

# 산업용 고속·고정도 서보/스핀들 드라이브 기술의 최근 동향과 향후 발전전망

회 종 료

(현대정공(주) 기술연구소 공작기계연구부 개발팀장)

## 1. 개 요

일반적으로, 기계적 동력을 발생시키는 동력원으로 유압, 공압, 전기적 에너지변환 시스템 등이 널리 활용되어져 왔으나, 최근 증가하는 고속·고정도 응용에 대하여 기존의 유·공압 시스템으로는 적절한 대응이 곤란하기 때문에 전기에너지변환장치로 점차 대체되고 있다. 전기에너지변환장치는 전기모터를 사용하며, 자동화 관련기기외에도 다양하게 응용되고있다. 그림 1에 응용분야에 따른 모터용량을 도표로 표시하였다. 고속·고정도 응용에 사용되는 드라이브는 그림에서와 같이 정토크용 서보 드라이브(500W~5kW)와 정출력용 스펙들 드라이브(5~50kW)로 구분된다.

전력용 반도체소자와 마이크로프로세서의 급속한 발전은 모터를 구동하는 구동시스템의 소형화/경량화와 더불어 경제적인 시스템의 구축을 가능케 하고 있다. AC모터의 속도를 제어하기 위해서는 상용전원에서 공급하는 고정 전압과 주파수의 전원이 아닌 전압과 주파수가 가변되는 전원이 요구된다.

이는 교류전원을 직류전원으로 일차적으로 변환한 후 직류전원을 모터구동에 필요한 3상의 전원으로 재변환함으로써 실현된다. 이러한 전력변환장치는 AC를 DC로 변환하는 Converter와 DC를 AC로 변환하는 Inverter로 구성되어 있다. 그림 2 는 서보/스핀들 드라이브를 구성하는 전력용 반도체 소자와 제어기에 사용되는 프로세서의 변천 추이를 보여준다.

과거 DC 모터는 그 구조로 인하여 주기적 유지보수의 필요성, 고속·대용량 응용에의 곤란 등의 단점이 지적되었으나 간단한 제어방법으로 인하여 대부분의 산업기계에 사용되었다. DC모터의 대안으로 제시되었던 AC모터는 DC모터에 비해 제어방법이 복잡하여 가변속 드라이브로서의 응용이 지연되었으나 1970년 초반 제안되었던 Vector제어이론의 적용과 마이크로프로세서의 급속한 진보로 가변속 드라이브로의 응용이 가능하게 되었다. 1980년대 이후 고속

스위칭 전력반도체 소자 및 부동소숫점 연산이 가능한 DSP (Digital Signal Processor)등의 고속프로세서 개발에 힘입어 AC 모터 드라이브는 NC 공작기계로 대표되는 공작기계 시장은 물론이고, 각종 산업기계로 확산되어 현재 메카트로닉스 관련 모터 드라이브 시장의 90% 이상을 차지하고 있다.

한편, 시장의 AC화와 더불어 AC 드라이브 시스템에 대한 고객들의 요구가 다양화, 고도화되고 있고 또한 메카트로닉스 산업의 확대에 인하여 고성능의 보다 유연하고, 지능

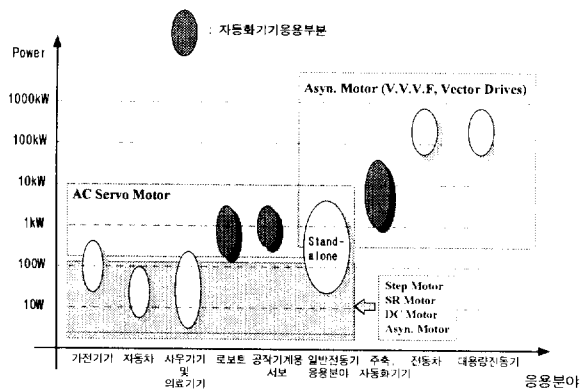


그림 1. AC모터의 용량별 응용분야

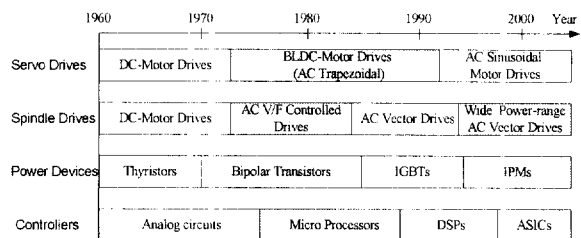


그림 2. 반도체 소자와 관련 기술의 발달에 따른 드라이브 변천 추이

화한(Intelligent) 제품에 대한 요구가 증대되고 있다.

지 Converter회로에 대한 일반적인 장·단점을 비교하였다.

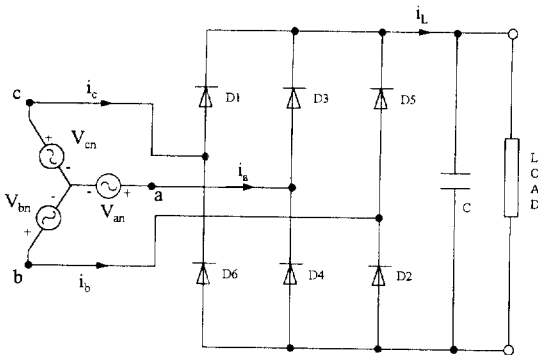
## 2. 모터 구동 시스템

### 2.1 전원 공급장치로서의 Converter

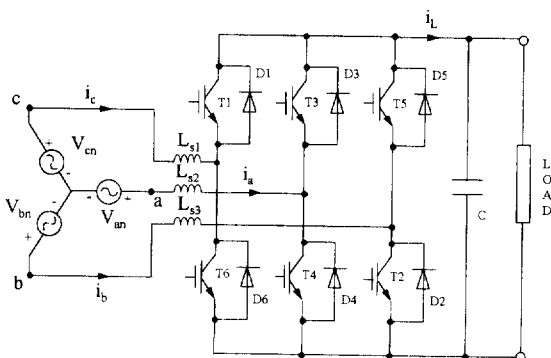
Converter는 전원으로부터 3상의 전력을 공급받아 직류전압 원으로서 전력을 공급하여야 한다. 또한 모터구동시 발생하는 에너지의 변동에 대비한 전력원과 부하간 에너지완충 역할도 수행하여야 한다. 이러한 에너지 변환장치를 구현하는 기본회로로서 그림 3과 같은 두가지의 대표적인 회로를 나타내었다. 표 1에는 정류형 방식(그림3-a)과 PWM방식(그림3-b)의 두가

표 1. Converter방식의 특성비교

Diode 식	PWM Converter 방식
<ul style="list-style-type: none"> <li>· 회생 저항 필요</li> <li>· 감속 시간 지연</li> <li>· 강전반 Size 증가</li> <li>· 무효전력 및 왜곡전력 발생 (저 주파수대 Noise발생)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 가격상승</li> <li>· 스위칭 주파수로 인한 고조파대 억제 필터 필요</li> <li>· DC의 고전압화</li> <li>· 회생시 유효전력 발생</li> <li>· 스위칭 손실 발생</li> <li>· 특수 Line-Side Reactor 필요</li> </ul>



(a) Diode Converter 방식



(b) PWM Converter 방식

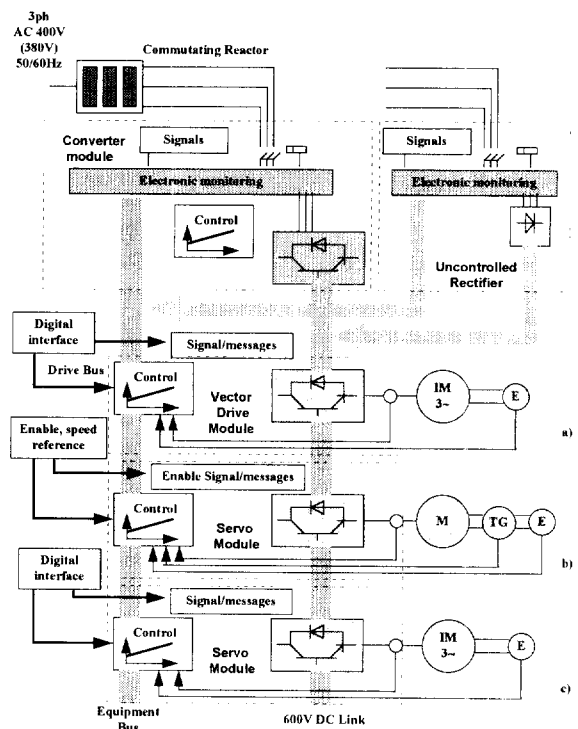
그림 3. Converter 구성도

### 2.2 구동시스템 (Drives)

공작기계를 포함한 대부분의 자동화기에 사용되는 드라이브 출력은 20~30kW미만으로서 고속·고정도 드라이브는 AC-Servo drive와 AC-Vector drive로 구분할 수 있으며 범용드라이브는 이러한 Mechanical한 환경에서는 제외되고 있다.

모터 구동시스템은 전력변환회로의 구성방법과 스위칭 방법에 따라 공진형과 PWM형으로 나눌 수 있는데, PWM 방식은 Hard Switching에 따른 여러가지 단점에도 불구하고 고속·고정도의 구동시스템에 아직까지 널리 사용되고 있다. 기본회로 구성은 그림 3-b와 동일하며, 정토크용 서보 드라이브 및 정출력용 스피들 드라이브에 공통으로 사용된다. 이러한 구동시스템들은 직류전압원의 공유에 따라 전체의 하드웨어 구성을 단독형과 모듈형으로 구분할 수 있다. 그림 4에 모듈형 전체 구동시스템의 결합 가능한 하드웨어 내부구성을 표시하였다.

종래의 아날로그 방식에서의 전류제어부는 전류검출기(CT)의 비선형적인 히스테리시스 효과와 3상 전류중폭부의 증폭을 비대칭 문제로 고정도 제어에 단점을 가질 수 밖에 없다. 또한 아날로그 회로에 기인한 회로소자들의 Drift와 결부된 Offset의 발생으로 제어이득 조정에 어려움이 있다.



(a) Vectro Drives (b) Analg AC-Servo Drives (c) Digital AC-Servo Drives

그림 4. 전동기 구동시스템의 내부구성

이러한 문제점의 해결책으로 마이크로프로세서를 이용한 디지털 방식의 드라이브가 대두하였다. 아날로그 드라이브의 제어기 일부를 디지털화한 드라이브에서 시작하여 현재는 전류제어부 및 인터페이스부를 포함하는 전 디지털(Full Digital) AC 드라이브의 실용화에 이르렀다. 디지털 AC드라이브는 제어기의 회로구성에 따라 마이크로프로세서 방식, DSP (Digital Signal Processor) 방식, 전용회로(ASICs) 방식 등으로 나뉜다. 이러한 디지털 방식의 채용으로 인하여 AC 드라이브의 고성능화 및 소형화, 특성의 안정화, 조정의 용이화를 이룩할 수 있으며, 알고리즘이 소프트웨어로써 용이하게 실현되므로 다양한 최신의 제어기법들이 적용되고 있다. 또한 가격적인 측면에서도 기존의 아날로그 방식에 비해 점차 경쟁력을 확보하는 추세에 있다.

모터의 측면에서도 드라이브의 완전 디지털화로 속도추정을 위한 Tacho Generator가 불필요하게 되어 모터의 크기가 감소되었고 단위부피당 전력밀도도 향상되었다.

### 2.3 통신 시스템

공작기계를 포함한 대부분 자동화 기기에 사용되는 드라이브는 상위 콘트롤러에 의해 제어되는데 이들과의 통신은 정도 및 외란에 대응한 제어특성 등 여러 측면에서 매우 중요한 부분이다. 또한 시스템의 디지털화에 의해 드라이브의 각종 내부 정보를 상위 콘트롤러로 전달할 수 있는 장점으로 인하여 더욱 디지털 통신의 중요성이 부각되고 있다.

그림 5에 여러 드라이브 업체들의 상이한 인터페이스의 개념을 표시하였다. 기기간의 인터페이스에서 위치, 속도, 전류의 어느 부분이 상위 콘트롤러에 포함되느냐에 따라 기술 및 가격이 차별화된다.

자동화 시스템의 통신에 있어서 각 구성요소 간의 통신

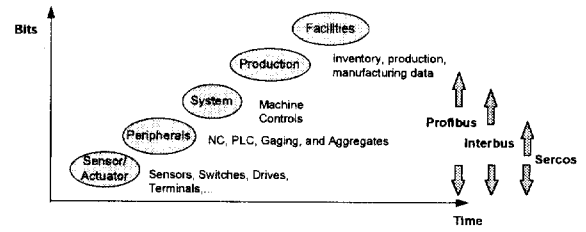


그림 6. 자동화시스템의 단계별 요구 통신속도/정보량 및 통신방식

표 2. 자동화기기의 통신 시스템의 비교

Comm. Name	Comm. Type	Appl. Areas	Appl. System	Time
Sercos	Ring Optical	Drives	NC, VME-Bus, PC	0.5-2 ms syn
Interbus-s	Ring RS485	Sensor/Actuator with Drives	PC, VME-Bus, PLC	1-10 ms syn.
Profibus	Bus RS485	Sensor/Actuator with Drives	PLC	>>5ms or Asynchron

은 단계마다 요구되는 통신 속도와 정보량이 다르며, 하위 요소일수록 소량의 정보를 고속으로 상위요소일수록 다량의 정보를 저속으로 통신한다. 통신방식에 있어서도 관련기술의 연구가 진행되어 자동화요소의 적용범위를 달리하는 수 개의 범용 통신 방식이 개발되었다(그림 6).

표 2에 자동화 기기간의 대표적인 통신방식을 나타내었다. Sercos는 광통신을 사용함으로써 노이즈에 대한 면역성이 뛰어난 반면 가격이 높은 편이고, 현재까지 전용기를 포함한 일부 단독기에 적용되고 있다. Interbus-s는 Sensor와 Actuator에 적용되고 있으며 일반 산업용 V/F 제어 드라이브용으로 많이 사용되고 있다. 또한 Profibus는 상위와 하위 콘트롤러간에 비동기의 통신방법을 채용함으로써 드라이브의 동기화가 필요한 공정에는 적합하지 않은 특성이 있다. 이와같은 자동화기기간의 통신시스템은 일반화가 가속되고 있으며 일례로 GM사에서는 Sercos를 자사의 표준 통신 시스템으로 선택한 바 있다.

한편, 모터드라이브와 상위 시스템간의 통신분야도 초기의 Serial통신(RS-232C)에서 시작하여 현재 자동화 시스템의 범용 통신방식을 채용한 제품이 선보이고 있으며, 일부 업체(Fanuc, Siemens, Mitsubishi 등)는 독자적인 전용 통신방식을 사용하기도 하는 실정이다. 그러나, 부품공급업체의 다변화라는 수요측의 요구는 드라이브와 상위콘트롤러의 통신 표준화 작업을 촉진하고 있어 향후 이러한 전문업체들은 표준화된 통신방식을 채택하게 될 것이다.

## 3. 드라이브 기술의 최신 동향 및 발전전망

### 3.1 관련 기술 분류

AC 모터 드라이브에 관한 기술은 세가지 영역으로 나누

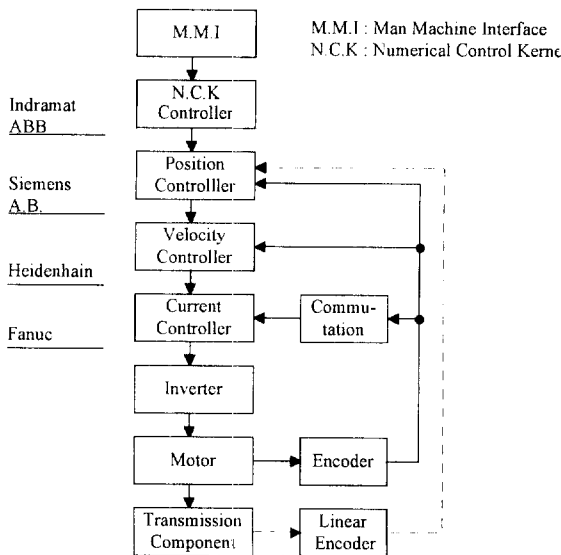


그림 5. 각 제조사별 드라이브 제어기와 상위콘트롤러의 인터페이스

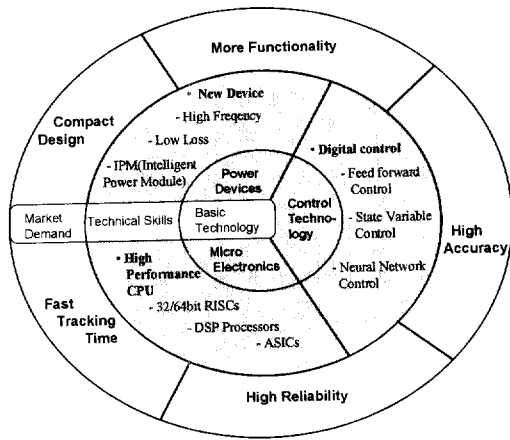


그림 7. AC 드라이브의 동향

어서 고찰할 수 있으며, 기본기술(Basic Technology), 응용 기술(Technical Skills), 시장의 요구(Market Demand)들의 조합에 의해 향후의 제품이 결정될 것이다. 이와 관련한 분류를 그림 7에 나타내었다. 다기능, 고정도, 신뢰성, 고속성과 소형화를 위해서는 전력소자와 고성능 프로세서의 하드웨어적인 결합과 함께 고도의 세련된 알고리즘의 개발이 중요한 역할을 한다.

### 3.2 최근 동향 및 발전 전망

본 절에서는 드라이브의 동향 및 전망을 각 분야별로 짚어 보고자 한다. 먼저 드라이브의 구조적 측면에서는, Converter부 및 Inverter부의 모듈화에 의해 직류전원이 공용됨으로써 확장과 보수가 용이하게 되며 가격측면에서도 유리해진다(그림 8). 또한 교류 전원의 고주파 유입에 대한 규제가 점차로 강화되므로 이를 위한 입력단 필터의 설치가 의무화될 것이다.

제어기법에 관하여는 우선 현재는 아직까지 신뢰성과 안정성 그리고 보수성을 고려하여 Cascade식의 선형제어기가 주류를 이루고 있고 추가로 고속제어시 필요한 다축의 위

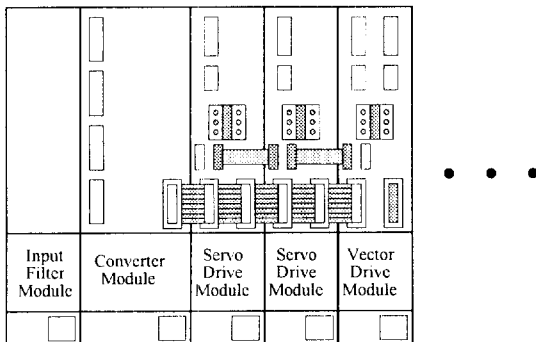


그림 8. DC bus 공용구조의 구동시스템

치오차를 감소시키기 위해 Feed Forward와 학습제어를 혼합한 방식을 채택하고 있다. 앞으로의 제어기법의 개발전망으로는 기구부와 드라이브의 공진주파수가 동일하거나 근접할 경우에 State Variable제어기법을 일부 사용하는 제어기법의 추진이 예상되며, 현재 일부 개발완료 상태인, 각종 기구부의 공진을 억제하기 위한 BSF(Band Stop Filter), LPF(Low Pass Filter), HPF(High Pass Filter)의 삽입기능과 신경회로망(Neural Network)을 이용한 각종 Parameter의 자동조정(Auto Tuning) 기능 등의 개발이 계속될 것으로 전망된다.

성능면에서 보면 위치정도는 디지털화로 0.1 $\mu$ m의 위치 반복정도를 얻게 되고 내부적인 위치 감지기능은 한 회전당 2백만에서 4백만의 분해능을 얻을 수 있어 고성능 고정도의 구동시스템이 구축될 것이다. 또한 위치제어기의 증폭률(Kv)의 증가로 고속 곡면이동이나 원이동시의 편차를 감소시키고자 동특성이 개선이 추진될 전망이며 새로운 전력용 반도체 소자(IPM 등)의 등장으로 파워부의 개선 또한 진행될 것이다.

추후 전개되어야 할 중요 사항으로 부각되고 있는 사용자 편의기능과 관련해서는 A/S 및 시스템의 최적화를 위한 FFT기능, 위치, 속도, 계적의 Display, Service history등 다양한 부수기능의 추가로 Oscilloscope없이도 고장진단을 실시할 수 있는 시스템의 개발이 예상된다.

디지털 드라이브의 구현에 따라 각 메이커들마다 추진하고자 하는 개발전망을 간추려 보면 (1) 드라이브 구동 시스템의 출력 용량에 따라 다소 차이는 있으나 확장성을 고려한 모듈화 및 직류전원의 공유화 추진, (2) 모터의 손실을 줄이고 케이블류의 가격을 절감키 위해 기존의 300V DC bus에서 500V 이상 600V까지의 고전압화 추진, (3) 4상한 선로측 Converter의 적용으로 따른 전력 절감(회생제동), (4) 선형 모터, 서보 모터, 범용 유도기, 벡터제어용 유도기를 제어하는 드라이브 Hardware의 범용화, 공용화 및 이를 수행하기 위해 필요한 요소인 Inverter회로의 Commutation으로 인한 Dead Time의 보상, Slip계산, 공간벡터 Modulation, 좌표변환기, 선형제어기, 센서신호처리부를 하나의 ASIC에 집적시키는 경량화/소형화 개발, (5) 고정밀 속도 및 위치제어를 위한 엔코더 신호처리부의 고성능 회로 및 알고리즘 개발이 이루어질 것으로 전망된다. 또한 (6) 고속 CPU채용을 통한 다축 드라이브 개발에 따라 더욱 저렴한 드라이브 시스템의 공급이 가능해 질 것이다.

## 4. 결 론

드라이브 기술의 최신동향 및 향후 전망에 대해 앞으로 전개될 항목을 간략히 요약하면 다음과 같다.

- 모듈화 및 소형화

- 직류 전압원의 고전압화
- 드라이브와 NC간의 간편한 연결
- NC의 조작화면을 통한 손쉬운 파라미터 조정
- 디지털 페루프 제어 채용(FULL 디지털화)
- 에너지 절감형 모델 개발
- 사용자 편의 기능의 확대

서보/스핀들 드라이브 설계기술의 최신동향 및 향후 개발 전망에 대해서 특징, 기능을 중심으로 이상과 같이 간략하게 설명하였다. 본고가 드라이브 기술 개발에 힘쓰는 관련 Engineer들에게 조금이나마 참고가 되길 기대하며 글을 맺는다.

## 저 자 소 개



**최종률(崔鍾律)**

1954년 10월 27일생. 1986년 베를린 공대 디플롬 취득. 1991년 베를린 공대 졸업(공학박). 1986년-91년 베를린 공대 조교수. 1991년-93년 미국 및 독일 Rexroth-Indramat社 제어기개발 연구관 및 응용 자문관. 1993년-현재 현대정공(주) 기술연구소 공작기계연구부 개발팀장.