

# 서보전동기 제어시스템의 기술동향과 발전전망

김민희 (영남대학교 전기자동차과 교수)  
정장식 ((주)메트로닉스 기술연구소 소장)

## 1 서 언

현대 사회에서 인간의 보다 나은 삶을 영위하기 위한 기구 및 기계의 개발이 환경 변화에 따라 급속도로 발전하고 있다. 특히 산업용 정밀기계의 자동화 운전 시스템은 정보 통신 기술과 융합되면서 새로운 생산 산업으로서의 영역으로 확대되어 가고 있다. 이에 따라 여기에서는 고성능 및 고정도 빠른 응답 특성이 요구 되는 정밀 제어 시스템에 절대적으로 필요로 하는 서보(Servo) 전동기 제어 시스템의 기술 동향과 발전 방향에 대한 내용으로, 서보 제어 시스템의 기술 변화, 메카트로닉스 산업의 기술 동향, 서보용 전동기의 특성과 적용 전망, 교류 서보전동기 제어 시스템의 적용과 기술 동향 및 발전 방향에 대하여 알아보기로 한다.

## 2. 서보 제어 시스템의 기술 변화

정밀기계 자동화 제어 시스템에서 요구하는 서보 시스템은 급속하게 발전하는 산업과 함께 변화하여 왔으며, 현재에 이르러서는 빠른 시장의 환경 변화 및 다양한 소비자의 욕구를 충족하기 위하여 디지털 전

자식화 되어 설계에서 생산까지 일체화한 네트워크형 자동화 시스템으로 발전하고 있다. 구동 시스템은 기계장치의 변화에 따라 기계적인 메커니즘 시스템에서 전동기를 적용한 디지털 구동 시스템으로 전환되고 있다.

디지털 자동화 시스템은 모든 동작에 대한 설정과 운전이 디지털화 되어 복잡한 동작을 손쉽게 구현할 뿐만 아니라 다양한 방식의 동작을 자유롭게 바로 수정할 수 있는 장점이 있어 다품종 소량 생산에 적합한 방식이다. 최근 디지털 정보가 네트워크 기술을 이용하여 어느 곳에서나 상호 주고받을 수 있게 됨에 따라 현장에서 직접 운전하는 방식이 원격운전 및 모니터링 시스템으로 발전하고 있고, 나아가 이러한 정보를 경영정보 시스템과 연계함으로써 종합적인 정보 및 생산 자동화 시스템 단계로 진화하고 있다. 디지털 자동화 시스템을 구성하는 주요 기술은 기존의 기계 시스템을 디지털 정보에 의하여 운전이 가능하게 하는 기술로써 일반적으로 “메카트로닉스(Mechatronics) 기술”이라 불리어지고 있다. 이전의 메카트로닉스 기술은 공작기계나 산업용 로봇과 같이 생산설비 및 기계들에 적용되는 것이 일반적이었으나 최근에 들어서 디지털 기술의 발전으로 다양한 분야로 그 응용 범위

## 기술해설

가 확대되고 있다. 최근에 들어서 기술의 발전과 정보화 사회로의 변화는 정보 통신 기술과 결합된 생산 시스템으로 발전하고 있다. 표 1에서는 자동화 시스템의 변화를 보여주고 있다.

1970년대까지는 유압시스템을 따라가는 전기 서보 시스템의 개척시대였다. 이미 전동기에서는 관성이 적은 구조를 특징으로 하여 [m/sec] 명령의 시정수를 가진 공작기계나 자기 테이프 장치에 실용화되고 있었는데 제어기의 전력변환장치는 사이리스터(Thyristor)의 전파 브리지 방식 정도의 수준을 적용하여 전동기 본래의 성능을 살리지 못하고 있었다.

1980년대 들어와 직류 서보 전동기 시스템이 많이 적용되었다. 직류 서보 전동기는 소형으로 큰 토크를 얻을 수 있으며, 시스템의 제어가 쉽고 응답특성이 좋은 장점을 가지고 있지만 브러시와 정류자를 사용하기 때문에 구조상의 문제점으로 인하여 브러시가 없는 직류 서보 전동기인 브러시리스(BLDC, Brushless DC) 전동기가 개발되었다. 또한 스텝핑 전동기(Stepping Motor)에 위치센서 등을 내장하고 피드백제어를 가능하게 한 서보 전동기의 형식인 '하이브리드형 스텝핑 전동기'도, 공장 자동화 서보 구동 장치에 적용되었다.

1990년대 중반에 들어서면서 직류전동기의 구조상 문제점을 해결하기 위하여 전력용반도체 소자개발에 따른 우수한 전력변환 장치들이 구현되므로 교류 전동기 서보 제어 시스템이 산업 생산전체 분야에 적

용이 이루어지게 되었다. 교류 서보 전동기로서는 유도전동기(IM, Induction Motor)와 동기전동기(SM, Synchronous Motor)가 이용되고 있으며, 용량이 큰 시스템(3[Kw] 이상)에서는 구조가 간단한 유도전동기가 적용되었으며, 보다 적은 용량에서는 영구자석 동기전동기(PMSM, Permanent Magnet Synchronous Motor)가 적용되었다.

2000년대에는 특성이 우수한 영구자석 개발에 힘입어 20[Kw]이상의 고정밀 고성능 서보 시스템에 동기전동기를 적용한 시스템이 상품화되기 시작했다. 서보 전동기 시스템 전체를 통해 반도체 제조장치, 칩마운터, LCD제조장치, 산업용 로봇, 사출성형기, 공작기계, 자동조립기계, 검사장치, 의료기기, 식품기계, 정밀가공기계, 공장자동화 분야, 사무자동화 기기, 컴퓨터 주변 장치 등에 폭넓게 이용되고 있다.

서보 시스템 기술의 구성 요소 별로 보면 서보 액츄레이터 기술, 드라이브 파워 증폭기의 기술, 오차의 연산증폭 하는 기술, 피드백 정보를 얻는 검출기 기술, 기구의 기술, 등의 모든 것을 종합하는 자동제어 기술로 구성되며, 이와 같은 기술은 고도의 현대제어 이론을 기초로 한 종합응용기술 분야로 발전하고 있다. 또한 서보 시스템의 특성에 전적으로 의존하는 메카트로닉스 시대의 특징은 시스템화가 발전되어 보다 복잡한 동작특성과 소형, 고속, 고정도의 응답이 요구된다는 것이다.

서보전동기 제어기술은 1980년대 초에 아날로그

표 1. 자동화 시스템의 변화

기 계 화	자 동 화	전동, 디지털화
<ul style="list-style-type: none"> <li>· 단위 기계의 설비 제어</li> <li>· 기계식 캠 방식</li> <li>· 체인, 천공 테이프 방식</li> <li>기계 운전 제어</li> <li>· 일정 동작의 반복</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 대형화된 시스템 설비</li> <li>· 대량생산 방식</li> <li>· 무인화 시스템</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 셀 단위의 자동화</li> <li>· 다품종 소량 생산 방식</li> <li>· 생산을 위한 셋팅의 자동화</li> <li>· 고속, 고정밀 제어를 통한 생산성 향상</li> <li>· 시스템 변경이 용이</li> <li>· 네트워크에 의한 시스템</li> </ul>

형 드라이브가 개발되었고, 1990년대에 들어서 디지털화 되었다. 2000년대에는 디지털 기술의 발전에 따른 프로세서의 고속 연산처리로 서보의 응답 특성이 크게 향상되었고, 적응제어 기술의 발전으로 사용

자가 각종 계인들을 쉽게 조정 및 셋팅할 수 있게 되었으며, 센서기술의 발전에 따라 고 정밀 제어가 가능하게 되었다. 표 2는 교류 서보전동기 제어시스템 기술변화를 나타낸 것이다.

표 2. 교류 서보 전동기 제어 기술 변화

구분	1990	1995	2000년	
System 운영	Micro Controller (8[bit])	Micro Controller (16[bit])	DSP (32[bit])	DSP (32[bit])
CPU 속도		[20[MHz]]	[40[MHz]]	[150[MHz]]
Sampling Time		200 $\mu$ s	100 $\mu$ s	50 $\mu$ s
주파수 응답 특성	100[Hz]	150[Hz]	250[Hz]	800[Hz]
속도제어방식	1 : 3000	1 : 3000	1 : 5000	1 : 10000
제어방식	PI제어 없음	PI제어 Digital 방식	개인 튜닝제어 Digital 방식	적응제어 Digital 방식
- 제어이론	없음	Digital 방식	Digital 방식	Digital 방식
- 위치제어 루프	Analog 방식	Digital 방식	Digital 방식	Digital 방식
- 속도제어 루프	Analog 방식	Digital 방식	Digital 방식	Digital 방식
- 전류제어 루프	광학식 인코더	광학식 인코더	광학식 인코더	광학식 인코더
위치/속도센서	[2000 Pulse/rev]	[6000 Pulse/rev]	[8192 Pulse/rev]	[17[bit/rev]]
User MMI	[Parallel 15선식]	[Parallel 15선식]	[Parallel 9선식]	[Serial 5선식]
	없음	Loader	PC Interface	Field Bus 통신

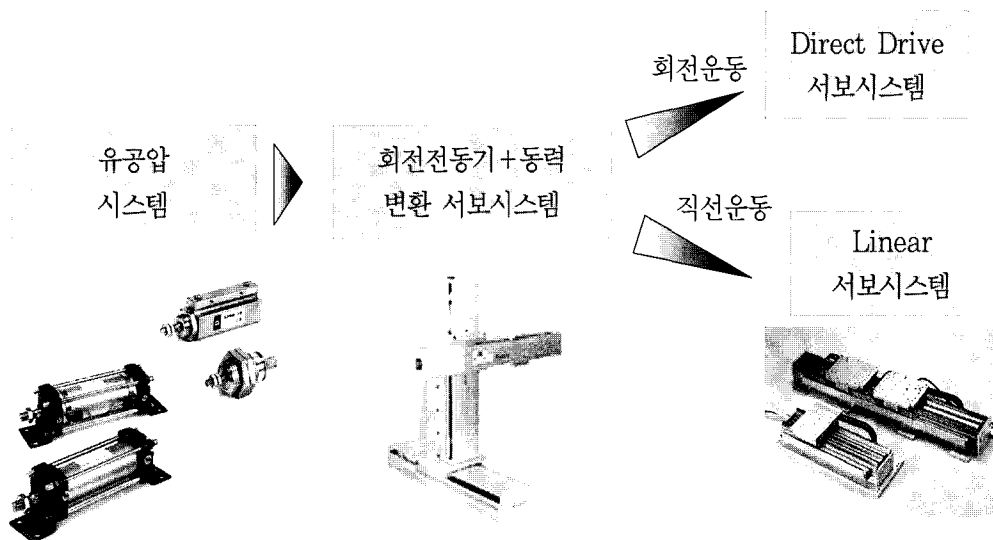


그림 1. 고속, 고성능 응답 제어를 위한 서보 시스템 변화

## 기술해설

또한 종래의 서보 제어시스템은 그림 1에서와 같이 회전형 서보전동기에 동력변환 기기인 볼스크류, 타이밍벨트 및 감속기 등을 결합하여 용도에 따라 사용하여 왔으며, 이러한 방식은 동력 변환 과정에서의 기계적 및 제어적인 문제점으로 인하여 고속, 고성능 응답 제어에 한계가 있어 왔다. 최근에 들어서 이러한 문제점을 해결하기 위해서 직선운동의 경우 선형전동기(LM, Linear Motor)를 응용하고, 회전운동의 경우 저속 대 토크형 직접구동(DD, Direct Drive) 방식의 서보전동기 제어 기술이 개발되어 응용 범위가 확대되고 있다.

### 3. 메카트로닉스 산업의 기술동향

서보전동기 제어시스템의 주요 기술을 요구하는 메카트로닉스 분야는 초기에는 기계와 전자 기술을 융합한 기술을 의미하는 용어으로써 시작되었으며, 수작업이 아니라 기계를 전자식 신호에 의하여 일정한 동작을 반복적으로 운전하도록 하는 기술이었다. 그러나 전력전자 및 반도체 기술이 발전하면서, 보다 복잡한 기능을 수행할 수 있는 기술이 개발되어 그 응용 범위가 확대 발전하여 왔다. 최근에는 이러한 하드웨어 기술이 정보통신(IT) 기술과 융합되면서 새로운 산업으로서의 영역이 급속히 확대되어 가고 있으며, 이러한 복합화 추세는 구성 요소간 기술의 상승적 발전을 촉진하고 있다. 정보산업과의 결합과 아울러 인공지능 기술의 발전으로 메카트로닉스 산업 응용분야는 과거의 전통적인 생산부문에서 생활서비스, 운송, 군수분야로 그 범위가 확대되고 있는 추세에 있다. 그림 2는 수작업의 노동 집약적 산업에서 정보화 사회를 기반으로 한 지식 산업으로 변천 되어 가고 있는 변화 상태를 그림으로 표시한 것이다. 그림 3은 전통 메카트로닉스 산업이 생산부문에서 응용분야로 변천되고 있는 추세를 나타낸 것이다. 메카트로닉스 기술의 응용분야는 과거의 가공 및 공작기계, 산업기계,

산업용 로봇, 조립자동화 설비와 같은 생산기반 기기 분야에서 가정용 로봇, 의료 및 재활서비스, 운송 및 국방산업 분야에까지 그 범위가 확대되고 있고, 그에 따른 다양한 기술이 개발되고 있다.

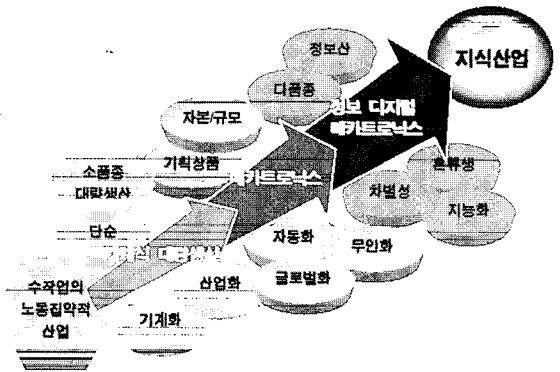


그림 2. 산업사회의 변천과정

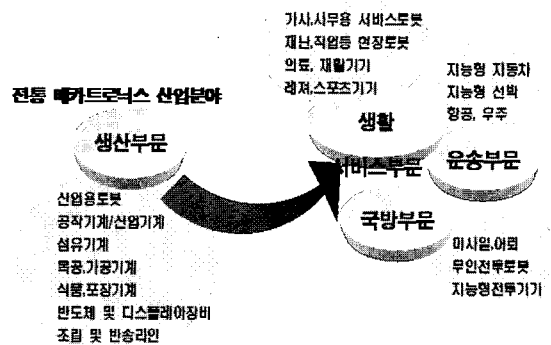


그림 3. 메카트로닉스 산업의 변천 추세

그림 4는 디지털 메카트로닉스 산업에 있어서 구성 요소부품과 응용기술 및 응용분야의 관계를 나타낸 것으로, 크게 5가지 요소로 분류할 수 있다.

기계 기구부품은 구동체를 지지하고, 동력을 전달 또는 변환하는 등의 역할을 하는 부품으로 고속, 고정밀 운전에 적합한 구조의 기술개발이 진행되고 있다.

센서 및 조작기기 부품은 접촉, 근접, 계수와 같은 상대정보나 위치, 거리, 압력, 힘 등과 같은 물리량 정보나 시각, 냄새, 바이오와 같은 감각 정보를 디지

텔 정보화하는 부품과 릴레이, 밸브와 같은 조작을 하는 부품으로 응용 분야의 특성에 따라 다양한 방식의 기술이 개발 및 상용화 되고 있다.

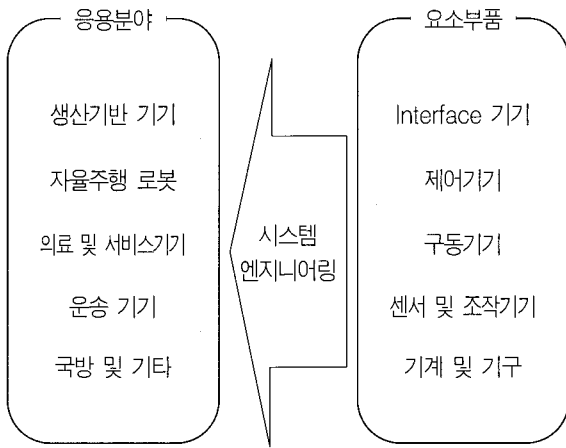


그림 4. 디지털 메카트로닉스 산업의 구성

구동기기는 기계장치를 구동 제어하는 부품으로써 과거의 유공압 방식에서 전동기를 이용한 전동 방식으로 급속히 대체되고 있다. 전동방식에 적합한 전동기는 고속 회전용의 스피들 전동기, 일반 속도 제어용 인버터 및 BLDCM, 고정밀 위치제어용 서보 전동기, 소형 기기용 마이크로 전동기와 같이 응용 분야에 따라 다양한 전동기 제어 기술이 개발되어 사용되고 있다. 그 중에서 고속, 고정밀화 및 고성능 추세에 따라 서보전동기에 의한 제어 기술이 급격히 발전하고 있으며 가장 보편적으로 사용되고 있다.

제어기기는 기계 시스템의 운전을 종합적으로 제어하는 부품으로 제어 대상에 따라 시퀀스(Sequence) 동작 제어, 위치 및 속도 제어, 물리량에 대한 상태제어 등의 역할을 수행한다. 특히 기계장치의 각종 운전기능을 디지털로 제어하기 위해서는 제어기기의 역할이 필수적이며, 기계장치의 성능에 중요한 역할을 차지하고 있다.

인터페이스(Interface)기기는 사람이 기계장치를

운전조작 및 모니터링 하기 위한 HMI(Human Machine Interface)기기와 기계 유닛(Unit)간의 인터페이스로 나눌 수 있다. HMI기기는 과거의 단순한 숫자 표기방식에서 그래픽을 이용하여 사용자에게 보다 쉽고, 편리한 환경을 제공하는 기술로 발전하고 있다. 기계 유닛 간의 인터페이스 기술은 종래의 점점을 이용한 ON/OFF 정보와 연속 데이터를 전달하는 아날로그 신호정보에서 보다 다양하고 편리하며 고속으로 많은 정보를 전달할 수 있는 네트워크 기술로 진화하고 있다.

#### 4. 서보용 전동기의 특성과 적용 전망

서보 시스템에 적용되는 전동기는 동력 전달용으로서의 전동기와는 달리 정지상태에서 급격한 가속을 필요로 하는 점 때문에 기동 토크가 커야 하며, 적은 에너지로 빠른 응답특성을 얻기 위해서는 회전자의 관성이 적어야 하며, 연속적으로 정역 운전이 가능한 특성을 반드시 가져야만 한다. 특히 관성을 적게 하기 위하여 회전자의 직경을 적게 하고 축 방향으로 적층된 길이를 길게 하는 형태를 가진다.

직류전동기는 제어 구조가 간단하고 큰 파워레이트를 가지는 장점으로 초창기의 서보 시스템에 적용하였다. 그러나 이 직류전동기는 브러쉬와 정류자를 사용하는 등의 기계적인 문제점과 많은 단점을 가진다. 이를 개선하기 위하여 회전자에 영구자석을 사용하여 직류전동기의 정류자와 브러쉬를 전자회로로 교체하여 직류전류에 의하여 회전각이나 속도를 제어하는 브러쉬리스 직류전동기(BLDCM, Brushless Direct Current Motor)가 소용량의 일반시스템에 적용되고 있는 실정으로, 동작 원리는 근본적으로 영구자석 동기전동기(PMSM)와 같은 구조이다.

스텝핑 전동기(Stepping Motor)는 하나의 입력 펄스에 일정한 각도로 회전하는 전동기로서 총 회전 각도는 입력 펄스의 개수에 비례하게 되고, 회전속도

는 입력펄스의 주파수에 비례하게 된다. 따라서 위치는 입력펄스의 개수로, 속도는 입력펄스의 주파수로 제어가 가능하기 때문에 오픈 루프 제어시스템으로 간단하게 제어되는 장점이 있어 특수한 용도의 서보 시스템에 적용되기도 한다.

교류전동기는 구조에 따라 동기전동기(SM, Synchronous Motor)와 유도전동기(IM, Induction motor)로 크게 나뉜다. 교류전동기는 고정자에 3상 전류를 인가하여 회전자계를 발생시키는 원리는 같으나, 회전자에 영구자석을 사용하여 토크를 발생시키는 형태가 동기전동기이며, 회전자계에 의하여 회전자에 유도된 전류에 의하여 토크를 발생하는 형태가 유도전동기이다.

동기전동기는 회전자에 영구자석을 사용하므로 제어가 쉽지만 영구자석을 사용하기 때문에 주로 30(Kw)이하의 중·소 용량 전동기를 인버터로 구동되는 교류 서보 시스템 전동기의 주류가 되고 있다. 영구자석 교류 서보 시스템은 회전자에 영구자석을 사용함으로써 적은 전류로 높은 토크를 발생시킬 수 있을 뿐만 아니라, 전동기의 크기를 컴팩트하게 할 수 있고, 고성능 정밀제어가 용이한 장점이 있어 소형 서보 시스템의 대부분을 차지하고 있다. 또한 고 에너지적 네오디뮴계 영구자석의 양산으로 가격이 저렴해지고 적용 범위도 점차 확대되고 있는 추세이다. 서보용 영구자석 동기전동기(PMSM)의 특성은, 영구자석에 의하여 자계를 만들고, 전류는 토크를 발생하는데 사용되기 때문에 적은 전류로 높은 토크를 발생시킬 수 있으며, 효율이 높고, 적은 사이즈에서 큰 토크를 출력할 수 있으며, 브러쉬가 없어 소음 및 진동이 적고, 브러쉬 마모에 따른 분진 및 유지 보수가 간단하며, 고성능 정밀제어에 적합하도록 고 정밀 위치센서를 내장할 수 있는 특성을 가진다.

교류 서보전동기에 사용되는 표면부착형 영구자석 동기전동기(Surface mounted Permanent Magnet Synchronous Motor, SPMSM)의 영구자석은

페라이트 자석을 주로 사용하여 왔으나, 최근에 들어서 고 에너지적의 네오디뮴 자석을 적용한 전동기로 대체되는 추세이다. 네오디뮴 자석을 채용한 서보 전동기는 페라이트 자석을 이용한 전동기에 비하여 체적이 약1/3정도의 크기로 작아지고, 효율이 높은 특징을 가진다. 그러나 아직까지는 산업용으로 대용량(30(Kw)이상)화에는 제작에 어려움이 따르고 있다.

유도전동기는 회전자에 전류가 유도되기 위해서는 회전자계의 회전속도보다 회전자의 속도가 슬립(slip)으로 인하여 속도의 차이가 있다. 회전자계의 속도는 동기속도( $N=120(f/P)$ )로 공급 전원의 주파수에 비례하게 된다. 고성능 고정밀을 요하는 유도전동기 속도제어 시스템에 있어서 실제 회전자의 회전속도는 슬립에 의하여 회전자계의 속도와 차이가 일어나고 부하에 따라 슬립이 변하기 때문에 복잡한 연산을 요구하는 벡터제어(Vector control)가 이루어져야 한다. 농형 유도전동기를 벡터제어 의하여 대용량에서도 정밀제어가 가능하므로 30(Kw)이상의 중·대용량형 서보 시스템에 이용된다. 일반적으로 유도전동기를 사용한 교류 서보 시스템은 인코더를 부착하여 정밀한 제어가 가능하도록 제작되는 시스템으로, 운전주파수를 높게 하면 그만큼 속도를 높일 수 있다. 대형 전동기 제어 시스템에서는 현재 최고 회전속도가 50,000(rpm)정도까지 제품화되고 있다. 따라서 앞으로 서보 시스템에 적용되는 전동기는 직류 전동기는 사용되지 않고 전적으로 교류전동기가 적용될 것이다. 교류전동기에서 중 소용량의 서보 시스템에서는 영구자석 동기전동기가, 중 대형 시스템에서는 유도전동기가 적용될 것으로 전망한다.

## 5. 교류 서보전동기 제어 시스템의 적용과 기술동향

미래의 메카트로닉스 기술의 응용에 적용되는 고성능 정밀 서보 제어 시스템에서는 교류 서보전동기를

사용하여 디지털화된 제어 시스템이 필수적으로 사용될 것이며, 기술의 응용 분야의 용도 및 수요자의 욕구에 따라 다음과 같은 기술개발이 진행되고 있다.

### 5.1 고성능 정밀 제어를 통한 품질 향상

각종 기계 장치에서의 구동 유닛의 정확한 위치 또는 속도제어는 제품의 품질에 직접적인 영향을 미치게 됨에 따라 기계장치의 기술력에 의한 고성능 정밀 제어가 필수적으로 요구된다. 고정밀 제어를 위해서는 정밀한 위치 또는 속도를 측정할 수 있는 센서 기술이 필수적이며, 이러한 위치 및 속도측정 센서로써 광학식 증분형 인코더(Encoder)가 주로 사용되고 있다. 교류 서보전동기는 과거 1회전당 위치 분해 능력이 1,000[Pulse]에서 13만[Pulse](17[bit])로 100배 이상 정밀해 졌고, 그 결과 위치제어에 있어서 전자적인 위치제어 단위가 미크론 단위에서 나노 단위로 발전하게 되었다. 또한 속도제어에 있어서도 고분해능력을 가지는 인코더에 의한 정밀한 속도측정과 고속 DSP에 의한 빠른 속도연산으로 정밀한 속도제어가 가능하게 되었다. 이러한 제어 정도의 향상은 기계장치 입장에서 수요자의 까다로운 요구 조건에 부합하는 고품질 제품의 양산이 가능하게 되었고, 교류

서보전동기를 채용한 기계장치가 상대적으로 경쟁력을 갖게 되었다. 그림 5는 위치 분해 능력에 따른 인코더 방식의 발전 과정을 보여주고 있다. 최근에 이르러 광학 또는 자기방식의 센서로부터 추출된 Sine, Cosine의 아날로그 신호를 체배하여 고정도 위치정보를 추출하는 기술이 발전하면서 1회전당 100만 Pulse 이상의 위치 분해능을 만들어 내는 기술이 개발되어 상용화 되고 있다. 이러한 고정도 위치 분해능 센서기술은 제어 알고리즘 및 고성능 정밀 전동기 구동기술의 발전과 결합되면서 나노 제어로 급속히 발전하고 있다.

### 5.2 고속 연산 처리와 빠른 응답을 통한 생산성 향상

기계장치의 생산성을 높이기 위해서는 빠른 가감속 능력을 갖는 구동장치가 필수적이다. 빠른 가감속을 위해서는 대단히 큰 순간 회전력을 갖추어야 하고, 속도제어에 있어서 빠른 응답성을 가져야 한다. 교류 서보전동기는 최대 300~500[%]의 높은 순시 최대 토크를 출력할 수 있어 순간 가감속 능력이 우수하고, 교류 서보전동기 드라이브의 속도제어 응답 능력도 과거 직류 서보 방식의 100[Hz]에서 800[Hz]로 발

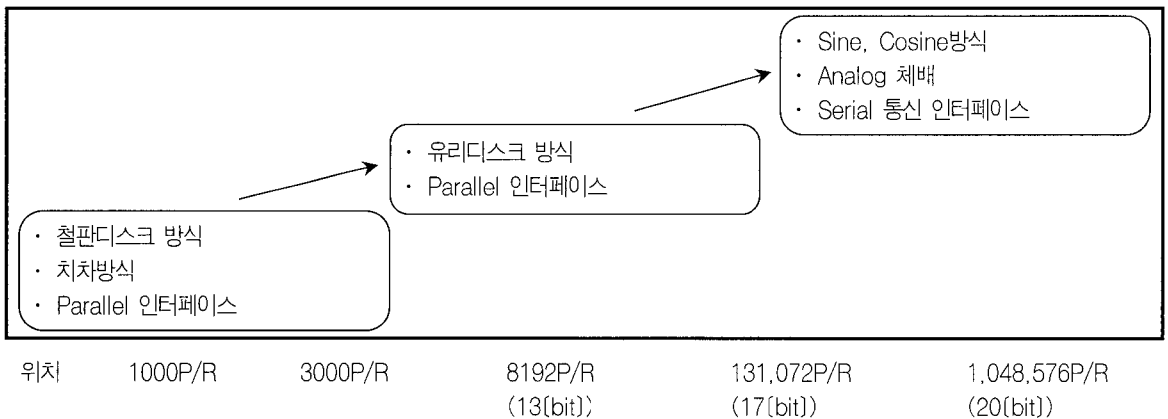


그림 5. 인코더 센서의 위치 분해 능력에 따른 기술 발전





이러한 응용에서 급 가속으로 인하여 기계장치가 충격을 받는 경우는 직선 가속 운전패턴은 한계가 있어 S자 가속 또는 전용 가속 패턴을 적용하는 기술이 적용되고 있다. 속도제어 운전을 주로 하는 기계장치에 있어서는 빠른 응답능력은 속도제어 정밀도가 향상되고, 순간적인 부하변동에도 빠른 속도 추종성을 갖도록 한다. 따라서 기계장치에 있어서 구동전동기의 빠른 속도제어 응답능력과 빠르고 부드러운 가속 제어기술은 제품 생산성에 매우 중요한 요소로 작용하게 된다. 그림 6은 제어기 시스템에 적용된 DSP의 적용과 발전 과정을 나타낸 그래프이다.

서보 시스템 제어에 있어서 그림 7과 같이 고성능 프로세서에 의한 연산 처리속도의 향상은 결과적으로 연산주기인 샘플링 시간을 단축하여 주고, 이러한 제어시간의 단축은 제어 응답 특성뿐 만 아니라 전체적인 제어 성능 향상을 가져온다.

### 5.3 다양한 형태의 기계장치에 맞는 전용화된 설계

서보 시스템에 요구되는 다양한 교류전동기의 운전 특성과 여러 가지 형태의 구조를 가지는 전동기의 제작이 용이하므로 용도에 따른 응용 분야가 광범위하다. 그림 8은 다양한 운전 특성과 구조를 보여준 교류 전동기의 예이다.

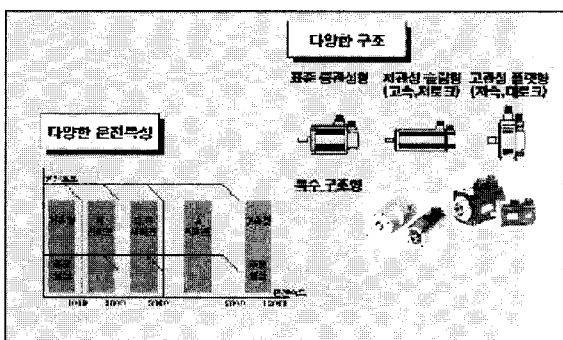


그림 8. 다양한 운전 특성과 구조를 가지는 교류 전동기

기계 장치에 맞는 제어기기 및 구동기기의 전용화 설계는 컴팩트한 기계를 만들 수 있는 장점뿐 만 아니라 기계시스템에 최적화된 성능 및 기능을 구현할 수 있기 때문에 기계에 있어서 경쟁우위를 점할 수 있는 중요한 요소가 된다. 요소부품 업체 입장에서는 이러한 기계업체의 요구에 맞추다 보면 기종에 무수히 많아지는 문제점이 있어서 대량으로 요구하는 곳 이외에는 대응을 하기가 어려운 현실이다.

최근에 들어서 국제적인 경쟁시대에 직면하고, 시장 환경도 급격하게 변하면서 보다 더 경쟁력 있는 제품을 갖추지 않으면 생존이 어려워지는 상황이 되었고, 이제 더 이상 기계 시스템의 최적화 설계가 이루어지지 않으면 기계업체와 부품업체 모두 생존이 어려워지는 현실에 직면하면서 기계장치에 맞는 전용화 설계 및 기술개발이 활발히 추진되고 있다.

제어 시스템의 구성요소간의 기능의 통합 및 간소화는 기계장치에 있어서 기존의 개별 유닛에 대한 최적화 설계방식에 비하여 획기적인 효과를 기대할 수 있는 장점으로 여러 가지 기술 개발 및 상용화 시도가 진행되고 있다. 그림 9는 유닛 간에 기능 및 구조를 통합한 전용화 설계의 예를 나타낸 것이다.

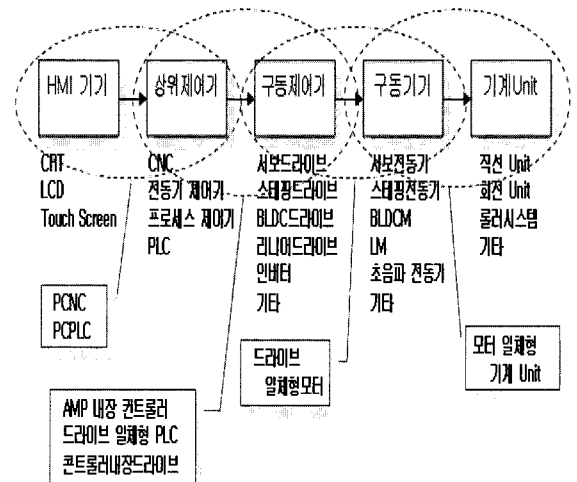


그림 9. 유닛 간에 기능 및 구조를 통합한 전용화 설계

### 5.4 자동 튜닝 및 적응제어

교류 서보전동기의 제어특성을 최적화하기 위해서는 기계장치의 특성에 따라 적절한 제어 관련 조건들을 설정해 주어야 한다. 이러한 조건의 설정은 기계장치뿐만 아니라 제어에 대한 경험과 전문지식을 필요로 하기 때문에 일반 사용자가 쉽게 조작하기 어렵고, 쉽게 배우지 못하는 문제점이 있어 왔다. 특히 복잡한 기계장치나 운전특성이 까다로운 경우에는 복잡한 제어 알고리즘과 운전방식이 적용되기 때문에 서보 드라이브의 파라미터 설정이 매우 어려워지게 된다. 이러한 사용상의 불편함을 해소하기 위하여 각종 개인들을 자동으로 튜닝하여 설정하거나, 기계 상태에 따라 서보 스스로 적응하여 운전하는 기술이 개발되어 사용되고 있다. 이러한 기술의 발전으로 초보자도 쉽게 서보를 적용하여 시스템을 만들 수 있도록 되어가고 있으며, 기존의 서보에 대한 어렵고 배우기 힘들다는 인식이 주위에서 흔히 볼 수 있었으나, 자동화에 대한 기초 지식이 있으면 쉽게 사용할 수 있다는 형태로 변화하고 있다.

최근 들어서 각종 제어 알고리즘의 개발과 프로세서의 발전으로 제어 변수를 스스로 설정하거나 기계의 상태에 따라 스스로 적응하여 제어하는 기술이 개발되어 사용되고 있으며, 제어장치 스스로 각종 유닛을 접속한 뒤 전원을 투입하면 스스로 모든 작업조건을 설정하는 플러그인(Plug In) 기술의 개발이 확대되고 있다. 그림 10은 자동화 기기에서의 플러그인 기술의 예를 보여주고 있다.

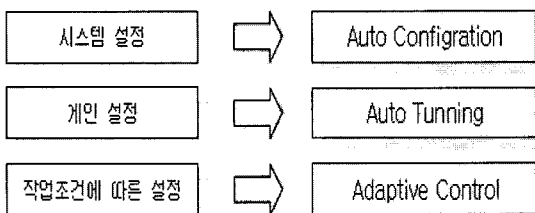


그림 10. 자동화 기기에서의 플러그인 기술

### 5.5 서보 기능과 성능의 차별화

기존 교류 서보 드라이브의 운전 기능은 용도에 따라 위치운전 펄스 지령에 의한 위치제어 운전모드와, 속도운전 지령에 의한 속도제어 운전모드 및 운전토크 지령에 의한 토크제어 운전모드를 선택하여 사용할 수 있도록 되어 있으며, 이러한 세 가지 운전모드를 위한 각종 하드웨어를 모두 갖추고 있다. 기능의 복합화는 메이커 입장에서 보면 모델 수를 줄이고, 표준화함으로써 생산단가와 재고부담 및 납기관리가 용이한 장점이 있으나, 사용자 입장에서 보면 사용하지 않는 기능에 가격을 부담한다는 불만이 발생할 수 있다. 따라서 디지털화 되어 있는 교류 서보 드라이브의 경우에는 위의 기능이 소프트웨어적으로 구현되기 때문에 가격인하의 요인이 그다지 크지 않으나, 서보의 사용용도가 높은 순시 토크 특성이나 고성능 정밀 고속제어가 필요 없는 경우에는 고가의 전력용 반도체 소자나, 고가의 제어회로를 구성하지 않아도 되는 이점이 있기 때문에 상당한 가격인하 요인이 발생하게 된다. 이러한 가격인하 요인을 적용한 저가형 교류 서보 드라이브 제품이 개발되어 사용되고 있는 실정이다.

### 5.6 기능의 통합에 따른 시스템의 간소화

상위 제어기로부터 위치, 속도 또는 토크 지령을 받아 해당 지령을 정밀하게 제어하는 기존 서보 드라이브 방식에서는 모든 시스템 운전제어 기능을 상위 제어기가 담당하게 된다. 이 경우 상위제어기가 할 일이 많아지기 때문에 시스템이 복잡하고, 다양한 상위 제어기에 대한 전문기술을 가진 숙련된 기술자에 의해서만 서보전동기 제어시스템을 구축할 수 있었다. 이러한 문제점을 개선하기 위하여 다양한 방식의 기술개발 노력이 이루어져 왔고, 최근에 이르러서는 상위제어기와 서보의 역할 분담의 변화가 일어나고 있으며, 그 형태도 기계장치 특성에 따라 다양하게 나타나고 있다. 로봇이나 공작기계와 같이 3축에서 6축

제어가 일반적이고, 같은 모델이 연속적으로 양산되는 경우에는 모션제어기와 서보전동기 구동 드라이브를 일체화한 구조로 변화하고 있으며, 반도체 장비와 같이 다수의 축을 사용하는 경우에는 상위제어기와 개인용 PC를 통합한 PCNC의 형태로 변화하고 있다. 이와 같은 기능의 통합화는 기계장치에 고유의 기능을 부가하거나, 간소화하여 경쟁력을 높일 수 있는 장점을 제공하기 때문에 급속히 확산되고 있다. 특히 모션 제어기능을 서보에서 수행하고 전체 시스템 운영은 PLC가 수행하는 시스템의 경우에는 별도의 모션제어기가 필요 없어 시스템이 간소화되고 가격이 저렴해지며, 유지보수가 간편해질 뿐만 아니라 기계장치에 맞춘 부가적인 전용기능을 제공함으로써 기계장치의 경쟁력을 향상할 수 있는 장점이 있어 그 응용범위가 급속히 확대되고 있는 추세에 있다.

## 5.7 셋팅의 자동화

다품종 소량생산이나 혼류 생산 방식은 잦은 생산모델의 변경으로 인한 설비의 셋팅(Setting)이 수시로 발생하게 된다. 이러한 경우 기존의 기계식 방식은 캠의 교체, 각종 운전속도 및 위치의 변경, 작업조건 변경 등에 따른 관리비용이 증가하게 되어 생산원가가 상승하는 주요한 원인이 된다. 전자식 자동화 시스템의 경우는 통신방식을 이용하여 간편한 셋팅이 가능하게 됨으로써 잦은 생산모델의 변경에 따른 관리비용의 증가를 억제함으로써 생산원가를 낮출 수 있는 시스템 적용이 일반적인 추세이다.

## 5.8 통신에 의한 서보시스템 운전

기존 교류 서보 드라이브의 인터페이스는 점점에 의한 입출력과 아날로그 전압에 의한 입출력 또는 펄스열에 의한 입출력으로 사용되어 왔으며, 통신은 파라미터 설정의 보조 수단으로 주로 이용되어 왔다. 최근에 들어서 통신기술의 급속한 발전으로 산업계에서

사용할 수 있는 신뢰성이 높은 고속 통신 방식이 개발되었고, 통신을 이용한 주변 기기들이 다양하게 개발되기 시작하였다. 서보 드라이브도 다양한 통신 주변 기기와 고속 통신기술을 이용하여 단순한 파라미터 설정에서 좀더 발전하여 운전데이터 설정 또는 운전지령과 운전 상태의 실시간 모니터링 등을 할 수 있는 기술이 개발되어 응용되고 있다. 현재 산업계에서 사용하는 통신 기술은 RS232, RS422, RS485와 같은 방식을 이용하여 데이터 설정 및 모니터링을 하는 방식에서 Device Net, Sercos, Profibus 등의 Field Bus를 이용하여 서보에 실시간으로 운전지령을 주고 각종 제어정보를 모니터링 하여 기존의 아날로그나 펄스열과 같은 방식의 운전지령을 통신방식으로 대체한 형태의 기술개발이 진행되고 있다. 최근에는 반도체장비 등을 제어하는 경우에서와 같이 다축 시스템이 증가하면서 Ether Net이나 IEEE1394와 같이 100(Mbps) 이상의 초고속 통신을 이용하여 제어신호선의 배선 없이 통신선만으로 서보 시스템을 제어하는 기술이 개발되어 상용화되고 있다.

이러한 통신에 의한 서보 시스템 제어는 자동화 시스템을 인터넷 환경으로 접속함으로써 한 곳에서 모든 시스템의 운전을 제어하고 모니터링할 수 있도록 하여 주기 때문에 향후 급속도로 확산될 전망이다.

## 5.9 네트워크 구성 예

최근에는 IT산업을 중심으로 발전한 네트워크(Network) 기술이 메카트로닉스 분야에 접목되면서 각종 디지털 정보를 네트워크를 통하여 주고 받는 기술이 활발히 개발되고 있다. 그림 11은 서보 시스템 제어 계층간의 네트워크 방식의 예를 보여주고 있다.

제어 시스템간의 네트워크가 구성되면 각종 디지털화된 유닛 및 시스템 운전정보를 다양한 위치에서 손쉽게 주고 받을 수 있기 때문에 운전자가 원격으로 기계 및 조작할 수 있고, 각종 운전 정보를 경영정보 시

기술해설

스택하고 연결하여 생산방식의 획기적인 기술발전을 이룰 수 있다. 그림 12는 네트워크 시스템에 의한 생산방식의 사례를 보여준 것이다.

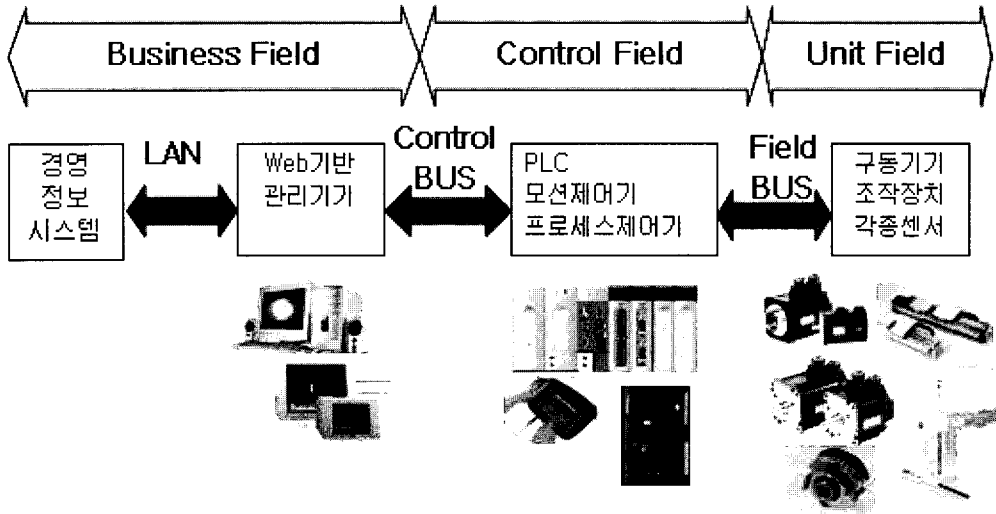


그림 11. 제어 시스템 계층간의 네트워크 방식

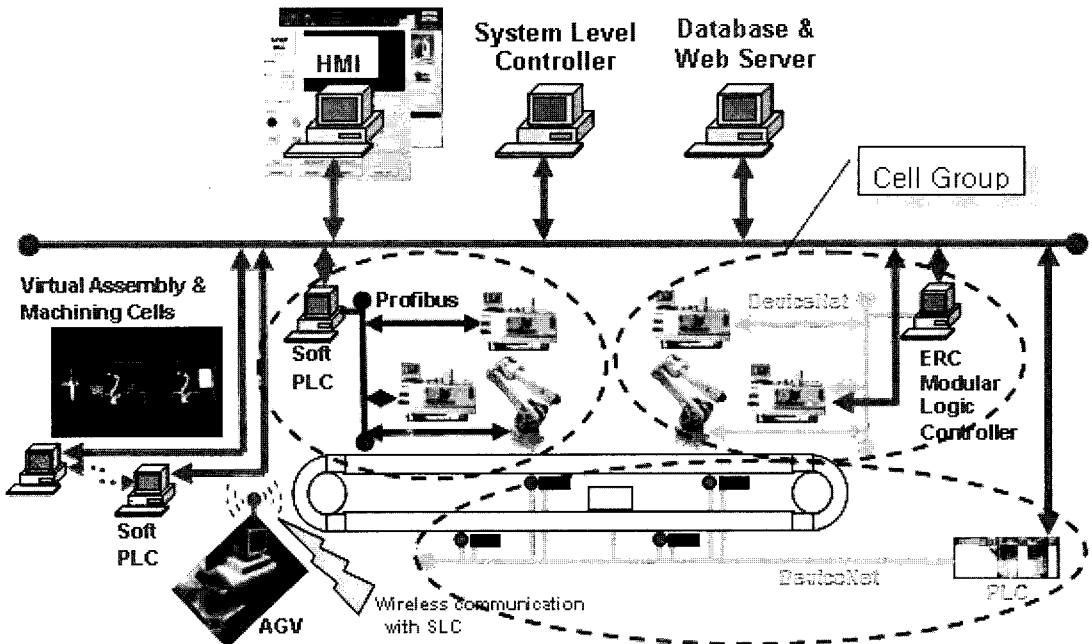


그림 12. 네트워크 의한 생산방식 사례

## 6. 서보전동기 제어 시스템의 발전 방향

### 6.1 메카트로닉스 응용산업 분야와 기술동향

메카트로닉스 기술의 응용산업은 전 분야에 걸쳐 단순 자동화 단계에서 지능화 단계로 진입하고 있으며, 각 응용산업의 기계장치들이 보다 빠르고 정확하며, 청정환경을 제공하도록 하기 위한 기술이 급속히 개발 및 상용화되고 있다. 이러한 산업의 변화는 화석 에너지에서 전기에너지를 사용하는 방식으로, 기계의 구동기기 또한 유압이나 공압에서 전동식으로 변화하고 있다.

표 3은 메카트로닉스 응용산업의 분류와 분야별 기술동향을 정리한 것으로 고속, 고성능 정밀 제어가 적

합한 서보 시스템 제어방식의 구동기기가 급속히 확산되고 있음을 알 수 있다. 특히 서보 시스템 제어에 있어서는 보다 더 빠르고 정밀하게 하기 위한 기술개발과 함께 응용 산업분야의 기계특성에 맞는 다양한 형태와 기능의 서보 제어 기술이 전 분야에 걸쳐 이루어지고 있다.

### 6.2 생산기반 산업에서 서보 제어시스템의 발전방향

생산기반 산업분야는 크게 공작기계, 금속 가공기계, 목공가공기계 등과 같이 가공을 중심으로 하는 기계분야와 사출성형기계, 프레스기계, 섬유기계, 식품포장기계, 인쇄기계와 같은 다양한 원재료, 반제품 또

표 3. 메카트로닉스 응용분야와 기술동향

응용분야	제품종류	주요 동향과 향후 전망
생산기반 산업	공작 및 가공기계 일반산업기계 섬유기계 식품 및 포장기계 반도체장비 디스플레이장비 자동화라인 및 조립설비	다품종 소량생산에 적합하고, 생산성을 향상하며, 고품질 및 청정생산을 위해서 기계 구동방식에서 전동기 구동방식으로 급속히 대체되고 있다. 특히 고속, 고성능 정밀 제어에 적합한 서보시스템 구동기기가 향후 주류를 이룰 것으로 전망.
로봇 산업	산업용로봇 가정용로봇 서비스로봇	자율주행 및 학습과 판단기능을 갖춘 지능형 로봇산업으로 고속, 고성능 정밀 위치 제어가 가능한 구동기기 제어기술이 핵심 기술.
의료 서비스 산업	의료 및 재활 레이저 및 스포츠	인간의 신체기능을 보조 또는 대신하거나, 감각을 느끼게 할 수 있는 의료와 레이저 및 스포츠기기 산업분야로써 고속, 성능 정밀 제어가 필수적임.
자동차 운송 산업	자동차 및 철도 항공 선박	전기 에너지를 이용한 저진동 및 저소음의 운송기기들이 점차 확대되고, 그에 따라 전자식으로 고속, 고성능 정밀 제어되는 모듈단위의 메카트로닉스 기술의 수요가 증대될 전망.
국방 기타	군수기기 기타	전자식제어를 통한 무인화 및 지능화된 군수기기들이 급속히 개발되어 대체가 예상되고 그에 따라 내환경성이 우수하고, 고속 고성능 정밀 제어가 가능한 구동기기 제어기술 개발이 급속히 이루어지고 있다.

는 제품의 공정상의 작업을 하는 일반 기계분야와 반도체 및 디스플레이 공정 및 검사장비 분야와 기타 조립설비 및 자동화 라인 분야로 나눌 수 있다.

가공 기계 분야에서의 서보 제어 기술 동향은 고품질의 제품을 높은 생산성으로 생산하기 위한 기술개발이 주를 이루고 있다. 이를 위해서 고정밀(나노)제어 기술과 빠른 가감속을 위한 빠른 응답 제어 및 초고속 스핀들 모터와 연계된 고정밀 제어 기술이 중점적으로 개발되고 있다.

일반 기계분야는 가공기계와는 달리 정밀도가 가공 기계에 비하여 상대적으로 낮아 나노 제어까지 제어가 필요하지 않은 반면 기계 장치의 생산성이 특히 강조되는 분야라서 따라서 고속, 고응답 제어 성능을 이용한 빠른 가감속 제어기술이 중요시되고 있다. 따라서 가감속 특성을 극대화하기 위한 전용화된 서보전동기 및 구동 기기구조와 기계 특성에 맞는 서보 제어 기술이 주로 개발되고 있다.

반도체 및 디스플레이 장비 분야는 반도체의 집적화 기술이 발전함에 따라 장비분야에 사용되는 서보 제어 기술도 보다 더 정밀하게 제어를 하기 위한 기술 개발이 가장 활발히 이루어지고 있는 분야이다. 또한 치열한 국제 경쟁으로 인하여 생산성도 중요시되고 있기 때문에 서보의 고속, 빠른 응답 제어 성능도 아울러 중요한 기술이 되고 있다.

자동화 조립라인 및 설비분야는 상대적으로 고속, 고응답 특성에 대한요구는 적으나 다품종 소량생산에 적합하기 위하여 서보 제어 성능보다는 제어 기능상으로 Point To Point 위치결정 기능이 내장되거나, 네트워크에 의하여 운전정보가 전달하는 시스템 제어기능에 대한 기술이 개발되고 있다. 또한 단순한 서보 제어를 보다 더 저렴하게 구현하는 기술이 중요시 되는 분야이다.

생산기반 산업에서의 서보 제어기술의 발전 전망은 응용 산업 분야에 따라 약간의 차이는 있으나 전체적으로 고정밀, 고속, 고응답 제어가 가능한 제품으로 발전하고 있다.

### 6.3 새로운 응용분야로의 서보 제어 시스템 발전 방향

종래에는 서보 시스템 제어 기술이 생산기반 산업에서 국한되었으나 디지털 기술의 발전에 따라 그 응용 범위가 다양한 분야로 확대되고 있으며, 향후 그 시장은 기존의 생산기반 산업을 능가할 것으로 예상되고, 제어기술의 형태도 다양한 방식으로 발전할 전망이다. 가정 및 서비스 로봇의 경우 가정환경의 특성상 소형으로 컴팩트한 구조와, 저소음 특성을 갖는 서보전동기 제어시스템의 기술개발이 요구되고 있다. 또한 의료 및 재활기기 분야는 기존의 단순한 보조기구의 형태에서 환자의 특성에 맞도록 프로그램된 정밀한 전자식 제어시스템을 갖춘 기기에 대한 제어기술이 개발되고 있다. 따라서 고정밀 서보 시스템 제어 기술을 응용한 기기가 개발되고 있다.

또한 레저 및 스포츠기기 분야는 좁은 공간에서 다양한 체험 및 운동을 하기 위한 시뮬레이터 기기의 기술개발이 급속히 이루어지고 있으며, 사람이 실 상황과 근접한 감각을 느끼게 하기 위해서는 빠른 응답과 고정밀 서보 시스템 제어기술이 필수적으로 요구되고 있다. 운송 자동화 분야는 운송수단의 제어를 보다 더 단순하고 편리하게 하면서 기존의 유압이나 기계식의 단점을 보완하기 위하여 전동식으로 급속히 대체되고 있고, 특히 서보전동기 제어시스템 기술을 이용하여 운송기계의 지능화 기술개발이 진행되고 있다.

국방 산업 분야는 산업기반 산업보다 무인화 및 지능화 기술개발이 상당한 수준에 도달하였고, 현재에도 서보전동기 제어시스템 기술을 이용하여 고속, 고성능 및 고정밀 제어 이용에 대한 연구가 대단히 활발히 진행되고 있다.

## 7. 결 언

최근 미래의 메카트로닉스 산업에서 요구하는 고성

능 정밀기계 제어 시스템에 적용되는 서보전동기 제어 시스템의 기술에 대한 동향과 발전 전망에 대하여 살펴보았다. 이 내용이 앞으로 서보전동기 제어 시스템 분야에 관심 있는 회원 여러분께 조금이나마 도움이 되었으면 한다.

### 참 고 문 헌

- [1] “교류 서보전동기 제어시스템 실무교육 Workshop”, 영남이공대학 전기자동화과, 2005. 12.
- [2] “TMS320F2812 DSP를 이용한 서보전동기 제어시스템 개발 보고서”, 영남이공대학 전력응용기술연구센터, 2004. 12.
- [3] 김민희, 임태훈, 정장식, 김성호, “TMS320F2812 DSP를 이용한 산업용 SPMSM 정밀 제어시스템 개발”, 전력전자학회 논문지, Vol. 10, No. 2, 2005. 04.
- [4] “산업용 서보전동기 제어시스템 Workshop”, 영남이공대학 전기자동화과, 2003. 12.
- [5] “서보시스템 제어와 실습” 김민희, 정장식 공저, 보성각, 2006. 08.
- [6] User Manual (APD-VS Standard Series), Metronix, 2003. 07.

### ◇ 저 자 소 개 ◇



**김민희(金玟會)**

1951년 8월 25일생. 1974년 영남대학교 전기공학과 졸업. 1980년 동대학원 전기공학과 졸업(석사). 1989년 중앙대 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1979년 3월~현재 영남이공대학 전기자동화과 교수. 1993년 7월~1995년 8월 미국 테네시 주립대학 전기공학과. 전력전자응용연구센터(PEAC) 연구교수. 1996년 8월 IECON'96 최우수 논문상 수상. 현재 전력전자학회 감사 및 본 학회 조사이사.



**정장식(鄭張植)**

1962년 2월 1일생. 1984년 연세대 전기공학과 졸업. 1984~1989년 효성중공업 전동기 설계. 1989~1992년 효성중공업 기술연구소(제어용 전동기 개발). 1992~2000년 LG산전 연구소(서보전동기 및 제어기 개발). 2000년~현재 (주)메트로닉스 기술연구소 소장.