

## 브러쉬없는 리니어 모터 드라이브 구현

김상우\*(영남대 대학원 전기공학과), 박정일(영남대 전자정보공학부)  
이기동(영남대 전자정보공학부), 정재한(삼익공업), 서경열(삼익공업)

### Implementation of Brushless Linear Motor Driver

S. W. Kim(Elec. Eng. Dept., YNU), J. I. Park(Elec Eng. Dept., YNU), K. D. Lee(Elec Eng. Dept., YNU)  
J. H. Jung(Samick. Ind., Co), G. W. Seo(Samick. Ind., Co)

#### ABSTRACT

In this paper, a controller design for brushless linear motor is proposed. The designed controller is mainly composed of speed and current controller, which are carried out by the high-speed digital signal processor(DSP). In addition the PWM inverter is controlled by space voltage PWM method. This system is implemented using by 32-bit DSP(TMS320C31), a high-integrated logic device(EPM7128), and IPM(Intelligent Power Module) for compact and powerful system design. The experimental results show the effective performance of controller for the brushless linear motor.

**Key Words** : DSP(디지털 시그널 프로세서), EPLD(집적회로), Intelligent power module(전력소자)  
PWM(진폭변조방식)

#### 1. 서론

최근 수송·반송 시스템의 고속화를 위한 연구개발은 회전축에 회전력을 주는 회전형 모터의 고속화·고출력화의 연구로서 진행되어 왔다. 그러나, 회전형 모터의 연구개발이 상당한 수준까지 진행하면서 고속화의 난점으로서 직선운동 변환장치의 마찰에 기인하는 간접 구동방식 그 자체에 한계가 있다는 것을 알게 되었다. 이와 같이 차량이나 반송차에 직접 추진력을 부여할 수 있는 선형 모터가 주목받게 되었다.

이들 선형 모터 중 브러쉬없는 선형 모터(bushless linear motor)는 일반 회전형 모터에 비해 구조가 간단하고 추력 정수가 일정하여 포화가 적으며, 권선의 인덕턴스가 작고 전기적 시정수가 작다는 등의 특징이 있고, 직선 추력을 직접 발생하므로 직선운동이 요구되는 시스템에 적용할 경우 여러 가지 장점을 갖고 있기 때문에 메카트로닉스 분야를 비롯하여 교통차량용 기기, 산업용 기기, 사무 자동화 기기와 같이 고속, 고정밀을 요하는 분야에 많이 적용되고 있다. 특히, 높은 제어성능과 고속, 고효율이 가능하다는 장점 때문에 수직, 수평의 장거리 운송시스템 등에 적합한 것으로 연구, 보고되고

있다.<sup>(1)</sup>

실제로 회전형 모터로 직선운동을 얻을 때에는 기계적 운동방향 변환 장치의 내구성, 고속성 및 정밀도에 한계가 있기 때문에 제어 대상에 직접 직선운동 모터를 장착하여 직접구동 시키는 방식이 절실히 필요하다. 특히 급속히 발전하는 제어 및 센서기술을 조합하여 고속 고정밀도 위치결정을 가능케 하는 서보 모터로서 선형 모터에 대한 연구가 필요하다. 본 연구에서는 선형 모터의 장점인 고속, 고정밀의 특성을 발휘하기 위해서는 선형모터에 적합한 구동용 제어장치가 필요하다. 이에 브러쉬없는 선형 모터(bushless linear motor) 구동을 위한 driver를 개발을 하기 위하여 주 제어기로는 DSP(TMS320C31)를 사용하고, 인버터 스위칭 소자로는 IPM(intelligent power module)을 사용하여 driver를 구성하였으며, 이를 제작 및 실험을 통해 실용화를 위한 자료를 얻었다.

#### 2. 하드웨어 구성

선형 모터를 구동하는 시스템의 구성도는 그림 1과 같이 구성되어 있다. 제어대상인 선형모터와 전력을 공급하는 전력변환부, 이를 제어하는 마이크로

로 컨트롤러 및 기타 외부 및 표시부 등으로 구성 되어 있다.

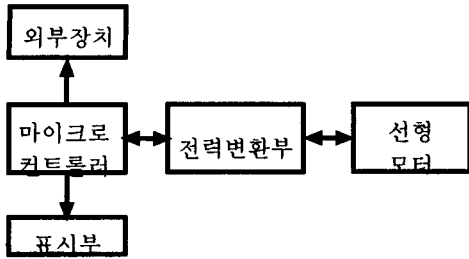


Fig 1. Block diagram of the System

## 2.1 마이크로 컨트롤러부

마이크로 프로세서는 전체 시스템의 두뇌에 해당하는 부분으로서 속도제어, 전류제어, 기타 입출력 제어 등을 수행한다. 여러 가지의 입력 데이터 즉 속도, 전류 데이터를 처리하고, 여러 제어부 연산을 수행하고 제어신호나 시스템의 상태를 외부로 출력한다. 이러한 기능의 수행으로 인하여 내부적인 연산처리는 대부분 부동소수점 연산이며, 또한 고속의 처리를 요구하므로 본 연구에서는 Texas Instrument 사의 32bit DSP 소자인 TMS320C31을 사용한다.<sup>(3)</sup>

속도, 전류제어기에서 PI제어 알고리즘을 수행하고 전류와 전압의 좌표변환 등을 실시간으로 처리해야 하며, 부동소수점 및 삼각함수 등의 많은 연산을 필요로 한다. 범용 프로세서를 사용할 경우 부동소수점 연산 프로그램을 작성해야 하므로 처리 시간이 길어지고, 삼각함수 등의 계산 시간이 길어진다. 따라서 부동 소수점 연산과 고속의 처리를 구현하기 위해 본 연구에서는 Texas Instrument사의 32비트 DSP 소자인 TMS320C31을 사용하였다. 이러한 특성을 지닌 TMS320C31을 CPU로 사용하고 선형 모터와 전력변환부 사이에 동작지령이나 전류검출, 마이크로 컨트롤러의 상태를 외부에 표시하거나 외부의 컨트롤러에서 각종 지시를 받아서 수행할 수 있는 입출력 기능 등이 필요하다.

이상에서 기술된 기능을 수행하기 위해서는 CPU 주변에는 메모리 및 각종 디지털 IC로 구성되는 CPU관련 회로들이 필요하다. 이러한 기능을 수행하는 회로가 EPLD(erasable programmable logic device)에는 내장되어 있어서 각종 입출력 기능을 수행한다. 또한 외부로부터 디지털 신호나 속도지령 수행을 위한 디지털 입력회로, 현재 이동자의 위치를 측정을 위한 위치측정회로, IPM을 구동하기 위한 게이팅 신호발생 회로 등이 EPLD에 내장되어

있다.<sup>(5)</sup> 이와 같이 대부분의 회로 등이 EPLD내에 집적시킴으로써 전체 회로가 크게 간략화 될 뿐만 아니라 향후에 회로를 수정 변경 시에 용이하다. 또한 dual port ram을 메모리에 추가하여 PC와 메모리를 공유할 수 있도록 하여 debug에 편리성을 가져온다. 그림 2는 설계되어진 마이크로 컨트롤러의 구성도를 보여준다.

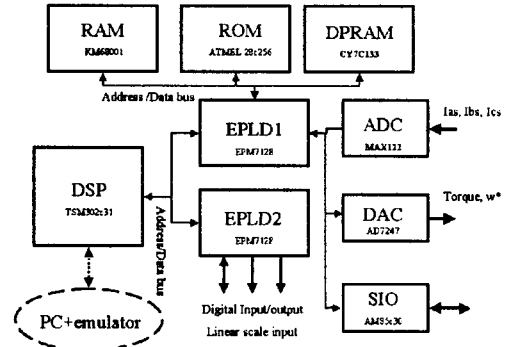


Fig 2. Microcontroller and peripheral circuits

## 2.2 전력변환부

전력변환부는 마이크로 컨트롤러의 지시를 받아 선형 모터에 구동에 적합한 가변주파수 및 전압의 교류 전원으로 공급하는 부분이다. 전력변환부는 정류회로, 인버터 회로, 전원 공급장치 등으로 구성되어 있다.

인버터 경우 빠른 응답특성과 출력전압 또는 출력전류에 고조파가 적을 것 등이 요구되며, 특히 서보제어용으로 사용되는 것을 전제로 하면 매우 빈번한 기동, 정지 및 속도변화가 이루어지므로 충분한 과부하 내량을 갖도록 설계되어야 한다. 또한 전체 구동장치의 외형의 크기는 대부분 이 전력변환부에 의하여 결정되므로 가급적 소형 및 박형화를 지향하는 집적형 설계가 필요하다.

따라서 본 연구에서는 TEMIC사의 IPM소자를 사용하였으며, 정격은 600[V], 15[A]인 PMC 15 U060 B001이다. IPM은 시스템의 요구에 맞도록 IPM용으로 설계한 IGBT칩, IGBT를 최적의 상태로 구동, 보호가 가능한 전용 IC, 노이즈나 서지 전압 대책을 고려한 고집적 패키지 기술을 융합한 것이다. 또한 자체적으로 게이트 드라이버 회로 및 각종 보호회로가 내장되어 있고, 이 소자는 최대 3.84[kW] (400V× 9.6A)의 부하를 구동시킬 수 있다.

### 3. 소프트웨어 구성

#### 3.1 주 프로그램

전체 제어 프로그램의 순서도는 그림 3과 같다. 먼저 주 프로그램에서는 CPU의 내부 변수, 제어변수 및 인터럽트 벡터 등을 초기화한다. 또한 2개의 상전류를 측정하여 전류의 offset을 구한다. 이동자의 초기 위치 정보가 필요하므로 홀 센서로부터 신호를 검출하여 현재 이동자의 위치구역을 판별한다.

이러한 초기화 수행이후 프로그램은 메인을 수행하며, 메인 부에서는 무한 반복으로 동작한다. 제일 먼저 과속도, 과전류 등을 검사하고 이상이 있으며 시스템을 정지시킨다. 이러한 메인 루프 수행과 동시에 타이머 인터럽트에 의하여 50 $\mu$ s마다 전류 제어부가 수행되고, 500 $\mu$ s마다 속도제어부가 수행된다.

#### 3.2 전류제어 소프트웨어

EPLD내에 구성된 PWM(pulse width modulation)는 10bit분해능이며, PWM에 사용되는 기준클럭은 외부 클럭 발진소자를 이용하지 않고 DSP에서 출력되는 h1 또는 h3을 용하고, 클럭 주기는 약 40ns이며, 구성된 PWM의 주기는 50 $\mu$ s, 주파수로는 20Khz이다. 따라서 이 정도의 주파수도 충분히 IPM을 구동시킬 수 있다.

타이머 인터럽트에 의하여 일정시간마다 전류제어부가 수행되면, 먼저 A/D변환기를 통하여 변환된 상전류  $i_{as}, i_{bs}, i_{cs}$ 를 계산하고 또한 과전류 검사도 동시에 수행한다. 그리고 현재의 이동자의 위치를 측정하여  $\sin \theta_m, \cos \theta_m$ 를 계산한다. 이를 이용하여 3상의 고정좌표계의 상전류  $i_{as}, i_{bs}, i_{cs}$ 를 동기 회전좌표계로 변환하여  $i_{ds}, i_{qs}$ 를 계산한다. 이렇게 계산된 전류값  $i_{ds}, i_{qs}$ 과 기준전류  $i_{ds}^*, i_{qs}^*$ 를 비교하여 전류제어를 수행하며, 전류제어는 PI제어기로 구성되어 있다. 전류제어부에서 계산된  $v_{ds}, v_{qs}$ 를 얻고 공간전압형 PWM방식으로 전류제어를 위한 스위칭 패턴을 계산한다.<sup>(5)</sup>

#### 3.3 속도제어부 소프트웨어

속도제어부 소프트웨어의 주기는 전류제어부 주기의 10배이며, 500 $\mu$ s의 주기로 수행된다. 속도

제어부에서는 현재 속도를 계산하여 기준 속도와 비교하여 PI제어로 수행된다.

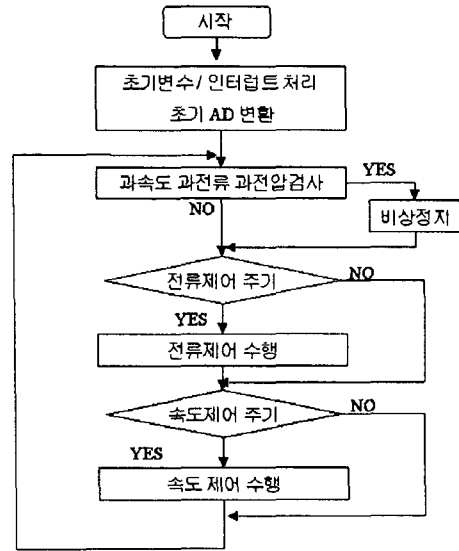


Fig 3. Total software flow chart

### 4. 실험 및 고찰

브러쉬없는 선형 모터(bushless linear motor)에 제안된 제어시스템을 적용하여 실험을 수행하였다. 제어 프로그램은 PC에서 작성하여 TMS320C31 에 물레이터인 CODE-COMPOSER를 이용하여 제어시스템에 다운로드한 후 수행된다.

실험결과는 직렬통신방법을 사용하여 전류, 속도 기타 정보등이 PC로 전송된다. 전력변환부의 공급전원으로 본 실험에서는 AC220전원을 공급하여 사용하며 표1은 실험에 사용된 모터에 대한 기본사양을 보여준다.

Table 1. Specification of brushless linear motor

전기자 저항	23.5 $\Omega$
전기자 인덕턴스	13.6 mH
추력상수	59.56 N/A
이동자 질량	3.5 Kgf
Stroke 길이	1m
엔코더 분해능	5 $\mu$ m

속도제어기는 PI제어기로 구성되어 있다. 무부하 경우 속도제어 실험을 수행했다. 속도 기준입력을 0.2[m/sec]로 사용한 경우 그림4와 같이 기준 입력에 대하여 추종함을 알 수 있다. 또한 그림 5와 6에서는 응답을 통하여 설계된 속도제어기의 성능을 알 수 있다.

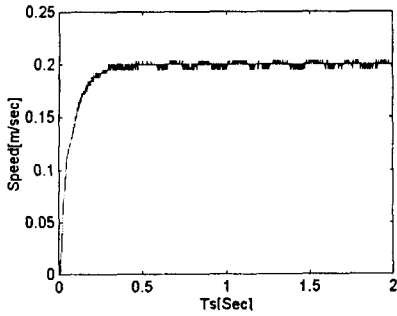


Fig 4. Experimental result of moving part speed(0.2[m/sec])

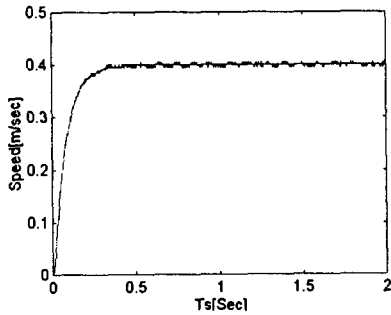


Fig 5. Experimental result of moving part speed(0.4[m/sec])

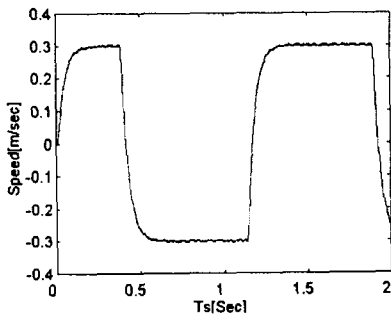


Fig 6. Experimental result of moving part speed(0.3[m/sec], -0.3[m/sec])

그림 7에는 실제 제작된 driver와 브러쉬없는 선형 모터(brushless linear motor)를 볼 수 있으며, 기타 입출력 회로를 통하여 모터의 엔코더 및 홀센서 신호가 driver와 연결되어 있다.

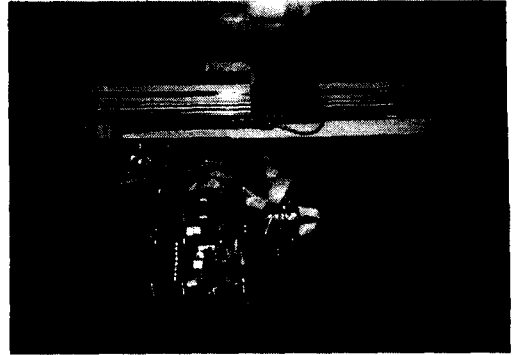


Fig 7. Experimental equipment

## 5. 결론

본 논문에서는 브러쉬없는 선형 모터(brushless linear motor) 구동을 위한 driver 설계 및 제작을 하였다. 설계된 driver는 DSP에 의해서 구현되는 전류 제어기, 속도제어기로 구성되고, 인버터는 공간전압형 PWM 변조 방식을 사용하여 구동하였다. 또한 이러한 기능을 수행하기 위해서 CPU로는 32bit용 DSP(TMS320C31) 사용하고, IPM과 EPLD를 이용하여 주변회로와 전력변환부로 구성된 driver를 제작하고 전류, 속도 응답을 통하여 구성된 driver의 성능을 검증할 수 있었다.

## 6. 참고문헌

1. 백수현 역편, "소형 모터 설계 편람", 세화출판사, 1988.
2. Hidehiko Sugimoto, Masato Koyama and Shinzo Tamai "AC servo system의 이론과 설계의 실제", 종합전자출판사, 1990.
3. TMS320C3X User's Guide, Texas Instrument, 1992.
4. Altera Data Book, Altera Corporation, 1993.
5. 윤덕용, "공간전압벡터 PWM 기법을 이용한 영구 자석형 전동기의 속도제어", 단국대전기공학과, 대학원 박사학위 청구논문, 1995.
6. F.Blaschke. "The principle of field orientation as applied to the new transvector closed loop control system for rotation field machines", Siemens Review, Vol. 34, pp. 217~221, 1972.