韓國精密工學會 2001年度 秋季學術大會論文集 pp.64~68 KSPE 01F006

# SERCOS 기반의 고속 고강성 이송시스템 드라이버 개발

최정원*, 김상은, 이기동, 박정일, 이석규(영남대 전자정보공학부)

# Development of the linear motor driver with high speed and stiffness based on SERCOS

Jung. W. Choi*, Sang. E. Kim, Ki. D. Lee, Jung. I. Park, Suk. G. Lee(School of EECS, YNU)

**ABSTRACT**

In this paper, a controller for the linear motor with high speed and stiffness is implemented using SERCOS interface which is a real time communication protocol between the numerical controller(NC) and the motor driver. The proposed controller is mainly composed of current, speed, and position controller, which are designed using the 32-bit DSP(TMS320C31), a high-integrated logic device(EPM7128), and Intelligent Power Module(IPM) to enhance reliability and compactness of the system. The experimental results show the effective performance of the proposed controller for the linear motor with high speed and stiffness.

**Key Words** : Linear Motor, SERCOS interface, DSP(Digital Signal Processor), EPLD(Erasable Programmable Logic Device), IPM(Intelligent Power Module)

## 1. 서론

선형 리니어 모터를 공작기계의 이송계에 적용하여 제품으로 실용화한 것은 5년 정도 되었지만 생산성의 중요도에 비해 국내에서의 Machining center, Grinding machine 등의 공작기계에 적용된 사례는 거의 찾아 볼 수가 없을 정도로 보급이 미비한 상태이다. 기존의 생산성 향상을 위한 고속 수송 및 반송을 위한 자동화 장치들은 회전기를 이용한 것이 대부분이었고, 직선 작업에 이용하기 위해서는 제작 상의 많은 비용과 난점들이 발생하였다. 또, 이 변환기의 마찰 등에 의한 운동에너지의 손실 및 오차 등으로 인해 그 성능 향상 연구에 한계가 있다. 이에 직선 운동기기의 개발에 대한 필요성이 증대되었고 차량이나 반송차에 직접적으로 직선운동을 가할 수 있는 리니어 모터가 해결방안으로 부각되었다. 리니어모터가 다른 응용분야와 달리 공작기계, 특히 NC에 이용되기 위해선 상당한 추력과 절삭저항에 대한 위치유지가 필요하기 때문에 강성 및 고속제어가 가능해야한다. 상위제어기와 드라이버간의 실시간 디지털 통신을 위하여, 확장성이 용이하고, 작업환경이 열악한 공간에서 잡음에 영향이 적은 광케이블을 이용한 Sercos 통신방식에 관한 활발한 연구가 진행되고 있다.

본 연구에서는 Fig. 1과 같이 고속, 고강성 특성을 제대로 발휘시킬 수 있도록 상위 제어기(RTOS 운영체계인 Window NT서버를 사용하고 SERCOS 드라이버를 PCI카드 형태로 내장)와 SERCOS 통신이 가능한 드라이버를 설계 제작하였다[1]. 드라이버의 CPU는 DSP(TMS320C31)을, 인버터 스위칭 소자로는 IPM을 각각 사용하였으며[3][4][5], 제어기는 구조가 간단하고 외란에 비교적 강인하여 산업현장에서 많이 사용되고 있는 PID제어기를 사용하여 전류, 속도, 위치 제어를 수행하여 그 성능 결과를 검증하였다.

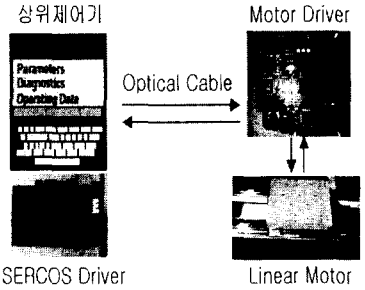


Fig. 1 시스템 전체 구성도

본 논문에서는 상위제어기와 통신을 위한 sercos 인터페이스부, 드라이버의 하드웨어 구성, PID 제어기를 사용한 제어기에 대해서 언급하고, 실제 모터구동을 통한 모터의 위치 및 속도 응답 결과를 나타내었다.

## 2. SERCOS 인터페이스

SERCOS(SErial Real-time COmmunication System)는 국제 규약(IEC 61491, 1995)에서 정한 통신규약의 하나로 Fig. 2와 같이 상위 제어기와 모터 드라이버 간의 인터페이스를 위한 전용 프로토콜이다.

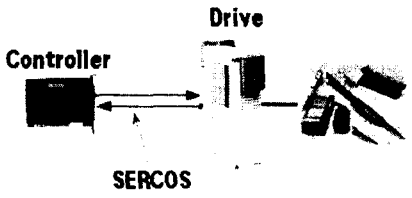


Fig. 2 SERCOS 인터페이스

일반적으로 SERCOS 인터페이스에서 상위제어기(NC)를 Master라 하고 모터 드라이버에 해당하는 부분을 Slave라하며 각각의 Slave와 Master간의 데이터 전송은 광섬유 케이블을 사용한다. 또, 하나의 Master에 최고 254개까지의 Slave 연결이 가능하기 때문에 생산성의 향상과 비용 절감 등의 시스템 성능을 향상시킬 수 있다.

Fig. 3은 SERCOS 인터페이스를 위한 Master와 Slave 사이의 주기적인 데이터의 전송 순서를 나타낸 것이며 Table 1은 이러한 데이터 전송의 3가지 방식을 나타낸 것이다.

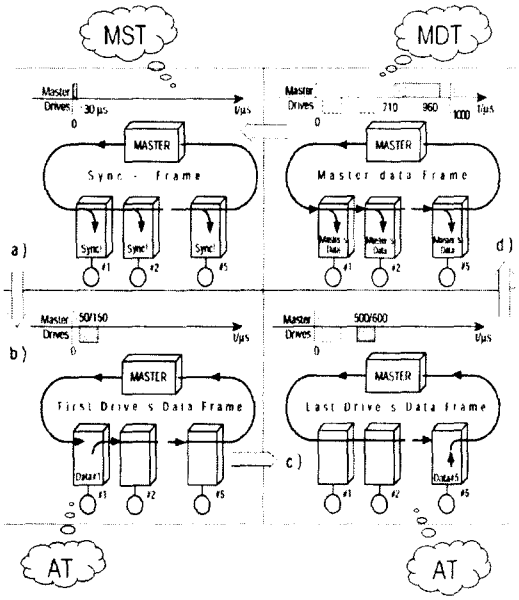


Fig. 3 SERCOS 인터페이스의 데이터 전송 순서

Table 1. 3가지의 데이터 전송 신호

| Telegram 종류 | 비 고 |
|---|---|
| MST(Master Sync Telegram) | Master에서 동기신호를 각 Slave에게 전송하는 신호 |
| AT (Axis(drive) Telegram) | Slave에서 Master로 data를 전송하는 신호(reporting actual values) |
| MDT (Master Data Telegram) | Master에서 Slave로 data를 전송하는 신호(default command values) |

## 3. 하드웨어 구성

리니어 모터를 구동하는 시스템의 구성은 Fig. 4와 같이 제어대상인 모터에 에너지를 공급하는 전력변환부 및 전원 공급 장치부, 이를 제어하는 마이크로 컨트롤러부(DSP, RAM, ROM) 및 주변장치(EPLD), 상위 제어기와 광케이블을 이용하여 SERCOS 통신을 할 수 있는 부분으로 구성되어 있다.

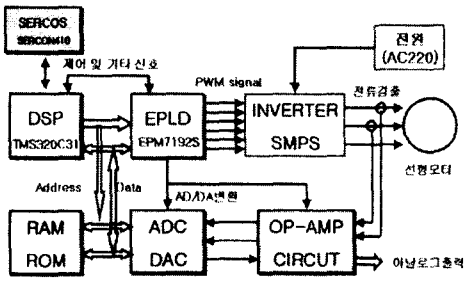


Fig. 4 하드웨어 구성도

### 가. 마이크로 컨트롤러부

마이크로 컨트롤러부에서는 리니어 모터의 속도, 전류, 위치 및 기타 입출력 제어 등을 수행한다. 이러한 입력 데이터인 속도, 전류, 위치 값의 연산처리는 대부분 부동소수점과 삼각함수 등의 많은 연산을 필요로 하기 때문에 프로그램 처리 속도가 빠른 Texas Instrument사의 32비트 부동소수점 방식 DSP인 TMS320C31을 사용하였다.

CPU 주변회로에는 고직접회로인 ALTERA사의 EPM7192S160-15 EPLD(Erasable Programmable Logic Device) 소자를 사용하여 각종 입출력 기능 및 주변회로 역할을 수행한다. 또한 외부로부터 디지털 신호나 속도지령 수행을 위한 디지털 입력회로, 현재 이동자의 위치측정을 위한 회로, IPM을 구동하기 위한 신호발생회로, SERCOS 인터페이스를 위한 회로 등을 내장하고 있다. AD변환기는 MAXIM사의 4채널 동시 변환이 가능한 MAX125를 사용하였으며, DA변환기는 8채널을 갖는 MAX7226을 각각 사용하였다. Fig. 5는 SERCOS 인터페이스를 포함하는 마이크로 컨트롤러부를 나타낸 것이다.

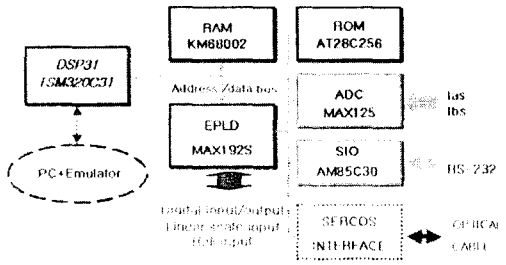


Fig 5. 마이크로 컨트롤러의 구성도

**나. 전력 변환부**

전력변환부는 마이크로 컨트롤러의 지시를 받아 리니어 모터 구동에 적합한 가변주파수 및 교류 전원을 공급하는 부분으로 정류회로, 인버터 회로, 전원 공급장치 3부분으로 구성되어 있다.

인버터의 경우 정격용량이 600[V], 15[A]인 Mitsubishi사의 IPM (Intelligent Power Modules) 소자를 사용하였고 별도의 전원 없이 직류 출력 전압을 얻기 위하여 SMPS(Switching Mode Power Supply)를 사용하였다. SMPS의 사양은 Table 2와 같다.

Table 2. SMPS의 사양

| | |
|---|---|
| 컨버터 방식 | RCC제어형의 flyback converter |
| 스위칭 방식 | MA4820(5A/800V) |
| 제 어 방 식 | +5V 출력전압 feedback에 의한 정전압제어 및 과전압 보호기능 |
| 스위칭주파수 | 50khz ~ 300khz |
| 입력 전압 | 220전용(AC170V~270V) |
| 출력 전압 | +5V/2A(정전압 제어),+5V/1A, 15V/0.5A× 4개,± 15V/0.5A× 2개 |
| 출력 전력 | 약 60W |

**다. SERCOS 인터페이스부**

상위 제어기와 모터 드라이버 사이의 통신방식에 있어 Sercon410B 소자를 사용하여 광섬유 케이블로 통신하는 SERCOS 인터페이스를 사용하였다. Fig. 6는 SERCOS 인터페이스를 하기 위해 제작된 보드이고, Fig. 7는 SERCOS 보드를 모터 드라이버에 장착한 그림이다.

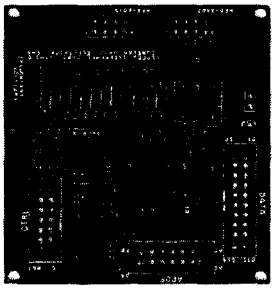

Fig. 6 SERCOS 인터페이스 보드

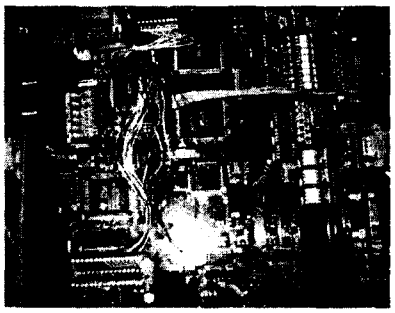

Fig. 7 모터 드라이버(SERCOS)

상위 제어기의 시스템은 RTOS(Real Time Operating System) 방식중의 하나인 윈도우2000 NT 서버를 사용하고 있으며, 실제 상위 제어기가 지령 데이터를 보내게 되면 모터가 구동하게 된다. Fig. 8은 SERCOS 인터페이스를 이용한 시스템 전체 구성도이다.

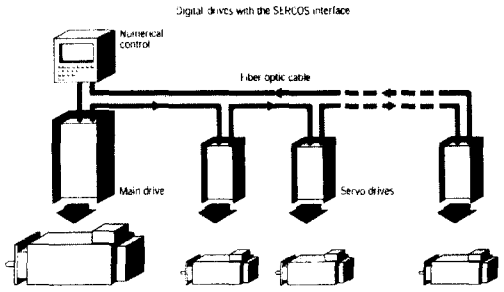


Fig. 8 SERCOS 인터페이스

## 4. 소프트웨어 구성

드라이버의 소프트웨어는 C로 작성되었으며, 주 프로그램은 드라이버내의 각종 변수의 초기화, 인터럽트설정, sercos통신 초기화 및 여러변수의 상태를 LCD에 표시할 수 있게 하였다. 그리고, 내부제어기는 PID제어기를 구성하여 전류, 속도, 위치 제어를 구행한다.

**가. 주 프로그램**

주 프로그램에서는 우선 변수초기화, 인터럽트 설정 및 EPLD내부 회로 등을 초기화하고 상위 제어기와 모터 드라이버에 장착된 SERCOS 보드 사이에 서로 초기화 된 데이터를 보내게 된다. 이때 CP 0(Communication Phases)에서부터 CP 4까지 동작하게 되고 LCD로 나타나게 된다. 또한 2개의 상전류를 측정하여 전류의 offset을 구하여 전류측정에서 발생

하는 오차 성분을 보상한다. 모터를 구동하기 위해서는 초기에 이동자의 위치 정보가 필요하므로, 이에 홀 센서로부터 검출하여 현재 이동자의 위치구역을 판별 가능하므로 초기 위치 설정이 가능하다. 이러한 초기화 수행이후 프로그램은 메인을 수행하며, 메인부에서는 무한 루틴을 반복한다. 가장 먼저 과전류, 과전압 등을 검사하고 이상이 있으면 시스템을 정지시킨다. 이러한 메인 루프 수행과 동시에 타이머 인터럽트에 의하여 50$\mu$s마다 전류 제어부, 500 $\mu$s마다 속도제어, 1000$\mu$s 위치제어가 수행된다.

**나. 속도제어 및 위치제어**

속도제어부 소프트웨어의 주기는 전류제어부 주기의 10배이며, 500$\mu$s의 주기로 수행된다. 속도제어부에서는 현재 속도를 계산하여 기준 속도와 비교하여 PID제어로 수행된다. 또한 위치제어 경우 약 1000$\mu$s마다 수행되는 PD제어기로 구성되어 있다.

**다. 전류제어**

A/D변환기를 통하여 측정된 신호로부터 상전류 $i_{as}$ , $i_{bs}$ , $i_{cs}$ 을 계산하여 3상의 고정좌표계의 상전류를 동기 회전좌표계로 변환하여 $i_{ds}$ , $i_{qs}$ 을 계산한다. 이렇게 계산된 전류 값 $i_{ds}$ , $i_{qs}$ 와 기준전류 $i_{ds}^{*}$, $i_{qs}^{*}$ 를 비교하여 전류 PI제어기를 사용하여 보상한다. 전류 제어부에서 계산된 전압 $v_{ds}$ , $v_{qs}$로부터 공간전압형 PWM방식으로 전류제어를 위한 스위칭 패턴을 얻는다. PWM의 주기는 100$\mu$s, 주파수로는 10Khz이다. IPM의 Dead-time은 3$\mu$s으로 설정하였다.

## 5. 실험 및 고찰

Fig. 9는 상위 제어기에서 리니어 모터를 직접 제어 할 수 있는 제어 패널을 나타낸 것이다. 예를 들어 모터의 방향은 오른쪽 하단부의 AXIS SELECT의 -, +를 누르면 제어할 수 있다.

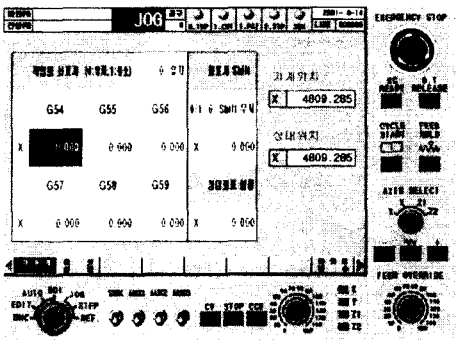


Fig. 9 상위제어기의 제어 패널

드라이버의 성능을 검증하기 위해 Table 3의 사양을 가지는 모터에 무부하 실험에 적용하였다. 실험결과는 전류, 속도 제어는 실시간 측정값이고 위치 제어의 결과값은 실험결과의 데이터의 정밀도를 높이기 위해 통신을 사용하여 데이터를 분석하였다.

Table 3. 리니어 모터의 사양

| | |
|---|---|
| 이동자 저항 | 23.5 Ω |
| 이동자 인덕턴스 | 13.6 mH |
| 추력상수 | 59.56 N/A |
| 이동자 질량 | 3.5 Kgf |
| Stroke 길이 | 1m |
| 엔코더 분해능 | 5$\mu$m |
| 자석 배치 | 양측 배열 |

전류제어는 추력을 직접 발생하는 역할을 수행하며 제어기의 가장 내부에 있다. 따라서 모터를 제어하는 경우 내측 제어 성능이 우선 검증되어야 한다. 이러한 성능은 Fig. 10과 Fig. 11을 통하여 확인할 수 있다.

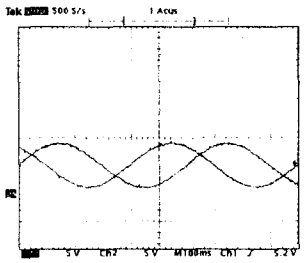

Fig. 10 A, B상의 전류응답

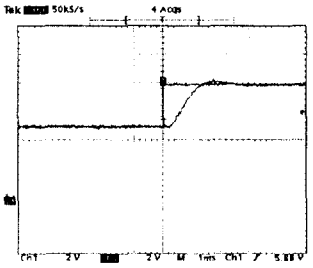

Fig. 11 iqs(iqsref=2.0A)의 단위응답

속도제어 경우 Fig. 12에서 단위 속도 입력에 대한 응답에서 overshoot 발생 없이 주어진 기준입력을 추종함을 알 수 있다. 또한 속도 응답은 Fig. 13에서는 4G를 만족하는 응답특성을 보인다.

위치제어 경우 사다리꼴 형태의 입력패턴을 사용하며, Fig. 14에서는 기준 입력값과 실제응답을 동시

에 보여주고 있으며, 제어결과 오차는 거의 없음을 보인다. 이에 오차를 확대한 Fig. 15를 통하여 추종 오차 양을 볼 수 있다. 실험결과는 메모리에 데이터를 저장후 Off-line 상태에서 PC로 전송하여 처리하였다.

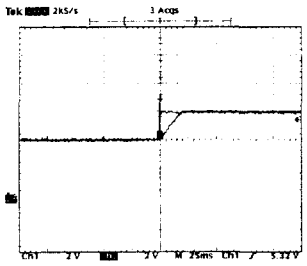

Fig. 12 속도응답(기준속도=0.5m/s)

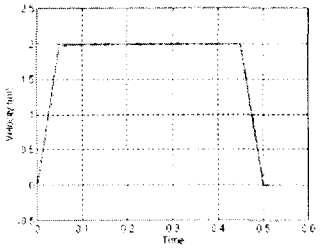

Fig. 13 속도응답(기준속도=2.0m/s)

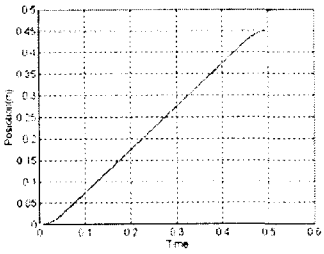

Fig. 14 기준값과 실제값의 위치응답

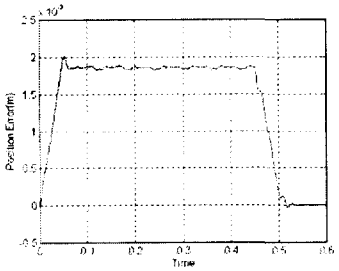

Fig. 15 위치 에러

## 6. 결론

본 논문에서는 SERCOS 인터페이스를 이용하여 고속, 고강성 특성을 갖는 모터 드라이버에 상위 제어기와 SERCOS 통신이 가능하도록 드라이버를 설계 제작을 하였다. 제작된 드라이버는 DSP에 의해서 전류제어, 속도제어 및 위치제어를 수행하며, 인버터 구동방식은 공간전압형 PWM변조 방식을 사용하여 구동하였다. 또한 이러한 기능을 효과적으로 수행하기 위해서 IPM과 EPLD 등을 사용하여 주변회로와 전력변환부로 구성하였다. PID 제어기를 사용하여 전류, 속도, 위치제어기를 구성하여, 실제 선형모터를 구동하여, 속도응답과 위치응답을 확인하였으며, 제작한 드라이버의 성능을 검증하였다.

최종적으로 SERCOS 인터페이스를 이용하여 상위 제어기에서 리니어 모터를 구동하여 원하는 성능을 얻을 수 있음을 확인하였다.

향후 연구과제는 고용량 드라이버의 개발과 알고리즘을 개선하여 더욱 향상된 성능의 드라이버를 개발하는 것이다.

## 참고문헌


1. SERCOS interface, 東白電子株式會社, 1993.
2. CEI publisher, Droits de reproduction reserves, 1995.
3. Hidehiko Sugimoto, Masato Koyama and Shinzo Tamai "AC servo system의 이론과 설계의 실제," 종합전자출판사, 1990.
4. TMS320C3X User's Guide, Texas Instrument, 1992.
5. Altera Data Book, Altera Corporation, 1993.
6. 윤덕용, "공간전압벡터 PWM 기법을 이용한 영구자석형 전동기의 속도제어,"단국대 전기공학과, 대학원 박사학위논문, 1995.