드라이브 구동회로는 Bi-Polar 구동방식 (Hybrid Type)에 의한 상하축 Switch를 Switching 하도록 구성 하였다. [2]

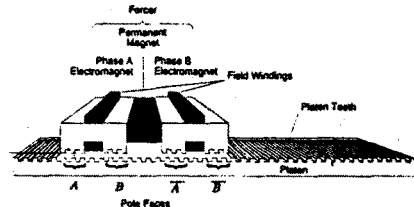


그림 2-1. 2상 Hybrid형 LPM의 기본구조
일반적인 선형 자기회로의 LPM추력은 다음과 같다.

$$F = 0.5(F_m + Ni)^2 \frac{d}{dx} U(x) \quad (1)$$

각 자극에 대한 공극의 퍼미언스는 다음과 같다.

$$U_1 = U_{01} + U_{11} \cos \frac{2\pi}{\tau} l \quad (2)$$

$$U_2 = U_{02} + U_{12} \cos \left(\frac{2\pi}{\tau} l - \frac{\pi}{2} \right) \quad (3)$$

$$U_3 = U_{03} + U_{13} \cos \left(\frac{2\pi}{\tau} l - \pi \right) \quad (4)$$

$$U_4 = U_{04} + U_{14} \cos \left(\frac{2\pi}{\tau} l - \frac{3\pi}{2} \right) \quad (5)$$

각 자극에 대한 발생 추력은 다음과 같다.

$$F_1(i_1, l) = -U_{11} \frac{\pi}{\tau} (F_m + Ni_1)^2 \sin \frac{2\pi}{\tau} l \quad (6)$$

$$F_2(i_2, l) = -U_{12} \frac{\pi}{\tau} (F_m + Ni_2)^2 \sin \left(\frac{2\pi}{\tau} l - \frac{\pi}{2} \right) \quad (7)$$

$$F_3(i_1, l) = -U_{13} \frac{\pi}{\tau} (F_m + Ni_1)^2 \sin \left(\frac{2\pi}{\tau} l - \pi \right) \quad (8)$$

$$F_4(i_2, l) = -U_{14} \frac{\pi}{\tau} (F_m + Ni_2)^2 \sin \left(\frac{2\pi}{\tau} l - \frac{3\pi}{2} \right) \quad (9)$$

LPM의 총추력은 다음과 같다.

$$F = F_1(i_1, l) + F_2(i_2, l) + F_3(i_1, l) + F_4(i_2, l) \quad (10)$$

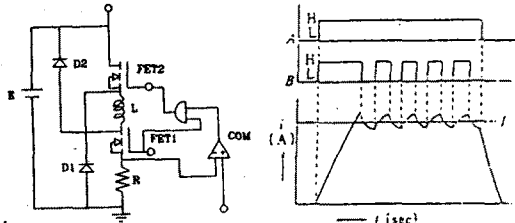
$$i_2 = \frac{\tau}{4F_m N \delta U \pi \cos \frac{2\pi}{\tau} l} + \tan \frac{2\pi}{\tau} l i_1 \quad (11)$$

표 1. LPM의 일반 사양

항 목	사 양
중량	9.097[kg]
정밀성	±1.016 micron
반복성	±2.5[μm]
상 수	2상, Hybrid
제어방식	Pulse 폭 변조(PWM)
여자전류 (1상)	2.7A
공 극	1.25[micron]
Stroke	457[mm]
Tooth Pitch	1.016[mm]

본 연구에서 정밀위치제어는 PWM 제어회로를 구성하여 가능하도록 구성하였다. 그림 2-2와 같이 LPM에 인가되는 전류를 일정하게 유지하는 정전류 소자 구동방식을 구성함으로써 주파수 변조에 의한 속도변환을 가능하게 하였다.

구동방식은 LPM에 공급되는 전류를 검출저항에 의해서 검출하여 기준전압과 비교함으로써 구동전류에 적합한 Pulse 폭으로 Switch 소자를 Switching 하는 Chopper 회로의 동작으로 평균전류를 일정하게 유지한다. 적용한 Carrier 주파수는 20[KHz]이며 드라이브의 Switching 소자는 MOSFET를 사용하여 고속 Switching 아 가능하다.



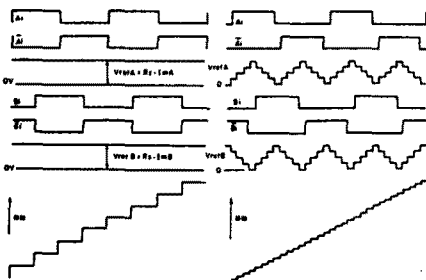
(a) 구동회로 (b) PWM 전류파형
그림 2-2. Chopper의 구동회로 및 전류파형

3. μ-Step 구동방식의 원리

본 연구에서는 저진동, 고응답, 정밀위치제어를 위해서 적용한 μ-Stepping 구동방식은 다음과 같다. 본 연구에서 μ-Stepping 제어는 여자 방식은 1-2 상여자에 검출된 PWM 회로 신호를 통하여 μ-Stepping 제어를 가능하게 구성하였다. [5]

μ-Stepping 구동방식은 한 권선에서 전류를 증가시키는 동안 다른 권선에서는 전류를 감소시킴으로써 두 권선의 전류에 비례하여 동작한다. 그러므로 전류의 1회 증가 감소는 1 μ-Step 을 발생시킨다.

LPM 가동자의 1 Step당 이동거리는 LPM의 상수와 가동자 치의 수에 의해 결정되며, 여자 방식은 1-2상 여자의 half-Step 구동을 함으로써 Step당 이동이 가능하다.



(a) Pulse Step 구동 (b) μ-Step 구동
그림3-1. 2상 LPM의 Pulse Step 구동과 μ-Step 구동

그림 3-1.에서 (a)는 2 상 구동의 경우에 대한 전류 파형을 나타내며 각상 전류를 4 분할 (1/4) 한 경우이다. 그림 (b)는 μ-Step 파형의 형태이다.

본 연구에서는 마이크로 프로세서를 이용하여 저진동 저소음의 특성과 위치제어의 고분해능이 가능한 μ-Step 방식을 적용하여 제어를 구성하였다. 실험을 통하여 우수한 응답특성을 확인하였다.

4. 실험장치 및 결과해석

4.1 실험 장치

본 연구에서는 LPM의 μ-Stepping 제어에 의한 정밀한 위치 및 속도의 실험파형을 측정하기 위해서 정밀한 측정장비가 중요시된다. LPM의 가동자가 레일 위를 미크론 단위의 일정한 간격을 유지하고 비접촉상태로 움직이기 때문에 측정장비는 변위를 측정하기 위하여 적어도 Submicron 이상의 정밀도를 가져야 하며, 동시에 유안으로 식별이 되지 않는 초저속에서 수십 cm/sec 이상의 넓은 속도영역에서 고속 정밀구동을 하기 때문에 측정범위가 넓어야 한다.

그러므로 본 실험에서는 미세변위의 측정이 가능하며 비접촉성을 지닌 광학식 측정장비인 Michelson Interferometer를 사용하였다. 성능평가 장비는 0.01[μm]의 정밀도를 가지고 있으며 Data Acquisition 장치 등과 함께 시스템으로 구성되어 자료처리능력, 안정성, 측정치의 반복성 등 성능의 정밀함을 지니고 있다.

표 2.는 동일한 조건에서 측정시 반복실험의 결과 측정장비에서의 오차는 발견되지 않았다.

표 2. 일정거리를 누적하여 이동시킨 실제 길이 (단위 : mm)

운동방향	구분	1단계	2단계	3단계
		총거리	24.382	50.778
정 방향	구간거리	25.382	24.394	24.396
	총거리	25.399	50.794	76.174
역 방향	구간거리	25.399	25.395	25.380

실험 장비는 간섭계를 이용한 변위, 속도, 가속도의 측정과 Load Cell 를 이용한 추력 측정 및 운동시 운동 방향으로의 진동 측정이 가능하도록 실험 장치를 구성하였다.

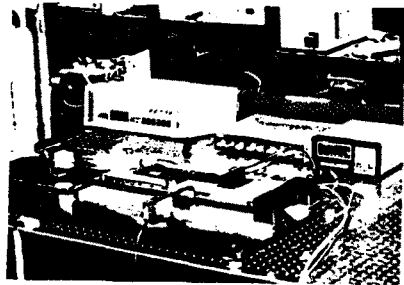


그림 4-1. LPM의 측정을 위한 실험장치

다음의 그림은 구동회로에서 측정된 상전압과 동작 펄스파형의 실험결과이다.

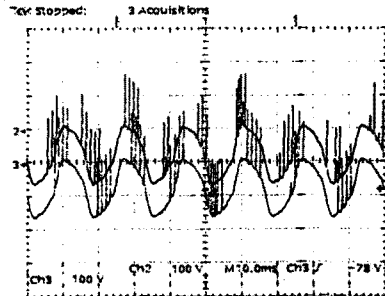


그림 4-2. 코일의 상전압 (A, B)파형

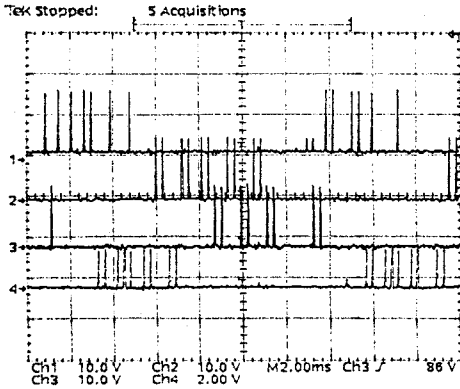


그림 4-3. 1-2상 여자 펄스 발생 신호

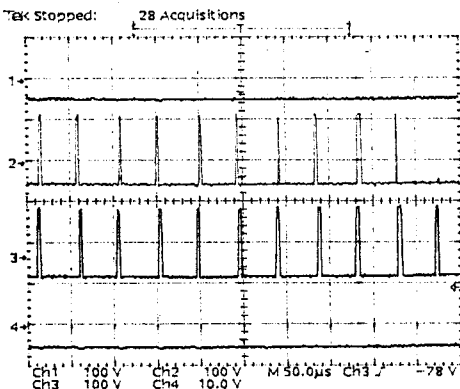


그림 4-4. 2상 (A, B)의 여자전압 펄스파형

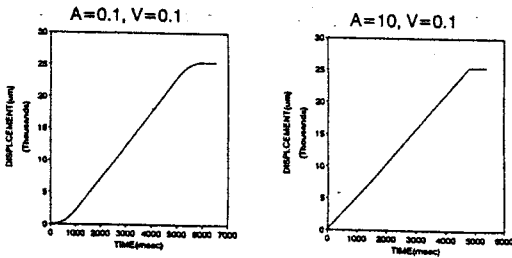


그림 4-5. 시간에 대한 변위곡선

본 LPM은 제어에 사용된 pulse의 수에 따라 이동거리가 결정되고 주파수에 의하여 이동 속도 및 가속도가 결정되며 이들의 조합으로 위치제어가 이루어진다. 따라서 위치제어의 특성은 입력되는 속도 및 가속도에 의하여 정해진다.

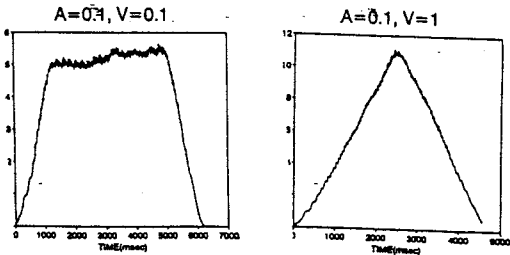


그림 4-6. 시간에 대한 속도 파형

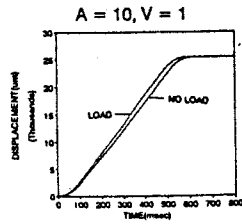


그림 4-7. 부하 공급시의 변위 특성변화 (부하:3700gm)

5. 결론

본 LPM은 각 권선에 동일 방향의 전류를 교대로 통전했을 때 자극에 각각 역극성을 형성하는 Bifilar Winding의 구조를 가지므로, 구동시 A, B, \bar{A} , \bar{B} 로 구성되는 각 상의 여자 전류에

μ -Stepping 구동방식을 적용함으로써 입력 Pulse에 따라 일정한 Pitch 만큼 정확하게 정밀제어가 가능하도록 회로를 구성하였다.

구동회로는 여자순서를 결정하기 위한 논리회로와 권선에 전류를 공급하는 전력 제어회로로 구성하였으며 LPM이 소정의 추력을 발생하고 이동 중의 전류의 상승, 하강에 대한 고동작을 수행하기 위한 제어 방안으로 정전류 방식을 사용하였다.

본 System에서는, 목표 위치와 시간을 설정한 경우 직선적인 가감속 구동으로 최소시간에 정상 운전이 도달이 가능하도록 전압제어에 의한 Pulse 발생기를 사용하여 삼각형 Pattern(Triangular Profile)과 사다리꼴 Pattern(Trapezoidal Profile)의 Indexer 구동을 실현하였다.

참고논문

1. T. Yokozuka, E. Baba, " Force-displacement characteristics of linear stepping motors", IEE PROCEEDING-B, Vol.139, No.1, January.1992.
2. Masayuki Sanada, Shigeo Morimoto, Yoji Takeda, " Vibration Suppression for Linear Pulse Motor", University of Osaka Prefecture 1-1 Gakuencho, Sakai, 593, Japan, 0-7803-1993-1. (1994. IEEE)
3. Xu. Shabgang, Su Laibn, " High Accuracy Positioning Driven by Linear Step Motor", P. O. Box 2703, Beijing. China. B.4-6-1~6.
4. Hidetoshi Kawa, Tsutomu Hamada, "Linear Motion Driving Unit with Linear DC Servo Motor", National Technical Report Vol.29, No.4, Aug. 1983.
5. Control Engineering /February, "Microstepping a Linear Motor".