

선형 BLDCM의 위치제어에 적합한 속도 프로파일 선정에 관한 연구

안재영*, 조훈희**, 차현록***, 강신영*, 김광현*
 * 전남대학교, ** LG이노텍, *** 한국생산기술연구원

A Study on the Determination of Adequate Velocity Profile for Position Control of Linear BLDCM

J. Y. Ahn, H. H. Cho, H. R. Cha, S. Y. Kang, K. H. Kim

* Chonnam National University, ** LG Innotek, *** Korea Institute of Industrial Technology

ABSTRACT

최근 산업 분야에서 리니어모터는 고속, 고정밀도의 요구사항에 따라 회전 모터와 볼 스크류, 벨트를 이용한 직선구동방식보다 빠르고 정확하며, 효율이 높기 때문에 활발히 이루어지고 있다. 리니어모터 중에서 선형 브러시리스 직류 전동기(LBLDCM)는 다른 리니어모터에 비해 소형, 경량이 가능하고, 저속 및 고속의 운전이 용이하며, 기계 가공 정도보다는 엔코더 등과 같은 위치 결정 응용 분야에 적합하며 본 연구에서 사용된 LBLDCM은 코일 가동형으로 영구 자석에 의해 발생된 자계와 가동자 코일에 흐르는 전류 사이에 작용하는 힘을 이용하게 된다. 이와 같은 LBLDCM을 응용분야에 적용하기 위해서는 구동 중에 속도가 변하는 지점에서 발생하는 진동을 줄여야 하며 목표지점까지의 정확한 위치 제어가 필수적이다.

따라서, 본 연구에서는 다양한 속도 프로파일에 따른 진동에 대해 비교 분석한 후, 이동거리에 따른 적합한 속도 프로파일에 대해 알아보았고, 그 결과를 토대로, 목표지점까지의 위치 오차를 저감하면서 정밀한 위치 제어에 적합한 프로파일을 제시하였다.

1. 서 론

리니어모터는 18세기 중반에 발명되어 초기에는 섬유공업에서의 방적기용으로 개발되어 사용되었었다. 그 후 1946년 미국 웨스팅하우스에서 리니어모터를 이용하여 항공모함에서 비행기 이·착륙 보조 장치인 Electropult를 개발한 이래로 여러 분야에의 응용이 확산되기 시작되었다. 산업이 발달함에 따라 각 분야에서 직선운동이 가능한 각종 기기가 요구되고 있으며 이를 위하여 회전형 전동기의 축에 직선 변환 기구를 결합하여 직선운동을 얻을 수 있다. 그러나 이러한 직선운동은 변환기구의 중속에 따라 간소화, 진동억제, 고정밀 및 고속화 등에 한계가 있으므로 리니어 모터(Linear Motor)를 적용함으로써 이에 대한 한계를 극복할 수 있다. 리니어모터 중 선형 브러시리스 직류 전동기(이하, LBLDCM)은 구조가 간단하면서도 고정밀, 고속운전 및 저추력의 기본특성을 지니고 있어서 각종 산업용 응용기기에 적용할 수 있다.[1]

일반적으로 산업현장에서 쓰이는 시스템에서는 기동 및 정지 시 또는 속도가 변하는 시점 즉, 가속구간에서 등속구간으로, 등속구간에서 감속구간으로 가속도가 급변하는 지점, 즉 변곡점에서 큰 진동이 발생하게 되어 이로 인해 위치 오차가 발생

하게 된다. 따라서 리니어 모터를 사용하여 고속 구동 및 정밀한 위치 제어를 필요로 하는 시스템(Gantry XYZ Stage, X-Y Stage, 핸들러 시스템, 웨이퍼 검사기 등)에서는 구동 중에 발생하는 진동저감을 위한 최적의 속도 프로파일을 도출하여야 한다.[2],[3]

따라서, 본 논문에서는 LBLDCM의 유연하고 정밀한 구동을 위하여 전체 시스템의 성능을 좌우하는 속도 프로파일들을 적용시켜 각 프로파일의 장·단점들에 대해 알아보고, 기계적 로드를 최소화하기 위해 가·감속 및 등속 구간에서의 진동저감과 동시에 목표 지점까지 더 유연한 구동을 위한 최적의 속도 프로파일을 다양한 실험을 통하여 제시하고자 한다.

2. LBLDCM의 개요

2.1 LBLDCM의 구조

그림 1은 LBLDCM의 구조를 나타낸다. 본 연구의 대상인 LBLDCM은 가동자는 전류가 흐를 수 있는 코일로 구성되어 있고 외부에는 요크부에 고정되어 있는 자속을 발생하는 계자 역할을 하는 영구자석으로 구성되어진다.

영구 자석은 희토류계로써 Nd-Fe-B 강자성 영구자석을 사용하였으며, 요크부는 양측식 구조로써 흡인력 및 요크부의 포화를 고려하여 기계 구조용 스틸을 사용하였다. 그리고 코일부는 코어리스 타입으로써 공심형 코일을 사용하였으며 공극의 길이는 1mm로 구성 되어 있다.

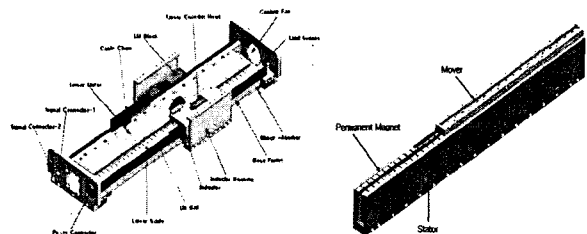


그림 1 선형 브러시리스 직류 전동기의 구조
 Fig. 1 The Structure of LBLDCM

2.2 LBLDCM의 구동원리

그림 2는 LBLDCM의 구동원리를 나타낸 것이다. 구동원리는 그림에서 보듯이, 자석과 코일의 상대위치와 전류의 지령에 따라 가동자가 움직이게 된다. 가동자 코일은 3상 Y 결선 방식으로 구성되어 있으며, 각각의 홀센서 HR, HS, HT는 120°의 전

기각 차이를 가지고 6가지 모드의 홀센서 스위칭에 따라 영구 자석 사이를 움직이게 된다. 그림 3은 Hall Sensor의 출력파형과 역기전력 파형을 나타낸 것이다.

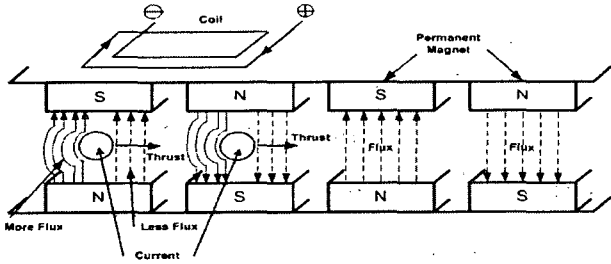


그림 2 선형 브러시리스 직류 전동기의 구동원리
Fig. 2 The Operation Principle of LBLDCM

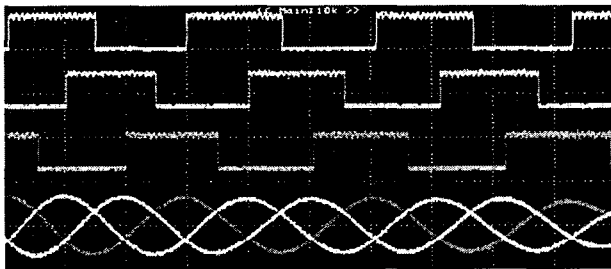


그림 3 홀센서와 역기전력 파형
Fig. 3 The Figure of Hall Sensor and Back EMF

모터의 구동을 위해 각 코일에 서로 120° 위상차를 갖는 정현파를 Hall Sensor의 출력에 맞추어 인가한다. 이상적인 3상 모터인 경우, 각 상의 역기전력은 서로 120° 위상차가 나는 정현파 형태를 갖게 된다.

3. 속도프로파일의 개요 및 특징

모터의 정밀한 위치제어를 위해서 현재와 목표 지점간의 오차를 구해서 위치에 대한 속도를 프로파일 해야 한다. 일반적으로 초기에는 정해진 속도 프로파일을 추종하도록 하고 감속구간 또는 위치 오차가 정해진 구간 내에 오면 위치제어기로 바꾸는 기법을 사용한다.

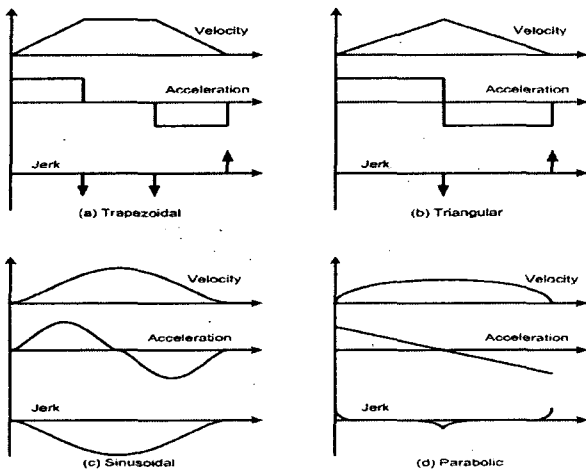


그림 4 속도 프로파일의 종류
Fig. 4 The Lists of Velocity Profiles

각각의 프로파일에 관한 것은 그림 4와 같다. 일반적으로 많

이 쓰는 Trapezoidal 프로파일은 구현하기가 용이하며 가, 감속, 등속 구간을 동일한 시간으로 했을 때 최대의 효과를 가진다. 최근 산업현장에서 많이 응용되고 있는 Sinusoidal은 가, 감속이 부드럽고 등속구간과 감속구간 시 급격한 속도변화가 없으나 연산시간이 늘어난다. Triangular은 가속과 감속 구간이 같고 감속구간에 Run-Time이 없으나 최고 속도 점에서 Peak 전류가 높다. Parabolic은 가장 좋은 효율을 가지고 있으나 구현이 어렵다는 단점을 가지고 있다. 본 논문에서는 이러한 속도 프로파일들을 모터에 적용시켜 일정 기준을 정하여 다양한 실험을 통해 비교 분석 하였다

4. 시스템 구성 및 실험방법

4.1 시스템 구성

그림 5는 실험대상인 LBLDCM으로 최대/연속 추력은 290/85[N], 최대/연속 전류는 11.4/3.4[A]이고, 부하용량은 5[kg], 지지기구는 Cross Roller 타입을 사용하며, 공극은 1[mm]이다. 리니어 스케일러는 Numerik Jena(Germany)사의 LIE 5이며 분해능은 0.5[um]이다. 제어장치로는 모터전용 마이크로프로세서인 TI사의 TMS320F2812과 Debug tool을 사용하여 실시간으로 속도, 위치를 제어 하였다. 리니어 스케일의 펄스는 PWM 인터럽트 주기마다 피드백하여 Digital I/O Port로 카운터 된 값을 받았다. F2812의 PDPINTA 단자를 사용하여 이상 전류로부터 마이크로프로세서를 보호하였다.



그림 5 3상 LBLDCM과 제어장치
Fig. 5 A 3-Phase LBLDCM and Control Equipment

5. 실험결과 및 고찰

스트로크의 제한으로 인해 모터 가동자가 이동할 수 있는 구간을 4개로 나누어 실험하였고 R상의 전류와 Hall R을 오버랩 시킨 이유는 속도변화에 따른 모터의 상태를 보기 위함이다. 이동거리가 짧은 경우 진동의 차이는 거의 없어 보이지만, 삼각형과 정현파의 진폭이 다소 높게 나타났으며 타원형이 가장 작게 나타난다. 또한 이동거리가 짧은 경우에는 그림 11에서 보듯이 파워 소비량에서 큰 차이가 없어 보인다. 따라서 타원형과 사다리꼴의 경우가 짧은 거리를 구동할 때 적합할 것으로 보인다. 이동거리가 긴 경우 삼각파와 정현파형의 진동이 눈에 띄게 나타났으며 타원형과 사다리꼴에 비해 빠른 속도로 이동할 수 있음을 알 수 있었다. 그 중에 정현파형은 가·감속과 등속 구간이 유연하여 위치 제어가 잘 되며 속도도 일정수준이상이므로 이동거리가 긴 경우에 적합할 것으로 사료된다.

그림 9는 사다리꼴 프로파일에서 감속구간 지점에서 다양한 모드로 실험한 결과이다. 모터가 감속하는 구간에서 구형파와,

2-step형, 정현파형을 적용 하였다. 구형파의 경우 빠른 속도로 위치를 추종하나 기존의 프로파일에 비해 진동이 발생하면서 정지하는 것을 볼 수 있었다. 하지만, 2-step형과 정현파형은 다소 느린 속도로 목표점에 도달하지만 진동이 훨씬 저감 되면서 보다 유연한 구동으로 정지하는 것을 볼 수 있었다.

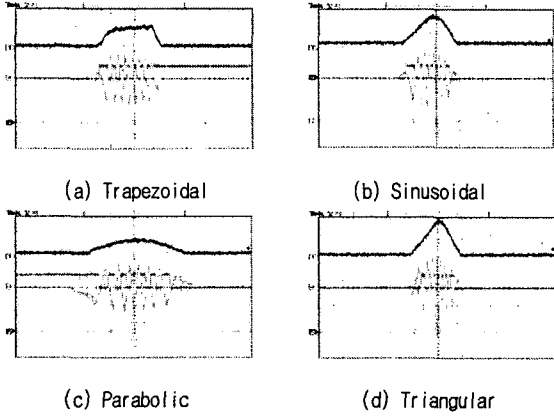


그림 6 이동거리 200[mm]시 실험파형
Fig. 6 Experimental Results on 200[mm]

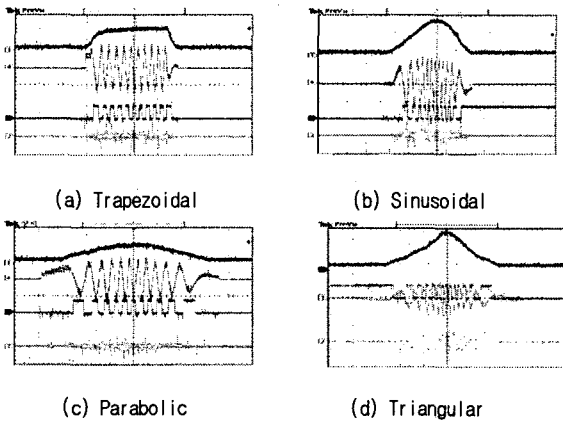


그림 7 이동거리 400[mm]시 실험파형
Fig. 7 Experimental Results on 400[mm]

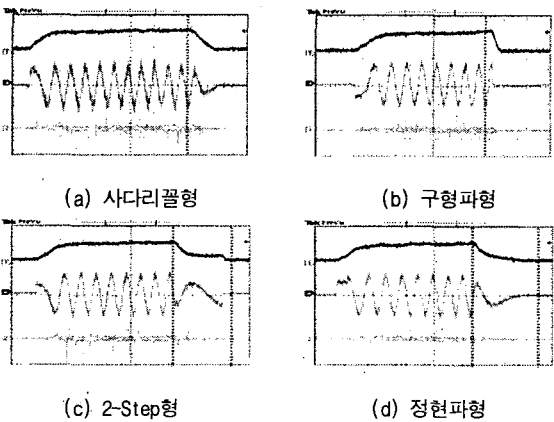


그림 8 감속구간에서 기울기의 변화
Fig. 8 The Variation of Slope on Deceleration Part

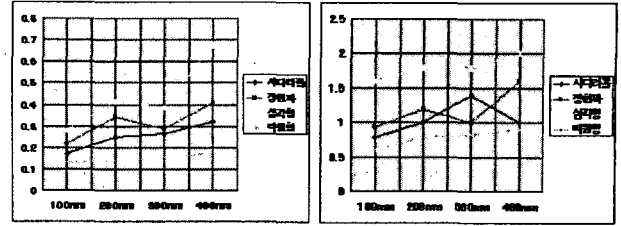


그림 9 거리에 따른 진동 값과 속도 값
Fig. 9 Vibration Values by Distance and Distance

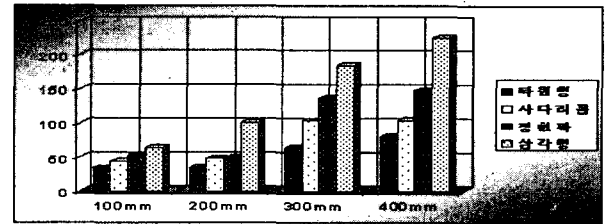


그림 10 파워 소비량
Fig. 10 Power Costs

실험을 통해서 알 수 있듯이, 시스템의 특성에 따라서 적합한 프로파일을 선정이 필수적임을 알 수 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 LBLDCM의 위치 제어를 위하여 다양한 형태의 속도 프로파일을 적용시켜 각각의 장·단점을 분석하고, 더불어 가, 감속 및 등속 구간에서의 진동저감을 얻고자 하였으며 구동 시 인가된 다양한 속도 프로파일을 PI제어 방식을 적용하여 일정거리를 구동할 때 최적의 속도 프로파일을 제시하였다. 그 결과가 어느 시스템이나 항상 동일하게 적용되지는 않지만 저진동이 요구되는 응용분야에는 타원형 속도 프로파일 이 적합하며 이동거리가 다소 긴 시스템에서는 파워소비량은 다소 많지만 진동 및 속도가 일정수준 값을 갖는 정현파형이 적합할 것으로 생각된다. 또한, 여러 개의 프로파일을 겸용하여 보다 정확한 구동이 가능 할 것으로 생각된다.

이 논문은 전남대학교 고품질전기전자부품 및 시스템연구센터의 연구비 지원에 의하여 연구되었음

참 고 문 헌

- [1] Syed A. Nasar, I. Boldea, "Linear Electric Motors : Theory, Design, and Practical Applications", chap. 5. Prentice-Hall. Inc. 1987.
- [2] Amitava Basak, "Permanent-Magnet DC Linear Motors", Clarendon Press · Oxford, 1996.
- [3] 전영환, 김지원, 전진홍, 전정우, 강도현, "선형 브러시리스 DC 모터의 정밀 위치제어에 관한 연구", 대한전기학회지, 50D권, 9호, pp. 417 ~ 422, Sept, 2001.
- [4] 강동희, "선형 직류 모터(LDM)의 실시간 성능 측정시스템 구현에 관한 연구", 영남대학교 석사학위 청구논문, 2001년 6월.