

Microstep방식을 이용한 Linear Pulse Motor 제어에 관한 연구

안종보*, 권혁*, 이상정*, 김용주**

* 이천전기 중앙연구소 ** 한국전기연구소

A Study on the Linear Pulse Motor Control by using the Microstep Method

Jong-Bo Ahn*, Hyuk Kwon*, Sang-Jeong Lee*, Yong-Joo Kim**

* Leechun Electric MFG. Co., R&D Institute ** KERI

Abstract

In this paper, an LPM controller using Microprocessor was implemented and adopted Microstep method to control the LPM. In Microstep method, current waveform is sinusoidal not square. This method is characterized by less vibrating, less noisy, and more precise position control.

Also, we simulate the static thrust characteristics for each waveform. The experiment was performed according to the mechanical vibration at the acceleration mode and slewing mode. The current tracks reference sinusoidal waveform well and stability was improved as we expected. Therefore, the possibility of the open loop position control was proposed.

1. 서론

LPM(Linear Pulse Motor)은 기본적으로 펄스입력을 미소 증가하여 직선운동으로 출력되며 회전형 펄스모터(Stepping Motor)의 동작원리와 동일한 직접 출력을 발생하는 리니어모터의 일종이다. 최근 위치제어가 가능하고 직선운동을 요구하는 분야는 정보기기분야, 산업기기 분야, 의도기기 분야 등으로 매우 다양해 지고 있다. 따라서 과거에 위치제어 가능한 직선운동을 구현하기 위해 회전형 펄스 모터와 기어등을 기계적으로 결합하여 실현하던 것을 점차 리니어모터와 하게 되고 이것이 경제적으로나 성능, 기능면에서 보다 나은 결과를 얻을 수 있다. 전자회로기술(디지털 드라이브 기술)의 발전과 더불어 고정밀 위치제어가 가능한 LPM의 응용이 확대되고 있는 추세이다. 더우기 종래의 구형과 제어방식에 의해 구동하는 경우에 발생하는 진동이나 소음, 위치 제어의 한계등에 대응할 수 있고 경제성이나 성능면을 고려할 때 Microstep 구동방식의 이용이 불가피하게 되었다.

본 논문에서는 Microprocessor를 이용하여 저진동, 저소음의 특성과 위치제어의 고분해능화가 가능한 Microstep방식을 채택하여 LPM제어기를 구성하였다. 또한 고분해능의 Linear Scale을 이용하여 정확한 위치제어의 실현 가능성을 제시하였으며, 새로운 제어 Algorithm을 제안하고 시뮬레이션 및 실험을 통해 우수한 응답특성을 확인하였다.

2. LPM과 제어방식

2-1 LPM의 기본원리

LPM은 기본적으로 여자전류에 의해서만 자속을 발생시키는 VR형(Variable Reluctance Type)과 자기회로에 영구자석을 갖추고 있는 PM형(Permanent Magnet Type)이 있다.

그림 1에는 PM형 LPM의 자기동가회로를 나타내었다.

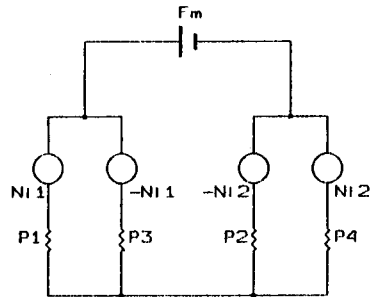


그림 1 PM형 LPM의 자기동가회로

일반적으로 자기회로가 선형이라 가정할 때의 LPM 추력은

$$f = \frac{1}{2} (F_m + N i)^2 \frac{d}{dx} P(x) \quad \text{----- (1)}$$

여기서

Ni : 기자력

P(x) : 자로의 Permeance

Fm : 영구자석의 동작점에서의 기자력

공극부의 Permeance는 변위x의 관계에서 정현파적인 변화를 가지며, 자극k에 대한 공극부의 Permeance Pk는 (2)식과 같다.

$$P_1 = P_{01} + P_{11} \cos \frac{2\pi}{\tau} x \quad \text{----- (2a)}$$

$$P_2 = P_{02} + P_{12} \cos \left(\frac{2\pi}{\tau} x - \frac{\pi}{2} \right) \quad \text{----- (2b)}$$

$$P_3 = P_{03} + P_{13} \cos \left(\frac{2\pi}{\tau} x - \pi \right) \quad \text{----- (2c)}$$

$$P_4 = P_{04} + P_{14} \cos \left(\frac{2\pi}{\tau} x - \frac{3}{2} \pi \right) \quad \text{----- (2d)}$$

여기서

$P_{01}, P_{02}, P_{03}, P_{04}$: 각자극의 공극 Permeance 직류성분

$P_{11}, P_{12}, P_{13}, P_{14}$: 각자극의 공극 Permeance 변동분

그림 1에서 각 자극에서 발생하는 추력은 (3)식으로 나타낼 수 있다.

$$f_1(i_1, x) = - P_{11} \frac{\pi}{\tau} (Fm + Ni_1)^2 \sin \frac{2\pi}{\tau} x \quad \text{----- (3a)}$$

$$f_2(i_2, x) = - P_{12} \frac{\pi}{\tau} (Fm + Ni_1)^2 \sin \left(\frac{2\pi}{\tau} x - \frac{\pi}{2} \right) \quad \text{--- (3b)}$$

$$f_3(i_1, x) = - P_{13} \frac{\pi}{\tau} (Fm + Ni_1)^2 \sin \left(\frac{2\pi}{\tau} x - \pi \right) \quad \text{--- (3c)}$$

$$f_4(i_2, x) = - P_{14} \frac{\pi}{\tau} (Fm + Ni_1)^2 \sin \left(\frac{2\pi}{\tau} x - \frac{3}{2} \pi \right) \quad \text{--- (3d)}$$

여기서

f_1, f_2, f_3, f_4 : 각 자극 K에서 발생하는 추력

i_1, i_2 : 권선 1, 2에 흐르는 전류

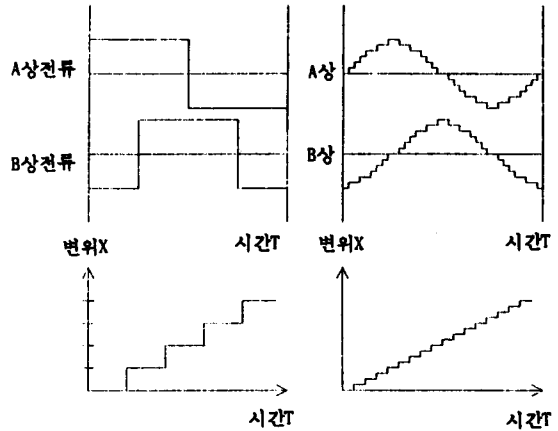
N : 권선회수 (Turn수)

따라서, 각상에 전류 i_1, i_2 를 흘릴 경우 LPM 전체추력 F 는 (4)식으로 표현된다.

$$F = f_1(i_1, x) + f_2(i_2, x) + f_3(i_1, x) + f_4(i_2, x) \quad \text{---- (4)}$$

2-2 Microstep 방식의 기본원리

그림 2는 구형파 구동방식과 Microstep구동방식의 전류 및 변위에 대한 비교 파형의 예를 보인 것이다. 여기서 그림 2.(a)의 1 Step은 $\tau/4$ 이고, (b)의 분해수는 20이다.



(a) 구형파(분해수:4) (b) Microstep(분해수:20)

그림 2 2상여자자 구형파와 Microstep의 비교파형

그림 2에서 나타낸 것과 같이 1주기를 T라 할 때 주기 T 동안의 구동방식에 따른 위치 결정수는 각 파형의 분해수에 비례한다.

3. 제어기의 구성

그림3은 Microstep방식을 이용하여 LPM을 구동하기 위한 본 제어기의 블록도를 나타낸 것으로서 16-bit CPU(8097BH)와 외부 입력력 단자, Memory부, Logic부, D/A Converter부, 증폭단, Detector부 그리고 PM형 LPM으로 구성되어 있다.

그림 4는 LPM을 구동하기 위한 흐름도를 보인 것이다. 이동 거리와 가/감속 시간, Pulse수 등의 Data를 입력시키면 각각의 Parameter들을 계산한 후 D/A Converter를 통해 Signal을 출력하게 된다. 이때의 Signal은 Microstep방식으로 분해수는 50이며, 가속구간, 정속구간, 감속구간을 판단하여 계산된 Parameter 값을 Step별로 출력한다.

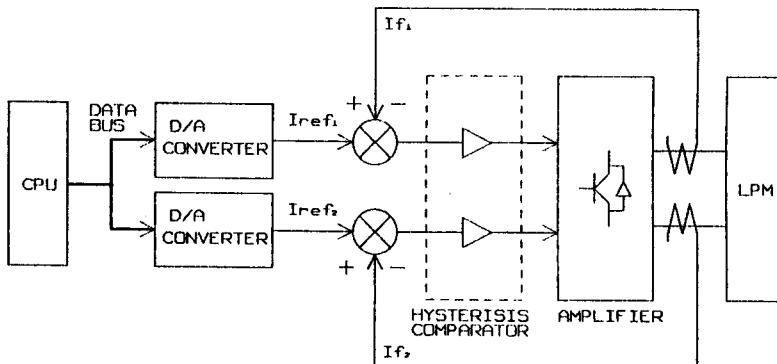


그림 3 LPM Controller 블록도

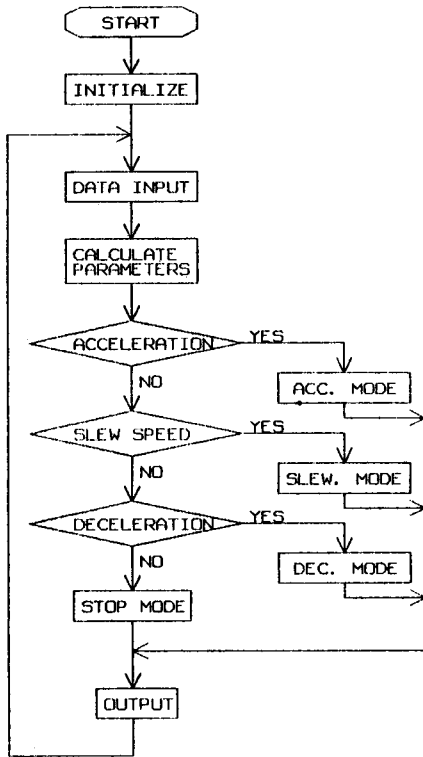


그림 4 흐름도

4. 시뮬레이션

시뮬레이션에서 철심의 자기저항은 공극에 비해 작으므로 이를 무시하면 영구자석에 의한 기자력 F_m 과 권선전류에 의한 기자력 Ni 는 공극에서만 소비되는 것으로 하여 앞의 그림 1과 같은 등가회로로 계산하였다. 또한 각 자극간의 Permeance 변동분이 일정하며 극간 피치에 변화가 없는 것으로 가정하였다.

바이폴라 2상여자방식으로 정현파전류와 구형파전류를 흘렸을 때의 변위에 따른 정추력 특성이 그림 5와 그림 6에 각각 나타나 있다.

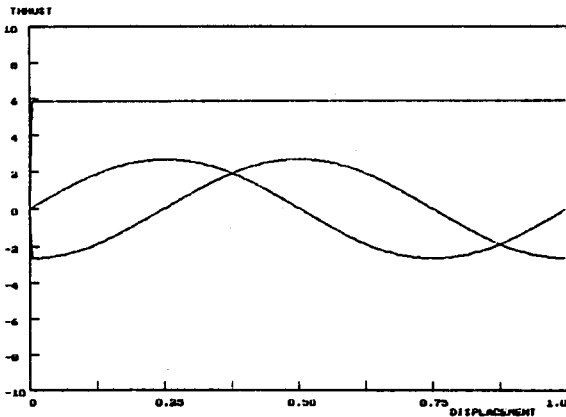


그림 5 Microstep구동시 추력특성

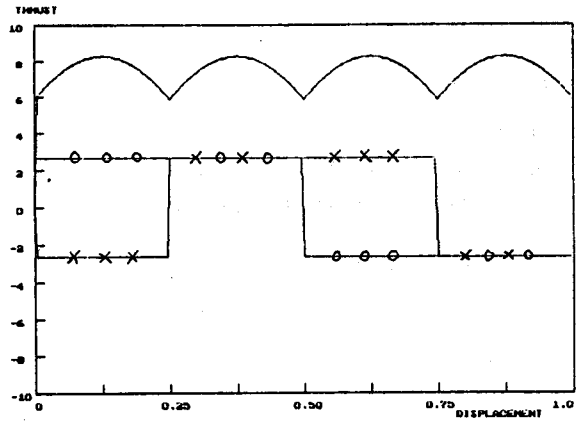


그림 6 구형파구동시 추력특성

전류의 피크치를 같이 했을때 정현파 전류와 구형파 전류에 의한 추력의 차이는 실효전류의 차이인(1.414배)정도 구형파의 경우가 평균 추력이 크게 나타나나, 추력의 리플성분이 있음을 알 수 있다. 이 정추력의 리플이 실험결과 정현파 구동에 비해 진동이 큰 것으로 나타났다.

극간 피치의 1/4의 정수배가 아닌 비안정점에서 Forcer의 위치를 제어하기 위해 임의의 위치 x 에서 정추력이 0으로 되는 각상전류 I_1, I_2 의 관계식은 2상여자인 경우 (5)식과 같이 나타낼 수 있다.

$$I_2 = \frac{\tau}{4F_m N \Delta P \pi \cos \frac{2\pi}{\tau} x} + \tan \frac{2\pi}{\tau} x I_1 \quad \text{--- (5)}$$

이는 전류제어가 정확히 될 경우 Open Loop로 1/4피치 이하의 위치제어가 가능하다는 것을 보여주며, 임의의 위치 x 에서의 추력과 각상전류 I_1, I_2 에 대한 시뮬레이션 파형은 그림 7과 같다.

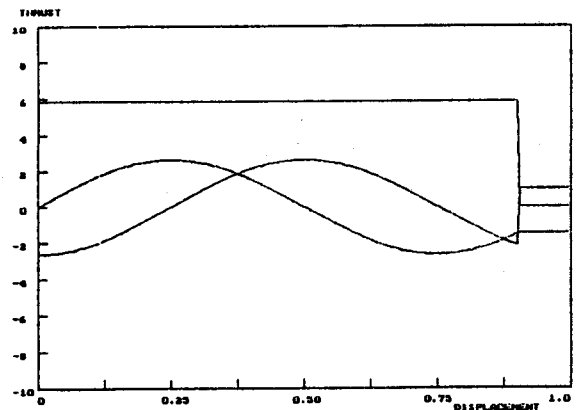


그림 7 임의의 위치 x 에서의 정지파형

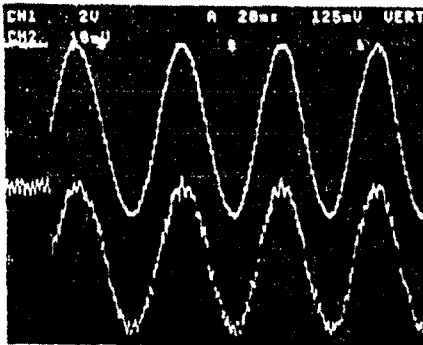
5. 시험결과 및 고찰

표1은 본 논문에서 사용된 PM형 LPM의 특성 및 사양을 나타낸 것이다.

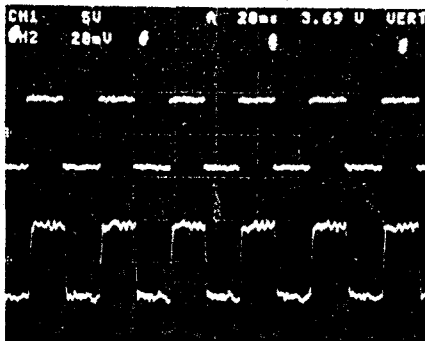
| 특 성 | 사 양 |
|------------------------------|----------------------------|
| Linear Step Size($\tau/4$) | $\tau_{ss} = 0.5\text{mm}$ |
| Tooth Pitch (τ) | $\tau_s = 2.0\text{mm}$ |
| 공 극 | 0.2mm |
| Static Force (Detent force) | 8Kg |
| 가속거리 | 40 Steps |
| 감속시간 | 300m Sec |
| 최대속도 | 500mm /Sec |
| 부하무게 | 10Kg |

표 1 PM형 LPM의 특성 및 사양

그림 8은 Microstep구동시와 구형파구동시의 전류파형이고, 그림 9은 가속운전시와 정속운전시에 두방식의 진동파형을 나타낸 것이다. 그림 9에서 보느냐와 같이 Microstep방식으로 구동하는 경우가 구형파구동시에 비해 진동특성이 우수하다는 것을 알 수 있고 이 진동은 소음과 기계적인 손실의 원인이 된다.

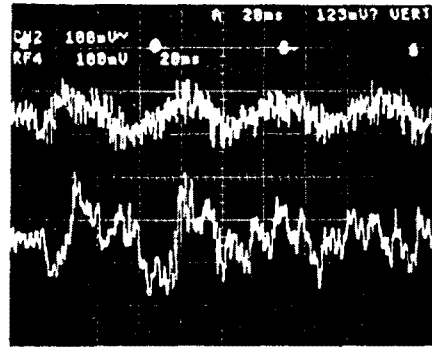


(a) Microstep구동시

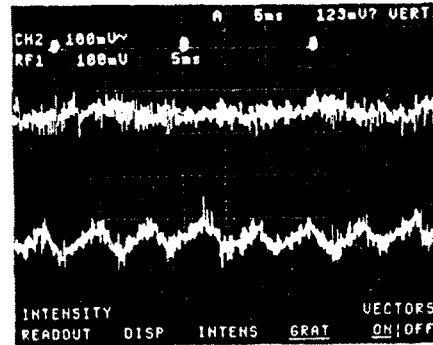


(b) 구형파구동시

그림 8 전류파형



(a) 가속운전시



(b) 정속운전시

그림 9 진동파형

6. 결론

본 연구에서는 Microstep구동 제어방식을 이용하여 LPM을 구동하는 경우에 구형파 구동방식을 이용하는 경우보다 진동 특성이 시뮬레이션과 실험파형을 통해 우수하다는 것을 보였다. 또한, 소음도 줄어들었으며 Microstep방식인 경우 Open Loop에서도 정밀한 위치 제어의 실현 가능성을 제시하였다.

현재 본 연구는 고분해능의 위치제어 측정장비인 Linear Scale을 장착하여 정확한 위치제어 특성을 검토중이다.

참고문헌

1. 山田 一 外6名 "丹筒狀リニアパルスモータの推力特性" マグネティック研資(昭和 57年)
2. 二瓶秀樹, 官下邦夫 "PM型リニアパルスモータの性能計算法 検討" マグネティック研資(昭和 62年)
3. 山田 一 外4名 "平板狀リニアパルスモータの特性解析" マグネティック研資(昭和 56年)
4. Yukio YAMAMOTO, Hajime YAMADA "Effect of Magnetic Saturation on the Performance of a Flat-type Linear Pules Motor" マグネティック研資(昭和 59年)
5. 山本行雄, 海老原大樹, 山田 一 "リニアパルスモータ의 特性 解析手法" マグネティック研資(昭和 61年)
6. HIDEO DOMEKI, DAIKI EBHARA "Dynamic Performance of Linear Pules Motor using Phase Plane Analysis" マグネティック研資(昭和 57年)