

# 전력전자 응용을 위한 TMS320C30 범용제어기의 개발

김 준석, 설 승기, 박 민호  
서울대학교 전기공학과

## Development of General High Performance Digital Controller Using TMS320C30 for Power Electronic Applications.

Joohn-Sheok Kim, Seung-Ki Sul, Min-Ho Park  
Department of Electrical Eng. Seoul National Univ.

### Abstract

Modern control theory has been developed day by day, but it hardly has been applied practically to the various fields of industry, specially power electronic field, because there is no cost effective hardware that accommodates modern control theory. Thus, in our study, DSP based ultra high speed general controller which may be exclusively used for power electronic applications is developed.

### 1. 서론

현대 제어이론은 하루가 다르게 발전되고 있으나 실제로 상용화되어 산업계에 사용되어지는 예는 흔치않다. 여러 산업계 중에서도 특히 전력전자응용 분야에 있어서 이러한 현상은 더욱 심화되고 있다. 이는 현대 제어이론을 구현함에 있어 불가결하게 요구되는 고속연산기의 부재에 그 원인이 있다고 할 수 있다. 일 예를 들면 기존의 PI제어기등으로 제어하는 경우 저속 16Bit 제어기에도 무난하게 제어를 수행할 수 있었으나 Kalman Filter를 제어에 응용하려면 5x5 행렬연산을 실시간에 수행하여야 하는데 이는 고속486PC등을 사용하여도 연산해내기가 어렵다. 또한 고속연산을 수행할 수 있는 제어기가 있다하더라도 가격이 문제되기 때문에 일반 사용자의 접근이 어려운 실정이다. 특히 대전력을 취급하는 전력전자 분야에서는 고압의 절연성을 반드시 고려하여야 하지만 이를 염두에 두고 설계된 제어기는 찾아 볼 수 없다.

본 연구실에서는 이러한 문제를 해결하기 위하여 지난 1년여 동안 전력전자 분야에 전용으로 사용될 수 있는 저가의 고속 디지털 제어기 개발에 노력하였다. 개발된 제어기는 TMS320C30을 주 처리소자로하여 33.33 MFLOPS의 고속연산이 가능하도록 설계되었으며 3000V 이상의 절연내력을 갖는 각종 아날로그, 디지털 입출력포트 및 GPG(Gate Pulse Generation)모듈, 광파이버 게이트포트, 프로텍션 회로등을 보드상에 장착하여 이 분야의 응용에 만전을 기하였다.

본 논문에서는 개발된 제어기의 각종 성능을 고찰하고 전력전자의 여러분야에 대한 응용사례를 들고자 한다.

### 2. 3세대 DSP TMS320C30

DSP는 Digital Signal Processing의 약자로 디지털 신호처리를 의미한다. 따라서 DSP전용 칩이란 원래 디지털 신호를 신속하게 처리하기 위해 개발 되어진 소자를 뜻한다. DSP소자는 빠른 연산을 주 목적으로하여 개발되어졌기 때문에 범용 CPU가 갖는 여러가지 입출력기능이 빈약하지만 고속연산이 가능하다는 점과 비교적 저가라는 점에 힘입어 현재 군사용을

비롯하여 항공우주, 의료, 해양, 기상등등의 여러분야에 폭넓게 사용되어지고 있다.

본 연구에서 사용한 TI사의 TMS320C30 역시 이러한 DSP 전용소자의 한 종류로 32Bit 부동소수점연산이 가능하고 타 이머, 통신포트, DMA등 다른 소자에비해 여러가지 기능을 내장하고 있는 우수한 성능의 디지털 제어소자이다[1]. 특히 33.33 MFLOPS( Mega Floating-point Operation Per Second.)의 연산 속도는 현재 일반적인 워크스테이션의 수배에 이른다. 참고로 표1.에 대표적인 몇가지 CPU의 연산속도를 비교하였다.

기종	연산 속도 (MIPS)	부동소수점연산 처리속도(MFLOS)
IBM-PC 386	8.12	약 2.0(80387 포함)
SPARC server2	28.5	4.2
Apollo 720PA-RISC	55.5	17.0
TMS320C30	16.7	33.3

표1. 대표적인 CPU의 연산속도 비교

TMS320C30이 연산속도에서 월등히 우수한 이유는 32bit의 하드웨어 곱셈기를 내장하고 있으며 두가지 명령의 병렬처리가 가능하기 때문이다. 즉 주사이클 60 nSec 마다 A\*B의 연산을 수행하면서 동시에 C를 D에 저장하거나 더하는 명령을 동시에 처리할 수 있다. 더우기 하바드 아키텍처에 의한 3라인 파이프(Pipe)구조를 가지고 명령어의 펠치(fetch), 해석, 수행을 동시에 처리함으로써 명령의 처리 및 연산에서 최대한의 효율을 올리고 있다.

TMS320C30의 주요 기능은 다음의 표2와 같다.

- 초고속연산 ( 60 nSec Single Cycle Instruction )
- 16.7 MIPS
- 33.3 MFLOPS
- 4K x 32 bit 고속 ROM 내장
- 2K x 32 bit 고속 RAM 내장
- 32 bit Data Bus, 24 bit Address Bus
- 40/32 bit Floating Point/Integer 곱셈기 내장
- DMA, Serial I/O, 32bit Timer

표2. TMS320C30의 주요 기능

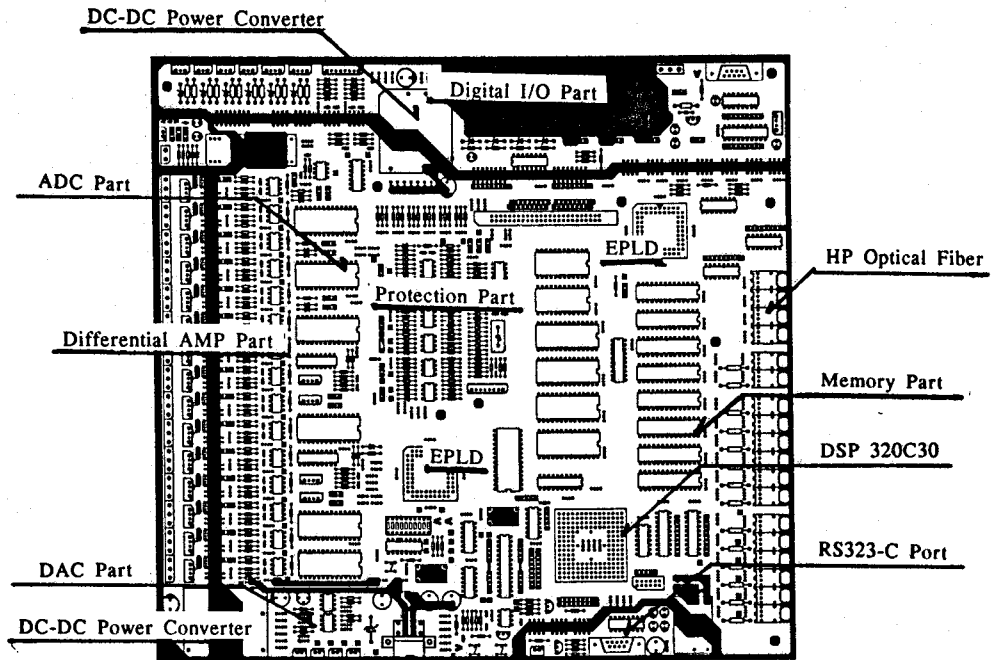


그림1. 개발된 제어기의 구조도( 1/3 축소 )

### 3. 시스템의 구성

본 연구에서는 TMS320C30을 주 제어소자로 하는 범용의 고성능 디지털제어 시스템의 개발을 목표로하여 여러가지 제어에 응용이 가능하도록 최대한의 융통성과 신뢰성을 부여하는데에 주안점을 두어 설계하였다. 또한 전력전자분야의 응용을 위하여 전원의 내결연성 및 내잡음성을 최대한 고려했으며 전력소자의 Gate신호를 발생시키기 위한 GPG( Gate Pulse Generator )모듈을 부착하였다.

#### 3.1 하드웨어 구성

TMS320C30은 고속의 CPU이므로 그 연산 속도를 충분히 활용하기 위해서는 고속의 응답을 갖는 주변장치가 필요하다. 본 실험실에서 개발한 시스템은 전력전자에의 응용을 기본 취지로하여 연구된 것이므로 제어계를 구성하는 모든 소자 및 모든 물리량을 취급할 수 있도록 설계되었다. 또한 이러한 제어계를 제어하는데 있어서 반드시 고려되어야 할 여러가지 제약 조건들 - 예를 들어 전력부와 제어부 사이의 절연문제, 스위칭으로 인한 잡음(noise)문제, 호스트(host) 컴퓨터와의 통신문제 등을 최대한 고려하였다. 또한 내잡음성을 최대한 높이기 위해 버퍼를 제외한 모든 로직소자는 EPLD(Electrical Programmable Logic Device [2])로 구현하였으며 4층(4-Layer)기판으로 제어기를 제작하였다.

다음 표3.에 제어기를 구성하고 있는 각종 소자 및 기능들을 열거하였다.

그림1.에는 제작된 제어기를 1/3으로 축소한 구조도를 도시하였다. 필요로하는 모든 입출력부에 절연이 되어 있음( 검은 색 굵은 바탕 )을 볼 수 있으며, 각 절연부에는 개별적인 3개의 전력용 DC-DC컨버터가 설치되어 전원을 공급하여 주고 있다.

#### 3.2 아날로그신호 처리부의 구조

전력전자분야에서 취급하는 대부분의 물리량은 전류, 전압 등의 아날로그신호이므로 이에 대한 제어시스템을 구성할때 반드시 ADC(Analog to Digital Converter)를 설치하여야 한다.

○ CPU	TMS320C30	Texas Inst.	33.3 MFLOPS Ultra fast CPU	2K x 32 bit Internal RAM
○ MEMORY	EPROM	32K x 32 bit	(100nSec)	
	SRAM	256K x 32 bit	( 20nSec)	
	EEPROM	2K x 8 bit	(150nSec)	
○ Digital I/O	Input:	General	4port	
		High Speed	6port	
		Encoder	2port	
( Full Isolation 3000V )	Output:	Relay(SPDT)	4port	
		SSR	3port	
		High Speed	7port	
○ Analog	AD678	12bit 5 $\mu$ Sec ADC	5EA	
	AD394	12bit 4ch DAC	1EA	
	ADG528	8ch Analog Mux.	2EA	
	AD202	Isolation Amp.	1EA	
○ 통신	8251A	RS232-C	1 Port	
○ GPA	6bit x 2port	( Optical Fiber )		
	2bit x 1port	( Optical Fiber )		

표3. 시스템의 하드웨어 구성

본 시스템은 고속제어 및 범용성을 기본 목표로 하므로 최대 5 $\mu$ sec 변환시간을 갖는 고속 ADC를 5개를 설치하여 기본적으로 4.1 $\mu$ sec마다 동시에 5개의 아날로그 신호를 입력받을 수 있게하였다. 또한 8채널 아날로그 멀티플렉서를 2개 설치하여 총 19개의 아날로그 입력포트를 구비하여 어떠한 분야에도 응용할수 있도록 하였다. 모든 아날로그 입력포트의 앞단에는 필터를 겸한 차동앰프를 설치하여 내잡음성을 강화하였고 홀

(Hall)소자를 이용한 전류센서를 직접 연결할 수 입력포트를 설치하여 모든 아날로그소프트에서 전류를 직접 취득할 수 있도록 하였다. 전류 센서소프트에는 절연된 ±15V 400mA의 전력을 공급하는 DC-DC컨버터를 설치하여 차동앰프와 더불어 완벽한 절연체계를 구현하였다. 또한 직류전압을 완전히 절연하여 취득하기 위해 소신호용 DC-DC컨버터를 1개 설치하였다.

또한 아날로그신호를 출력하기 위한 용도로 4채널 DAC(Digital to Analog Converter)를 1개 설치하였다. 이 DAC는 제어프로그램의 동작확인용으로 동시에 4가지의 신호를 오실로스코프에 출력함으로써 시각적으로 제어 프로그램의 정상여부를 쉽게 확인할 수 있다. 아날로그 출력의 각 포트에는 그리치(glitch)를 제거하기 위한 2차 저역통과필터가 설치되어 있다.

### 3.3 디지털신호 처리부

물리계를 제어하기 위해서는 아날로그신호뿐 아니라 디지털신호도 취급하여야 할 경우가 있다. 예를 들어 스위치를 개폐한 다든가 접점입력을 받아들이는 것이 그러한 경우이다. 이러한 경우에도 외부 신호와 제어기 신호 사이의 절연을 고려해야 한다.

디지털신호('1' 또는 '0')를 받아들이기 위해서 저속의 포토커플러(Photo Coupler)로 절연된 4Bit의 입력포트가 설치되어 있으며, 고속 포토커플러로 절연된 2Bit 입력포트 및 광파이버 입력포트(4Bit)를 별도로 설치하여 외부의 고속 디지털신호 입력에 대응하였다.

디지털 신호를 출력하기 위한 설비로는 고속 포토커플러(10 Mbit/sec)로 절연된 7Bit의 채널 하나가 설치되어 있으며 2중 절연된 릴레이 4개와 220V, 8A의 SSR(Solid State Relay) 3개가 장치되어 있다. 이들은 여러가지 사이판스제어에 응용될 수 있도록 설계된 것으로 3000V 이상의 절연 내력을 지니고 있다. 모든 디지털 입출력포트에는 내잡음성을 강화하기 위한 T형 필터가 부착되어 있다.

또한 절연된 전압을 디지털 입출력부에 공급하기 위해 +15V 400mA의 전력용 DC-DC컨버터를 설치하여 별도의 외부전원이 필요치 않게 설계하였다.

### 3.4 엔코더(Encoder)신호 처리부

전동기제어는 전력전자분야의 중요한 응용분야이므로 이에 대한 충분한 고려를 하였다. 그 대표적인 예가 엔코더신호 처리부이다. 엔코더신호는 전동기의 속도가 펄스형태로 출력되는 것으로서 전동기의 속도를 측정할 때 가장 일반적으로 사용되는 신호이다. 엔코더 신호는 1차적으로 자체내에서 절연된 상태로 신호가 나오지만 실제적으로 신호전달 과정에서 쉽게 잡음등의 영향을 받을 수 있다. 이를 방지하기 위하여 신호가 차동앰프의 형식을 지닌 T형 필터를 거쳐 고속 포토커플러로 절연된 다음, 다시 T형 필터를 거쳐 설계하였다. 시스템에 입력된 2상 엔코더신호는 신호처리부에서 4채배되어 정밀도를 높이고 M/T 방식을 사용하여 최종적으로 정확한 속도를 CPU에게 알릴 수 있게 설계되었다. 또한 모든 속도신호 처리부를 하나의 EPLD안에 구현하여 내잡음성을 강화하였다.

### 3.5 제어 통신부

제어 시스템이 완전하게 동작할 수 있으려면 외부의 호스트(host)시스템과 연계되어 각종 지령 및 정보를 입력받고 필요한 경우에는 호스트로 정보를 출력하는 것이 가능하여야 한다. 본 시스템에서는 범용성을 살리기 위해 IBM-PC를 호스트로 사용하고 있으며 제어기는 호스트와 RS-232C 통신선을 이용하여 통신하도록 설계되었다. IBM-PC에는 호스트로서의 기능을 수행할 수 있도록 제어감시용 소프트웨어를 개발하여 사용하고 있다. 이 호스트 시스템은 다음에 소개할 응용분야 중 DC Mill Drive System에 적용되어 상품화 단계까지 이르고

있다. RS-232C 통신선에도 고속 포토커플러를 이용한 절연회로가 구성되어 있으며 이에 필요한 절연된 전원 역시 DC-DC 컨버터로 직접 공급하게 설계하였으므로 별도의 전원이 필요 없다.

### 3.6 GPG(Gate Pulse Generation)모듈

전력전자회로의 핵심은 전력소자의 On, Off를 어떻게 제어하는가에 관한 문제라고 할 수 있다. 각종 제어 이론에 따라 제어기가 복잡한 연산을 하지만 실질적인 제어기의 출력은 전력용 반도체를 제어하는 신호이기 때문이다. 모든 응용분야가 그러하지만 특히 전동기제어에 있어서 중요한 제어신호는 3상 브리지형 인버터의 전력소자에 대한 Gate신호라고 할 수 있다. 본 제어기에는 이를 위하여 CPU의 부담을 최소화 하도록 특별히 설계된 GPG모듈이 설치되어 있다. 이 모듈은 사용자가 결정할 수 있는 일정 제어주기마다 3개의 시간정보 및 전압벡터정보를 입력받아서 원하는 시간에 Gate신호를 발생시켜 주는 회로이다. 이 회로에는 임의의 시간만큼의 Deadtime을 매 스위칭시 마다 자동적으로 삽입하여주는 기능과 전류정보로부터 Deadtime효과를 분석하여 이를 보상하는 기능까지 첨부되어 있다. 이 모든기능은 하나의 EPLD에 구현되어 있으며 일반사용자는 제공되는 전류제어 프로그램에 전류명령치만 입력함으로써 간편하게 이상적인 전류제어를 행할 수 있다.

GPG모듈에서 출력되는 신호는 내절연성(3000V 이상) 및 신뢰성을 확보하기 위해 설치된 광파이버 신호선을 이용하여 Gate앰프보드로 입력된다. 현재 3meter 길이의 광파이버가 설치되어 있으며 Gate앰프보드로 전력소자의 종류에 따라 대 전력 SCR용, GTO용 및 IGBT용이 구비되어 있다.

### 3.7 보호기능(Protection)부

전력용반도체소자를 사용할 때에는 반드시 그 소자의 정격범위 안에서 소자가 사용되도록 제어하여야 하지만 CPU가 정상 동작을 하지 못하거나 혹은 불의의 사고가 발생할 경우에는 전력용 소자를 모두 소호시킴으로써 전체 시스템을 보호하는 동작이 수행되어야 할 필요성이 있다. 이러한 동작을 수행하는 부분이 보호회로로서 CPU의 동작과는 무관하게 설계된 전류, 전압치를 규정된 상한치와 비교하는 감시동작을 수행한다. 만일 정격치보다 큰 전류 혹은 전압이 이 회로에 입력되면 Gate신호를 무조건 소호하고 CPU에 인터럽트(Interrupt)를 걸어준다. 개발된 제어기는 3상전류 및 DC전류, 전압등을 감시하는 보호회로를 장착하고 있다.

## 4. 전력전자분야 응용사례

### 4.1 예측제어기법을 이용한 압연용 DC 구동시스템 [7]

- Rolling Mill DC Motor Drive System Using Predictive Current Control -

DC전동기를 사용한 기존의 압연기 구동 시스템에서는 전류 제어 및 속도제어에 비례적분(PI)제어기를 사용하여 왔다. 그러나 기본적으로 PI제어기는 정상상태의 오차를 영으로 하도록 제어하는 방식이므로 아무리 이득을 정확히 조정한다 하여도 과도상태의 응답특성이 좋을 수 없음이 이미 널리 알려져 있다. 본 실험실에서는 지난 일년여 동안 (주)POSCON의 연구팀과 함께 이러한 PI제어기 대신 압연기 구동 시스템에 적용할 수 있는 새로운 예측 전류제어기법을 개발하여왔으며 현재 상품화 단계에 까지 이르렀다. 이 예측제어기법을 사용하여 제어하는 경우, 오버슈트없는 완전히 평활된 전류제어가 가능하며 정역회전이 용이할 뿐 아니라 연속, 불연속동작등을 포함한 전운전 영역에서 최적제어를 수행할 수 있다. 예측제어를 수행하려면 CPU가 미리 전동기의 다음 상태를 예측할 수 있어야 하므로 상당한 양의 연산이 실시간에 수행되어야 한다. 따라서 DSP를 사용한 개발된 제어기가 아니면 수행이

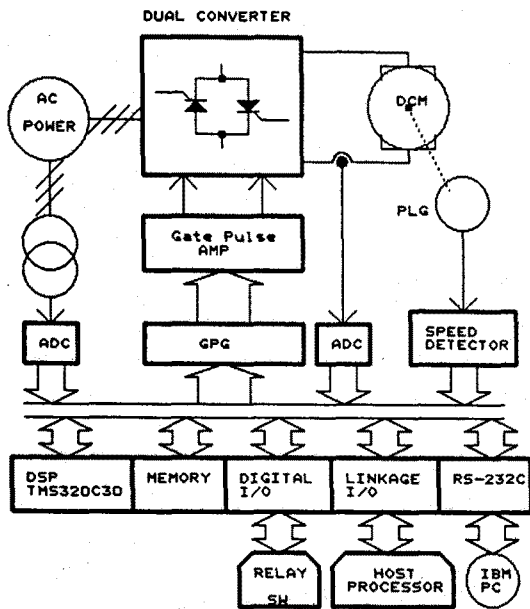


그림2. 제안된 압연용 DC 구동시스템의 구조도.

불가능하다. 그림2.에 제안된 압연용 DC 구동시스템의 구조도를 도시하였다.

#### 4.2 부하전류형 인버터를 사용한 유도전동기의 센서없는 벡터제어 [8]

- Sensorless Vector Control of a Load-Commutated Current Source Inverter-Fed Induction Motor Using V/f Control for Starting -

본 연구에서는 유도기를 구동하기 위한 새로운 LCCSI(Load Commutated Current Source Inverter)제어방식에 관한 연구를 수행하였다. 일반적으로 팬, 펌프등을 위한 대형 유도전동기를 구동할 때에는 V/F제어방식을 사용한 LCCSI를 사용하여왔다. V/F제어방식을 널리 사용한 이유는 역률보정용 커패시터와 출력 변압기 사이의 공진에 의한 제어의 난점 때문이었다. 본 연구에서는 SCR소자의 강제전류(Commutation)를 위해 DC-Link단에 GTO를 부착한 새로운 형태의 인버터를 제안하며 이를 이용한 속도센서 없는 직각벡터제어 기법을 아울러 제안한다. 제안된 방식은 PWM알고리즘을 사용하여 공진을 억제하도록 제어하고 있으며 정상상태에서 커패시터의 전류를 보상하는 방법으로 벡터제어를 완벽하게 수행하고 있다. 공진억제용 PWM알고리즘을 연산하면서 동시에 벡터제어를 위한 복잡한 연산이 실시간에 수행 되어야하므로 개발된 제어기를 이용하였다.

#### 4.3 전압모델제어에 의한 고성능 전류제어기 [9]

- High Performance Current Regulator for an Induction Motor Drive Controlled by a Voltage Model Operation with PI Compensation -

지금까지 유도전동기의 구동을 위한 고성능 전류제어기에 관하여 수많은 연구가 진행되어왔다. 그들의 기본 개념을 정리하여 보면 정확한 전류제어를 위해서는 전동기의 역전압(Back-EMF)을 보상하여야한다는 것이 공통된 사항임을 알 수 있다. 본 연구에서는 실제의 전동기 전류치와 전압모델에서 연산되는 지령치 사이의 오차를 PI제어기에 의해 보상하는 새로운 제어 기법을 제안한다. 이 기법은 전압모델에 의해 지령치가 계산되므로 과도 상태에서의 속응성을 얻을 수 있으며 보상기에 의해 오차분이 보정되므로 정상상태에서의 정확한 전류제어를 수행할 수 있는 장점을 지니고 있다. 이 전류제어

기는 관측기(Observer)에 의한 상태궤환법(state feedback)을 이용하므로 이를 실시간(50μsec)연산 하기 위해서는 고성능의 연산기능이 필요하다.

#### 4.4 Extended Kalman Filter를 이용한 유도전동기의 센서없는 벡터제어 [10]

- Speed Sensorless Vector Control Of An Induction Motor Using An Extended Kalman Filter -

전동기의 속도제어를 수행할 때에는 반드시 정확한 속도정보를 알아야한다. 이를 위해 엔코더 혹은 타코미터등을 사용하고 있으나 이들 센서류는 전동기에 취부하기가 용이하지 않고 유지보수가 어려운 단점이 있다. 때문에 근간에 이러한 센서의 도움 없이 정확한 속도정보를 취득하고자하는 연구가 많이 이루어져왔다. 본 연구에서는 Extended Kalman Filter를 이용하여 정확한 속도 정보를 알아내는 새로운 벡터제어 알고리즘을 제안한다. 이 알고리즘은 5x5의 Kalman Filter 행렬을 100μsec안에 연산하면서 동시에 벡터제어 및 전류제어를 수행 하여야하므로 DSP를 사용한 고속제어기의 도움없이 는 실시간 연산이 불가능하다.

## 5. 결론

본 연구에서는 전력전자분야에 전용으로 사용될 수 있는 DSP를 통한 범용 고속제어기를 개발하였다. 개발된 제어기는 초고속의 연산능력을 기본으로 각종 입출력장치 및 GPG모듈, 통신장치, 보호장치 등을 부가하여 전력전자 전용의 목적에 사용될 수 있도록 만전을 기하였다. 시스템의 범용성을 위하여 EPLD를 사용한 융통성 있는 설계를 하였으며 "C"언어를 이용한 소프트웨어 개발을 가능케 하여 사용의 편의성을 도모하였다. 또한 개발된 제어기를 여러분야의 연구에 응용하여 봄으로써 제어기의 우수성 및 신뢰성을 확인 하였다. 본 연구는 제철전기 콘트롤, 금성 산전연구소 및 삼성 반도체의 지원에 의해 이루어진 것임을 밝힌다.

### 『참고 문헌』

- [1] Texas Instrument "TMS320C3X User's Guide", 1990.
- [2] Altra "MAX+Plus", EPLD manual, 1990.
- [3] Texas Instrument "TMS320C30 Emulator User's Guide", 1990.
- [4] Texas Instrument "TMS320C30 C compiler Release Note 4.00", 1990.
- [5] Texas Instrument "TMS320C30 C source Debugger User's Guide", 1990.
- [6] Texas Instrument "TMS320C30 C source Simulator User's Guide", 1990.
- [7] 지준근, 설송기, 박민호 "예측 전류제어기를 사용하는 압연용 직류전동기 구동 시스템" 춘계 전력전자 연구회, p42~46, 1992.
- [8] Hyung-Soo Mok, Seung-Ki Sul, Min-Ho Park "A Load Commutated Inveterr-fed Induction Motor Drive With A Novel DC Side Commutation Circuit", IAS'92 ( WILL BE PRESENTED )
- [9] Dong-Choon Lee, Seung-Ki Sul, Min-Ho Park, "High Performance Current Regulator For Field Oriented Controlled Induction Motor Drive", IAS'92 ( WILL BE PRESENTED )
- [10] Young-Real Kim, Seung-Ki Sul, Min-Ho Park, "Speed Sensorless Vector Control Of An Induction Motor Using An Extended Kalman Filter", IAS'92 ( WILL BE PRESENTED )