

서보 전동기의 구동 및 제어기술의 변천

임태빈

(전자부품 종합기술연구소 정밀기기 연구실 실장)

1. 서론

서보(Servo)란 "물체의 속도, 방향, 위치 등을 제어량으로 하여 목표치의 변화량을 추종하도록 구성된 제어계"로 정의하며, 서보 전동기 (이하 서보 모터라 함)는 목표치의 변화량을 추종하기 위한 구동원으로 사용하는 모터를 말한다.

서보모터는 1952년 미국에서 개발한 NC 공작기를 시작으로 1962년에는 산업용 로보트에 사용되는 등 종래의 유압서보에서 모터를 사용한 전기서보로 발전되어 FA 산업으로 분류되는 공장자동화 기기분야에서 생산 시스템의 성립화, 자동화, 무인화, 고효율화 등을 목적으로 한 산업용 로봇, NC 공작기계, 자동화기계 등으로 확산되어 정밀기계산업에 크게 기여하게 되었다.

1970년대 들어서 전자공업의 발전과 다양한 생산체제를 요구하는 산업적 요구에 따라 전기서보는 보다 복합적인 구성을 갖게되어 기계분야와 전자분야가 결합된 메카트로닉스(Mechatronics : Mechanics + Electronics)라는 새로운 분야를 탄생시켰으며, '80년대에 들어와서는 시각과 촉각의 기능을 갖추어 생산, 조립, 검사 등의 다양한 분야에 사용되는 FMS(Flexible Manufacturing System)의 핵심 구동원으로 사용되고 있다.

'90년대 이후 전기 서보계의 핵심 구동원인 서보모터는 제어기술의 발전에 따라 아날로그 제어에서 디지털제어, 마이크로 프로세서를 이용한 컴퓨터 제어, DSP (Digital Signal Processor) 응용 등으로 발전되고 있다. 그 중 AC 서보모터 분야는 파워 일렉트로닉스 기술의 발전에 의하여 1960년대의 싸이리스터 소자에서 Power 트랜지스터, MOSFET, GTO, IGBT 등으로 발전하여 대용량화, 소형화, 고속화로 개발되는 한편 DC 서보모터는 높은 기동성, 제어응답성 등의 장점으로 정밀 측정시스템, 반도체 제조장비, 첨단 검사장비, 정밀 가공기기 등의 산업용기기분야, 컴퓨터 주변기기, 사무 자동화기기, 영상음향기기 등의 멀티미디어 분야, 가전기기분야 등에서 핵심적 역할을 담당하므로써 급속도로 용도가 확대되어 21세기에는 반도체와 더불어 산업의

쌀과 같은 중요한 역할을 수행하고 있다고 할 수 있다.

따라서 여기서는 서보모터가 전력전자기술의 발전, 마이크로 컴퓨터의 발전, 정밀 가공기술, 고성능 영구자석의 실용화, 표면실장기술의 발달등 기술의 발전과 응용분야의 확대에 의해 산업에서 차지하는 비중이 날로 증대됨에 따라 서보모터의 산업현황과 기술발전을 되돌아 봄으로서 전자, 전기, 기계산업의 핵심 구동원으로서의 서보 모터의 위치를 재조명해 보고자 하였다.

2. 서보모터의 특징

2.1 서보모터의 종류

서보모터는 사용전원에 의한 분류, 구조에 의한 분류, 용도에 의한 분류, 제어목적에 의한 분류등 목적에 따라 여러 가지 형태로 분류할수 있고 종류도 다양하나, 일반적으로는 DC 서보모터, AC 서보모터, 스텝모터, 선형(Linear) 서보모터로 분류하며 대부분은 속도제어, 위상제어, 토오크 제어 용도로 사용함에 따라 서보모터를 아래 표 1과 같이 분류하였다.

표 1과 같이 서보모터는 위상제어, 속도제어, 토오크 제어 용도로 구분되어 사용되며 적용기기를 목표치대로 움직일 수 있는 핵심 구동부의 역할을 하나, 최근에는 모터의 설계기술 발달과 응용분야 확대에 의해 슬롯리스,코어리스, 원판형 서보모터 등 다양한 구조를 갖는 서보모터가 개발되어 사용되기 시작하였다.

그림 1은 가장 일반적인 AC 서보모터와 DC 서보모터를 나타내었다. 그림 1에서 서보모터는 단위 체적당 에너지 밀도를 높여 파워레이트(Power Rate)를 높이기 위해 종래의 페라이트 마그네트 대신 고성능 네오디움 마그네트나 희토류 마그네트를 사용하고, 저철손 전자강판을 사용하여 소형화 고효율화, 고성능화로 진보되어 가고 있다. 또한 응용기기의 고정밀 초고속화를 위해 베어링 부분도 종래의 볼 베어링에서 동압베어링, 공압베어링, 유체베어링을 사용하거나 속도감출용 신호기로서 타코제네레이터(Tacho Generator)에서 광학식, 자기식 엔코더를 채용하여 분해능을 높이는 등 서보모터의 성능향상에 비약적인 발전을 거듭하고 있다.

표 1. 서보모터의 기능, 용도에 의한 분류

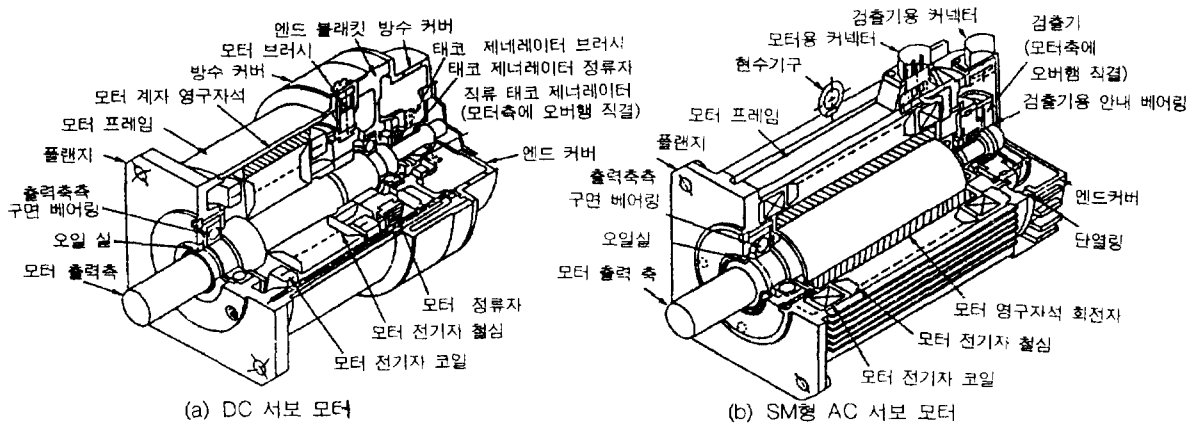
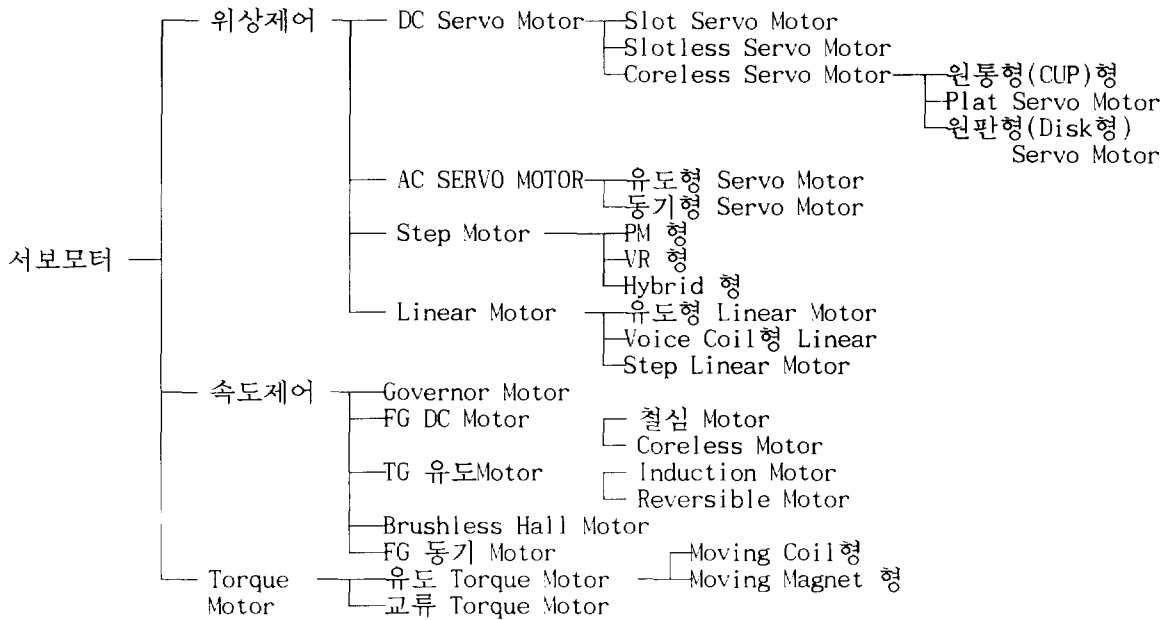


그림 1. 서보모터의 구조 단면

특히 컴퓨터 분야, 멀티미디어 분야에서 사용되는 DC 서보모터는 산업용 정밀기기에 사용되는 서보모터와는 달리 코어레스, 브러시레스, 편평형 등으로 구조적으로도 다양성을 갖으며 브러시레스화가 급속도로 확산되면서 모터의 활용도, 산업적 파급효과, 기술의 진보성, 산업 규모 등의 면에서 DC 서보모터의 큰 분야로 형성되고 있다. 한편, Linear 서보모터는 반도체의 고용량화에 따라 고정밀도 반도체 제조장비가 요구되고, 물류 자동화에 따른 자동장고의 반송장치, 공작기계, 측정기계의 콤팩트화의 추세로 직선운동메카니즘에서 종래의 DC 서보모터를 대체하는 새로운 직선운동 메카니즘으로 사용되고 있어 향후 새로운 서보모터 시장을 점유할 것으로 기대된다.

2.2 서보모터의 용도

서보모터는 1949년 J.T.Parsons의 수치제어(NC) 아이디어가 제안된 이후 1957년 NC 공작기기(보링, 밀링, 태핑, 드릴링, 리밍 등)와 머시닝 센터의 개발, 산업용 로봇(핸들링, 스포트 용접, 아크용접, 도장)등에 사용되기 시작하여 발전을 거듭해왔다.

1973년 오일쇼크 이후 산업사회가 구조적으로 서보모터의 성능향상, 트랜지스터, 싸이리스터, 제어용 반도체 등 소자 기술의 발달, 전자산업 규모의 확대 및 기술적 진보, 컴

표 3. 서보모터와 관련기술의 시대적 기술발전 동향

년 대	1960년대		1970년대		1980년대		1990년대
	'65	'70	'75	'80	'85	'90	'95
시 기	유압 서보 전자기		전기 서보 (DC서보) 도입기		전기서보 (DC-AC화) 전자기		전기서보(AC, 디지털화) 전자기
산업계의 요구			· 자원절약 에너지절약 · 유연성, 생산성 향상		· 고생산성 · 유지보수 · 고속성		· 고성능 · 사용용이 · 개방화 · 네트워크화 · 시스템화
기술동향	· 정지형 CVCF 개시 · VVVF의 실용화 · Si 트랜지스터 실용화 · CMOS IC 실용화 · 싸이리스터 생산개시		· 벡터제어 VVVF · 생산설비의 FA화 · GTO 인버터 실용화 · MOS FET 모듈화		· Power · Sizing · 고정도화 · 소형화 · 배선절약화		· IGBT 응용 · IGBT대용량화 · 대용량 GTO드라이브 · IPM
서보 Actuator	유압 서보		전기 서보 · DC 서보 드라이브 · 액츄에이터		서보 모터 · 디지털 AC 인버터 드라이브 · 소프트웨어 서보 드라이브 · 파워서보 드라이브		
Electronics의 기술혁신 반도체소자 · 마그네트	· 싸이리스터 · 페라이트 (3-4MGOe)		· Power Transistor · 사마륨 코발트		· Micro Processor 응용 16 비트 · ASIC 응용 · 네오디움 (20 -30 MGOe)		32 비트 · IGBT · IPM화 · DSP 응용 · RISC 응용 네오디움 (30 -50 MGOe)

3.2 제어부의 기술동향

서보모터의 속도, 위치를 제어할 목적으로 사용하는 제어회로는 크게는 아날로그 신호를 이용한 아날로그 제어와 디지털 신호를 사용하는 디지털 제어로 나눌수 있으며, 디지털 제어는 컴퓨터 소프트웨어의 발전과 반도체 기술의 발전에 따라 하드웨어적으로 DSP (Digital Signal Processor) IC 를 이용한 방식과 소프트웨어를 이용한 소프트웨어 제어방식으로 발전되고 있다. 표 4에는 아날로그 제어방식과 디지털 제어방식을 비교하였다.

표 4에서 아날로그제어는 증폭회로의 오프셋이나 드리프트의 조정이 필요하며, 전자회로의 경년변화에 의한 제어성능의 저하가 발생할 가능성이 있어 최근에는 고전제어이론을 응용한 소프트웨어 서보 시스템과 현대제어 이론을 이용하여 마이크로 프로세서에 의한 디지털제어로 발전하고 있다.

제어회로부는 하드웨어적으로 전원부의 소형화, 대규모 ASIC의 개발, SMD 부품의 채용 등으로 소형화와 신뢰성 향상을 기하고 있고, 고속 16비트 1칩 마이크로 컴퓨터의 채용 및 전류검출 분해능의 향상으로 속도, 토오크, 전류제어 성능의 향상을 기하며, AC 서보모터에서는 IGBT를 채용하여 고주파 드라이브에 의한 저소음화를 이루고 있다. 특히 AC서보 모터중 속도제어용으로 사용되는 서보앰프의 전력변환부로서 인버터는 1980년대부터 자동화, 성력화, 에너지 절약의 주제로 응용분야가 급속히 확대되어가고 있다.

인버터는 고속운전이 가능하고 악환경하에서도 메인터넌스가 간편한 이점이 있어 주로 특수용 기계나 고성능이 요구되는 부분에 적극 활용되어 왔으며, '90년대 들어서는 컴퓨터의 소프트웨어의 발전으로 인해 "로테크 기계의 하이테크화" 로 더욱 저변이 확대되는 동시에 "하이테크 기계의 저가격화"가 급격히 진행되고 있어 종래의 서보 드라이브

표 4. 아날로그 제어와 디지털 제어의 비교

항 목	아날로그 제어	디지털 제어
안정성, 정밀도	온도변동이나 경년변화, 부품의 오차에 의한 영향을 받기 쉽다	온도변동이나 경년변화, 부품의 오차에 영향을 잘 받지 않는다
조 정	조정 할 곳이 많으며, 번잡하다. 미조정 가능성이 가능하다	제조정의 필요성이 거의 없다. 조정할 곳이 적다. 수치를 설정하기 쉽고 명확하다.
부 품 수	많	적다. (게이트어레이, 마이컴화)
분 해 능 (전압, 주파수, 속도)	연속적으로 변화할수 있어서 미세한 제어를 할 수 있지만 안정성에 주의가 필요하다.	비트수에 따라 제한이 있다. 분해능이 높으면 미세한 제어가 필요한 용도에서는 주의가 필요하다.
연 산 속 도	병렬연산으로서 고속	샘플링계로서, 샘플링 시간과 처리시간으로 결정 된다.
내 노이즈성	필터로 제거하기 어렵고, 노이즈의 영향을 받기 쉽다.	디지털 IC의 변화수준 이하로 억제 할 수 있으면 영향을 잘 받지 않는다.

로 대응하고 있던 간이 위치결정 제어 분야나 고속 전송제어로 상위 컴퓨터와 링크하는 시스템 등 적용 범위가 확대되고 있다.

인버터는 주회로 소자로서 싸이리스터가 개발된 이래 파워 트랜지스터, MOS-FET, GTO, IGBT 등 고전압 대전류용, 소형화로 실용화되어 디지털 전류제어방식에 의한 소형, 경량화, 고기능화된 제품이 개발되고 있으며, 저소음 드라이브화, 안정적 고토크 발생, 고신뢰성, 저가격등의 장점을 지닌 IGBT의 채용율이 높아지고 있고, 소용량에서는 IGBT를 채용한 ASIPM화가 급진전 되고 있으며, 소형화를 목적으로 정류회로와 브레이크회로 및 인버터 회로를 동일한 패키지에 내장한 복합모듈로 IPM (Intelligent Power Module)이 사용되고 있다.

따라서 인버터는 고속 마이크로 프로세서, 디지털 시그널 프로세서(DSP), 커스텀 LSI 등을 활용하면 종래의 전압형

표 5. DC, AC 서보모터의 특성 비교

구 분	DC 서보 모터	SM형 AC 서보모터	IM형 AC 서보 모터
장 점	<ul style="list-style-type: none"> · 정전시 발전제동 가능 · 컨트롤러의 구성이 간단 · 소용량은 저가격 · 높은 Power Rate · 코어리스형은 코킹 토오크가 없다 · 답성이 좋다 	<ul style="list-style-type: none"> · 메인터넌스 간편화 · 뛰어난 내환경성 · 고속 대토크 가능 · 정전시의 발전제동 가능 · 소형경량 · 높은 Power Rate 	<ul style="list-style-type: none"> · 메인터넌스 간편화 · 뛰어난 내환경성 · 고속 대 토크 가능 · 대용량에 효율이 좋다 · 견고한 구조
단 점	<ul style="list-style-type: none"> · 정류자의 보수가 필요 · 정류면에서 고속·대토크 사용 가능 · 마모분의 발생 	<ul style="list-style-type: none"> · 자기동 기능 없음 · 모터와 컨트롤러의 1:1 대응이 필요 · 컨트롤러가 다소 복잡 	<ul style="list-style-type: none"> · 소용량에서는 효율이 나쁨 · 온도에 따라 특성이 변함 · 정전시 제동 불가 · 컨트롤러가 다소 복잡
적정 용량	수W - 수kW	수십W - 수kW	수백W 이상
구동전류 파형	직류	구형파, sine 파	sine파 (구형파에서는 토오크 리플이 큼)
자극 센서	불필요	홀소자, 옵티컬 인코더 리졸버	불필요
속도 센서	DCTG (TG : 타코제네레이터)	브러시레스 DCTG 옵티컬 인코더, 리졸버	브러시레스 DCTG 옵티컬 인코더, 리졸버
수 명	브러시 수명	베어링 수명	베어링 수명
모터 상수	브러시 전압으로 제약	고압 저전류 가능 모터의 구조에 따라 저속 대토크 가능	고압 저전류 가능 정출력 특성 양호 (약한 계자제어)
고속회전	부적당	적용가능	최적
비상제동	다이내믹 브레이크 토오크 大	다이내믹 브레이크 토오크 中	DC 전원이 필요. 다이내믹 브레이크 토오크 小
내환경성	나쁨	양호	양호
영구자석	있음	있음	없음

백터 제어나 자속 백터제어, 공간 백터제어와는 구별되어 전류형 백터제어의 발전형으로 속도 검출 없이 이론적으로 모터의 속도를 추정 연산하는 센서리스 백터제어로 발전되고 있다.

4. 결 론

서보모터는 1950년대 NC머신에서 사용된 이래 산업이 고도화, 전자화, 대량생산체제의 자동화, 다양화되고, 컴퓨터의 기술이 발전되어 소프트웨어의 기술이 진보되고, 각종 전력용 반도체 소자가 개발됨에 따라 적용분야가 종래의 산업용기기, 정밀가공기기, 로봇 등에서 OA, FA, HA기기로 확대되고, 멀티미디어 분야의 응용기기에 폭넓게 확산됨에 따라, 21세기에는 인간의 제반 활동과 관련된 Motion Control의 개념에서 컴퓨터의 CPU가 두뇌의 역할을 한다면 서보모터는 팔과 다리의 역할을 하는 필수 불가결한 핵심구동요소로서 위치를 점유할 것으로 기대된다.

서보모터는 전자제어 기술이 발달됨에 따라 기계분야와 전기분야가 결합된 메카트로닉스의 분야를 만들어 냈으며, 고성능화, 고정밀화, 고속화, 소형화를 달성하기 위해 SCR,

Power 트랜지스터, FET, IGBT, GTO 등의 전력용 반도체 소자의 개발을 유도하였으며, 고속 마이크로프로세서에 의한 소프트웨어 제어, DSP에 의한 디지털제어 등으로 제어 기술을 진보시켰으며, 고 에너지밀도화, 고 효율화, High Power Rate 화를 위한 고효율 영구자석의 개발, 자성재료의 개발 등을 유도하는 등 주변산업에 커다란 기술적 파급효과를 이루어 왔다.

그러나 현재 국내의 서보모터 산업은 대기업을 중심으로 표면실장기, NC 머신, 권선기, 페인트 도장기, 용접기 등 단위기계용으로 개발 생산하는 수준으로 연간 수백억원의 매출을 기록하는 수준으로 생산규모나, 제품의 다양성, 기기의 성능적인 면에서 선진국에 비해 매우 뒤져있으며, 국내 수요의 80%를 일본, 미국, 유럽 등에서 수입하고 있음에 따라, 서보모터의 기술적, 경제적 파급효과를 볼때 필수적으로 해결해야될 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

[1] "소형모터 기술현황" 기술조사보고, 대한전기학회, 1992. 7. PP103 - 247
 [2]鈴木友吉 "サーボドライブの 歩み,オートメーション", 1995. 12,

PP6 - 9

- [3] 김능수 "AC 서보모터의 시장동향과 기술과제" 신기술. 1995. 4 PP18 - 33
- [4] 安川電機製作所 "메카트로닉스를 위한 서보기술 입문" 도서출판 세운 1996. 1. pp18 - 110
- [5] 戸田 孝, 中村修照 "制御用 小形 モータの 活用" 東京電機 大學 出版局, 1989, 3 PP104-134
- [6] "메카트로닉스를 이용한 최첨단 제어용 모우터" 자동화기술. 1996. 1 PP189-193
- [7] 吉田太郎 "インバータ 應用 マニュアル" 電氣書院 1992 PP 2 - 30
- [8] 見城尚志 "AC サーボ モータと マイコン 制御" 総合電子出版社 1995.8 PP 167-267
- [9] 송대익 "서보모터의 최근 기술동향 및 전망" 전기기술동향 1996.2. PP61-69



임태민(林泰彬)

1957년 3월 6일생. 1979년 한양대 공대 전기공학과 졸업. 1981년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1991년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 1985년~1987년 금성정밀 중앙연구소 연구원. 1987년~1992년 한국씨보(주) 기술연구소 연구실장. 1993년~1995년 삼성전기(주) 정밀기전사업부 연구실장. 현재 전자부품 종합기술연구소 정밀기기 연구실 실장.