

765kV급 가스절연개폐장치(GIS) 국산화 개발

(주) 효 성
 중공업연구소 차단기파트
 부 장 송 원 표

1. 개발의 배경

(1) 가스절연개폐장치의 역할과 중요성

발전소에서 출력된 전기에너지는 送電線, 變電所, 配電變壓器 및 柱上變壓器등을 거쳐 최종사용자인 공장이나 일반가정으로 공급된다. 그런데 전기를 공급하는 중에 故障이 발생하게되면 사고지점에는 커다란 故障電流가 흐르게되어 系統에 설치되어 있는 여러 기기에 커다란 손상을 주게 되며, 최악의 경우에는 모든 電氣器機들이 파괴되어 버리는 경우도 발생할 수 있다. 이를 방지하기 위해서는 고장전류를 빠른 시간안에 끊고 다시 정상으로 復舊를 해야 하는데, 이때에 필요한 것이 바로 “개폐장치(開閉裝置)”라고 부르는 기기이며, 이 개폐장치는 일반적으로 잘 알려져 있지는 않지만 전기계통에서는 어느 기계보다 주어진 책무가 중요하고 일반 기기보다 훨씬 가혹한 조건에서 사용될 수 있도록 제작되는 계통보호용기계이다. 일반 변전소에서는 전압을 변환시키는 주변압기(主變壓器)가 있고, 그 전단과 후단에 개폐장치를 설치하여 어떠한 고장이 발생하여도 신속하게 동작하여

계통과 변전소내의 모든 기계들을 보호할 수 있도록 하고 있다. 보통 차단기가 동작하는데 소요되는 시간은 50ms 정도로서 대단히 짧은 시간에 움직이는 것이기 때문에 개폐장치나 차단기는 매우 고도의 기술이 필요한 첨단 제품인 것이다.

과거의 변전소는 변압기(變壓器) 이외에 차단기(遮斷器), 단로기(斷路器), 접지개폐기(接地開閉器), 피뢰기(避雷器) 등의 보호기기가 각자 별도로 설치되어 있었으나, 이러한 구조의 변전소는 전압이 높아질수록 규모가 커지고, 용지면적도 급증하기 때문에, 우리나라와 같이 국토면적이 좁고 인구밀도가 높은 나라에서는 적용하기 어려운 시스템이라고 할 수 있다. 그러나 최근에 절연기술의 발전으로 SF₆ 가스를 절연매체로 활용한 가스차단기나 가스절연개폐장치가 널리 사용되게 되었다.

가스절연개폐장치는 변전소에서 변압기를 제외한 모든 기기(차단기, 단로기, 접지개폐기, 모선, 붓싱, 계기용변성기, 피뢰기 등)를 하나의 가스절연시스템으로 복합화시킨 것이며, 또 고전위 도체부를 가스로 채워진 용기안에 내장하여 사용하기 때문에 안전하고 신뢰성이 매우 높다. 또 절연특성이 매우 좋은 SF₆ 가스를 사용하고 있기 때문에

종래 공기 절연방식의 재래형 변전소보다 변전소 면적을 10분의 1로 축소할 수 있는 최첨단 기술 제품이다. 가스절연개폐장치는 계통보호용 기기이기 때문에 주변압기나 다른 기기보다 훨씬 가혹한 제품특성이 요구되며, 보다 신뢰성이 높고 안정된 품질의 전기를 공급하기 위해서 최첨단 기술의 가스절연개폐장치에 대한 연구가 끊임없이 이루어지고 있다. 초고압 가스절연개폐장치는 설계, 제작, 시험 전반에 걸쳐 필요한 기술이 매우 어렵고, 생산 및 시험에 필요한 설비도 매우 고가이기 때문에 선진국에서도 일부 국가만이 연구개발과 제품 생산을 하고 있으며, 따라서 부가가치가 매우 높은 전력용 기기이다.

(2) 국내 송전 전압의 765kV 격상추진 배경

제1차 경제개발 시점부터 현재까지 국내의 비약적인 산업발전과 전력소비량의 증가가 있어 왔으며, 이러한 전력수요의 급격한 증가에 대응하기 위하여 대규모의 발전소 건설 및 대용량의 전기에너지 송전이 필요하게 되었다. 특히 경인지역의 2000년 이후 전력수요·공급의 불균형은 매우 심각한 수준으로 예측이 되는데(〈표 1〉 참조), 이 경인지역에 대한 전력공급증대와 이를 위한 서해안 및 동해안으로부터의 대전력수송이 시급하게 되어 765kV 초고압송전이 절실하게 되었다.

〈표 1〉 경인지역 전력수요, 공급의 현황과 예측

항 목	1990년	2001년	2010년	2020년
최대수요(MW)	7,015	16,000	23,740	30,880
공급능력(MW)	6,740	16,746	16,746	16,746
차 이(MW)	-	746	-6,724	-14,134
경인지역 소요 전원규모(MW)	-	-	8,770	18,430

(3) 국외의 송전전압 현황

송전용량이 증대할수록 송전전압의 격상이 필요하게 되는데, 전압이 높아질수록 송전 및 변전에 사용되는 각 기기류의 특성시험 및 절연시험등이 기술적으로나 설비확보면에서 매우 어려워지게 되기 때문에 일부 선진국을 제외하고는 765kV급 이상의 송변전기기개발이 전무한 실정이다.

다음의 표는 각 국의 송전전압에 대한 현황으로써 765kV 이상의 송전 선로를 보유한 국가에 대한 자료이다.

〈표 2〉 각 국의 송전 전압

국 가 명	최고 송전전압 (kV)	하위 송전전압 (kV)
미 국	765	500급
캐 나 다	765	500급
일 본 (*)	1,000	500급
브 라 질	765	500급
베 네 주 엘 라	765	400급
남 아 프 리 카	765	400급
인 도	(765)	400급

* 주 : 일본의 경우 1,000kV 송전은 현재 시험운전 중이며, 변전기기도 개발완료 후 실증시험 단계에 있다.

(4) 765kV급 가스절연개폐장치 개발의 필요성

원격지 대용량 발전단지의 개발과 수백km에 달하는 원거리 대전력수송을 효과적으로 실현하기 위해서 기존의 최고송전전압인 345kV로 송전하는 것은 전력손실, 용지면적의 대규모화, 심각한 환경파괴 등으로 인해 거의 불가능하다고 판단이 되어 한국전력공사에서는 1991년경에 송전전압을 765kV로 격상하도록 결정하였다.

765kV 격상안이 확정되면서 전력회사인 한국전력공사와 기기제작사인 효성에 의하여 단계적으로 송, 변전에 사용될 전기기기에 관한 사전 연구활동이 치밀하게 시작되었다.

한국전력공사는 이미 765kV 송전을 대비하여 송전선로에서 야기되는 각종 현상을 조사·연구하고, 송전선로의 효과적인 설계자료를 확보하기 위하여 1992년도에 이미 765kV 모의 실증시험용 선로를 전라북도 고창지역에 건설하여 꾸준한 실험과 연구를 진행하여 왔으며, 그와 더불어 변전기기(변압기, 가스절연개폐장치 등)의 조기 국산화 개발을 달성하기 위하여 자금지원과 공동연구를 통하여 중전기업체의 관련기기 개발을 독려해 왔다.

국내 중전기업체의 선두주자로 활약해 온 효성은 이러한 한국전력공사의 765kV 격상추진사업에 부응하기 위하여, 한전과의 적극적인 협조체제 구축과 공동연구활동을 실시하면서 1991년부터 4년에 걸쳐 765kV 40kA 4000A 가스차단기를 개발하고, 효성의 공장시험과 한국전기연구소에서의 절연 및 대전류차단시험을 실시하여 향후 765kV급 상용 가스절연개폐장치를 개발하는데 필요한 기초자료, 경험, know-how를 얻을 수 있었다.

765kV 격상추진과 관련하여 송변전용 765kV급 가스절연개폐장치의 구매 규격이 1996년 9월

에 한국전력공사에 의해 확정 발표되면서 효성은 드디어 상용품으로써 실제 변전소에서 운용될 765kV급(정격전압은 800kV) 가스절연개폐장치의 개발을 추진하였다. 1995년 한국전력공사, 한국전기연구소와 공동으로 개발에 성공한 765kV 40kA 가스차단기의 개발 및 시험에서의 경험을 토대로, 1994년부터 본격적인 765kV급 상용 가스절연개폐장치 개발을 시작해서 1998년 12월에 수요자인 한국전력공사와 공인시험기관인 한국전기연구소의 공동입회하에 까다로운 개발시험 진행목에 대해 성능확인을 성공적으로 완수하였으며, 1999년 2월 드디어 국내에서 최초로 한국전력공사의 정식 국산화 품목으로 채택되었다. 이와같은 개발과정에서 기기의 품질 및 765kV급 중전기에 대한 당사의 기술력을 재삼 확인할 수 있었다.

개발완료후 현재 당진화력 발전소용 8대(약 1,000억원 규모)의 가스절연개폐장치를 수주하여 생산에 박차를 가하고 있으며, '99년말부터 출하, 설치하여 2001년경에는 상업운전에 들어갈 예정이다. 또 2000년부터 2002년 사이에는 신서산, 신안성, 신가평, 신태백 등 송변전용 4개 변전소에 납품하여 신서산, 신안성 변전소는 2002년부터 신가평, 신태백 변전소는 2003년부터 각각 765kV 상업운전에 들어갈 것이다.

2. 과거 효성의 765kV급 가스절연개폐장치 개발 내역

금번 한국전력공사의 송변전용 765kV급 가스절연개폐장치를 개발하기에 앞서 설계, 제작 및 성능 확인시험 측면에서의 사전 기초기술개발을 위하여 765kV 40kA 가스차단기를 개발하여 상용품용

765kV급 가스절연개폐장치 개발의 기반을 구축하였다.

(1) 765kV 40kA 가스차단기

송전전압을 765kV로 격상할 시 변전소에 설치될 가스절연개폐장치에서 발생하는 각종 영향을 조사하기 위하여 한국전력공사 전력연구원에서는 연구

자금을 지원하면서 1991년부터 765kV급 40kA 가스차단기의 차단부를 개발하도록 지원해 주었으며, 당사는 전기연구소와 공동으로 개발을 추진하여 1995년에 가서야 성공적으로 전기연구소에서의 절연시험과 차단시험을 완료하였다.

효성에서 상용품의 개발 이전에 한국전기연구소와 공동으로 개발한 765kV 40kA 가스차단기의 주요 특성은 <표 3> 과 같다.

<표 3> 765kV 40kA 가스차단기의 주요특성

항 목	765kV 40kA 가스차단기
정격차단전류	40kA
정격전압	800kA
정격전류	5000A
개폐충격 내전압	1425kV
뇌충격 내전압(BIL)	2100kV

주 : B.I.L(Basic Impulse Insulation Level)... 전기기기의 절연등급을 구분하는 단위로서 낙뢰가 갖는 전압의 크기를 나타낸다.

3. 765kV급 가스절연개폐장치의 제원 및 기술적 특징

(1) 제 원

송변전용 765kV급 가스절연개폐장치의 한국전력공사 구매규격은 1996년 9월에 확정, 발표되었으며 그 주요 제원은 <표 4> 와 같다.

<표 4> 765kV급 가스절연개폐장치의 제원

항 목	기 기 제 원	
	765kV급 개발품	345kV급 상용품*
정격전압	80kV	362kV
정격단시간전류	50kA	40kA
정격전류	8000A	4000A
정격주파수	60Hz	60Hz
상용주파 내전압	830kV	450kV
뇌충격 내전압	2250kV	1175kV
주요 구성기기	차단기, 단로기, 접지개폐기, 모선, 변류기, 붓싱, 피뢰기, 고속도접지개폐기	차단기, 단로기, 접지개폐기, 모선, 변류기, 붓싱, 피뢰기

*주 : 345kV급 가스절연개폐장치는 현재 국내에서 사용되고 있는 최고 송전선로용 가스절연개폐장치



(2) 기술적 특징

① 대용량화

765kV급 가스절연개폐장치의 정격차단용량은 75GVA로서 345kV급 가스절연개폐장치의 25GVA보다 약 3배에 달하는 대용량으로서 정격차단전류가 50kArms이며, 차단기의 차단신뢰성을 보증하는 정격차단시간은 1000분의 33초(약 33ms)정도(345kV는 1000분의 50초(약 50ms))로서 매우 고속으로 고장전류를 끊을 수 있다. 또 정격전류는 8000A로서 기존 최대인 4000A의 2배에 달하는 크기이며, 열적인 측면에서는 4배에 달하는 대용량인 것이다.

② 초고압화

765kV급 송전선 계통에서 발생될 수 있는 최고 전압은 800,000V로서 기존 국내 최고 전압인 362,000V의 2.2배 이상이며, 일반 가정용 220V 전압의 약 4,000배에 달하는 극초고압 전압에 해당된다.

또한 시험시 기기성능을 확인하는 전압으로서, 이상전압(異常電壓)의 크기가 225만V인 낙뢰찌지 전압이 침입하여도 충분히 견딜 수 있도록 낙뢰찌지에 대한 절연내력이 충분하도록 설계되어 있으며 이러한 절연내력에 관한 설계는 최신의 컴퓨터 해석기법과 소프트웨어를 이용하여 실현할 수 있다.

한편 선진국에서 기개발된 765kV급 가스절연개폐장치의 제원을 살펴보면, ABB사나 Toshiba사가 10년전에 개발하여 남아프리카 공화국에 설치한 765kV 가스절연개폐장치는 정격전류가 5000A, 절연내력이 2100kV이고 당사 개발품은 8000A, 2250kV로서 훨씬 높은 성능을 가지고

있다.

③ 고신뢰성

가스절연개폐장치의 상시운전시 발생가능한 이상현상(異常現象)을 항시 감시할 수 있는 장치인 전용 감시진단시스템을 도입하여 대용량 가스절연개폐장치의 고장시 파급되는 영향을 최소화하거나, 고장을 미연에 방지할 수 있도록 하였다.

또 모든 주요기기를 SF₆라고 하는 가스로 절연하고 있으며, 가스가 충전되어 있는 용기내에 고전위부품을 내장하고 있기 때문에 운전작업자의 안전에도 매우 유용하다. 또 애자형 붓싱은 내부에 절연물파이프가 있어 만에하나 잘못하여 붓싱이 폭발한다고해도 애관의 파편이 멀리까지 날아가지 못해 주변에 설치되어 있는 다른 기기에 전혀 영향을 미치지 않는 장점이 있으며, 실제시험을 통하여 검증하였다.

4. 개발 내역

(1) 개발 기간

1996년 9월 한국전력공사로부터 765kV 가스절연개폐장치의 구매규격이 확정되었으나 그 이전부터 이미 효성은 자체준비를 하여 왔다. 1994년 4월부터 기본설계를 실시하여 1995년부터 1996년까지 2년여에 걸쳐 제품을 설계·제작하였으며 1997년 한해동안 개발시험전 자체성능확인 참고 시험을 실시하였다. 당사가 개발한 가스절연개폐장치의 성능은 관련 한전규격과 국제규격에 준한 시험을 통해 충분히 확인이 되었으며, 1998년 4월부터 한국전력공사와 한국전기연구소의 공동입회 하에 본격적으로 개발시험을 수행하여 1998년 12

월 14일에 한국전력공사의 구매규격과 국제적으로 통용되고 있는 국제전기기술자협회의 규격(IEC규격)에 모두 합격하였다. 그 후 1999년 2월 3일에 국내 최초로 한국전력공사가 정식 국산화 품목으로 채택하였다. 상기 개발과정에서 투입된 비용을 살펴보면, 피서품제작을 위한 순시 시제품 제작비 약 60억원, 제작·시험설비보완에 약 100억원, 참고 및 입회 개발시험비용으로 약 20억원이 투자되었다.

(2) 적용 핵심 기술

① 핵심 설계 기술

a) 전계해석에 의한 절연 설계

외부로부터의 낙뢰, 차단기 투입에 따른 개폐서지 및 송전선 지락사고시 전압상승 등 이상전압 침입시 절연적으로 충분히 견디도록 하기 위하여 컴퓨터에 의한 전계 해석을 철저히 실시하고, 어떠한 과전압이 인가되어도 충분히 견딜 수 있도록 절연 설계를 구축하였다.

b) 유동해석에 의한 차단성능 확보 설계

고장전류 차단시 아크가 발생하여 지속되는 시간과 고장전류의 크기 등에 따라 차단기에 미치는 가혹도가 달라지는데, 모든 경우에 대해서 컴퓨터를 이용해서 사전에 시뮬레이션 해석을 실시하고 충분한 차단성능을 확보할 수 있도록 하였다.

② 핵심 제작 기술

a) 고도로 숙련된 조립기술

모든 부품의 제작 공차를 매우 정밀하게 관리하여 부품을 조립할 때에 거의 조정이 필요 없게끔 하였으며, 이를 위해서 정확하고도 정밀한 기계가공설비를 확보하고 작업자들에 대한 교육을 철저

히 시켜 필요한 기능을 갖게 하였다. 또, 모든 조립은 항상 온도와 습도가 일정하게 조절되며, 먼지 등의 이물질 관리가 철저히 이루어지는 방진실에서 실시하였다.

b) 엄격한 이물질 관리

기기의 사용전압이 높아질수록 취약분야로 대두되는 것은 가스절연개폐장치 내부로의 수분과 이물질이 유입되는 경우이며, 이를 철저히 배제시키기 위하여 모든 조립 작업은 방진실 내에서 실시되었고, 이러한 조건들이 충분히 유지 및 관리될 수 있도록 작업자 및 출입자에게는 방진복을 착용토록 하였으며, 방진실 출입시에는 외부로부터의 이물질이 혼입되지 않도록 출입구에는 에어샤워(Air-Shower) 장치를 가동하여 작업자 이동에 따라 이물질이 작업장내에 반입되지 못하도록 하였다. 또 매일 작업장내의 먼지가 얼마나 돌아다니는지, 바닥에 얼마나 쌓이는지를 검사하여 보다 확실한 먼지 관리를 실시하고 있다.

c) 공정별 품질관리 기준 강화

기존의 345kV 가스절연개폐장치보다 더욱 더 엄격하고, 철저한 품질관리 기준치를 설정하여 각 공정마다 적용하였으며, 공정간 이동시에는 물질관리 기준치를 만족하는가를 충분히 검토한 후 다음 공정으로 진행시킴으로써 초고압 제품에 필요한 절연신뢰성을 확보하고 유지되도록 하였다. 또 작업결과에 대하여 책임을 지도록 하기 위하여 작업자의 이름을 기록하는 작업실명제를 채택하고 있다.

5. 개발에 따른 파급 효과

(1) 수입 대체 효과

765kV 전압을 송전할 때 필요한 가스절연개폐

장치를 국산화개발 완료함으로써 막대한 금액의 수입대체효과를 이룩할 수 있을뿐만 아니라, 가격 및 납기에 있어서 외국업체에 비해 보다 강한 경쟁력을 확보할 수 있게 되었다.

또한 국내 765kV 변전소에 납품하여 향후 운전, 유지 및 보수관리 측면에서도 외국업체가 납품할 경우보다 수요가인 한전과 더욱 유기적이고 효율적인 협조체제를 구축하여 성공적인 765kV 송전사업을 추진할 수 있게 되었다.

1998년 12월 개발완료와 동시에 당진화력발전소에 사용될 765kV급 가스절연개폐장치 8대를 전량 당사가 수주하였으며, 현재 생산에 박차를 가하고 있다. 또 향후 신서산, 신안성변전소 및 신가평, 신태백 변전소에 약 43대가 설치될 예정이다.

(2) 수출 기증 확대

765kV 계통은 일본에서 운전 예정중에 있는 1100kV 계통을 제외하면 세계적으로 가장 높은

송전전압이다. 금번 765kV를 성공적으로 개발완료하여 납품함으로써 해외시장의 어떠한 전압계급의 차단기도 수출가능한 기반을 확보할 수 있게 되었으며, 특히 당사에서 차기 수출주력기종으로 현재 개발 진행중인 550kV 가스절연개폐장치 개발에도 기술적으로 많은 영향을 주어 고신뢰성, 고품질의 제품개발이 가능할 것으로 예상된다.

(3) 기존 제품의 신뢰성 향상

765kV급 가스절연개폐장치 개발시 적용되었던 핵심 기술로써 설계에 적용된 첨단 분석 기법 및 제작시 적용하였던 청결유지, 공차관리 및 품질 요구수준을 하위전압계급인 기존의 154kV 및 345kV 제품에도 같이 적용함으로써 보다 나은 품질과 신뢰성을 갖는 중전기기를 생산할 수 있게 되었고, 아울러 관련 중전기기의 신뢰성을 한층 향상시키는데 밑거름이 되었다고 할 수 있다.