

# 산업용 서보모터의 기술동향 및 설계 요소



최 철

하이젠모터주식회사  
기술연구소  
cheolchoi@higenmotor.com

## 1. 서론

산업 전반에 걸친 자동화와 클린 에너지화에 기반 한 동력 원으로써 모터의 활용도는 점증하고 있다. 최근의 변화는 모터 자체에 대한 기술발전과 더불어 이를 제어하는 전력변환기술과 IT기술과의 융합에 의해 가속화되는 경향을 보인다. 서보 제어를 담당하는 드라이브는 NC, 모션컨트롤러, PLC 등과 연동되어 구체적인 기능을 발휘하고 동력으로써의 출력을 발생하는 서보 모터는 영구자석, 고급 전기강판 및 고정밀 엔코더 등과 함께 다양한 모습으로 발전하고 있다. 따라서 본 논문에서 2장에서는 모터에 대한 구동방식별 차별성과 각각의 특징을 살펴보고, 3장과 4장에서는 설계 및 제작에 있어서 핵심요소인 영구자석과 전기강판에 대해 기술한다. 5장에서는 자동화기기, 공작기계, 로봇, 스테이지 등 산업전반

으로 확대되어가는 서보모터의 방향성에 대해 고찰해 보고자 한다.

## 2. 서보모터

서보(Servo)의 어원은 라틴어의 Servus, 영어의 Slave라는 뜻이고, 서보 모터는 지령에 따라 움직이는 모터의 구동계를 가리킨다. 이런 목적의 모터는 다양한 형태로 제공되지만 일반적으로는 사용 전원, 구조, 동작원리, 토크 발생 원리, 용도 등에 따라 분류하며 이를 그림 1에 나타내었다.

이 이외에도 횡자속형 모터, 리니어 모터 등 신 개념 모터들도 등장하고 있다.

그림 1에 나타난 회전형 모터들은 그림 2의 (a)에 나타낸 바와 같이 구성 방식상 자속의 방향을 기준으로 종자속 형태

를 취하고, 횡자속 전동기는 (b)에 나타낸 바와 같은 횡자속 형상을 갖는다.

또한 반도체 장비나 스테이지 구동 분야에 널리 활용되고 있는 선형모터의 구분도 기본적으로는 회전형 모터의 분류 방법과 유사한 방식을 취하고 있고 이를 표 1에 나타내었다.

본 논문에서 다루고자 하는 산업용 서보모터는 구동전원의 특성에 따라 DC서보와 AC서보로 구분하는 것이 일반적이다. 먼저, DC모터는 전통적인 DC모터에서 브러시와 정류

자편을 제거하고 이를 홀센서로 대체하고 드라이브와 연동해서 제어하는 방식으로 BLDC로 통칭하는 경우가 대부분이다. 소형 플레임 사이즈와 저전압 DC 전압을 구동전원으로 사용하는 가전이나 차량용 분야에서는 BLDC로 호칭하고 있는 것을 보게 된다. 그러나 구동 원리상으로는 3상 교류전원을 공급해서 구동하는 방식이므로 BLDC와 AC서보모터의 구분은 모터의 역기전력 형태에 따른 미소한 차별성 이외에 특별한 의미는 없다고 하겠다. AC서보 모터를 이 용어에 대응시키는 경우에는 BLAC라고 할 수 있겠지만 일반적으로는 AC서보모터라고 호칭한다. AC서보모터를 구분하면 전력을 공급 받는 고정자는 동일하나 회전자를 구성하는 방식에 따라서 영구자석을 활용하는 동기형서보모터와 유도형 모터구조를 사용하는 유도형서보모터 정도로 구분한다. 양자에서의 차이는 모터의 기본 속성에 따라 슬립의 유무 따른 구분이고 기본적으로 회전자계를 이용하는 방식에는 차이가 없어 AC서보모터는 동일한 제어원리를 적용한다.

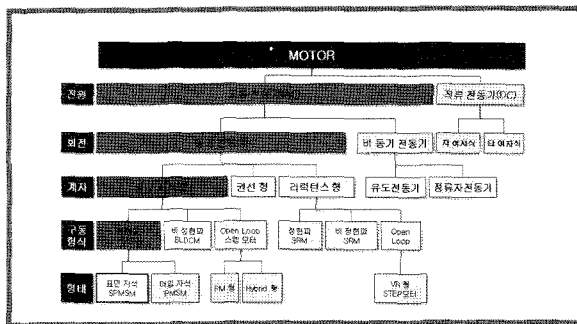


그림 1. 모터의 구분

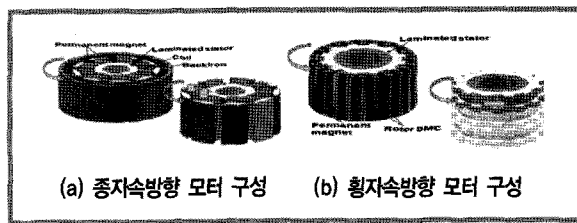


그림 2. 종자속형과 횡자속형 모터 구성 개념

## 2.1 모터 설계와 구성 특징

모터를 설계하는 경우의 설계절차를 그림 3에 나타내었다. 설계 목적에 따라 특별히 고려할 사항도 있을 수 있으나 기본 설계, 유한요소해석 그리고 구조설계는 어떤 방식의 모터에서도 요구되는 사항이라고 하겠다.

앞서의 설명에서와 같이 AC모터서의 동기모터가 갖는 특징은 유도모터와 비교할 때 구조적인 측면에서는 회전자

표 1. 리니어모터 구분

명칭	약칭	전자력	응용분야
리니어 유도 모터	LIM	전류력	Pulse 반송 장치 등
리니어 직류 모터	LDM	전류력	자기 Head 위치 결정 모터 등
리니어 펄스 모터	LPM	자기력	X-Y Plotter 등 2방향성 이동기
리니어 진동 Actuator	LOA	자기력	Air Compressor 등
리니어 전자 Solenoid	LES	자기력	Type Writer 용 Key 구동 장치 등
리니어 전자 Pump	LED	전류력	용융 금속 Pump 등
리니어 동기 모터	LSM	전류력	자기 부상 열차 등
리니어 하이브리드 모터	LHM	전류력+자기력	Turn Table 구동 장치 등

차이 밖에 없다. 유도모터는 회전자를 구성하는 형태에 따라 권선형과 농형으로 구분하는데 공통적으로는 회전자에 전류가 흐르는 구조이고 영구자석을 활용하는 동기모터는 유도모터의 권선 또는 봉도체에 해당하는 부분에 영구자석을 적용하므로 회전자에 별도의 전류를 공급할 필요가 없는 구조를 갖는다.

영구자석형 서보모터가 갖는 장점은 다음과 같다.

- (1) 회로류 및 네오디뮴 영구자석 모터는 회전자 권선 및 농형도체가 없으므로 유도모터와 비교하면 작은 관성을 갖고 주어진 전기적 토크에 대해 상대적으로 더욱 빠른 응답이 가능함
- (2) 영구자석모터는 유도형 모터 보다 높은 효율을 가지는데 이것은 영구자석전동기의 회전자 손실이 무시 가능할 정도로 작다는 것을 의미 함. 반면 유도모터의 회전자손실은 동작 슬립에 따라 변화하는 특성을 가진
- (3) 유도모터는 자속발생을 위한 자화 전류를 필요로 하지만 영구자석모터에서는 불필요 함
- (4) 영구자석전동기는 유도모터에 비해 전력밀도를 크게

가져갈 수 있으므로 유도모터보다 그 사이즈를 현저하게 작게 구성할 수 있음

(5) 영구자석 동기모터의 회전자손실은 유도모터에서의 손실과 비교하는 경우 무시 가능한 수준으로 공작기계 등에 있어서 피삭물 또는 공작기계 베드를 통한 열전달 문제의 해결이 용이함

또한 상대적으로 비교하는 경우 유도모터가 갖는 장점은 다음과 같다.

- (1) 유도모터는 약제자 운전범위가 광범위한 특성을 가진
- (2) 영구자석에 의한 코깅을 고려할 필요가 없으므로 코깅 토크 발생이 무시가능하다는 점
- (3) 영구자석 동기모터보다 높은 회전자 동작온도가 허용됨 그러나 유도모터가 갖는 여러 가지 장점에도 불구하고 제어를 목적으로 하는 용도에 있어서는 영구자석 동기모터가 대부분의 전기적 또는 기계적인 측면에서 우수한 특성을 보인다. 영구자석 동기모터 구동의 핵심 요소기술은 영구자석 구자석, 최적화 기술 및 회전자 자극위치 결정 제어기술 등이다. 그림 4에는 전기기기 개발에 필요한 기반 기술을 정리해서 나타내었다.

전기기기를 고성능화하기 위해서는 그림 4에서와 같이 다양한 조건들을 갖춰야 하는데 이중 특히 중요한 요건인 자성 재료와 철심의 발달은 전동기의 성능 개선에 중요한 역할을 해왔다. 영구자석 동기모터를 이용한 구동 시스템은 1990년대에 들어서면서 본격적으로 보급되기 시작했고 적용 영역에

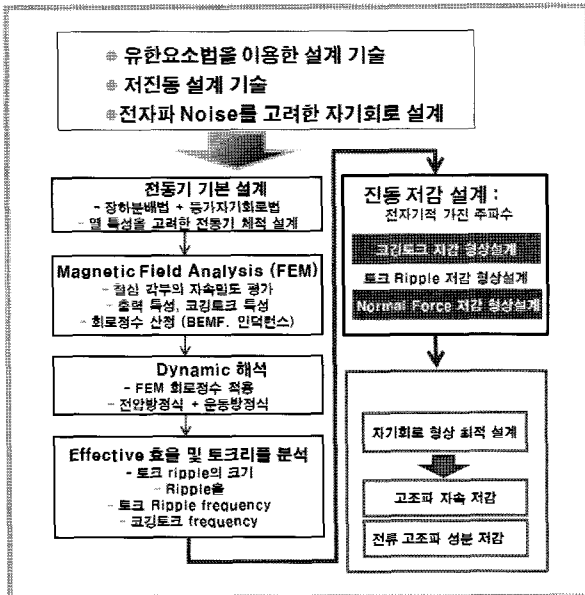


그림 3. 모터 설계 절차

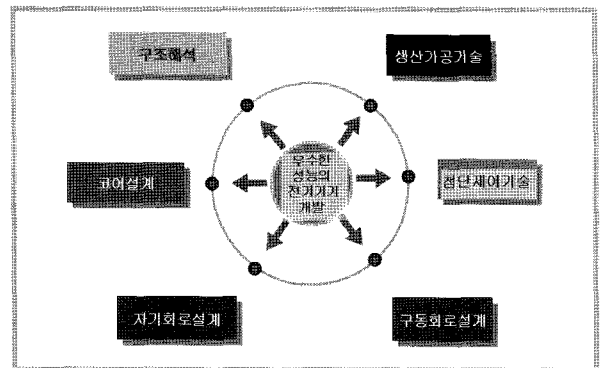


그림 4. 전기기기 개발 기반기술

있어서는 반도체 장치, 공작기계, 자동화설비, 로봇 등이 주 사용영역이다.

그림 5에 나타난 바와 같은 형태의 서보모터가 일반적이고 특히 최근에는 (b)에 나타난 바와 같이 제어기와 전동기를 일체화하는 스마트서보도 소개되고 있다.

한편 고출력이 필요한 사출성형기, 프레스장치, 압력제어 펌프기기 및 전기추진 수송장치 분야에 있어서는 유도형 서보모터의 우세가 이어져 왔으나 최근의 변화는 영구자석과 고급전기 강판의 보급에 따라 점차 영구자석형 서보모터로 대체되는 추세이다. 이러한 형상은 1995년 이후 네오디뮴계(Nd-Fe-B) 희토류 자석이 상용화 되면서 고에너지적 영구자석의 저가화가 실현되어 대용량 영구자석 동기모터가 경쟁

력을 갖추는 계기가 되었다. 더불어 높은 에너지 밀도를 갖는 영구자석은 높은 투자율을 갖는 전기강판의 개발을 필요로 하고 이에 따라 전기기기를 더욱 고투크, 고효율, 소형화시키는 계기를 마련해주었다.

### 3. 영구자석

서보모터를 비약적으로 발전시킨 요소 중 영구자석을 빼고는 설명할 수 없다. 영구자석이란 전자석과 달리 외부로부터 전기에너지를 공급받지 않고서도 안정된 자기장을 발생하고 유지하는 자석으로 이 분야에 대한 연구가 활발히 이루어지면서 영구자석의 활용 범위는 더욱 광범위해 지는 추세이다. 표 2에는 영구자석의 연표를 나타내었다. 영구자석의 핵심 기능은 한번 입력된 전기에너지는 감쇠되지 않는 범위에서 그 에너지를 영구히 보존한다는 특징에 있으며 전기에너지와 기계에너지의 변환 기능을 갖는 다는 점이다.

자성 재료는 자기장 속에서 자기 유도에 의하여 자성을 띠는 물질이고 자화하는 상태에 따라 상자성체, 강자성체, 반자성체로 분류된다. 상자성체는 자기장 속에서 약하게 자화되는 성질을 갖는 재질로써 알루미늄과 백금 등이 이에 해당되고, 반자성체는 자기장 속에서 강자성체나 상자성체와는

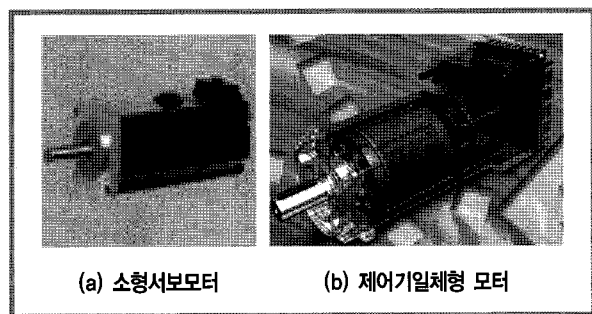


그림 5. 서보모터 구성 사례

표 2. 영구자석 연표

년 도	인 물	내 용
B.C600		Thessaly 지역의 Magnesite에서 천연자석 발견, 'Magnes'라고 부르고 항해용 나침반에 사용
1600년	William ilbert	지구가 하나의 자석인 것을 발견. 鋼棒을 열간 단조한 후 적열 상태에서 지구의 자장방향으로 배치, 냉각시키면 자석이 됨을 발견함
1820년	Oersted	전류와 자장과의 관계를 발견, 전자석의 발전에 기여함
1901년	Hansler	ALNICO Magnet의 시초(Cu, Mn, Al 합금강 개발)
1917년	Honda	高 Co 炭素鋼 발명. 당시의 Cr강, W강보다 보자력이 4배 이상이 되어 자기적 성능을 비약적으로 향상시킴
1931년	Kato, Takai	철 Co 혼합물 자석을 개발
1932년	Mishima	Al-Ni-철로 구성된 AlNi 자석 개발, MK 강으로 명명함
1939년	Jonas	AlNi에 Co를 첨가한 ALNICO 자석을 개발
1952년	Philips社	현재의 Ceramic 또는 Ferrite Magnet로 발전시킴
1968년	Raytheon社	Rare-Earth, Sm-Co 자석개발
1980년	미국 GM社, 일본 특수금속	Nd-Fe-B 개발

반대 방향으로 자화되는 물질을 말한다. 강자성체는 일반적으로 말하는 자성체를 말하며 자기장에서 강하게 자화되는 재질이다. 강자성체는 경자성체와 연자성체로 구분하며, 일반적으로 강자성체는 외부 전원의 인가가 없이도 자성을 갖는 영구자석으로 잔류 자속 밀도와 보자력이 매우 크다. 연자성체 재료는 투자율이 높아 자속의 흐름이 원활하게 해주는 재질로 일반적으로 순철, 전기강판 등이 포함되고 이러한 연자성체의 특징은 자속 밀도와 보자력이 낮다는 점을 들 수 있다.

### 3.1 영구 자석의 종류 및 특징

영구자석의 종류에는 알리코(Alico), 페라이트(Ferrite)계 자석과 희토류(Rare-earth)계 자석이 있고, 희토류자석에는 SmCo(Samarium-Cobalt), NdFeB (Neodymium-iron-boron)가 있으며 그 외에 응용자석(고무자석, 플라스틱 자석) 등으로 분류할 수 있다. 그림 6에는 이와 같은 자석을 나타내었다.

알리코 영구자석의 주요 장점은 잔류자속밀도가 높고 그

온도계수가 낮다는 점이다. 따라서 높은 공극자속밀도의 확보가 가능하고 높은 운전 온도를 가질 수 있다. 그러나 보자력은 매우 낮고 감자곡선은 비선형성을 나타내어 착자 및 감자가 쉽게 일어난다는 특징이 있다. 이와 같은 알니코자석은 주조형과 소결형 자석으로 구분할 수 있는데 대부분은 주조형 자석으로서 알루미늄(Aluminium)과 니켈(Nickel) 그리고 코발트(Cobalt)를 주원료로 만들며 용광로에서 녹인 것을 원하는 형상으로 만들어 놓은 주조형 거푸집에 부어 식힌 후에 규격에 맞게 연마가공을 하여 만든다. 알니코 자석은 착자 시킨 직후에는 매우 흡착력이 강하지만 붙었다 떼었다 하며 조금 만 가지고 놀면 거의 자력이 없어질 정도로 약해진다. 그러므로 외부자계의 영향이 큰 곳에는 사용하지 않는 것이 좋다.

페라이트 영구자석은 알리코 영구자석에 비해 높은 보자력을 가지나 잔류자속밀도는 낮고 온도계수는 비교적 높은 편이다. 이 페라이트 영구자석의 장점은 가격이 저렴하고 높은 전기저항을 가지기 때문에 영구자석 내에서 와전류손실이 발생하지 않는다. 페라이트자석은 그 재질에 따라 스트론튬(Strontium)자석과 바륨(Barium)자석으로 구분한다. 스트론튬자석이 바륨자석에 비해 성능은 탁월하나 가격이 비싸다. 따라서 일반 스피커 및 소형 장난감용 전동기에는 값싼 바륨자석이 많이 쓰이고 자동차용 전동기나 고성능 스피커 및 센서 등에는 필수적으로 스트론튬 자석을 사용한다. 페라이트 자석의 조성은  $SrCO_3 \cdot 6Fe_2O_3$  또는  $BaCO_3 \cdot 6Fe_2O_3$ 로 이루어져 있으며 다시 그 재질에 따라 세라믹(Ceramic 소결)형 자석과 본드(Bonded)형 자석으로 구분한다. 본드자석은 다시 플라스틱자석(Plastic bonded)과 고무자석(Rubber bonded) 등으로 세분화 한다. 소결형 자석이란 도자기를 만드는 것과 같이 페라이트 파우더를 성형공정에서 일정한 모양으로 만든 후 높은 온도(보통 페라이트의 소결온도는 1250°C 정도)의 로(爐)속에서 구워낸 자석을 말한다. 주로 자동차용 전동기 자석이나 전자레인지용 자석 그리고 스피커용 자석뿐만 아니라 대부분의 페라이트 자석은 이 소결형 자석이다. 페라이트계 플라스틱 자석은 플라스틱 원료에 페라이트 파우더를 섞어 사출 공정으로 자석을 만든다. 보통 페라

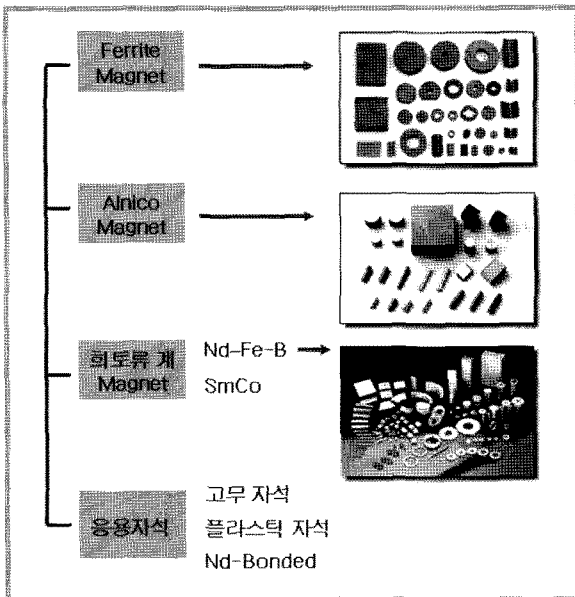


그림 6. 영구자석 분류

이트계 플라스틱 자석은 소형 가전기기용 전동기나 악세서리 등에 사용되고 페라이트계 고무자석은 고무의 원료와 페라이트 파우더를 섞어 만드는 것으로 자력은 약하나 제도판용, 냉장고 문(門)의 흡착용, 액세서리용 등에 쓰이며 일부는 컴퓨터, 복사기 등의 냉각 팬(Fan)전동기용으로도 사용한다. 이와 같이 페라이트계의 자석들은 사용범위가 넓고 효율성이 뛰어나며 최대 에너지적이 가격에 비해 다른 어느 자석보다 매우 높기 때문에 그 사용량은 계속 증가할 것으로 예상된다.

희토류 영구자석 중 SmCo(Samarium-Cobalt)는 잔류자속밀도, 보자력 및 에너지적이 높고 선형적인 감자곡선과 낮은 온도계수를 가지는 장점이 있다. NdFeB는 SmCo보다 높은 영구자석 특성을 가지는 장점이 있는 반면 온도 조건에 취약하다는 단점을 가진다. 희토류라는 말은 화학 주기율표 상에서 여러 가지 원소들 중 란타넘계의 사마륨(Sm)이나 네오디뮴(Nd)등의 원소를 일컫는 말이다. 따라서 희토류자석이라고 하면 사마륨자석(SmCo)이나 네오디뮴자석(Nd-Fe-B)을 가리킨다.

사마륨자석의 경우 잔류자속밀도나 보자력 등이 매우 높고 온도특성도 좋기 때문에 이어폰이나 소형 정밀전동기 등에 사용한다. 그러나 주원료인 코발트가 지구상에 매장량이 적고 거의 남아프리카의 극히 일부 지역에 한정되어 있기 때문에 그 지역의 정치적 불안상황에 의해 국제시세가 매년 큰 폭으로 치솟아 이제는 자석에 이용될 수 없을 만큼 각국이 전략물자로 통제를 하고 있는 실정이다. 따라서 이 사마륨자석을 대체하기 위해 개발된 것이 네오디뮴자석인데 잔류자속밀도와 보자력이 사마륨자석을 능가할 만큼 뛰어난 자석이지만 다만 온도특성이 나쁘다. 온도변화에 의한 자속밀도의 하락이 심하고 80°C 가 넘는 환경에서의 사용이 쉽지 못하다는 점과 산화력이 강해 공기 중에서 쉽게 산화하여 녹이 생기는 단점이 있어서 반드시 코팅을 해야 하는 것이 단점이다. 또한 제조공법상 미국GM의 Delco Remy Division 과 일본의 스미토모가 각각 본드형과 소결형의 특허를 가지고 있기 때문에 로열티에 관한 문제와 네오디뮴 원소가 중국 지역에 편중되어 있다는 제약이 있다.

#### 4. 전기 강판

전기 강판은 전기 및 자기를 응용한 기기에 사용하는 재료로, 전자성 성질이 보증된 강판으로 전자강판이라고도 한다. 일반적으로는 규소강판을 전기 강판이라고 하고 이 전기 강판은 전기, 전자제품의 철심재료의 코어로 널리 사용되고 있다. 이와 같은 전기 강판은 방향성과 무방향성으로 분류한다.

방향성 전기강판은 결정립이 자화축이 축 방향을 갖는 강판으로서 압연방향의 자기적 특성이 우수하고 일정한 방향으로 자화가 일어나는 전기강판은 변압기와 같은 정지기에 주로 사용한다. 반면 무방향성 전기강판은 방향에 따른 차이에 관계없이 평균 자성이 우수하도록 제조되는 강판으로서 모터와 같이 자화방향이 일정하지 않은 회전기에 주로 사용한다. 지속적인 전기 수요의 증대와 에너지 가격 상승에 따른 대책으로 전자기기의 에너지 효율을 극대화하기 위한 연구가 다방면에서 활발히 진행되고 있는 추세에 맞추어 전기강판에 있어서의 기술 동향은 강판 효율을 향상시키는 데 있다고 하겠다.

그림 7에는 전기강판의 분류와 특징을 나타내었다.

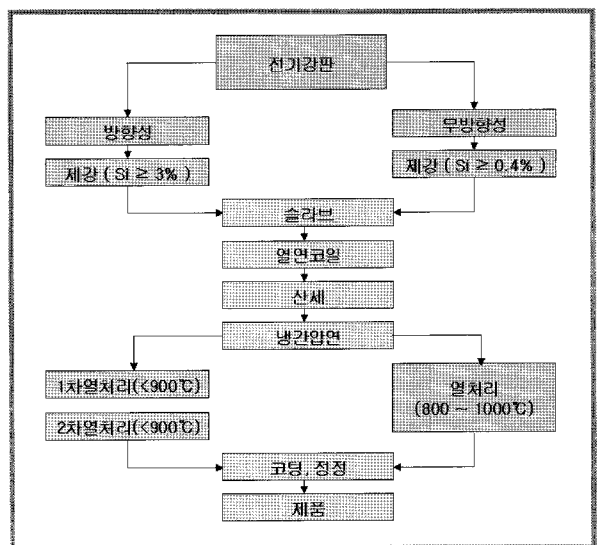


그림 7. 전기강판의 분류

### 4.1 무방향성 전기강판

1930년대까지 열간압연 규소강판이 주로 사용되었으나 냉간압연 기술의 진보에 따라 이후부터는 냉간압연 규소강판의 사용이 본격적으로 이루어 졌고 제강 및 소둔기술의 발달로 인해 다양한 용도의 제품들이 개발되었다. 저철손이 요구되는 대형 회전기 등에는 규소를 2~3%정도 함유하는 고급 무방향성 전기강판이 사용되었고 이에 따라 제조, 합금원소 첨가 및 소둔기술에 의한 집합조직제어, 비저항 증가원소의 첨가 등 철손율을 낮추기 위한 연구가 계속되어왔다. 그 결과 0.5두께의 냉간압연 규소강판의 경우 철손이 1950년대는 5.0~6.0 Watt (주파수 50 Hz, 자속밀도 1.5Tesla 에서의 에너지 손실) 이었으나 최근에는 2.2 Watt 인 극저철손 제품까지 개발되었다. 반면에 가전용 전기기기 등의 소형 전동기용으로는 철손이 높아도 가격이 저렴한 규소함량 2%미만의 저급 무방향성 전기강판이 사용되고 있으며 이들에 대해서는 규소함량을 낮추어도 요구되는 철손을 얻을 수 있는 저원가형 제조기술 개발에 관한 연구가 이루어져 왔다. 일반적으로 규소함량이 많은 고급 무방향성일수록 철손과 함께 투자율도 저하되나, 최근에는 Al, Mn 및 특수원소의 첨가로 규소를 거의 함유하지 않아도 철손이 낮은 고투자율의 무방향성 전기강판(일명 고능률 무방향성 전기강판)이 개발되어 소형 고급 전동기용 철심재로 사용되고 있다.

	무방향성		무방향성		
	PNM-Care	PNM-Care	PNM-08E	PNM-08E	PNM-Care
	20P270-20P270	20P270-20P270	20P270-20P270	20P270-20P270	20P270-20P270
대형회전기		*			
유형회전기			*	*	*
발전 A.C				*	*
모터				*	*
관주제사				*	*
모터				*	*
소형모터 및 관류모터				*	*
모터				*	*
대형발전기	*	*			
중소형 발전기	*	*	*	*	*
발전용	*	*	*	*	*
발전기	*	*	*	*	*
관력터빈	*	*	*	*	*
소형발전	*	*	*	*	*
발전기	*	*	*	*	*
계기용	*	*	*	*	*
발전기	*	*	*	*	*
발전기	*	*	*	*	*
발전기용			*	*	*
발전기			*	*	*
자극소회자Care					*

그림 8. 전기강판의 용도(POSCO자료참조)

전자강판의 특성은 규소의 성분, 두께, 결정립경, 집합조직(결정방위 분포)와 표면피막에 의해서 결정되고, 모터 철심으로서는 자속밀도, 투자율과 철손의 특성 그리고 열전도율이나 가공성이 중요하다. 그림 8에는 전기강판의 용도별 구분 사례를 나타내었다.

### 4.2 전기강판의 손실

전기강판의 활용에 있어서 철손 저감을 위한 제어인자를 표 3에 나타내었다. 전기강판에 있어서 철손은 이력손실이라고 표현한 히스테리시스손실과 와전류손실을 포함한 의미로 사용한다. 히스테리시스손실은 B-H 곡선에서도 알 수 있듯이 철심 중에서 자속 밀도가 교번하는데 따라 발생하는 손실로 독일 태생의 미국 전기기술포자였던 Steinmetz에 의해 정리되었다.

히스테리시스손실은 철심재료에 따른 손실계수와 공급주파수 그리고 쇄교자속밀도의 곱으로 구성되는 식으로 특히 쇄교자속밀도는 실험에 의한 승수가 곱해지는 형태로 구성되어 있어서 결과적으로는 각 항이 커지면 손실도 증가하는 형태로 나타나므로 표 3의 해당 지배 인자에 따른 저감방법에 대한 노력이 필요하다.

또한 와전류손실(Eddy Current Loss)은 철심에 자속이 관통하면 그 주위에 암페어의 오른나사 법칙에 의해 전류가 흐르게 되고 이 전류에 의해 발생하는 손실이다. 와전류손실은 재료, 파형률, 철판의 두께 및 자속의 곱으로 표현하는데 각 인자에 따라 손실이 달라진다. 이 손실 구성 항 중에서 파

표 3. 철손 제어 인자

철손 성분	지배 인자	저감 방법
이력 손실	불순물	고순도화
	결정립계	결정방위직접도 개선
	표면 조도	응력 감소
와전류손실	전기 저항	성분조정(Si 첨가)
	판두께	박물화
	판에 미치는 장력	표면피막
	자구의 크기	레이저 조사

형률은 정현파를 공급하는 경우보다 고조파 성분이 포함된 왜형파를 공급하는 경우 그 계수가 증가한다. 또한 철심의 두께가 두꺼울수록 철판두께의 제공에 비례하여 손실 커지는 현상이 있으므로 전기강판을 얇게 적층한다.

표 4에는 강판의 재료인자와 자기특성과의 상관관계를 나타내었고, 그림 9의 기자력과 자속선도에서는 전기강판의 규소 함량에 따른 특성변화를 나타낸 사례를 보였다. 포화자화 특성 향상과 타발을 위한 가공성을 개선하려면 규소함량을 낮추어야하고 이와는 반대로 투자율을 높이고 손실을 저감시키려면 규소함량을 높여야하는 정 반대의 특성을 갖는 것을 알 수 있다. 모든 인자를 동시에 충족시킬 수는 없지만 주어진 여건에서의 최적화 과정이 필요하다는 것을 짐작하게 해 주는 대목이다.

표 4. 재료 인자와 자기특성과의 관계

재료인자	포화자화	투자율	히스테리시스손	와류손	가공성
Si	저 Si	고 Si	고 Si	고 Si	저 Si
판두께	-	후	후	박	박
입경	-	대	대	소	소
집합조직	-	<100>	<100>	-	-

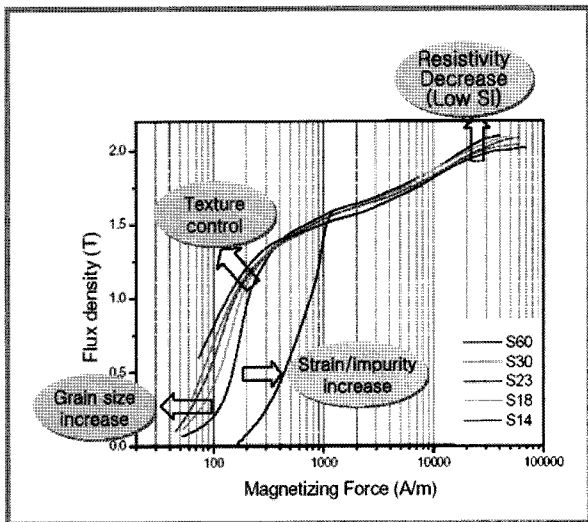


그림 9. 기자력과 자속선도

## 5. 서보모터 발전추이

현재까지 소개된 서보모터는 대부분 독일, 스위스, 일본 등에 의해 주된 흐름을 주도하고 있고 국내에 있어서는 산업 구조상 일본에 의한 영향을 많이 받고 있음을 부인하기 어렵다. 공작기계를 중심으로 살펴보면 Fanuc에 의한 AC서보가 널리 알려져 있고, 반도체나 자동화 설비를 중심으로는 미쓰비시와 야스가와의 약진이 두드러진 현상이다. 또한 최근의 Direct Drive형에 있어서는 지멘스, Servex 등을 필두로 한 유럽형 상품이 기술을 선도해 가는 모습을 보인다. 이와 같은 여건에서 보이는 서보 모터의 발전 모습을 정리해 보면 다음과 같다.

### 1) 소형 경량화

소형화를 위해서는 자속밀도를 높게 하는 것이 필요하고, 철심 재료로서는 자기포화와 투자율이 높을 것이 요구되며 특히 영구자석의 고성능화나 권선 점적율 향상에 의한 고여자화가 요구되는데 외형상의 사이즈 축소와 반대로 그 출력 범위는 100kW급까지 확대되는 추세이다.

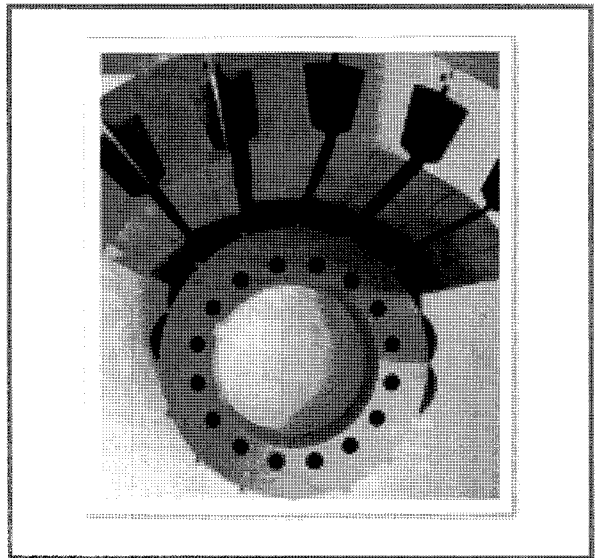


그림 10. 고정자와 회전자 코어 구성 예



## 2) 고효율화

고효율화를 위해서는 철손저감이 매우 중요하며 일반적으로는 저철손의 전자강판인 고Si의 얇은 전자강판이 사용된다. 또한 모터의 동손 저감도 중요하게 되므로 고투자율의 전자강판에 의한 철심 여자전류의 저감과 고가공성 전자강판의 사용에 의한 여자전류 저감이 필요하고 최적 설계 과정을 통한 전자강판과 영구자석의 상관관계에 대한 해석적 접근이 더욱 중요해 진다. 그림 11에는 FEM해석에 의한 등토펙설도의 사례를 보였다.

## 3) 제어성

최근의 고성능 모터는 제어에 의해 그 성능을 발휘한다. 모터를 인버터로 구동하는 경우와 같이 철심재료의 여자 주파수가 변화하는 경우에는 모터 정수가 주파수에 의해 변화하지 않도록 하는 것이 중요하다. 주파수 의존성이 적은 등가회로법이 소개되고 있으며 펄스 구동이나 PWM, PAM구동

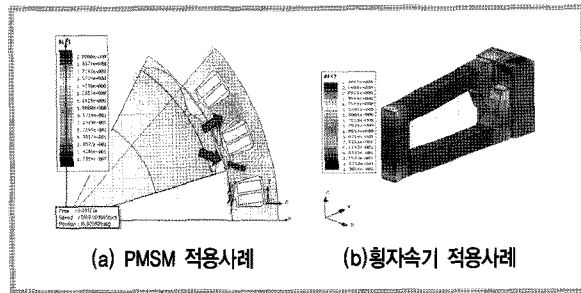


그림 11. 고정자와 회전자 자기해석 사례

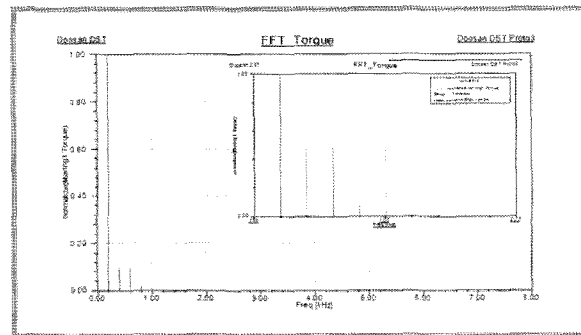


그림 12. 철심재료의 주파수 분석 예

에서는 고주파수 성분이 포함되므로 이에 대한 특성이 중요하게 된다.

## 4) 저진동 저소음화

진동, 소음에 있어서는 일반적으로 가진원과 기계공진을 고려할 필요가 있다. 가진원으로는 여자전류, 자석의 착자분포, 자기중심 불평형, 축수 등의 영향이 크고 자성 재료의 영향은 작다. 기계공진에서는 철심의 강성이 중요하고 이 강성은 고정도의 위치 결정에 영향을 준다.

그림 13은 서보모터 조립시험에 따른 가공 진원도 및 진동 측정예 적용되는 진동주파수 분석을 위한 측정 데이터를 보였다.

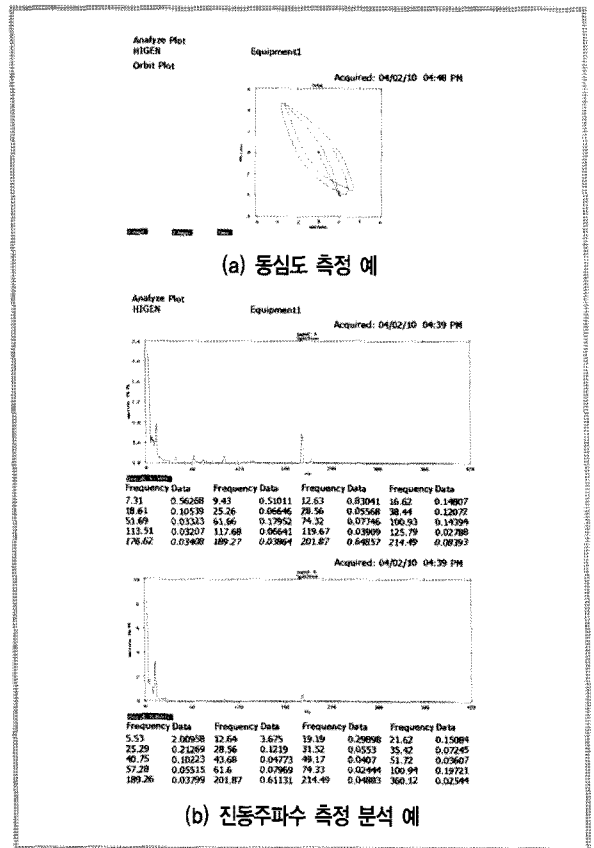


그림 13. 모터 진동주파수 및 동심도 분석

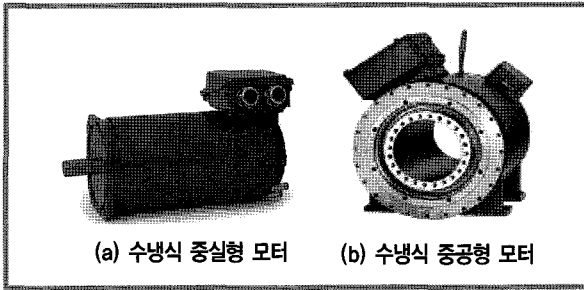


그림 14. 고효율 중실형, 중공형 모터

### 5) 냉각효율 증대 및 대형화

서보모터의 고효율화에 대한 수요가 점증하고 있고 이에 따라 냉각방식의 고효율화와 더불어 수십kW급을 넘어 100kW 내외의 서보모터가 소개되고 있다. 경량화를 목표로 구현되는 이러한 방식의 모터는 일반적인 자냉구조를 벗어나 강냉형 또는 수냉 구조를 적용하는 형태로 발전하는 경향을 보인다. 또한 구성 형태상의 특징으로는 일반적인 중실축 형태의 모터 구성에서 Direct Drive구동을 위한 중공축형 방식으로 변화하고 있으며 이와 더불어 중공형태의 피드백센서의 개발이 수반되고 있다.

특히 최근의 전기자동차나 전기추진 선박을 중심으로 중공축 구조를 갖는 모터에 대한 요구가 증가하는 모습을 보인다.

### 6. 결론

본 논문에서는 서보모터의 특징과 구성 방법에 따른 분류를 살펴보고 핵심 요소인 영구자석과 전기강판이 갖는 특성에 대해 고찰해 보았다. 이 분야에서의 국내 기술은 아직

도 선진 기술을 추종하는 수준이다. 산업 현장에서의 서보모터는 모터 단독으로서는 활용할 수 없는 특징을 갖기 때문에 모터 이외에 이를 구동하기 위한 서보 드라이브 및 모션제어기기 등과의 연계 개발이 필수적이다. 이와 더불어 개발된 기술이 사장되지 않고 제품화하여 시장 경쟁력을 갖추는데 있어서 먼저 모터제작을 위한 권선 고밀도화와 저코킹 설계, 코어 및 자성재료의 신소재 적용 등 관련기술을 심화하여야 한다. 또한 이를 제어하는 드라이브와 모션제어기는 인터페이스성능 강화와 속응성 제고 그리고 초 고분해능 엔코더신호처리 및 실시간 제어에 관한 지속적인 연구 개발이 요구된다.

생산 현장에서 광범위한 활용도를 갖는 이 분야의 속성상 각종 산업용 장치를 구동하는 핵심 요소로서 선진국과의 기술격차 해소와 국내 생산기반 기술 확보라는 측면에서라도 보다 적극적인 연구와 관심이 필요하다고 하겠다.

### 참 고 문 헌

- (1) 윤석길, 2002, 초강력영구자성체, 울산대학교출판부, pp. 263~282.
- (2) Krishnan, R, 2010, Pemanent Magnet Synchronous and Brushless DC Motor Drives, CRC Press, New York, pp. 21~39.
- (3) 최철, 2009, "서보시스템 구성요소에 따른 기술동향," *Motion Control*, 2009,1, pp. 42~50
- (4) POSCO, nd, "Electrical Steel"
- (5) 有限會社データ技術研究所, 2007, "回轉型サ-ボモ-タシステム2007", pp. 1~9
- (6) Ansoft, 2008, 2008Ansoft *Maxwell/Simplorer*, Ansoft Korea.