

800kV 50kA 8000A GIS 개발

송 원 표

(주)효성 중공업PG 중공업연구소 부장

1. 서론

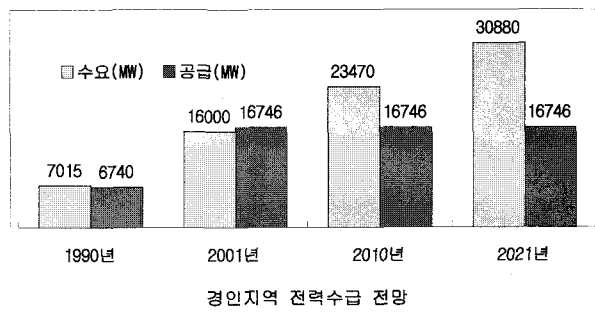
국내 전력수요는 2000년 이후 계속 증가하리라 예상되며, 특히 경인지역의 전력수요가 공급을 크게 상회하여 전력수급균형이 깨어질 것으로 전망되고 있다. 따라서 경인지역의 2000년 이후 전력수급균형을 위해서는 원격지 대규모 전원단지를 개발해야 하며, 또한 그 대규모전력을 경인지역으로 송전하기 위해서는 거대한 송전 및 변전설비가 필요하게 된다(그림 1 참조).

이러한 추세에 맞추어 적시에 해당제품을 개발하기 위하여, 1991년부터 정부의 지원을 받아 한국전력공사, 한국전기연구소 및 효성을 비롯한 국내 관련중전기업체가 공동으로 765kV 전력기기 개발연구를 시작하였다. 특히 주식회사 효성은 한국전기연구소와 공동으로 “765kV 40kA급 SF6 가스절연개폐장치용 차단부 개발”을 위한 연구를 1991년부터 4년간에 걸쳐 실시하였으며, 국내 전기연구소 단락시험을 통하여 그 성능을 입증함으로써 국내기술로서는 최초로 765kV급 차단부 개발에 성공하였다. 이를 바탕으로 본격적으로 765kV계통에 사용될 800kV 가스절연개폐장치 개발을 시작할 수 있게 되었다.

본격적인 기기개발을 위해서는 그 개발품에 대한 시방이 결정되어야 하는데, 한국전력공사에서는 1996년에

“765kV급 가스절연개폐장치 구매시방서”를 작성완료하였고, 실제 765kV계통의 변전소에 사용될 800kV 가스절연개폐장치 개발을 유도하였으며, 당시에서는 1995년부터 800kV 상용 가스절연개폐장치(GIS: Gas Insulated Switchgear) 개발에 착수하여 한국전력공사 송변전처의 765kV 격상추진반과 품질관리부 및 한국전기연구소의 입회하에 1999년 12월 국내 규격은 물론 국제규격에 적합한 800kV GIS 개발에 성공하였다.

GIS에서 가장 중요한 제품인 차단기(GCB: Gas Circuit Breaker)는 참고단락시험을 국제적 공인인증시험기관인 이탈리아의 CESI에서 실시하여 성능을 충분히 확인하였으며, 최종 한전개발시험은 국내 한국전기연구소 대전력 시험실에서 실시하였다.



〈그림 1〉 경인지역 2000년 이후 전력수급전망

기타 단로기, 고속도접지개폐기, 접지개폐기 등에 대해서는 한국전기연구소에서 모든 시험을 실시하고 성능을 확인하였다. 일부 수입품인 부상, 피뢰기, 변성기(Voltage Transformer) 등은 실제 제조업체에 가서 성능확인시험을 실시하였다.

2. 한전 765kV 송변전설비 건설계획

한전에서 현재 건설중이거나 향후 건설예정인 765kV 송전선과 변전소설비는 다음 표 1, 그림 2와 같다.

〈표 1〉 765kV 송전선 건설계획과 변전소 수

단 계	구 간	공장(km)	착공	준공
1단계	당진T/P~신서산S/S	40	1998	2001
	신서산S/S~신안성S/S	137	1999	2001
	신태백S/S~신가평S/S	157	1999	2004
2단계	신안성S/S~신가평S/S	75	2005	2005
	신남원S/S~신진천S/S	200	2003	2010



〈그림 2〉 765kV 송전선 및 변전소(1단계)

- ▶ 800kV 변전소용 GIS 총수요 : 42대(추정)
- 당진화력발전소 : 8대
- 신서산변전소 : 10대

- 신안성변전소 : 8대
- 신가평변전소 : 8대
- 신태백변전소 : 8대

3. UHV 가스절연개폐장치 개발동향

국내 800kV 가스절연개폐장치의 기술수준을 파악하기 위하여, 현재 세계적으로 운전되고 있거나 개발 완료된 UHV급 GIS(가스절연개폐장치)를 비교해 보았다. 표 2는 국내의 UHV급 가스절연개폐장치를 비교해 본 것이다.

과거 765kV급 계통에 사용되어온 개폐장치는 차단기를 단독으로 사용하는 공기절연방식의 변전소(Conventional Type Substation)로서, 미국이나 캐나다, 러시아 등지에서 많이 사용되어 왔다. 그러나 가스절연개폐장치는 기존 Conventional 변전소보다 변전소 면적이 1/10 이상으로 줄게 되어 매우 콤팩트해지며, 신뢰성도 한층 올라가게 된다. 800kV급 Full-type GIS(가스절연개폐장치)로서는 1987년 ABB와 Toshiba사가 개발하여 남아프리카공화국 ESCOM사의 알파와 베타변전소에 설치한 것이 최초가 된다.

일본에서는 도쿄지역의 전력공급을 위하여 도쿄전력이

〈표 2〉 국내외 UHV급 GIS 비교

항 목	한국전력	ESCOM	도쿄전력
1. 국가	대한민국	남아프리카공화국	일본
2. Maker	효성	ABB, Toshiba	Hitachi Mitsubishi Toshiba
3. 개발연도	1999년	1987년	1995년
4. 정격전압(kV)	800	800	1100
5. 정격전류(A)	8000, 2000	5000	8000, 2000
6. 정격주파수(Hz)	60	50	50
7. 단시간 전류(kA)	50(2초)	50(1초)	50(2초)
8. 뇌충격 내전압(kVp)	2250	내부:2100 외부:2400	2250
9. 차단기 접점수	2점절	4점절	2점절
10. 정격차단시간(cvc)	2	3	2

원거리송전계획을 세우고, 송전전압을 1,000kV로 결정하여 송변전기기를 개발하였다. 상용화된 GIS는 아직 없으나 개발후 운전중에 발생할 수 있는 여러 문제점을 사전에 파악하기 위해서 실증시험을 진행하고 있다. 실증시험은 신하루나 변전소에서 별도의 시험장을 구축하여 3년 이상 실증시험을 시행하고 있으며, 여러 가지 현상에 대해서 연구를 하고 있다. 일본의 경우 도쿄전력이 각 업체에 개발자금을 지원해주고 있으며, 실증시험용변압기 및 GIS를 받아 실증시험장을 건설하여 국내 중전 3사가 별도로 개발한 시제품을 동일 장소에 설치하여 실증시험을 실시하고 있는데 아직 실용화는 이루어지지 않은 단계이다.

4. 800kV 가스절연개폐장치 구조와 시방

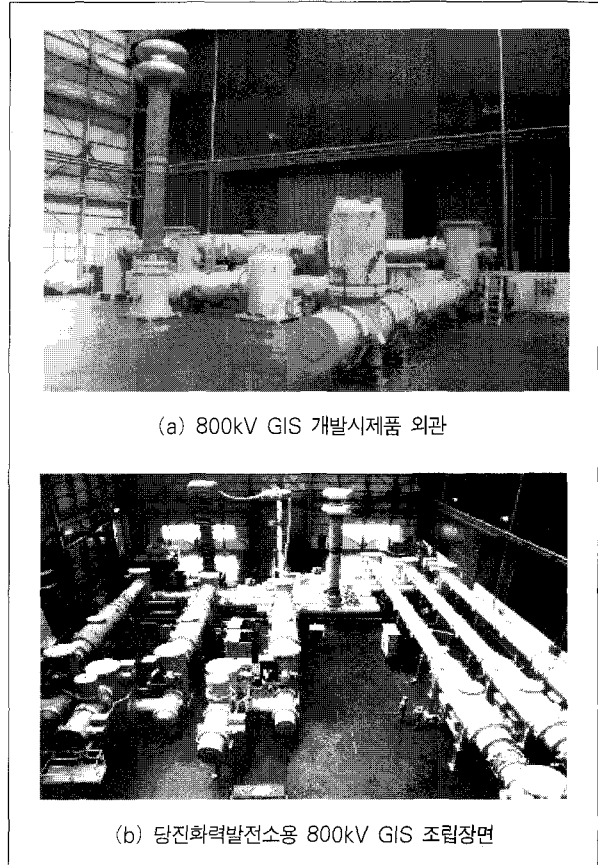
가. 800kV GIS의 구조

일반적으로, 가스절연개폐장치는 절연성과 아크소호 성능이 우수한 SF₆가스를 주절연매질로 사용하여, 신뢰성이 높고 전체 크기가 대폭적으로 축소된 변전기기이다. 가스절연개폐장치는 변전소 전력기기 중에서 변압기를 제외한 차단기, 단로기, 접지개폐기, 부상, 피뢰기, 변성기, 모선 등 모든 기기를 하나의 가스절연시스템으로 복합화한 첨단 기기이다. 특히 우리 나라와 같이 인구밀도가 높고 가용면적이 좁아 지가가 매우 비싼 국가에서 특히 유용한 구조라고 할 수 있다.

그림 3에 800kV GIS의 (a)기본구조와 (b)실제 상용 GIS의 모습을 보여준다.

나. 800kV GIS의 주요 구성기기와 시방

800kV GIS에는 기존 가스절연개폐장치와 동일한 기기로 구성되어 있으나, 특별히 고속도 접지개폐기를 채용하고 있는 점이 특이하며, 부상도 자기애자만이 아니라, 콤포지트형인 폴리머애자를 사용한 부상도 같이 사용하



(a) 800kV GIS 개발시제품 외관

(b) 당진화력발전소용 800kV GIS 조립장면

〈그림 3〉 800kV GIS 구조 및 외관

고 있다(표 3 참조).

5. 800kV GIS 주요 구성기기의 특징

가. 가스절연개폐장치(GIS)

- ① 향후 건설될 765kV 변전소는 완전가스절연형 변전소이기 때문에 800kV GIS도 전밀폐형 가스절연개폐장치로 구성하기 위하여 PT, 피뢰기도 가스절연형기기를 개발하였다.
- ② 8,000A 대전류 통전시 열발생을 최소화하기 위하여 용기는 모두 고강도 알루미늄으로 제작하였다.

〈표 3〉 800kV GIS의 주요기기와 시방

기기명	항 목	단 위	시 방
1. GIS	1)정격전압	kV	800
	2)정격전류	A	8,000
	3)정격주파수	Hz	60
	4)정격단시간전류	kA	50(2초)
	5)정격가스압력	kg/cm ² . G	5.0(6.0)
	6)뇌충격내전압	kVp	2,250
	7)개폐충격내전압	kVp	1,425
	8)상용주파내전압	kVrms	830
	9)내진성능	G	0.3
2. GCB	1)정격차단전류	kA	50
	2)정격차단시간	cycles	2.0
	3)조작방식	-	유압
	4)차단점수	-	2
	5)투입저항치	Ω	800
3. DS	1)충전전류	A	1
	2)루프전류	A	8,000
4. HSGS	1)투입전류	kA	50
	2)정전유도전압	kVp	700
	3)정전유도전류	A	750
	4)전자유도전압	kVp	700
	5)전자유도전류	A	8,000
5. ES	1)투입전류	kA	50
	2)정전유도전압	kV	85
	3)정전유도전류	A	150
	4)전자유도전압	kV	50
	5)전자유도전류	A	600
6. 변류기	1)정격1차전류	A	8,000
	2)정격2차전류	A	1
	3)과도오차	%	< 10
7. 부상	1)최소연면거리	mm	31,400
	2)오손내전압	kVrms	555
8. PT	1)유도내전압	kVrms	975
	2)2차,3차전압	V	115/√3
9. 피뢰기	1)제한전압	kV	1,400
	2)방전내전류	kA	20

주) 1. GIS : Gas Insulated Switchgear
 2. GCB : Gas Circuit Breaker
 3. HSGS : High Speed Grounding Switch
 4. DS : Disconnecting Switch
 5. Es : Earthing Switch
 6. PT : Potential Transformer

- ③ 계통에서 2차아크 소호까지를 고려하여 국내 최초로 고속도접지개폐기를 적용, 개발하였다.
- ④ 보조회로 보호등급은 IP54를 채용하였고, 국내 공인기관(KIMM)의 시험을 거쳐 그 성능을 확인하였다.

였다.

- ⑤ 절연레벨은 뇌충격내전압치가 2,250kVp로서 개폐 충격 및 상용주파내전압치보다 상대적으로 가혹한 조건이며, 절연물 등은 모두 국산화개발에 성공하였다.
- ⑥ 접지방식은 기본적으로 다점접지이다.
- ⑦ GIS 전체규모가 대형화되기 때문에 기기가 최대한 지표면에서 높아지지 않는 구조를 취하고 있으며, 이에 따라 내진성능도 매우 우수한 구조로 되어있다 (0.3G 레벨까지 검증하였음).

나. 차단기(GCB:Gas Circuit Breaker)

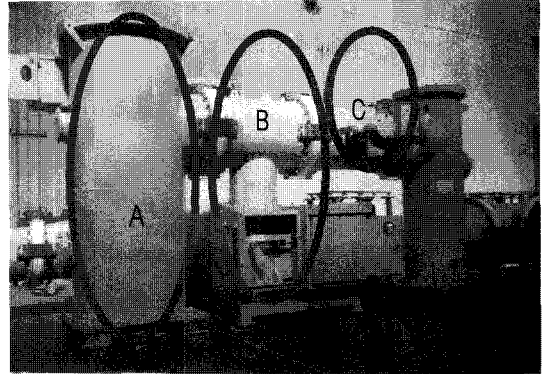
- ① 정격차단시간은 2.0사이클(약 33ms)로 기존 362 kV GCB의 3사이클(50ms)보다 매우 짧다.
- ② 800kV 50kA 차단성능 확보를 위해 대출력과 콤팩트화가 가능한 유압조작기를 채용하였다.
- ③ 조작력이 매우 크기 때문에 구동부위의 레버, 링크 등은 최적강도해석을 통한 설계와 고강도의 특수재질을 사용하여 높은 내구성을 갖도록 하였다.
- ④ 차단기 투입시 발생하는 서지를 기준치 이하로 억제하기 위하여 차단부 극간에 투입저항과 투입저항용 접점을 주접점과 병렬로 별도 구비하고 있다(그림 4 참조).



〈그림 4〉 800kV Gas Circuit Breaker

다. 단로기(DS:Disconnecting Switch)

- ① 차단기 조작방식이 유압조작식이기 때문에 단로기는 전동스프링 조작방식을 채용하였다.
- ② 모선루프전류 차단능력은 8,000A까지이며, 이와 같은 대전류 차단성능을 확보하기 위하여 열파파방식의 차단부를 채용하였다.
- ③ 충전전류 차단능력은 운전전압에서 1A이다.
- ④ 충전전류 차단시 발생하는 재점호서지를 효과적으로 억제하기 위하여 고정부측에 저항을 설치하였다.



A: 단로기, B: 고속도접지개폐기, C: 접지개폐기

라. 접지개폐기(ES:Earthing Switch)

- ① 단로기와 마찬가지로 선로용에는 전동스프링 조작방식을 채용하였다.
- ② 정전유도 및 전자유도전압·전류에 대해 100회 차단성능을 보증한다.
- ③ 고장전류에 대한 단시간전류와 투입전류 성능을 가지고 있다.

<그림 5> 단로기와 기타기기

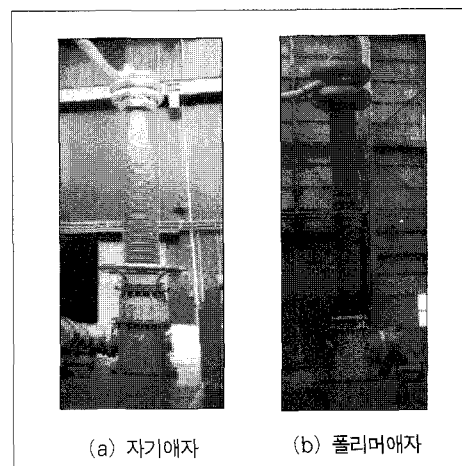
마. 고속도접지개폐기(HSGS:High Speed Grounding Switch)

- ① 차단기가 고장전류를 1차 제거하였으나 타상 또는 타회선으로부터의 유도에 의해 고장이 완전히 제거되지 않고 계속 진행되는 것을 방지하기 위하여 국내에서 처음으로 채택한 기기이다.
- ② 기능은 접지개폐기와 같지만 차단전류 및 차단전압이 매우 높아 거의 차단기책무 수준이기 때문에 실제 기기는 저전압차단기와 동등하다.
- ③ 고장 제거시 2차 후속고장 발생까지 고려하여 전류차단시간이 매우 긴 특징을 가지고 있다(그림 5 참조).

- 기에 전혀 영향을 주지 않도록 비산거리 억제용 구조로 제작되어 있다.
- ③ 콤포지트형은 폴리머에자인데 내오손성이 우수하고, 경량이라 취급이 용이하며, 폭발할 염려가 없어 매우 안전하다.
- ④ 운전전압의 1.2배까지 오손상태에서 견딜 수 있는 내오손형 구조이다.
- ⑤ 8000A 대전류 통전성능을 확보하기 위하여 상부에 냉각기를 가지고 있다(그림 6 참조).

바. 부상(Bushing)

- ① 자기애자 및 콤포지트 애자 2가지형이 있다.
- ② 자기애자형은 폭발시 파편이 비산하더라도 인접기

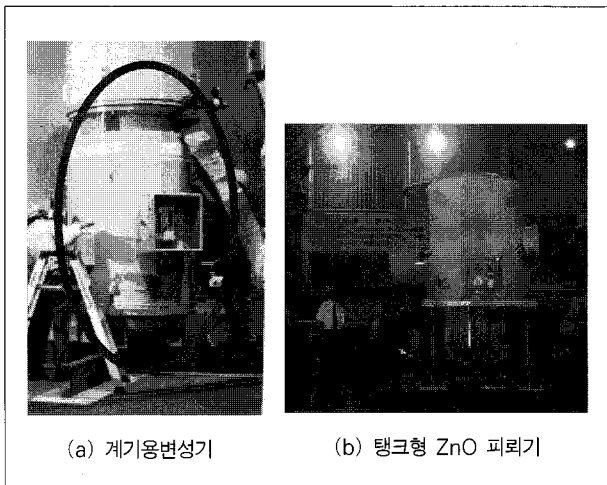


(a) 자기애자 (b) 폴리머애자

<그림 6> 800kV GIS용 부상

사. 기타

- ① 계기용변압기는 가스절연형 VT를 적용하였다.
- ② 피뢰기는 산화아연형 탱크내장방식을 채용하였으며, 방전내량이 20kA 수준이다.
- ③ 변류기는 과도오차 10%를 만족하고 있으며, 국내최초의 1T급 개발품이다(그림 7 참조).



〈그림 7〉 변성기 및 피뢰기

6. 800kV GIS 개발시험결과

가. 기기별 주요 개발시험내용

국제규격인 IEC와 한국전력공사의 규격인정시험을 한국전력공사 및 한국전기연구소(KERI) 입회하에 실시했으며 시험항목은 표 4와 같다.

(1) GIS전체의 기본특성시험은 (주)효성 창원공장에서 실시하였으며, 주요시험항목은 구조·외관검사, 기계적동작시험, 온도상승시험, 기밀시험, 절연시험 등이었다.

(2) 차단기의 투입 및 단락시험은 모두 한국전기연구소의 대전력시험실에서 실시하였다.

〈표 4〉 800kV GIS 규격인정시험 결과

기기명	시험항목	시험결과	시험장소
1. GIS	• 기계적동작시험 • 절연시험 • 온도상승시험 • 기밀시험 • 단시간전류시험	양호	효성
2. GCB	• 선로충전전류 차단시험 • 지상소전류 차단시험 • 기본단락시험 • 근거리선로고장 차단시험 • 탈조차단시험		KERI
3. DS	• 모선루프전류 차단시험 • 충전전류 차단시험		
4. ES	• 정전유도전압전류 차단시험 • 전자유도전압전류 차단시험 • 투입성능시험		
5. HSGS	• 정전유도전압전류 차단시험 • 전자유도전압전류 차단시험 • 투입성능시험		
6. 부상	• 전항목(단시간: KERI실시)		NGK
7. VT	• 전항목시험		日新
8. 피뢰기	• 전항목시험		日立

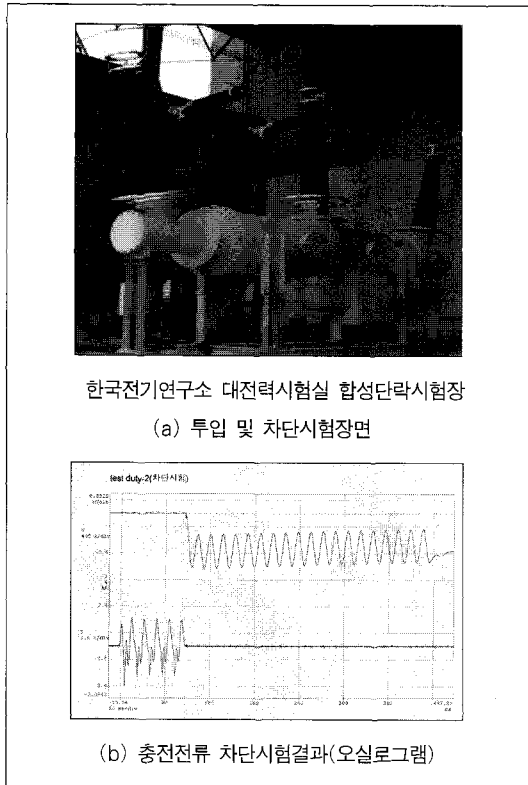
(주) 상기 NGK는 일본애자공업사, 日新은 Nissin사, 日立은 Hitachi사를 말함.

나. 차단기 투입 및 단락시험내용

(1) 선로충전전류 차단시험은 시험전압과 시험전류가 크기 때문에, 직접시험이 불가능하여 IEC 규격에 합당한 합성시험방법으로 실시하였다. 시험전압은 운전전압의 1.2배, 시험전류는 규격치인 800A로 실시하였다(그림 8 참조).

(2) 지상소전류 차단시험은 일본전기협회규격(JEC 2300)을 참조하여 직접시험으로 실시하였다.

(3) 기본단락시험(BTF Test-Duty 1, 2, 3, 4, 5)은 IEC 60056, 60427에서 제시하고 있는 방법 중 한국전기연구소의 설비용량에 알맞는 전압주입방식의 합성시험으로 실시하였다. 국내 한국전기연구소 시험설비는 비교적 대용량 단락시험설비이기는 하나, 420kV 50kA 용량의 차단기까지만 전류주입법 합성시험이 가능하여, 800kV 50kA 차단기(Half-pole시험으로 하더라도 440kV급에 해당됨)는 새롭게 전압주입법을 시도하였다.



〈그림 8〉 800kV GCB 단락시험결과

Half-pole 시험이란 “차단부 1상이 2개의 접점유닛을 가지고 있는 차단기에 있어서, 시험설비용량이 부족한 경우에는 1개의 접점 유닛만으로도 시험을 할 수 있도록 하는 방법”을 말한다.

(4) 근거리선로고장(Short-Line Fault) 차단시험은 특히 전류영전 근방에서 발생하기 쉬운 열절차단능력검증에 주목하는 시험이기 때문에 전류주입법에 따른 합성 시험으로 실시하였다. 전류주입법으로 실시하기 위하여 4-파라미터 TRV보다 가혹한 2-파라미터 TRV를 인가하여 시험하였다.

(5) 탈조투입 및 차단시험은 시험전압이 높고, 시험전류가 비교적 작기 때문에 선로충전전류 차단시험과 유사한 합성시험회로를 이용하였으며, 기본적으로는 전압주입법으로 실시하였다.



〈그림 9〉 GIS 기타시험장면

다. 기타 시험내용(그림 9 참조)

7. 800kV GIS 개발의 주요기술

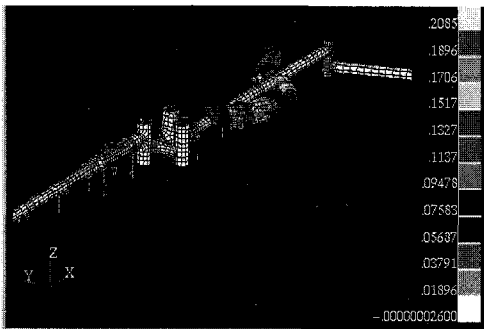
가. 핵심기술개발

765kV 전력계통은 향후 우리 나라의 기간계통으로서 그 중요성이 매우 높으며, 일단 사고시에는 그 피해가 어마어

마하기 때문에, 이 전력계통에 사용될 각 전력기기에 요구되는 신뢰도는 매우 높다고 할 수 있다. 이에 따라서 800kV GIS는 원자력발전소 수준에 가까운 품질을 한전에서 요구하고 있으며, 당사는 이를 만족시키기 위하여 당사의 기술력을 총집결, 주요핵심기술을 향상 및 개발하였다.

(1) 구조내진설계 기술

우리 나라는 외국 지진다발국에 비하면 매우 안정된 지반특성을 가지고 있으나, 최근에는 지역별로 지진이 가끔 발생하고 있고, 기기의 고신뢰성과 중요도 측면에서 변전기기에 내진성능 확보가 요구되고 있다. 한전에서는 일반적으로 0.2G 수준의 지진가속도에 견딜 수 있는 성능을 요구하고 있으나, 당사에서는 0.3G 수준에서도 이상이 없는 내진설계를 실시하였으며, 그림 10은 800kV GIS의 1상분 유닛에 대해서 내진해석을 실시한 결과이다.



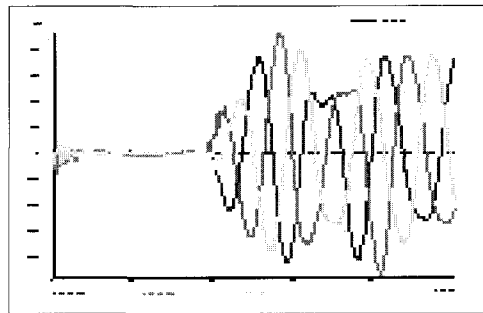
〈그림 10〉 800kV GIS 내진해석 결과
(모드별로 고유진동수 계산)

(2) 서지해석을 통한 절연협조기술

일반적으로 각 전력기기 단품은 주어진 규격에서 요구하는 여러 가지 절연성능을 확보하도록 설계되어 있어, 충분한 절연내력을 가지고 있다. 그러나 실 전력계통에서는 여러 가지 기기가 복합적으로 운영되고, 송전선으로부터 변전소로 침입하는 뇌서지의 영향이나, 차단기 등의 개폐시 발생하는 개폐서지가 어떻게 발생할지를 미리 완전하게 예상할 수 없다는 문제점이 있다. 따라서 복합적

인 요인을 고려하여 실제통에서 발생하는 이상전압에 대한 각 전력기기의 절연내력을 검토할 필요가 있으며, 이를 위해 EMTP를 활용하여 서지해석을 실시하고 있다.

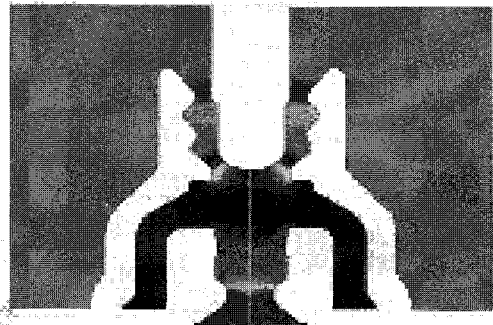
이번 800kV GIS의 경우에는 변전소 모델링을 통해 뇌서지해석을 실시하고, 운영상에 아무런 이상이 없다는 것을 확인하였다(그림 11 참조).



〈그림 11〉 800kV GIS 뇌서지 해석결과(일례)

(3) 차단부 유동해석

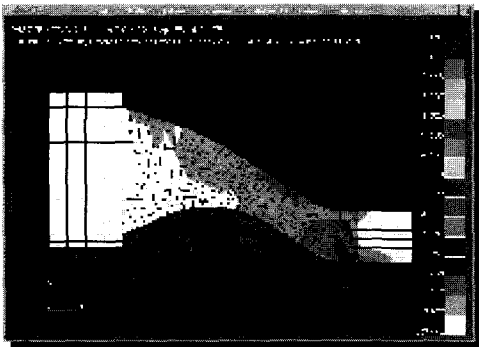
차단기의 소전류차단성능을 확인하기 위하여 차단부 소호실부위의 가스유동해석을 실시하였다. 유동해석을 통해서 가스의 속도, 밀도, 압력, 온도 등을 계산할 수 있으며, 이를 근거로 차단기의 차단성능을 일부 예측할 수 있다. 현재 소전류차단성능 예측은 매우 높은 수준이며, 대전류차단성능을 위한 열가스유동해석 기술개발에 매진하고 있다(그림 12 참조).



〈그림 12〉 800kV GCB 가스유동해석
(노즐내의 가스밀도분포를 보인다)

(4) 기타

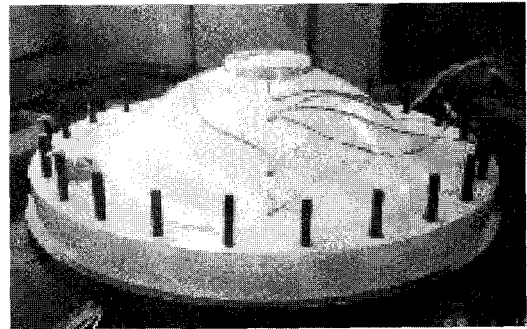
전기기기의 가장 중요한 성능인 절연성능을 확보하기 위하여 전계해석을 통한 설계를 하고 있으며, GIS에 사용되는 각 요소부품의 기계적 강도설계나 GIS 전체의 기계적강도를 확보하기 위해 변형 및 응력해석을 실시하고 있다(그림 13 참조).



<그림 13> 800kV GIS용 스페이스 응력해석

(2) 에폭시수지계통 고체절연물

기존 362kV급까지는 국산 에폭시절연물을 15년 정도 사용해온 실적이 있기 때문에, 당사의 에폭시수지절연물 기술 및 품질은 일본메이커와도 동등한 수준이라고 생각한다. 이러한 기반기술을 바탕으로 800kV급 대형 절연물 개발도 어렵지 않게 성공하였다(그림 15 참조).

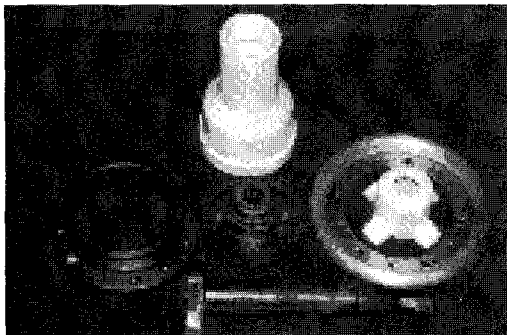


<그림 15> 800kV GIS용 에폭시수지절연물(스페이스)

나. 핵심요소부품 국산화개발

(1) 차단부 접점류 및 테프론제품

차단부에서 아크소호 등 주요기능을 담당하고 있는 접점류 및 노즐류 등은 기존의 기술을 바탕으로 고신뢰성 제품을 국산화 개발하였다(그림 14 참조).



<그림 14> 800kV 차단기용 아크접점 및 노즐

8. 결론

국내에서 최초로 개발하였고, 세계에서 3번째로 개발에 성공한 800kV Full-type GIS를 개발하였다. 현재 당사는 당진화력발전소와 신서산, 신안성 변전소에 설치할 800kV GIS를 제작하고 있으며, 당진화력발전소용 GIS의 일부는 이미 설치완료하여, 현지시험을 진행하고 있다. 당사는 이번 800kV GIS를 개발하면서 습득한 고신뢰성기술을 하위기종에도 확대적용하여 전 기종의 품질을 향상시키고자 하고 있으며, 나아가서는 대용량 GIS의 수출도 더욱 증대해 갈 예정이다.

끝으로 주식회사 효성이 국내 최초로 800kV GIS를 성공적으로 개발할 수 있도록 기술지원을 아끼지 않은 한국전기연구소, 한전 전력연구원 관련자분들께 이 자리를 빌어 감사드리며, 개발진행에 있어서 물심양면으로 수고하신 한전 본사 각부처의 관련자분들께도 심심한 감사의 뜻을 전합니다.