

서보 전동기의 구동 및 제어기술의 발전

임태빈

(전자부품 종합기술연구소 정밀기기 연구실 실장)

1. 서 론

서보(Servo)란 “물체의 속도, 방향, 위치 등을 제어함으로하여 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 성력화, 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 담당하면서 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 확대로 인해 산업에서 차지하는 비중이 날로 증대됨에 따라서 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 제어용도로 사용함에 따라 서보모터를 아래 표 1과 같이 분류하였다.

표 1과 같이 서보모터는 위상제어, 속도제어, 토오크 제어용으로 구분되어 사용되며 적용기기를 목표치대로 움직일 수 있는 핵심 구동부의 역할을 하나, 최근에는 모터의 설계기술 발달과 응용분야 확대로 인해 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 네오디뮴 마그네트나 희토류 마그네트를 사용하고, 저질손 전자강판을 사용하여 소형화 고효율화, 고성능화로 진보되어 가고 있다. 또한 응용기기의 고정밀 초고속화를 위해 베어링 부분도 종래의 볼 베어링에서 동암베어링, 공암베어링, 유체베어링을 사용하거나 속도검출용 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

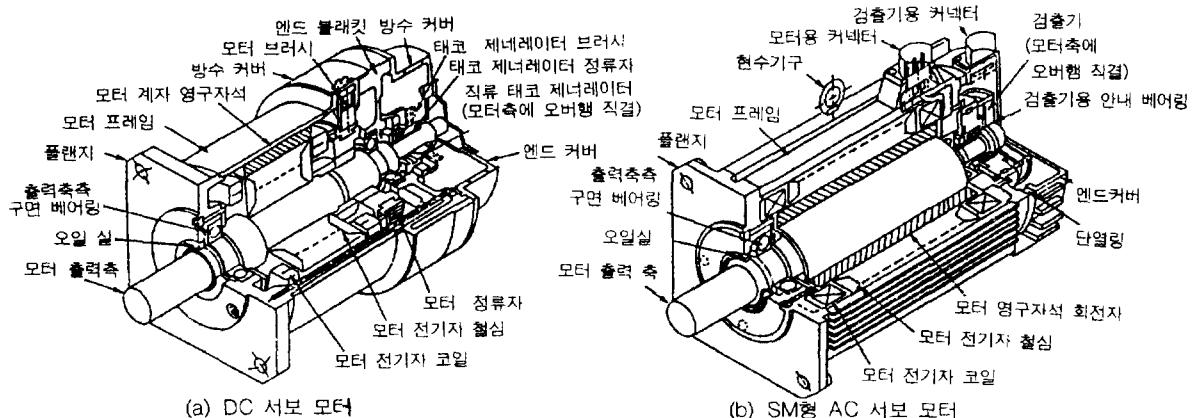
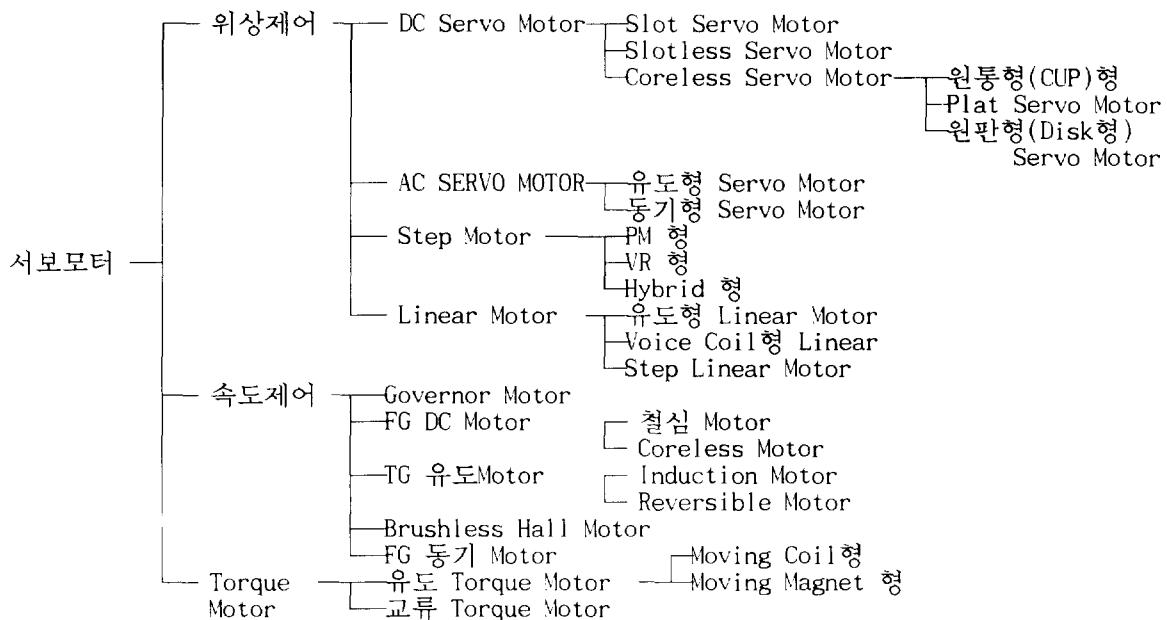


그림 1. 서보모터의 구조 단면

특히 컴퓨터 분야, 멀티미디어 분야에서 사용되는 DC 서보모터는 산업용 정밀기기에 사용되는 서보모터와는 달리 코어레스, 브러시리스, 편평형 등으로 구조적으로도 다양성을 갖으며 브러시리스화가 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 자동창고의 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.Parsons 의 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

퓨터 산업의 급속한 발전 등으로 인해 일상 생활형태, 생산 형태, 인력구조의 형태에 큰 변화를 가져옴에 따라 서보모터는 설정된 목표치를 임의로 대신해준다는 근본적인 기능에 의해 각종 행동양식을 물리적으로 임의로 조정이 필요한 소위 Motion Control 이 필요한 곳에 급속도로 사용되기 시작했다.

따라서 서보모터는 종래의 산업용 단위기기의 제어용으로 사용되던 것에서 공장자동화(FA), 사무자동화(OA), 가정의 자동화(HA) 등 자동화 산업분야에서 뿐만 아니라 FDD, HDD, DVD, CD-ROM 등 멀티미디어 분야의 기록매체의 핵심 구동원으로 그 범위를 넓혀가고 있다. 표 2에는 서보모터의 분야별 사용 용도를 나타냈다.

표 2. 서보모터의 분야별 사용용도

분야	용도기기	서보모터의 종류
NC 공작기계	선반,밀링머신,보링머신,머시닝센타,지그보링,드릴링 머신,연삭반방전가공기,와이어컷,번청 프레스,레이저 가공기,X-Y 테이블	DC 서보 모터 AC 서보 모터 Linear 서보 모터
반도체 관련 장비	노광상자,화학처리장자,와이어 본더,플로바,전자부품 삽입기,프린트 기판 천공기	
산업용 로보트	조립,반송,설팅,스폿용 접,아크용 접,도장	
병용기,전용기	전강설비 기계,사출 성형기	
컴퓨터 분야	HDD,FDD,CD-ROM,프린터,복사기,X-Y Plotter	브러시리스 DC 서보모터
영상기기 분야	VCR,Camcorder,DVD,LDP	스테핑 모터 AC 서보모터
음향기기 분야	헤드폰 스테레오,CDP,테이블	
사무자동화기기	프린터,복사기,Scanner,Mini-Printer	
가전기기 분야	에어콘,세탁기	
계측기 분야	Pen Recorder,Mini Printer,3차원 측정기	

3. 서보모터의 기술발전 동향

서보기구는 유압서보와 전기 서보가 있으나 유압서보라 하더라도 상당부분 전기적인 동작이 필요하며, 현재는 반도체 기술의 발전과 기계 및 환경의 청결성으로 인하여 유압서보 보다는 전기 서보가 선호되고 있는 추세이다. 전기서보는 대부분 액튜에이터(Actuator)로 모터를 사용하게 되고 이를 구동하기 위해서는 컴퓨터에서 출력된 신호가 증폭되어 구동전력으로 변환되어야하며 이때 사용되는 회로를 Servo Amplifier라고 한다.

즉 물체의 속도, 방향, 위치 등을 제어할 목적으로 사용하는 모터를 서보모터라 하며, 이때 사용하는 전력변환장치의 전자회로를 Servo Amplifier 또는 Servo Driver, Controller로 지칭하며 그 구성은 그림 2와 같다. 서보모터는 동력을 발생하는 모터부와 모터를 제어하는 제어부로 구성되었으며, 각각은 시대의 요구와 상황에 따라 발

전되어 왔다. 시대에 따른 서보모터와 관련기술의 발전은 표 3과 같다.

3.1 모터부의 기술동향

서보모터는 위치나 속도제어에 사용되므로 작은 관성과 빠른 응답성을 가지고 있어야하고, 가감속 및 정역특성이 균일하며, 높은 회전 정밀도를 가지는 등의 특성이 요구된다.

출력은 대체로 수십[W], 또는 수백[W] 이하로, 용도에 따라 매우 다양한 구조를 갖으므로 표 1과 같이 분류한다. 표 5에는 대표적인 DC 서보모터와 AC 서보모터의 특성을 나타냈다. 이들은 공통적으로 높은 에너지밀도의 High Power Rate, 고출력, 고효율, 소형화, 저관성화, 고정밀화, 고신뢰도의 특성이 요구되고 있다.

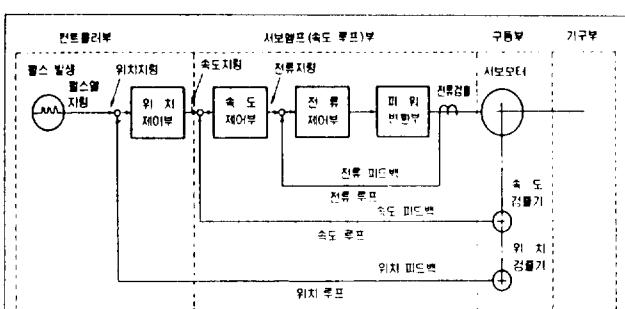


그림 2. 위치 루프를 조립한 컨트롤러의 기본 블록도

따라서 서보모터의 모터부는 소형화와 고파워레이트, 저관성화를 위해 네오디뮴, 희토류계의 고출력 영구자석을 사용하며, 고효율화를 위해 고자속밀도, 고투자율의 코어재료에 의하여 전류부하를 작게하여 권선 손실을 저감시키고, 저철손 코어 재료를 사용하여 철손을 감소시키고 있다.

고빈도, 고정밀도의 위치결정용 서보 모터에서는 코킹토오크의 저감을 위한 유한요소법등을 이용한 컴퓨터 시뮬레이션 기법이 활용되고 있고, 구조적으로 저소음화, 방열성 향상에 노력을 기울이고 있다. 특히 DC 서보모터는 구조적으로 정류자와 브러시의 마찰에 의해 발생되는 신뢰성의 저하, 수명단축, 유지 보수의 필요성이 대두되어 개선이 요구됨에 따라 최근에는 전자소자를 이용한 전자 스위칭방식의 브러시리스 DC 서보모터로 대체되어가고 있는 상황에 있다.

브러시리스 DC 서보모터는 전자정류회로를 사용함에 따라 종래의 브러시형 DC 서보 모터의 단점인 브러시마모에 의한 기계손실, 전기적 노이즈가 없으며, 메인더너스 간편화로 신뢰성이 높을 뿐만 아니라, Outer Rotor, Inner Rotor, 편평형, Cup형 등 다양한 구조로 응용기기에 적응성이 높고, 마이콤에 의한 제어가 가능함에 따라 자기기록 매체를 중심으로 한 AV, OA, 컴퓨터 분야에 적용되고 있으며, 향후 기록밀도 향상에 따른 고속화, 초소형화 등의 개발로 진전될 것으로 예상된다.

표 3. 서보모터와 관련기술의 시대적 기술발전 동향

년대	1960년대		1970년대		1980년대		1990년대		
	'65	'70	'75	'80	'85	'90	'95		
시기	유압 서보 전성기	전기 서보 (DC서보) 도입기		전기서보 (DC-AC화) 전성기		전기서보(AC.디지털화) 전성기			
산업계의 요구		<ul style="list-style-type: none"> · 자원절약 에너지절약 · 유연성, 생산성 향상 		<ul style="list-style-type: none"> · 고생성 · 유지보수 · 고속성 · Power Sizing · 고정도화 · 소형화 · 배선 절약화 		<ul style="list-style-type: none"> · 고성능 · 사용용이 		<ul style="list-style-type: none"> · 개방화 · 네트워크화 · 시스템화 	
기술동향		<ul style="list-style-type: none"> · 정지형 CVCF 개시 · VVVF의 실용화 · Si 트랜지스터 실용화 · CMOS IC 실용화 · 싸이리스터 생산개시 		<ul style="list-style-type: none"> · 벡터제어 VVVF · 생산설비의 FA화 · GTO 인버터 실용화 · MOS FET 모듈화 		<ul style="list-style-type: none"> · IGBT 응용 · IGBT 대용량화 · 대용량 GTO드라이브 · IPM 			
서보 Actuator	유압 서보	<ul style="list-style-type: none"> · 전기 서보 · DC 서보 드라이브 · 액튜에이터 		<ul style="list-style-type: none"> · 디지털 AC 인버터 드라이브 · 소프트웨어 서보 드라이브 · 파워서보 드라이브 					
Electronics의 기술혁신 ·반도체소자 ·마그네트	<ul style="list-style-type: none"> · 싸이리스터 · 페라이트 (3~4MGoe) 	<ul style="list-style-type: none"> · Power Transistor · 사마륨 코발트 		<ul style="list-style-type: none"> · Micro Processor 응용 · 16비트 · ASIC 응용 · 네오디뮴 (20~30 MGoe) 		<ul style="list-style-type: none"> · 32비트 · IGBT · IPM화 · DSP 응용 · RISC 응용 · 네오디뮴 (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 나눌 수 있으며, 디지털 제어는 컴퓨터 소프트웨어의 발전과 반도체 기술의 발전에 따라 하드웨어적으로 DSP (Digital Signal Processor) IC를 이용한 방식과 소프트웨어를 이용한 소프트웨어 제어방식으로 발전되고 있다. 표 4에는 아날로그 제어방식과 디지털 제어방식을 비교하였다.

표 4에서 아날로그제어는 증폭회로의 옵셋이나 드리프트의 조정이 필요하며, 전자회로의 경년변화에 의한 제어성능의 저하가 발생할 가능성성이 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 서보엠프의 전력변환부로서 인버터는 1980년대부터 자동화, 성력화, 에너지 절약의 주체로 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

항목	아날로그 제어	디지털 제어
안정성·정밀도	온도변동이나 경년변화, 부품의 오차에 의한 영향을 받기 쉽다	온도변동이나 경년변화, 부품의 오차에 영향을 잘 받지 않는다
조정	조정 할 곳이 많으며, 번잡하다. 미조정이 가능하다	제조정의 필요성이 거의 없다. 조정할 곳이 적다. 수치를 설정하기 쉽고 명확하다
부품 수	많다	적다(케이트어레이, 마이컴화)
분해능 (전압, 주파수, 속도)	연속적으로 변화할 수 있어서 미세한 제어를 할 수 있지만 안정성에 주의가 필요하다	비트수에 따라 제한이 있다. 분해능이 높으면 미세한 제어가 필요한 용도에서는 주의가 필요하다
연산 속도	병렬연산으로서 고속	샘플링계로서 샘플링 시간과 차례로 결정된다
내 노이즈	필터로 제거하기 어렵고, 노이즈의 영향을 받기 쉽다	디지털 IC의 변화수준이 하로 억제 할 수 있으면 영향을 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, 소형화으로 실용화되어 디지털 전류제어방식에 의한 소형, 경량화, 고기능화된 제품이 개발되고 있으며, 저소음 드라이브화, 안정적 고토오크 발생, 고신뢰성, 저가격등의 장점을 지닌 IGBT의 채용율이 높아지고 있고, 소용량에서는 IGBT를 채용한 ASIPM화가 급진전 되고 있으며, 소형화를 목적으로 정류회로와 브레이크회로 및 인버터 회로를 통일한 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
장점	<ul style="list-style-type: none"> 정전시 발전제동 가능 컨트롤러의 구성이 간단 소용량형은 저가격 높은 Power Rate 코어리스형은 코킹 토오크 가 없다 답성이 좋다 	<ul style="list-style-type: none"> 메인더너스 간편화 뛰어난 내환경성 고속 대토오크 가능 정전시의 발전제동 가능 소형경량 높은 Power Rate 	<ul style="list-style-type: none"> 메인더너스 간편화 뛰어난 내환경성 고속 대 토오크 가능 대용량에 효율이 좋다 견고한 구조
단점	<ul style="list-style-type: none"> 정류자의 보수가 필요 정류면에서 고속·대토오크 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
작동 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)	브러시리스 DCTG 옵티컬 인코더, 리졸버	브러시리스 DCTG 옵티컬 인코더, 리졸버
수명	브러시 수명	베어링 수명	베어링 수명
모터 상수	브러시 전압으로 제약	고압 저전류 가능 모터의 구조에 따라 저속 대토오크 가능	고압 저전류 가능 정출력 특성 양호 (약한 계자제어)
고속회전	부적당	적용 가능	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

벡터 제어나 자속 벡터제어, 공간 벡터제어와는 구별되어 전류형 벡터제어의 발전형으로 속도 검출 없이 이론적으로 모터의 속도를 추정 연산하는 센서리스 벡터제어로 발전되고 있다.

4. 결 론

서보모터는 1950년대 NC머신에서 사용된 이래 산업이 고도화, 전자화, 대량생산체계의 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 Rate화를 위한 고출력 영구자석의 개발, 자성재료의 개발 등을 유도하는 등 주변산업에 커다란 기술적 파급 효과를 이루어 왔다.

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

참 고 문 헌

[1] “소형모터 기술현황” 기술조사보고, 대한전기학회, 1992. 7.

PP103 - 247

[2] 鈴木友吉 “サ-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



임태빈(林泰彬)

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