

# 전동기산업의 현황과 전망

김 동 상

(이천전기공업 전무이사)

## 1. 서 론

현대의 물질문명은 에너지와 밀접한 관계가 있다. 모든 산업설비와 우리 주위의 문명의 이기는 어떤 형태로든 전기 Energy를 빼고는 생각할 수가 없는 것이며 그 양상은 날로 깊어져 가고 있는 것이다. 특히 동력원으로서의 전기 Energy는 각종 생산설비의 구동력, 상하수도, 농업용수의 양수동력 등 큰 용량의 동력으로부터 가정용 의학용의 소전력에 이르기까지 관련 안되는 곳이 없으며 최근에는 FA, OA등에 사용되는 극소형동력으로까지 그 이용이 심화되고 있는 것이다. 따라서 전기 Energy의 기계 Energy로의 변환장치인 전동기는 인류문명이 지속되는 한 사용될 것이며, 그 응용적 측면에서 앞으로의 수요는 꾸준히 늘어날 것으로 보아 본고에서는 우리나라 전동기산업을 기술적 측면과 기업적 측면에서 조명하여 현재의 위치를 확인하고 장래를 전망하고자 한다.

## 2. 전동기 발전과정소고

전동기라함은 전기 Energy를 기계 Energy로의 변환을 목적으로 하는 기계라고 정의할 수 있다. 1824년 Gambey에 의한 Compass Needle시험과 Arago의 원반시험이 이루어지고, Faraday는 Arago의 원반회전을 유도전류에 의한 현상으로 설명하였다. 그 후 단상교류에 의한 유도전동기가 서기 1887년

Nicola Tesla에 의하여 특허가 획득되었고 1891년 Frankfort 전시회에서는 삼상전원의 송전과 삼상전원을 이용한 오늘날의 3상 유도전동기와 그 구조가 흡사한 전동기가 독일인 Mr. Brown에 의하여 설계 전시된 것이 효시라고 할 수 있다. 그후 교류전원에 대한 폭넓고 깊은 연구가 여러학자들에 의하여 진행됨에 따라 유도전동기에 대한 깊고 넓은 이론적해석과 이에 따른 발전이 이루어지게 되었다.

철심경과 철심쌓은 거리의 비에 따라 전동 특성 즉 효율, 역률등의 극대화 방안과 권선의 형태 Slot의 모양, Stator와 Rotor의 Slot수 Combination, Harmonics가 미치는 영향 즉 이상 Torque의 발생, 고주파 전기소음의 발생, 고주파 진동의 발생, 표유부하손발생 등 여러 가지 바람직하지 않은 현상발생에 대하여 넓고 깊은 연구와 개선이 이루어지게 되었다. 물론 이런 문제는 현재의 유한요소법등 새로운 분야의 발전에 따라 그 현상이 상세하게 해석되고 있고 앞으로 더욱 깊이있는 연구가 이루어질 것이다.

특히 최근의 절연재료와 자성재료의 발달은 전동기의 설계제작방법뿐 아니라 성능에 크게 영향을 미치고 있어 전동기산업이 관련 타산업과 밀접한 관계가 있음을 잘 알 수 있다.

전동기는 지금까지 부하의 구동용 즉 동력용으로 사용되어 왔으나 이제에는 그 범위를 넘어 제어 및 제어동력용으로 사용범위가 넓어지고 있으며 각종자동화동 형태를 달리하며 날로 그 응용범위가 넓어지고

있어 앞으로의 산업에의 공헌도가 더욱 깊어질 것으로 생각된다.

더구나 반도체기술의 발전에 따라 변속운전기술이 추가되어 그 응용이 다변화되었고 Energy Saving, 정속한 환경조성, 성력화등에 크게 기여하고 있으며 앞으로 Intelligent Drive로 다시 도약발전한다면 각종 System의 종합 Controll이 원활하게 될 것이며 크게 주목된다. 소형전동기 및 그 제어기술의 극치는 항공우주산업의 근간을 이루고 있고 일반산업에서도 계측기 Computer주변기기, 사무자동화기기, 자동차용 Servo기기, VTR, Camera등에 고도의 소형전동기 및 그 제어기술이 발전을 더해하고 있음을 우리는 잘 알고 있다. 이와같은 용도의 전동기는 영구자석 직류전동기, 교류 Micro motor등 각종 전동기 Stepping motor등으로 종래의 동력을 목적으로한 유도전동기와는 그 분야를 달리하고 있다.

### 3. 설계현황

설계는 우선 전기설계와 구조설계로 나누어 생각하고저한다.

#### 3.1 전기설계

종전에는 설계의 경향이 철기계가었으므로 비교적 기계가 크고 중량도 무거웠다. 이는 코일의 절연이 두껍고 철심용 전기강판의 자기적특성이 아직 떨어진 점도 있으나 전동기의 최대출력을 보다 높이 설계하여 출력의 여유를 과시하려는 제작자와 수요자의 의식구조에도 원인이 있었다.

그러나 최근에는 투자율이 높고 손실이 보다 적은 전기강판이 사용되고 있고 고품질의 절연재료와 특히 무용제 합성수지 Varnish의 진공가압함침 기술이 발전함에 따라 절연층의 Voidless화가 실현되어 절연특성(내전압, LH Corona 내습 등)을 향상 시켜주었을 뿐 아니라 전동기의 냉각효과도 크게 향상되었다.

따라서 전기설계도 종전의 철기계에서 보다 동기계화(Coppa machine)하는 경향으로 전동기는 보다 소형경량화 되고 있는 추세이다.

위에 설명한 것과 경우는 좀 다르겠으나 1910년대의 3HP4P급 전동기는 요즘 제품에 비하여 중량에서

약 5배 체적에서 약 8배를 기록하는 엄청난 차를 보이고 있다. 150kW-4P-3.3kV급 전동기는 1950년대 초는 현재의 IEC#450Frame size를 표준으로 하였으나 1980년대에 들어오면서 IEC#280까지 소형화 되고 있는 실정이다.

이와같은 전동기의 소형경량화 추세는 전동기 자체의 Cost의 Down과 Base 및 설치공사비용의 Down, 취급의 편의 등 User의 강력한 요청에 부응하는 것으로 앞으로 더욱 발전되어야할 것이다.

전기설계 중 아직 어려움을 겪고 있는 것은 농형 전동기에서 Stator와 Rotor의 Slot수 Combination 결정이다. 여러가지 연구결과가 있으나 실질적용하면 만족하지 못한 경우가 많다. 이 Combination이 잘 안되면 전기적 원인의 소음발생, 진동발생, 크로링현상의 발생, 이상 포유부하손의 발생의 원인이 될수가 있으며 특히 극수가 큰 전동기에서 주의를 요한다. 이런때는 자성 Wedge를 채용하여 Slot고주파를 완화시켜 주므로써 크게 효과를 기대할 수 있으므로 참고하여 주기 바란다.

현재는 유한요소법 개념으로 자속분포등을 정밀하게 해석하므로써 근본적으로의 해결에 많은 성과를 얻고 있다.

일반 특성계산, 표준화된 부품의 작도 등은 최근 도입된 CAD/CAM에 의하여 대개 이루어지고 앞으로 더욱 그 이용도는 높아질 전망이다.

#### 3.2 전기절연

전동기 절연계급으로서는 초기의 O종, A종시대를 지나 E종, B종이 지금도 상당히 채용되고 있으나 이미 F종이 일반화 되어가고 있다.

저압전동기에는 Epoxy 또는 ImidAmid의 Magnet wire가 보편화 사용되고 Nomex paper등 F종 절연물이 사용되어 F종 절연 체계를 이루고 있다.

Si계의 Magnet wire, Varnish가 사용되는 H종 절연체계의 저압전동기도 40°C 이상의 고온환경에서의 사용을 목적으로 제작이 보편화되고 있으며 앞으로 더욱 수요가 늘어날 전망이다.

고압전동기는 고압이란 특수성때문에 옛부터 Mica가 주로 사용되고 있다. 그동안 편마이카지형태로의 사용이 주를 이루었으나 현재는 분말 집성 Mica의 형태로 사용되는 것이 보통이다. 절연에 대

한 Varnish합침은 밥습, 절연증대, 발생된 손실열의 전도, 코일의, 전류로 인한 기계력에 대한 강도유지 등의 목적으로 절대필요하다. 그동안은 주로 Dipping방법에 의존하였으나 현재는 진공가압합침이 보편화 되어 있으며 앞으로도 당분간은 이의 대체공작법은 없을 것이다.

이 법은 진공 Tank에 조립된 Coil을 넣고 1~5 Torr의 진공진조를 통하여 습기를 제거한 다음 Varnish를 도입 합침과 동시 약 5~7kg/cm<sup>2</sup>의 압력을 가하여 합침을 돕도록 하는 방법이다. 특히 철심에 Coil을 삽입한 상태에서 무용제 Varnish를 합침하는 것을 전합침이라 하며 철심과 Coil이 완전밀착되고 사이의 공간도 Varnish로 메워져 절연 뿐 아니라 Coil의 기계적 강도, 발생열의 방산에 지금까지의 어떤 방법보다도 우수한 방법이라 할 수 있다.

그러나 Tank등 설비의 한계성 때문에 진공합침에는 초대형기에는 부득이 Resin Riched Mica Tape를 사용하는 이른바 Prepreg절연방식을 사용하게 된다. 이것은 미세Mica분말에 Resin을 합침하여 Tape화한 절연물로 Coil을 절연한 다음 철심에 삽입후 경화시키는 방법이다.

전합침방법이 고안되기 전에는 이 Prepreg방법이 널리 사용되었으나, 전합침방법이 실행되면서 차츰 줄어들고 대용량에서 주로 계속 사용되고 있다. 이와 같은 절연경향은 앞으로도 당분간은 지속될 전망이다.

### 3.3 구조설계

전동기는 고정자, 회전자 및 회전자를 Support하는 Bearing 및 End Bracket로 구성된다.

#### 3.3.1 고정자의 구조

고정자는 Frame에 진공합침 처리된 Coil과 철심이 조립된 구조로서 동력 전달과정에서 변형되어서는 안되며 Stator와 Rotor의 Gap이 균형을 이룰 수 있도록 정밀가공되어 있어야 한다. 차이는 있으나 IEC #400Frame이라는 Cast Iron이 많고 그이상은 철판의 용접구조가 많았으나 주조품의 생산성관계로 현재는 IEC#280까지도 일부 철판용접구조를 채용하는 경우도 있다. (maker의 특성에 따라 다름) 용접구조의 경우는 용접부위의 Stress를 열처리를 통하여

충분히 제거하여야 추후 변형으로 인한 사고를 방지할 수 있으므로 주의 하여야 한다.

설계시에는 Frame의 강도 계산이외에 진동 과소음에 대한 충분한 구조상 고려를 하지 않으면 안된다.

전자기적 힘이 Stator, Rotor 철심에 작용하고 다시 진동하는 기계력이 축에 작용하는데 이때 특히 가진극파수가 전동기의 일부의 고유진동수에 접근되면 큰 소음과 진동을 이르게됨을 유의해야 한다.

#### 3.3.2 회전자 구조

회전자는 축, 철심, 냉각풍용 Fan으로 구성된다. 이들 조합체는 회전하므로 부분 부분이 각기 원심력에 충분히 견딜 구조 강도를 가져야 함이 필수조건이다. 특히 각부분의 열팽창을 정밀히 분석예측하여 구조적 합리성여부를 판단해야 하며 운전전후 부분적 온도 상승차이에 의한 팽창의 차에 의해 발생하는 쥘새의 변화에 특히 유의해야 한다. Fan Boss와 축, Rotor 철심내경과 축의 쥘새등이 고려의 중요대상이다.

기계내의 온도분포, Rotor Bar와 End Ring 등의 온도 등은 최근 활용되고 있는 유한요소법에 의한 분석방법이 유효하게 사용되고 있다.

Rotor Bar와 철심 Slot사이의 합리적공차를 벗어나면(극단적으로 표현하여 지나치게 헐거우면)기동 운전정지가 반복됨에 따라 Rotor Bar의 절단사고가 유발되는 원인이 되므로 특히 주의를 요한다.

회전자 설계시 가장 중요한 것은 진동에 관한 판단이다. 축의 고유진동수와 축의 Bending 또는 Twisting Vibration이 공진할때 축회전속도를 위험속도(Critical speed)라고 한다. 대용량의 2극, 4극 등 고속기에서는 원심력을 줄이기위하여 회전자 외경을 줄이게 되므로 위험속도나 정격속도의 아래 있을 가능성이 커 기동시 큰 진동영역을 통과해야 하며 때에 따라서는 아무리 Balancing작업을 한다 하여도 진동이 잘 안잡힐 수도 있어 이에 대한 설계상 세심한 고려가 필요하게 된다.

일반적으로는 위험속도가 정격속도보다 높으므로 별 문제는 없고 Dynamic balancing만으로도 진동을 해결할 수가 있다. 위험속도는 최근의 전산 Program에 의하여 정확히 계산해 내고 있다.

회전자의 한 요소인 냉각 Fan은 발생된 열을 방산

시키는 목적을 가진 것이므로 필요불가결한 것이다. Fan에 의하여 바람이 일어날때 그 풍량의 크기, 바람의 방향, Fan날개의 수, 그리고 모양에 따라 소음이 발생할 수가 있다. 특히 2극 등 고속기에서는 크게 문제가 되고 있어 방향성 날개의 Fan채용, 수냉식 냉각방식의 채용 등 여러가지 조치를 취하고 있으며 일방 고효율화로 냉각풍량을 줄여 소음을 줄이기도 한다. 최악의 경우에는 소음 Cover를 설치하는 수도 있다. 이와같은 진동이나 소음은 제작품을 시험하는 과정에서 세밀한 측정과 분석을 하여 실체를 확인하고 완성제품으로서의 합격여부를 판단하여야 한다.

소음 기준은 날이 갈수록 가혹해져 가고 있어 설계상 계속 섬세한 검토가 이루어져야 한다.

축은 설계상 부득이 Arm을 용접하여 붙인 Arm Type이 있다. 충분한 용접응력제거와 부하응력을 분산시켜주지 않으면 축이 절단되는 수가 있으므로 주의를 요한다.

이와 같이 축을 중심으로 전동기의 Rotor는 설계상, 공작상 어려움을 갖고 있으며 현재도 꾸준한 연구개선이 이루어지고 있음을 첨언한다.

### 3.3.3 베어링 및 End Bracket

Bearing은 일반적으로 Antifriction Ball or Roller Bearing을 사용한다. Lithium Greese를 주입하며 소형은 구리스밀봉형 Ball Bearing을 사용한다. 고온 또는 저온용의 Bearing and Greese가 필요에 따라 선택 사용된다. 대용량이 되면 Sleeve Bearing의 사용이 보편화되고 특히 2극기에서는 그 품질을 극력 선별하여야 한다. 사용하는 윤활유의 점도를 엄격히 지켜야 하며 기동시에는 베어링 표면에 유막

형성을 확인하고 하지 않으면 표면을 손상시킬 위험이 있으며 이때는 진동의 원인이 될 수가 있다.

Bracket는 정밀히 가공되고 Rotor하중을 무난히 Stator Frame에 연결시킬 수 있는 강도를 유지하여야 한다. 여기에 문제가 생기면 Stator Rotor간 Gap평형에 이상이 생겨 원활한 운전이 불가능해짐을 알아야 한다.

## 4. 기업적 측면에서의 전동기 산업

지금까지 기술적 측면에서의 전동기 산업의 현황과 장래를 전망하여 보았다. 본절에서는 산업적 측면에서의 전동기 산업을 조명코저 한다.

### 4.1 우리나라 전동기 산업의 위치

경제기획원 광공업 통계조사보고에 의하면 1977~1987년 사이 우리나라 제조업은 15,438,297(백만)원에서 113,905,180(백만)원으로 7.3배 증가되었고, 이중 전기공업은 350,260(백만원)에서 4,471,345(백만)원으로 12.7배 증가되었다. 전기공업의 비중도 2.27%에서 3.93%로 늘어났다.

일반 전기공업협동조합의 통계에 의하면, 1977~1987년 우리나라 전기기기 제품생산은 75,945(백만)에서 950,851(백만)으로 12.5배로 증가되어 있어 전기기계공업이 이기간 동안 12.5배 근사 증대하고 있음을 알 수 있다. (25%평균증가) 그중 금번 논제인 유도전동기 및 소형전동기는 10,289(백만)원에서 109,169(백만)원으로 10.6배의 증가를 이루고 있다. (24% 등) 89년 117,134(백만)원, 90년에는 138,600(백만)원에 이를 전망이다.

표 1. 전동기의 수급현황

(단위1000 \$)

년 도		83	84	85	86	87	88
공 급	생 산	81,332	88,132	103,442	133,722	193,320	241,465
	수 입	40,529	73,074	45,670	80,059	78,218	141,546
	합 계	121,861	161,206	149,112	213,781	271,538	383,011
수 요	내 수	100,683	136,175	125,570	199,602	253,121	353,168
	수 출	21,178	25,031	23,542	14,179	18,417	29,843

(전기공업 협동조합 통계)

이들 통계는 전기기계공업이 전체 제조업의 성장보다 빠르고 그 점유율도 높아져 가고 있으며 전동기산업도 대체로 이와같은 추세로 증가되고 있음을 알 수가 있다. 이는 그동안 우리나라가 중진개발도상국으로써 중전기공업이 선진국에 비하여 유리하였기 때문이라 생각된다.

표1 현황으로부터 88년도의 전동기의 자급도, 수출비율, 수입의존도를 보면 다음과 같다.

$$\text{자급도} = \text{생산/내수} = 68.3\%$$

$$\text{수출비} = \text{수출/생산} = 12.3\%$$

$$\text{수입의존도} = \text{수입/내수} = 40.0\%$$

이로 미루어보아 아직 수입대체의 여지가 너무 많으며 선진국에 비하면 수출이 약 30%목표로 하고 있음을 참고할 때 보다 수출을 위한 노력이 필요하다고 하겠다.

일반표준형전동기의 국내 생산시설이 수요에 비하여 과잉이란 평을 받음에도 불구하고 자급도가 낮은 것은 선진기술을 요하는 고속기동 특수대용량전동기, 설비의 Engineering능력부족으로부터 발생하는 수입, 방폭전동기, OA, FA 기타 첨단기술을 요하는 전동기 등이 국산화가 늦어지는데 그 원인이 있다. 그리고 수출도 지금까지 부가가치가 낮은 표준형전동기 중심으로 수출이 이루어졌으나 국제 수출시장은 날이 갈수록 경쟁이 격심하고 환율문제 등 기술외적문제가 겹쳐 더욱 어두운 분위기이므로 새로운 차원의 수출방안모색이 절실하다.

## 4.2 외국의 전동기산업 추이

미국은 이미 발전설비등 비교적 부가가치가 높은 전동기되는 직접제작을 기피하고 값싼 외국제품을 OEM방식으로 생산판매하고 있다. US Motors, Reliance등 일부 Maker이외는 사실상 직접생산을 하지 않고 있는 실정이다. 따라서 소용량전동기를 시작으로 해외로부터의 수입이 해를 거듭할수록 증가되고 있다. 지금까지는 일본, 대만, 한국 등이 주로 수출국이었으나, 중국, 동구권 국가들의 맹추격을 받고 있는 실정이다.

일본은 자국의 전동기산업을 비가격장벽을 만들고 주력보호하고 있어 전동기의 일본공략이 대단히 어렵다. 그들은 제3국에의 수출을 위하여 한국, 대만 등 해외에서 값싼 전동기를 조달하는 것 외는 거의

수입하지 않고 있어 빈축의 대상이 되고 있다.

유럽은 중전기 Maker들이 통폐합을 통한 다국적화를 기하므로써 경쟁력강화에 힘쓰고 절대 과당경쟁은 피하며 전동기 산업을 육성보호하고 있다. 그들은 Engineering단계에서 그들 고유의 규격을 장벽으로 영외로부터의 전동기 수입에 제약을 가하고 있다.

폴란드, 체코, 유고 등 공업화된 동유럽국가들은 비교적 우수한 품질의 표준형전동기를 그들의 자유화트롬에 따라 특유한 저가로 서방세계의 진출을 꾀하고 있어 크게 주목되고 있다. 이는 중국도 같은 실정이라 할 수 있다.

이와같은 공산국가의 진출은 한국, 대만 등 전동기 수출국에 큰 위협이 되고 있으며 크게 주목되고 있다.

전기강판등 원자재의 문제가 있기는 하지만, 선진국들은 전동기 자체에 대한 연구보다는 그 응용연구에 주력하고 있다. 가장 응용도가 넓은 것은 Inverter의 발달에 따라 전동기의 속도 변환이 가능해져 이를 이용한 각종 적용, 응용이다. 우리나라도 상당수준에 와있다고 하겠으나 아직 요원하다고 할 것이다.

## 4.3 우리 전동기산업의 당면과제와 앞으로의 방향

우리나라는 그동안 표준형 유도전동기로부터 시작하여 현재 5000IP용량 특히 3600HPm의 고속전동기의 제작기록과 제조경험을 가지고 있다. 기회가 주어진다면 더욱 큰 용량도 성공적이고 제작이 가능하다. (국산화율 95%이상) 앞으로 발전설비를 비롯하여 각종설비에 필요한 대형전동기의 완전국산화를 강력히 주장한다. 제작사는 설계제작경험을 연구회 자기의 기술로 토착화시켜 완전무결한 품질관리체제를 이루어 놓지 않으면 안된다.

소형을 비롯한 각종 전동기의 우리 생산능력(월 15만 내추산)을 가동하기 위하여는 적극적 수출책이 필요하다. 그동안 3자에 힘입어 상당량의 수출이 이루어진 바 있었으나, 이제 인건비를 비롯하여 각종 비용의 급상승으로 이미 경쟁력을 잃어가고 있는 반면 동구, 중국등의 값싸고 좋은 제품이 우리를 국제시장에서 몰아 붙일뿐아니라 멀지않아 국내시장을 침범할때 우리의 대비책이 없는 것이다.

---

전동기 산업은 우리가 꼭 지켜야 할 분야이다. 자동화 공정을 도입하여 원가를 낮추고 비표준, 다품종 소량생산체제를 확립하여 전천후 공정화하며 개발도상국과의 분업도 검토하여야 될 것이다. 각종 특수전동기의 개발에 힘쓰고 그 응용기술개발에 역점을 두어 전동기산업의 육성에 힘쓰지 않으면 안될 것이다.

## 참 고 문 헌

- [1] Vickers Induction Motor
- [2] 전기공업협동조합 통계자료
- [3] 중전기공업의 중전기 발전계획수립연구 : 한국산업개발연구원
- [4] 중전기기 기술개발 5개년 계획, 한국전기공업협회