



# 중전기 산업의 기반기술 구축

## - 초고압 전력기기 국산화 -

김 중 한\*

(\*호성중공업주식회사 부사장)

### 1. 서 론

우리나라의 초고압 전력기기 분야는 선진국에서의 중전기 산업의 전반적 퇴조, 중동지역에서의 송변전설비의 수요증가, 동남아시아의 빠른 경제성장에 따른 전력설비의 증설, 한전의 2000년대 초로 예정된 765kV 송전 격상사업에 대비한 준비활동으로 생산, 수출, 연구개발 등에 있어서 비약적인 발전을 이룩하고 있다.

국내 중전기 산업이 이러한 호기를 효과적으로 이용할 수 있게 된 배경에는 선진국에서의 중전기 산업의 일부 사업조정 및 1960년 이후로 지속적으로 추진된 국내 중전기 산업의 육성 정책과 연구개발 노력의 일환이라고 하겠다.

그러나 아직까지 국내 중전기 업체의 기술수준은 선진 외국 회사와의 기술차이를 나타내고 있으며 중전기 산업의 기반 기술구축을 위한 초고압 전력기기의 국산화 연구개발은 지속되어야 할 것이다.

### 2. 중전기 산업의 국내외 현황 및 기술 수준

#### 2.1 국외현황

전세계의 초고압 전력기기 분야는 유럽의 다국적 기업인 ABB, GEC-ALSTHOM, SIE-MENS등과 일본의 HITACHI, MITSUBISHI, TOSHIBA등에 의해 주도되고 있다.

그리고 미국의 GE 및 WESTINGHOUSE등 대표적인 중전기 업체들은 사업구조 조정을 위해 송변전설비, 배전설비, 일부 발전설비 분야를 상기 유럽 기업들에게 매각하였으며 영국의 GEC사도 프랑스의 GEC-ALSTHOM에 합병되었다.

한편 일본의 빅3사는 끊임없는 기술개발과 원가절감, 전력회사들의 충분한 연구개발자금지원 및 자국회사 구매우선으로 아직도 경쟁력을 유지하고 있는 실정이다.

#### 2.2 국내현황

우리나라의 초고압 전력기기 분야의 기술 개발 및 국산화 개발과정을 살펴보면 정부의 육성정책과 한국전력공사가 단계적인 송전전압 격상사업을 추진하면서 이 분야를 이끌어 왔다고 할 수 있다.

60년대 후반부터 시작하여 이 분야는 70년대에 선진국으로부터 기술도입을 통해 기반을 다졌으며 상당한 양적인 성장도 이룩했다. 획기적인 발전기인 80년대에는 한국전기연구소에 국제규모의 초고압 전력기기 시험설비와 단락시험설비가 준공됨으로써 국내개발시험이 가능해짐에 따라 국산화 개발이 활발히 진행되었다. 90년대에 들어와서 수입자유화에 따라 국내시장에서도 선진국과의 경쟁이 불가피해짐에 따라 기업의 기술개발의욕이 높아지고 정부의 제조업 경쟁력 강화방안으로 한전이 1991년부터 1996년까지 연간 200억원 규모의 연구개발자금지원을 하게 되어 기술개발이 더욱 촉진되었으며, 차기 송전전압용인 765kV급 변압기 및 차단기, 리액터의 개발은 물론 핵심설계 기술개발에도 박차를 가하고 있다.

#### 2.3 기술수준

우리나라 중전기 산업의 전반적인 기술수준은 개발도상국(대만, 싱가포르, 중국, 말레이지시아, 인도 등)에 비해 우위를 차지하고 있으며 핵심기술, 하이테크 기술 및 요소기술의 일부를 제외하고는 선진국에 비해서도 크게 떨어지지 않는 수준이다.

설계기술은 선진국의 설계기술을 모방 또는 복제 등을 선호하여 자체 설계에 필요한 기술축적 및 경험이 부족한 것은 사실이나 현재 기술도입에 의한 자체소화 및 응용분야의 연구개발 노력으로 500kV급까지는 선진국과 비교하여 절연구조 설계 기술, 전자기 해석기술, 응력해석 기술등은 크게 떨어지지 않는 수준이다.

소재기술은 연구개발의 장기화, 과대한 연구투자비 소요, 국내시장이 한정성 때문에 연구개발 기피현상이 있기는 하나 중전기 제품의 핵심소재인 동과 규소강판은 국산화 개발이 되어 전량 국내생산이 가능하며 일부 고효율 규소강판만 수입하는 실정이며 절연지는 수요의 한계성으로 아직 전량 수입 사용하는 실정이다.

가공 및 조립기술은 국외 선진국에 비해 초창기에는 제조설비가 취약하고 특히 대량생산을 위한 자동화 및 기계화 설비가 미흡한 실태였으나 현재는 제조업체들이 설비투자 및 대량생산체제 구축을 통해 가공기술은 뒤지지 않는 상태이다 그리고 예방진단기술은 현재 기술수준이 낮은 상태이나 각종 대형전력기기의 사고를 예방 보전하기 위해 설비진단 기술이 중요하게 대두됨에 따라 국내에서도 연구가 활발히 진행되고 있으며 변압기 차단기등 일부 중전기기에는 설비진단을 적용하고 있다.

### 3. 국내 초고압 전력기기의 국산화개발 현황

#### 3.1 변압기

전력수요의 증가, 특히 하절기 전력수요의 증가로 인해 전력용 변압기 업계는 지속적으로 생산과 공급이 증가했으나, 최근에는 그 성장세가 국내 경기침체로 둔화되고 있는 추세다. 세계적으로 송전전압은 높아지고 있는데 국내외의 송전계통 전압의 상승추이를 보면 그림 1과 같다.

중전기기 중에서 수출실적이 가장 많고 국산화 개발이 제일 활발한 초고압 변압기는 효성중공업의 독주를 거쳐 1989년 초고압 중전기기의 투자조정이 해제된 이후 현대중공업이 3상 40/60MVA 154kV 및 단상 167MVA 345kV 변압기, 이천전기가 3상 45/60MVA 154kV 변압기를 개발시험완료하여 경쟁체제를 갖추었으며 1992년 효성중공업이 전북 고창에 765kV 송전전압 선로 실증시험용으로 단상 3MVA 765kV 3대를 개발 납품하여 사용중에 있다.

1976년 3상 77MVA 145kV 변압기로 시작된 효성중공업의 변압기의 수출과 그 이후 현대중전기가 수출에 주력함에 따라 중동, 아시아지역

전력용변압기(1φ 500 MVA) 및 800kV GIS를 개발 완료했으며, 이중 765kV 전력용변압기(1φ, 500MVA) 설계제조기술은 2001년부터 완공 예상되는 국내 최고의 송전전압인 765kV 송전계통에 필요한 기술로써 한국 전력의 생산기술 개발사업 자금지원으로 효성중공업 주관하에 1996년 7월에 개발 완료하였다.

표 1. 변압기 국산화 개발 연혁(효성중공업)

| 연도   | 국산화 개발 내용                                     |
|------|---|
| 1969 | 154kV급 전력용 변압기 생산개시(국내최초)                     |
| 1976 | 필리핀에 변압기 수출(3φ, 145kV, 77MVA)                 |
| 1978 | 345kV 변압기 개발(1φ, 345kV, 167MVA)               |
| 1979 | 뉴질랜드에 변압기 수출(1φ, 230kV, 67MVA)                |
| 1979 | 발전소용 345kV 475MVA 변압기 생산                      |
| 1982 | 원자력발전소용 345kV 1155MVA/Bank 변압기 공급             |
| 1983 | Gapped core 분로 리액터 개발 (3φ, 23kV, 30MVAR)      |
| 1985 | 이동용 전력용 변압기 개발(3φ, 154kV, 23MVA)              |
| 1986 | 방글라데시에 변압기 수출(1φ, 245kV, 67MVA)               |
| 1988 | Current limiting Reactor 개발(3φ, 23kV, 12MVAR) |
| 1989 | 말레이시아에 변압기 수출(3φ, 275kV, 240MVA)              |
| 1990 | Large Core 초고압 변압기 개발(1φ, 345kV, 166.7MVA)    |
| 1992 | 765kV 변압기 개발(1φ, 765kV, 3MVA)                 |
| 1993 | 대만 전력청에 변압기 수출(3φ, 154kV, 728MVA)             |
| 1994 | 일산발전소 가스터빈용 변압기 개발(3φ, 154kV, 126MVA, 70dB)   |
| 1996 | 상분리형 발전소용 변압기 개발(1φ, 154kV, 15/20MVA)         |
| 1996 | 상용외철형 765kV 변압기 개발(1φ, 765kV, 500MVA)         |

또, 최근들어 대형건물내의 화재방지를 위해 불연변압기의 개발에 관심이 고조되고 있다.

1982년부터 효성중공업, LG산전 등이 선진기술을 도입하여 배전급 애플시 몰드변압기를 개발 생산하고 있으며, 효성은 89년에 SF<sub>6</sub>가스를 이용한 단상 22.9kV 1000KVA 가스절연변압기를 개발 완료하였으며, 현대중공업이 95년에 3상 22.9kV 10MVA 가스절연변압기를 개발했다. 효성은 또한 PFPE 불연액을 이용한 3상 22.9kV 500KVA의 불연변압기 개발을 완료하고 1φ, 154kV, 20MVA 방재형 변압기를 현재 개발중에 있으며 내년에 국내에서도 154kV급 SF<sub>6</sub>가스 변압기를 개발할 계획이다.

1961년 미국의 Mcfee가 120MVA의 초전도변압기 개념설계를 한 이후 연구가 진행중인 초전도변압기는 전류밀도가 큰 초전도선을 사용함으로써 권선의 전류밀도가 10~20배 상승함으로 인해 철심의 단면적이 작아지고 전체적인 중량이 종전의 약 64%로 줄게되는 특징이 있다. 1981년에 미국의 Westinghouse社가 1,000MVA 초전도변압기의 개념설계를 하였고, 1983년 프랑스의 Alstom社에서 교류에 사용해도 손실이 극히 적은 극세사심 초전도선을 개발했으며, 국내에서도 2000년도 초에는 개발이 시작될 전망이다. 세계적으로 초전도변압기에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

계통전압 (kV)

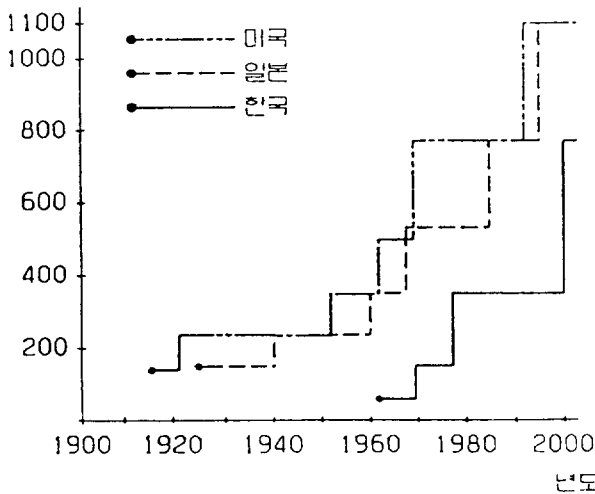


그림 1. 국내외 송전계통전압의 상승추이

등에 많은 물량을 수출하였고 1986년에 단상 250/300MVA 400kV를 개발하여 1988년에 캐나다에 납품하였고, 수출지역도 동남아, 중동, 북미등으로 확대되었다. 1989년에는 효성중공업이 3상 45MVA 345kV 발전소의 START-UP 변압기를 대만전력에 납품하여 발전소용 변압기의 수출기반을 마련하였다. 그리고, 효성중공업을 중심으로 전력용변압기의 국산화 개발을 살펴보면 표1과 같다.

한편, 한전은 현재의 송전선로 계통전압인 345kV로는 점차 전원의 원격화, 대용량화에 대응하지 못한다고 판단, 2000년초에는 765kV로 송전전압을 격상시켜 송전전력을 증가시키기로 하였다. 이에 따라 한전은 '93년 8월부터 전남 고창군 상하면 용정리에 765kV 실증시험장을 완공, 초고압 실증시험을 통해 차기의 송전전압 격상에 대비하고 있다. 아울러 한전자금지원과제로 765kV

### 3.2 차단기 및 GIS

세계경제의 개발화 추세에 맞추어 국내 중전기 시장도 독점 시장점유 체제에서 공개입찰 자유 경쟁체제로 바뀌었으며, 향후 해외업체에 대한 개방도 조만간 이루어질 전망이다. 현재 국내에서는 초고압 차단기 및 GIS시장에 있어서 효성중공업이 필두로 현대중공업, LG산전이 경쟁을 가속화하고 있으며, 개발의욕도 높아 신기술이 집약되고 Compact한 GCB, GIS 개발에 주력하고 있다. 또 한전의 향후 송전전압 격상추진에 따라 관련 국산기재 개발을 서두르고 있으며, 효성중공업이 800kV GIS, 362kV 63kA GIS 개발에 적극 참여하여 개발 진행중에 있다.

170kV급 이상의 초고압 GCB, GIS는 현재 대부분의 자재가 국산화되어 170kV 31.5kA 1200A /2000A GCB, GIS는 신IEC 규격에 맞추어 효성중공업, 현대중공업, LG산전이 '93년 이전에 이미 국산화개발을 완료하였으며, 대전류 통전용으로 170kV 50kA 4000A GIS는 효성중공업이 1996년에 추가로 개발완료하였다. 362kV급 GIS는 신IEC규격에 따라 효성중공업과 현대중공업이 개발완료 하였으며, 효성중공업은 현재 362kV 1점절 GCB를 갖춘 GIS를 개발 진행중에 있으며, 유압조작기를 적용할 예정이다.

현재 국내 한전용으로 신규개발 진행되고 있는 기종은 362kV 63kA 8000A와 800kV 50kA 8000A GIS로서 효성중공업이 진행 중이다.

내수중심에서 수출로의 시장개척의 노력은 145kV GIS를 효성중공업에서 말레이시아에 납품완료한 것과 현대중공업에서 사우디아라비아에 납품함으로써 수출실적을 쌓아가고 있으며, 특히 효성중공업의 경우 말레이시아 최고의 송전전압인 275kV 계통에 한국전기연구소의 개발시험을 거쳐 300kV GIS를 납품하였는데 이는 최초로 국내업체가 공인기관 인증하에 품질을 인정받아 납품한 것으로 해외시장의 개척에 시사하는 바가 크며 그리고, 효성중공업 중심으로 전력용차단기의 개발을 살펴보면 표2와 같다.

표 2. 차단기 국산화 개발 연혁(효성중공업)

| 년도   | 국산화 개발 내용                                 |
|------|---|
| 1977 | 170kV 50kA OCB(Oil Circuit Breaker) 개발    |
| 1978 | 170kV 31.5kA 1200/2000A GCB 개발            |
| 1979 | 362kV 40kA 2000/4000A GCB 개발              |
| 1980 | 170kV 50kA 2000/4000A GCB 개발              |
| 1980 | 170kV 31.5kA 1200/2000A GIS 개발            |
| 1983 | 362kV 40kA 2000/4000A GIS 개발              |
| 1984 | 170kV 50kA 2000/4000A GIS 개발              |
| 1989 | 145kV 40kA 2000A GCB 개발                   |
| 1992 | 170kV 31.5kA 1200/2000A GIS 개발            |
| 1992 | 72.5kV 25kA GIS 개발                        |
| 1992 | 170kV 31.5kA 2000A GIS 개발(3상 일괄탱크형)       |
| 1993 | 145kV 25/31.5kA GIS 개발                    |
| 1993 | 25.8kV 25kA 600/2000A GIS 개발              |
| 1993 | 362kV 40kA 4000A GIS 개발                   |
| 1993 | 170kV 50kA 1200/2000A GIS 개발              |
| 1994 | 170kV 50kA 4000A GIS 개발                   |
| 1996 | 145kV 40kA GIS 개발(수출용)                    |
| 1996 | 170kV 50kA 3φ 일괄형 GIS 개발(조작기:3상일괄 유압 조작기) |

### 3.3 기타기기

기타 전력기기에 대해서 살펴보면 우선 지중송전선로의 지속적인 확충으로 인한 경부하시에 수전단의 지나친 전압상승을 억제하기 위해 설치되는 대용량 분로 리액터는 1980년대 초에 효성중공업과 현대중공업이 3상 30MVAR 24kV를 제작하여 한전에 납품하였고 1983년에 현대중공업이 3상, 7.5MVAR, 154kV 분로리액터를 터키에 수출하였다. 그리고 효성중공업과 현대중공업이 1996년에 3φ 100MVAR, 345kV 리액터를 개발 완료했으며, 3φ 200MVAR, 345 kV 리액터를 개발중에 있다. 또한 단상 765kV 50MVAR 분로 리액터를 현대와 효성이 공동으로 97년에 개발완료를 목표로 개발중에 있다.

그리고 GIS용으로 필요한 154kV 및 345kV Gas Voltage Transformer를 거의 수입에 의존하고 있으나, 1997년부터 본격적으로 개발하여 국내 변전소에 점진적으로 납품될 예정이며, 세계 선진 제조업체에서는 광센서를 이용한 C.T/P.T.를 800kV급까지 개발완료하여 상품화하였으며 국내에서도 빠른 시일내에 광센서를 이용한 C.T/P.T.를 개발하여 상품화할 계획이다.

## 4. 향후전망

우리나라의 변압기 국산화 기술개발은 송전전압의 증가와 더불어 추진되어왔고 그 용량 역시 발전기의 단위용량의 증가와 더불어 증대되어왔다. 향후 변압기의 발전방향은 앞서 언급한 바와 같이 차기 송전전압공사용인 765kV급 변압기의 개발과 애폭시 몰드변압기의 대용량화 및 SF<sub>6</sub>가스 및 불연변압기의 개발을 들수가 있으며 저손실 변압기로는 아몰퍼스 코어의 생산 기술과 가격경쟁력 개선이 예상되어 아몰퍼스 변압기의 생산 기술 및 대용량화와 초전도변압기의 국산화개발도 기대할 수 있다. 기술적인 측면으로는 지금까지와 같이 기술도입에 의한 기술소화 수준을 벗어나 전계, 자계, 유동, 열, 서지 등의 분포를 해석하는 기초설계기술과 대용량화에 따른 운반, 설치등을 고려한 구조설계기술등이 개발되어 제조기술면에서는 절연처리 기술의 향상, 애폭시 몰딩기술의 확립등이 기대된다. 변압기 국산화 기술개발의 문제점은 소재 생산기술의 취약으로 일부품목에 대해서는 국내업체의 국산화 노력으로 국산화율은 상승추세를 보이고 있지만, 저손실 구조강판, 프레스보드 및 각종 절연물과 OLTC, 154kV급 이상의 NLTC, 66kV 이상의 붓싱 등의 수입으로 인해 국제 경쟁력 저하의 원인이 되고 있다. 따라서, 변압기 소재 및 부품산업의 육성이 조속히 요청된다. 이와같은 국산화 개발은 제조업체의 노력만으로는 성공을 기대하기 어렵고 정부, 대학, 정부출연연구소 등의 공동협조하에 기술개발자금 확보, 대규모 시설투자 등에 대한 적극적인 지원이 필요하다 하겠다.

차단기 부문의 경우 7.2kV 및 25.8kV급 VCB의 개폐서지와 기존의 과퍼형 가스차단기의 가격, 중량, 크기 등의 문제로 인하여 아크의 열팽창을 이용한 완전 자력소호 또는 자력소호와 로터리 아크소호방식을 혼용한 형태의 SF<sub>6</sub>가스 차단기가 가까운 장래에 각광을 받을 전망이다. 170kV급 이상의 경우 362kV 40kA 1점절 GCB 및 362kV 63kA 1점절 GCB가 개발될 전망이며 765kV 전압격상을 대비하여 800kV GIS도 개발납품될 예정이다.

한편 도시의 과밀화에 따른 부지선정의 문제로 인해 25.8kV 급 이상에서는 GIS가 강력히 대두될 전망이며 경제적인 요인

으로 GCB 자체의 소형화는 물론 GIS에 대한 Compact화도 중요한 변수로 부각될 것이다. VCB는 고압, 특고압용으로 주로 사용되고 있고 VCB의 Compact화, 진공bulb의 양산기술, SURGE FREE 접점의 개발등이 우선적으로 해결되어야 할 과제들이다. 우리나라의 차단기 개폐기의 기술은 선진국의 기술도입 및 모방기술에 의존하고 있는 실정으로 경쟁력의 확보를 위해서는 기초설계기술의 자립이 필요하다 하겠다.

### 5. 결 론

세계적인 개방화의 흐름은 국내시장의 개방화와 공업선진국들의 기술보호주의 정책으로 이어져 국내업체들에 직접적인 영향을 미칠 것으로 예상되며, 중전기사업 부문에서도 첨단기술을 사용한 소형화, 고성능화, 자동화되는 추세는 더욱 뚜렷해질 것이므로 이에대한 충분한 대응책이 필요하다.

개방화에 따른 선진 Maker의 국내시장의 진출은 국내업체의 성장을 둔화시킬 수 있지만 지속적인 기반기술 구축 및 소재, 부품 국산화 노력 및 품질향상 기술은 결국 국내업체의 선진화를 촉진시킬 수 있을 것이다. 즉, 기술 자립을 위한 노력과 축적된 기술응용 및 활용이 어느 때보다도 요구되는 때임을 인지하여야 하며 보다 장기적인 계획을 수립하여 관련기관과 협조로 위기를 극복해야 할 것이다.

21세기를 눈앞에 둔 우리는 세계화, 정보화, 개방화라는 새로운 패러다임의 변혁의 시대에 살고 있으며, 첨단 산업의 발달은 과거의 공간적, 시간적 제약 없이 전세계를 블록화, 글

로벌화 하고 있다. 중전기업계도 이제는 세계적인 경쟁우위를 확보하기 위해 적극적인 전략으로 위상과 경쟁력을 높여 나가야 할 때이며 모든 전략은 대·중소기업간의 협력은 물론 산, 학, 연, 관이 상호 협력할 때 가능해질 것이다.

### 참 고 문 헌

- [1] 전기연감 제3편 전기공업 변압기 대한전기협회 1997년판
- [2] 전기연감 제3편 전기공업 전력차단기 대한전기협회 1997년판
- [3] 대한전기학회지 1996년 12월호
- [4] 산학연 21 제58호, 1996년
- [5] Transformer technical information 효성중공업 자료
- [6] Development history in HVCB 효성중공업 자료

## 저 자 소 개



### 김중한(金重漢)

1940년 5월 23일생. 1964년 서울대 전기공학과 졸업. 1964년 효성중공업 입사. 1996년~현재 효성중공업(주) 부사장