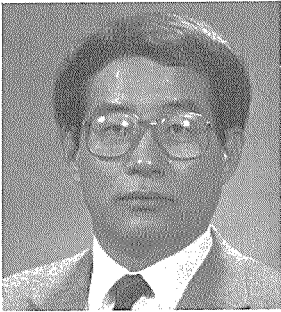


重電器機에서의 제어기기 및 제어기법 응용

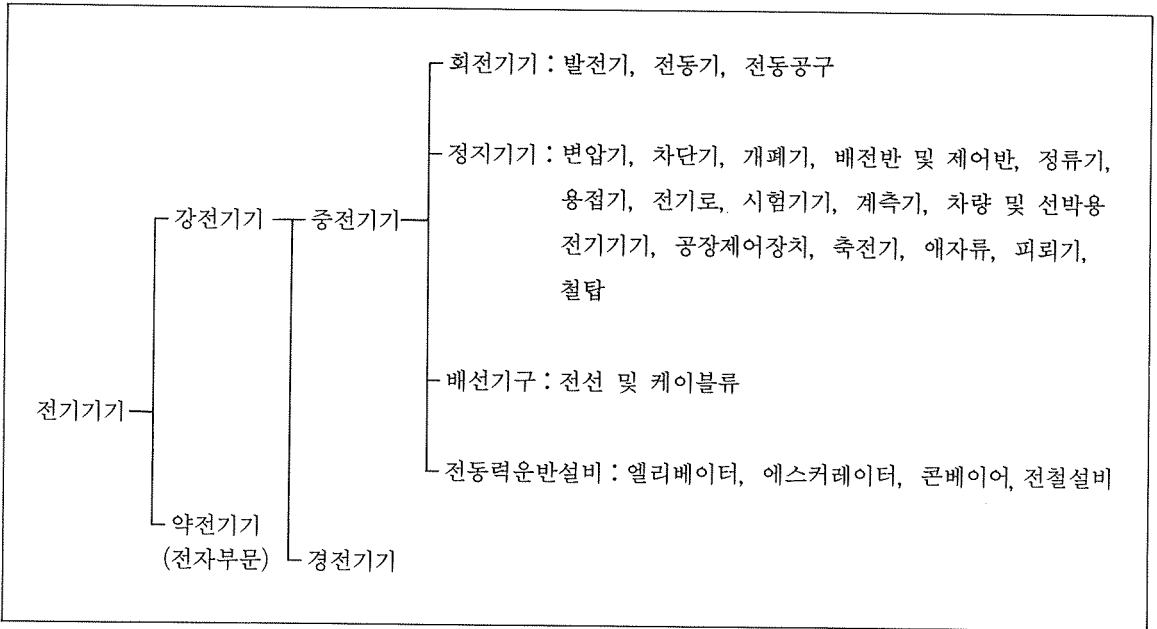


延世大學校 工科大學
電氣工學科 教授
禹 廣 芳

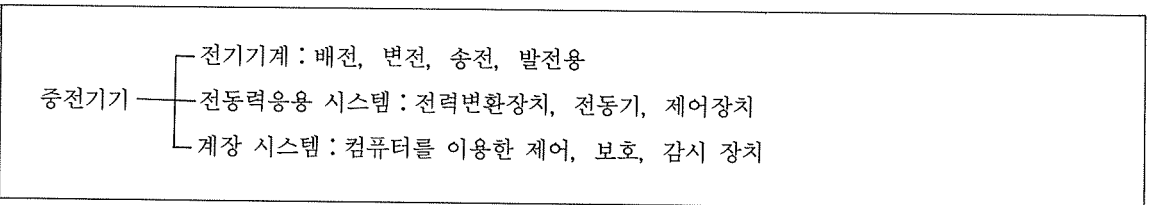
1. 서론

고전적인 의미에서의 重電器機는 <표1>에서와 같이 전기기기 분류상 약전기기(전자부문) 및 강전기기의 경전기기를 제외한 부분의 기기 및 설비를 통칭한다. 그러나, 마이크로프로세서 및 LSI의 고기능화, 저가격화 그리고 스위칭소자의 대전력화의 진행으로 그 개념도 배전, 변전, 송전, 발전용 전기기계와 전력변환장치, 전동기 및 그 제어장치를 포함하는 전동력 응용 시스템, 컴퓨터를 이용한 제어, 보호, 감시 장치와 이를 이용, 응용하는 시스템 및 그 구성부품 등을 포함하는 것이 되었다. <표2>

스위칭 소자의 발달과 더불어 전동력 응용시스템 및 계장시스템을 위한 제어기기에 대한 관심이 증대하게 됨과 동시에 제어기법도 광범위하게 발전하고 있다. 본고에서는 이러한 배경하에 중전기 공업에 관련되는 제어기기 분야 전망을 위한 지침의 하나로 重電器機중 電動力 應用 시스템에 사용되는 制御器機 및 制御技法을 소개한다.



<표1> 고전적인 의미의 전기기기 분류



<표2> 중전기기 산업의 개념

2. 제어기기

SCR (Silicon-controlled Rectifier) 이 1956년 Bell 연구소에서 발명되고 1958년 GE사에 의해 처음 시장에 소개된 이후 발전을 거듭해온 스위칭 소자들은 rectification (ac-ac), inversion (dc-ac), cycloconversion (ac-ac), dc-dc conversion 및 ac power control 등에 다양하게 이용되고 있다.

한편 60년대에 이어 70년대 초를 기점으로 하여 개발되고 사용되기 시작한 PLC (Programmable Logic Controller)는 마이크로프로세서의 다기능화, 소형화에 힘입어 더욱 다양화, 범용화되어 소형에서 대형공장에 이르기까지 그 용도가 다양해지게 되었다.

가. 스위칭 소자

Phase-control-type 사이리스터에서 처음 사용되기 시작한 스위칭 소자는 점차 triac, gate turn-off 사이리스터 (GTO), inverter-grade fast 사이리스터, silicon-controlled switch (SCS), light-activated SCR (LASCR), diac, asymmetrical 사이리스터 (ASCR), reverse-conducting 사이리스터 (RCT) 등으로 그 종류를 다양화해가고 있다. 그리고 제조기술면에서의 반도체 처리 기술의 발전과 더불어 고전압 및 고전류 뿐만 아니라 높은 전압, 전류의 변동율 (dv/dt, di/dt) 과 빠른 turn-on, turn-off 특징을 갖는 스위칭 소자를 사용할 수 있게 되었다. 그 예로 최근

HVDC 및 static VAR compensator에 사용할 수 있는 6KV, 2500A까지 인가할 수 있는 high-power light-triggered 사이리스터가 개발되었으며 4.5KV, 4000A까지 가능한 GTO도 개발되고 있으며 BJT(bipolar junction transistor) 및 FET(field effect transistor)는 1970년대 후반부터 성능이 개선되기 시작되었는데 BJT는 현재 수백 KW용량까지도 가능하게 되어 thyristor나 GTO를 대체하는 것도 가능하게 되었다.

Power MOSFET는 conduction loss가 크기는 하지만 스위칭 loss가 적기 때문에 수 KW의 고주파 스위칭 converter에 사용되고 있는데 몇년전부터는

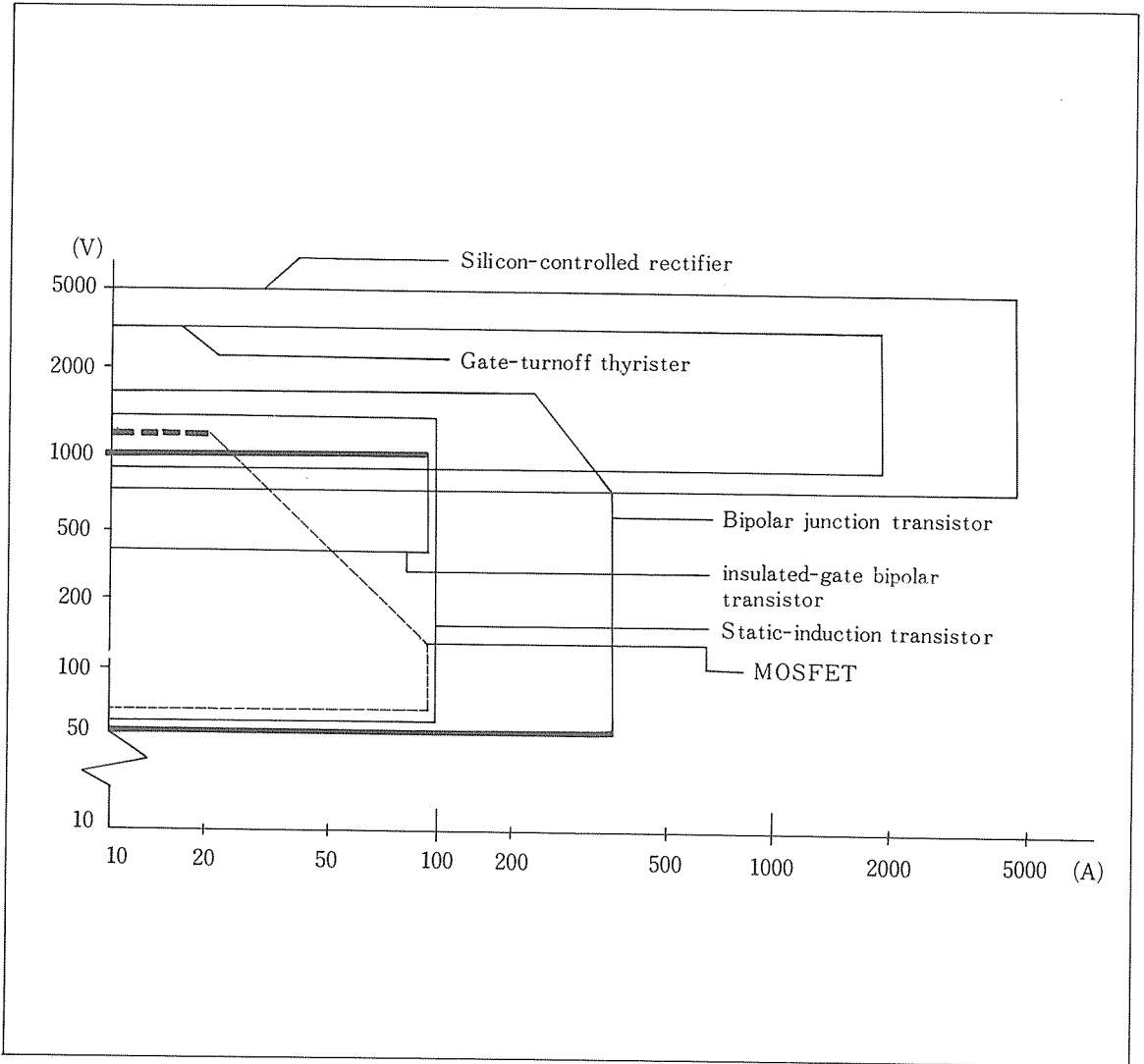
MOSFET와 BJT의 장점을 모은 IGBT(insulated gate bipolar transistor)가 등장하고 있다.

최근 GE에서 발표한 MCT(MOS-controlled thyristor)는 MOS-gated turn-on / turn-off 특성을 갖는 high-power, high-frequency thyristor-like device로 그 특성을 살펴보면 500V, 50A용 asymmetrical MCT는 junction 온도 250°C에서도 conduction drop 1V이내에서 동작하며 turn-on time은 0.2 μ s, turn-off time은 0.2 μ s이고 dv/dt는 20kv/ μ s, di/dt는 2kA/ μ s에서 동작한다.

이상의 내용을 <표3>과 <그림1>에 정리하였다.

<표3>스위칭 소자의 동작특성 및 응용분야

스위칭소자	응용 분야	Forward Blocking Voltage Range (V)	Reverse Blocking Voltage Range (V)	최대동작 주파수 (KHz)	dv/dt (V/ μ s)	di/dt (A/ μ s)
Bipolar Transistor	Switching Power Supply Motor, Drive Uninterruptible Power Supply	50~1400	50	200	3000~10000	300~2000
GTO	Locomotive drives High-power UPS, pumps compressors, fan controllers industrial process controllers	800~4500	200	20	300~1500	100~300
Power MOSFET	Switching Power Supplies Motor drives Automotive power supplies	50~1000	0	25000	50000~200000	10000~30000
IGBT	Motor drives Power Supplies	400~1200	200	50	50000-100000	2000~5000
SIT	Induction heating and welding	50~1000	0	50000	100000-300000	10000-30000
SCR	Very high-power switchgear High-voltage dc transmission Industrial motor controls	600~5000	0~5000	50	20~500	50~1200



<그림1> 전압전류 특성에 의한 스위칭 소자의 구분

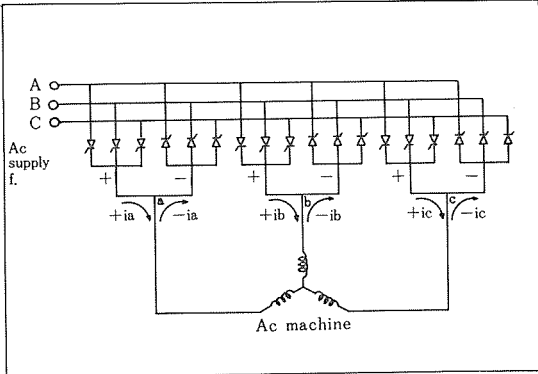
나. 전력 변환장치

스위칭 소자를 사용한 변환장치는 아래와 같이 크게 네가지로 분류될 수 있다.

- 위상제어 사이크로콘버터
- 전압원 인버터
- 전류원 인버터
- dc-dc 초퍼
- 위상제어 사이크로콘버터는 ac line power를 한

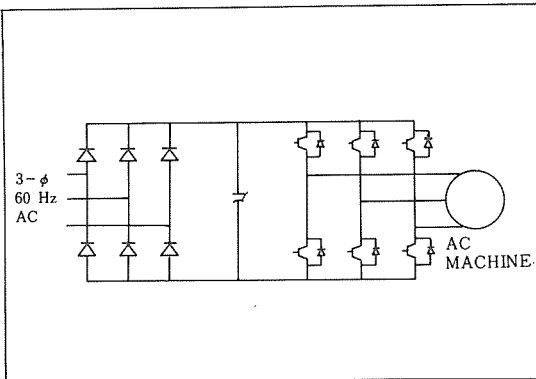
주파수에서 다른 주파수로의 frequency 변화를 수행해준다. 그 원리는 line power를 dc로 conversion한후 inverter를 통해 가변주파수의 ac로 변환해주는 dc link conversion과는 차이가 있다. 18-thyristor의 VVVF cycloconverter drive의 예가 <그림2>에 나타나 있다.

이와 같은 cycloconverter는 steel rolling mill이나 cement mill, ship propulsion등의 초대용량 기계에 주로 사용되는 장치이다.



<그림 2> 위상제어 사이크로콘트에 의한 교류모터 구동

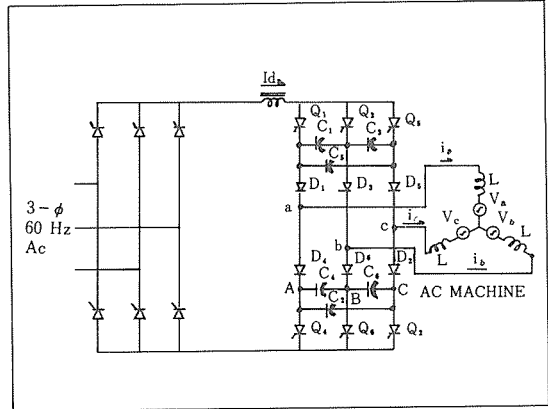
● 전압원 인버터는 소전력 및 중전력 기계에 가장 빈번히 이용되는 장치이며 <그림3>에 교류모터구동용 다이오드 정류형 펄스폭변조 트랜지스터 인버터의 예를 보였다.



<그림3>다이오드 정류형 펄스폭변조 트랜지스터 인버터에 의한 교류모터구동

부하의 크기에 무관한 일정 전압파형을 유지하며 정류회로에 용량이 큰 전해콘덴서가 접속되어 있으므로 이것이 전압원으로 동작한다. 전압파형은 펄스폭변조된 모양으로 되고 전류파형은 정현파에 가깝게 나타나고 있다.

● 전류원 인버터는 전류를 직접제어하기 때문에 토크제어가 용이하고, 단락사고에 대해 안전하므로 대용량이 필요한 곳에 많이 사용되고 있는 장치이며 <그림 4>에 자동순차 전류원 인버터에 의한 교류모터 구동의 예를 보였다.

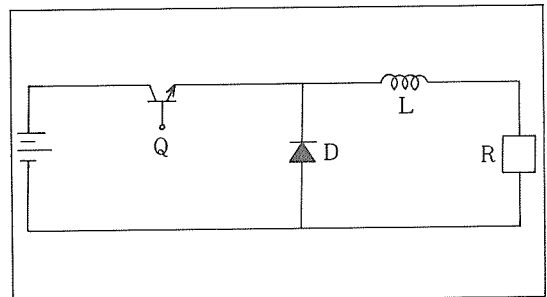


<그림 4> 자동순차 전류원 인버터에 의한 교류모터 구동

전류원 인버터는 부하의 대소에 무관하게 일정 전류파형을 유지하며, 직류 회로에 큰 직류 리액터를 갖고, 전원 인피던스가 높은 특징을 가지므로, 전류파형은 펄스폭 변조된 모양으로 되고 전압파형은 정현파에 가깝다.

● dc-dc 초퍼는 force-commutated thyristor를 사용하여 처음 구현되기 시작한 것으로 BJT의 개발과 함께 그 스위칭 주파수가 증가하기 시작하였으며 power MOSFET의 등장과 함께 고주파 스위칭이 가능하게 되었다.

<그림5>에 스위칭소자로 트랜지스터를 사용한, 간략한 dc-dc 초퍼 회로의 예를 보였다.



<그림5>dc-dc 초퍼회로

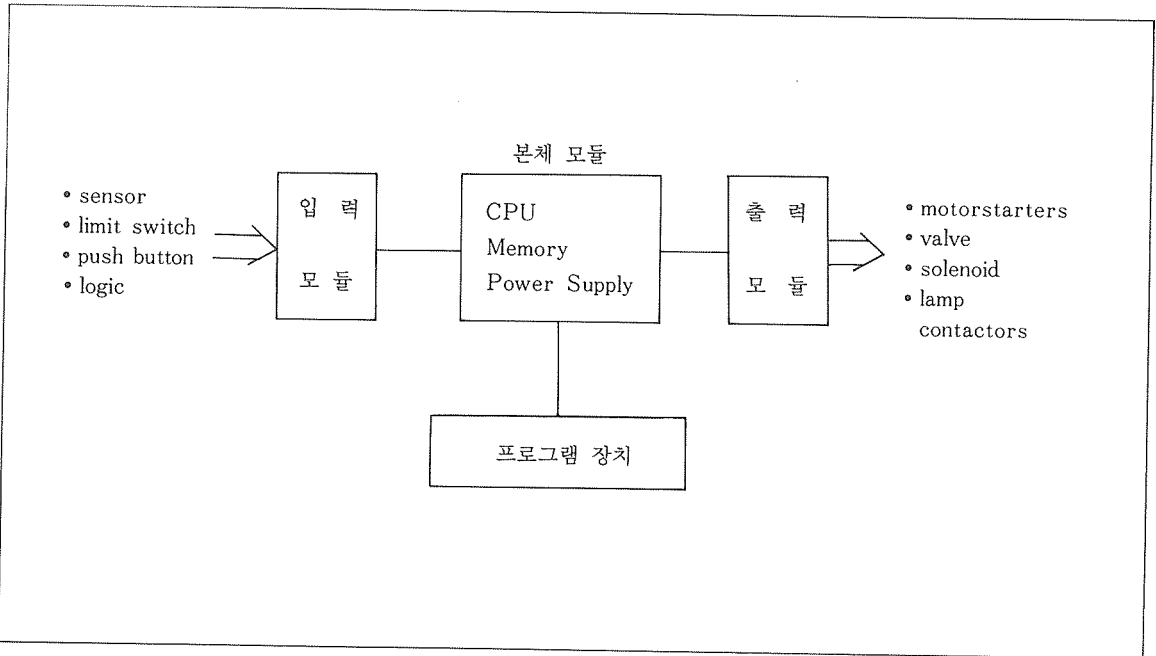
다. PLC (Programmable Logic Controller)

70년대 부터 본격적으로 사용되기 시작한 PLC는 중전기기에서의 제어기라기보다는 주변기기로 분류

될 수 있는 성질의 것이나 그 사용빈도나 GM의 조립 line중 relay control panel을 대체하기 위하여 처음 등장하였다는 유래면에서 볼때 꼭 언급되어야 한다. 초기에 개발된 PLC들은 기능 자체가 너무 단순하여 Sequencer 또는 Logic Controller라고 정의되었으나 각종 소자들의 다기능화, 소형화에 힘입어 단순히 제어만을 위한 기능 뿐만이 아니라 연산, 계수기능 등 컴퓨터의 일부 기능을 갖고, 심지어 일부 장치는 컴퓨터와 접속이 가능하여 데이터의 송수신이 가능한 단계에 까지 이르게 되었다. NEMA에 의하면 PLC란 디지털, 아나로그 입출력 모듈을 통해 Logic sequencing, Timing, Counting, Arithmetic 등의 기능을 갖는 Programmable Memory를 사용하여 기계나 공정을 제어하기 위한 디지털 운전형 전자 장치를 말하는 것으로 <그림6>에 PLC의 기본구성을 나타내었다.

하는 작업 이외에 본체 모듈 감시 및 프린팅 등의 기능도 보유하고 있으며 소형 PLC인 경우는 표시부가 LCD로 이루어진 handy type의 프로그램 장치가 대중을 이룬다. 본체 모듈에서는 μ -processor를 CPU로 사용하며 입력모듈의 입력 신호를 받아 프로그램 장치에 의해 프로그램된 작업을 처리하여 출력 모듈로 보내주는 일을 수행한다. 이때 AND, OR 등의 논리 처리기능을 수행하게 된다. 출력 모듈에는 모터 starter, 소레노이드, 경고 신호, 램프 등의 이산치신호와 밸브, 아나로그 액츄에이터, 기록장치, 아나로그 미터 등을 위한 연속치신호를 출력시켜 준다. 이때 입력 모듈과 같이 출력 모듈의 집점도 수적인 제한 사양을 가지게 된다.

PLC의 응용 분야로는 라인 제어, 기계 제어와 같은 시스템 설계와 시퀀스 제어 및 FA, CIM, 공정 자동화 분야의 프로세스 제어 등이 있다.



<그림6>PLC의 기본구성

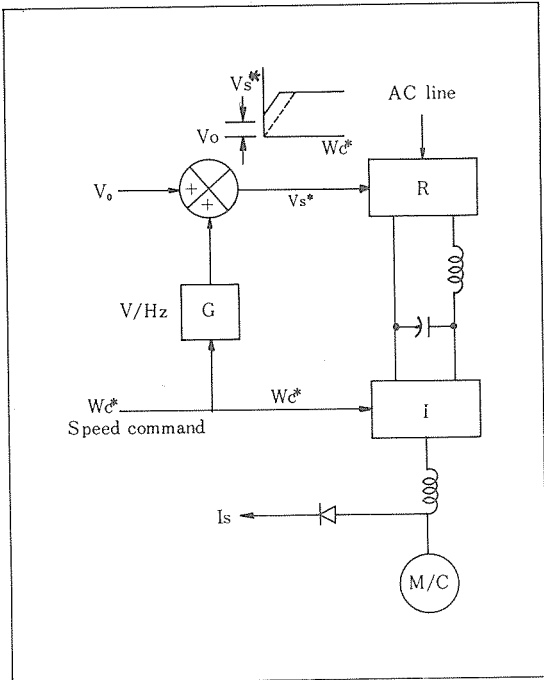
<그림6>에서 입력 모듈의 입력 신호로는 근접 스위치, 리미트 스위치, 푸시 버튼, 릴레이 점접 등의 이산치신호와 각종 센서 등의 연속치신호를 사용할 수 있으며, 입력 점접수에 대한 제한이 있다. 프로그램 장치는 프로그래머가 제어 프로그램을 작성, 수정

3. 제어기법

가. 교류기기 구동을 위한 제어방식

직류기기는 제어가 용이한 반면 가격이 비싸며,

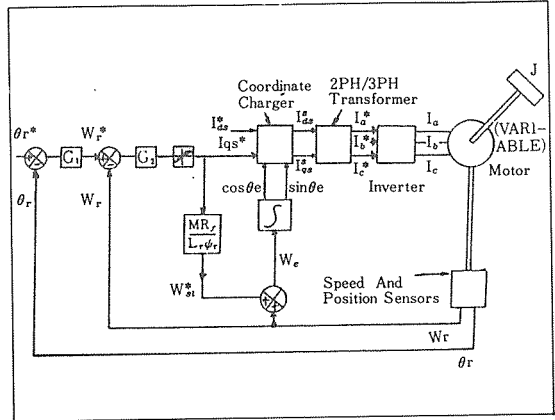
교류기기는 정속 운전에 적합하다는 기존의 관념이 지난 삼십년간의 교류기기 구동기술의 혁신에 의해 변화되지 않을 수 없게 되었다. 교류기기에서 정류자가 없어졌을 뿐만 아니라 가격면에서도 직류기기와 대등한 경쟁을 할 수 있게된 것이며 이런 추세가 계속되면 직류기기의 기능이 계속 약화될 것이다. 그러나, 교류기기의 제어와 I/O 신호 처리는 물론 직류기기 보다 더욱 복잡하다. 현재 교류기기 제어에는 두 가지 기법이 사용되고 있는데, 그 하나는 일반적인 V/F 제어이고, 다른 하나는 고성능의 벡터 제어인 것이다. <그림7>에 유도전동기의 개루프 V/F 제어의 예를 보이고 있다.



<그림7>유도전동기의 개루프 V/F제어

이때, V_0 전압은 저속에서 고정자(stator) 저항 감소를 보상해 준다. V/F 제어는 전동기에 가해지는 전원 주파수를 변환시키며 인버터의 출력전압을 동시에 제어 하여, 저속을 일정하게 유지해 광범위한 가변속 운전에 대하여 전동기의 효율, 역률의 저하 없이 속도를 제어하는 방법이다.

벡터제어는 유도전동기의 1차전류를 저속과 동일 방향 성분(계자 전류)과 그것에 직교하는 성분(토크

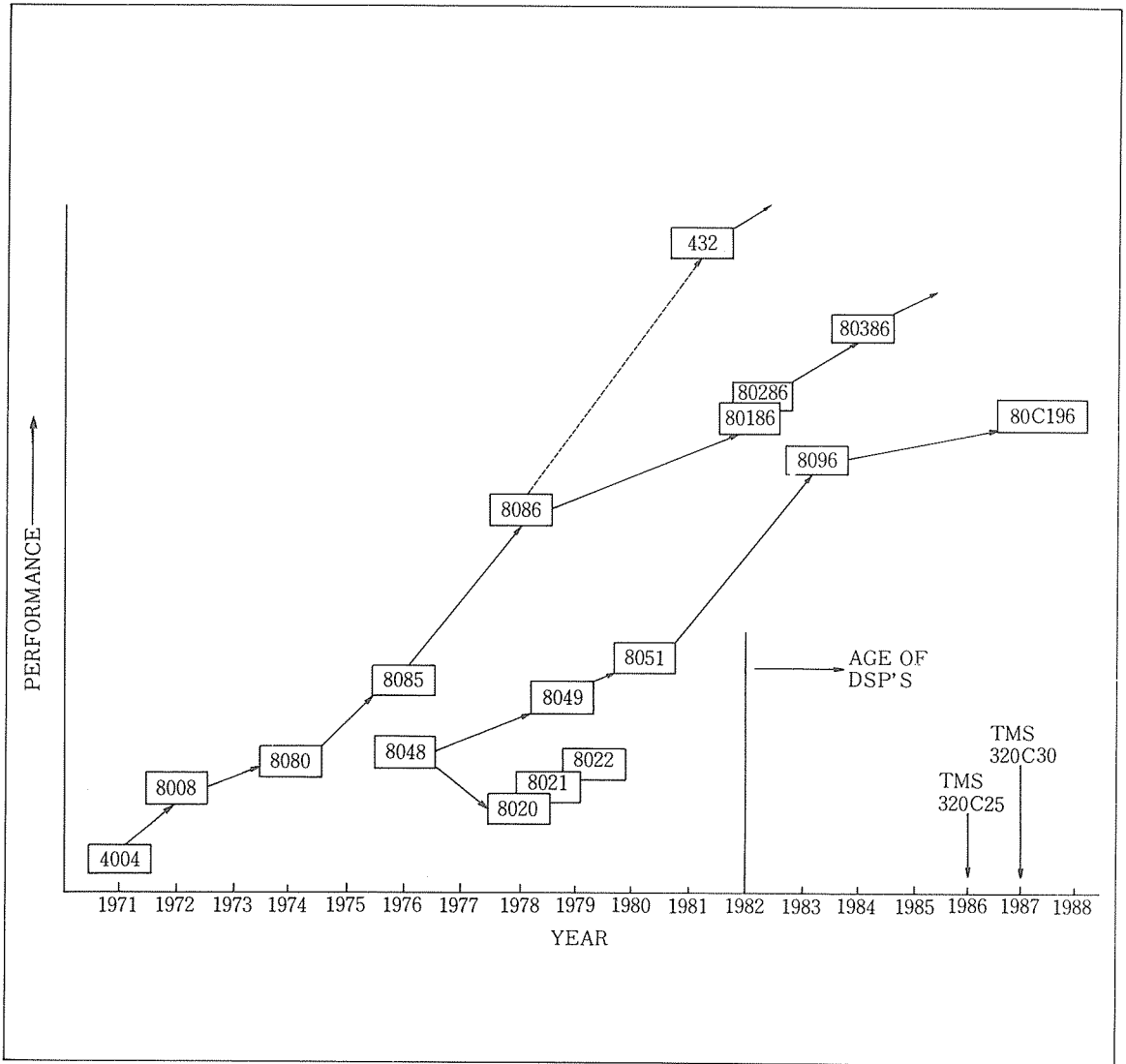


<그림8>간접 벡터제어의 블록선도

전류)으로 분리 제어함으로써 직류기기와 동일한 성능을 발휘하게 한다. 따라서 NC 공작기계, Elevator 등과 같이 급가감속 제어, 토크제어, 정밀 속도 제어, 위치 제어 등이 필요한 부분에 사용된다. <그림8>에 위치 제어를 위한 간접 벡터 제어의 블록 선도를 보였다. 여기에서 고정자 전류분 (I_{ds}^*)은 일정하며, 전류의 토크분 (I_{qs}^*)은 속도 루프의 출력에 의해 제어되고 있다. I_{qs}^* 의 함수인 슬립 신호 (W_{sl}^*)는 회전자 속도와 더해져서 그 결과 단위 벡터를 발생시켜 준다.

나. 마이크로 프로세서

1970년말부터 마이크로 프로세서가 전동기 구동 시스템의 제어기에 응용되기 시작하였다. 처음에는 제철소의 대용량 dc전력구동시스템이나 에너지절약을 위한 ac구동시스템에 사용되었는데 현재에는 거의 모든 구동시스템에 마이크로 프로세서가 사용되고 있으며, 마이크로 프로세서를 장착하지 않고서는 고객의 요구를 충족시킬 수 없는 지경에 이르렀다. 일반적으로 8bit 마이크로 프로세서가 많이 사용되고 있으며, 16bit 마이크로 프로세서 및 Single chip 마이크로 컴퓨터, custom LSI 등이 사용되기도 한다. 최근에는 DSP (Digital Signal Processor) 도 빠른 처리속도를 갖는다는 장점 때문에 종종 사용되고 있다. <표4>에 인텔사에서 개발된 마이크로 컴퓨터의 연도별 개발추이를 나타내었다.



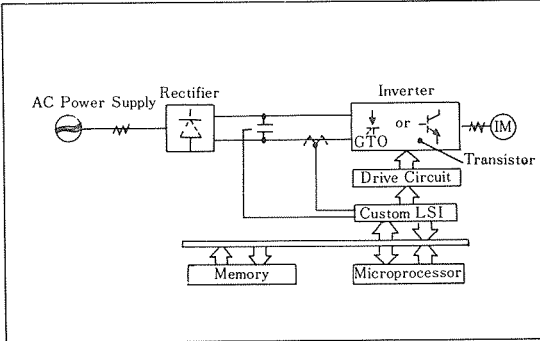
〈표4〉인텔 마이크로 프로세스의 연도별추이

이중 가장 많이 사용되는 것이 16bit single-chip 8096 microcontroller인데 여기에는 A/D변환기가 내장되어 있으며 D/A변환하기 직전의 PWM신호를 출력할 수 있게 되어있다. 최근 이 제품의 개선된 제품이 80C196이라는 모델명으로 발표되었다.

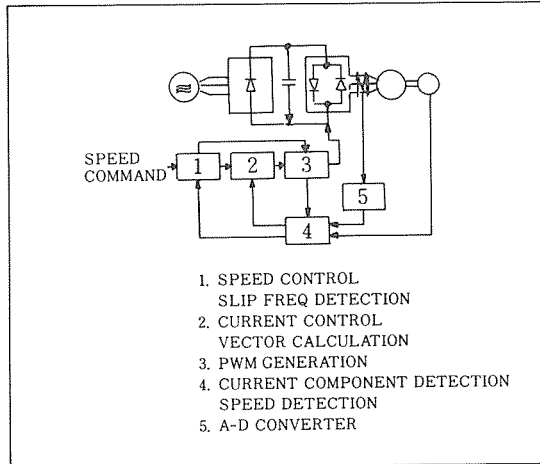
1982년 TI에서 TMS32010 DSP를 발표한 이후 TMS320시리즈가 DSP 시장을 주도하면서 DSP시대를 선도해 나가고 있다. 1986년도에 TMS320C25 모델이 발표되었는데 이 제품의 instruction

execution time은 100ns이며 40MHz clock frequency를 갖는다. 1987년에는 명령어 수행시간이 60ns인 32bit floating-point DSP인 TMS320C30을 시장에 내놓은 바 있다.

아래 〈그림9〉에 PWM pattern 발생을 위한 custom LSI를 사용한 교류구동제어 시스템을 나타내 주고 있으며 〈그림10〉에 GTO inverter를 사용한 유도전동기의 벡터제어를 위한 다중 16-bit 마이크로프로세서 제어시스템을 나타낸다.



<그림9>PWM파형 발생을 위한 Custom LSI의 사용



<그림10>마이크로 컴퓨터에 의한 교류기기 제어 시스템.

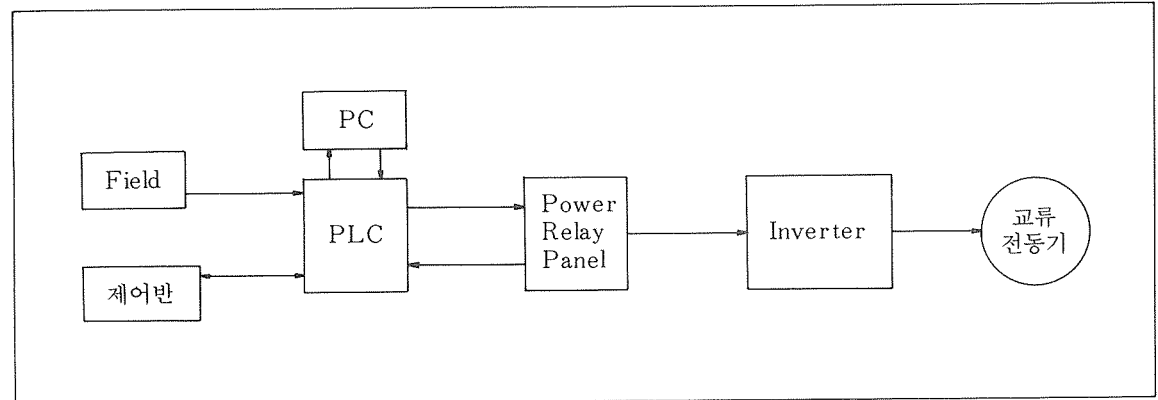
다. 제어 기법 응용예

엘리베이터 기계식 주차타워 시스템에서 동력원으로 AC 모터를 사용한 경우에<그림11>과 같이 인버터, PLC, PC로 주차 시스템을 구성할 수 있다.

이와같은 주차 시스템에서 엘리베이터 동력인 AC 모터는 인버터를 사용하여 속도 및 위치제어가 가능하며, 주차시스템의 필요에 따른 엘리베이터의 운전명령은 PLC를 통하여 인버터에 입력시킬 수 있다. 또한 PC의 그래픽 기능을 주차 시스템의 감시에 사용한다면 주차시스템의 운용과 고장판단을 쉽게할 수 있다.

4. 결론

이상에서 중전기 공업에 관계된 제어기기 및 제어기법을 간단히 설명하고 스위칭 소자를 핵심부품으로 하는 전력변환장치와 마이크로프로세서를 핵심으로하는 교류기기 제어기법을 조합한 응용예를 소개하였다. 본문에서와 같이 스위칭 소자의 개발과 마이크로프로세서의 응용이 중전기에서의 제어기법 응용에 대한 열쇠를 쥐고있다 할 수 있으며, 고속 신호처리가 가능한 DSP를 이용하여 현대제어이론들을 적용하는 것도 제어성능을 개선하는 한가지 방법이라 할 수 있다. 그리고 이러한 작업들이 기계공학과 전기공학의 접목을 요구하는 내용을 포함하며, 반도체 분야와 제어분야의 공동작업들을 필요로 하므로 학제적으로 검토한다면 더욱 개선된 결과들이 계속 얻어질 수 있게될 것으로 기대한다. 電機工業



<그림11>주차시스템 구성도의 예