

## 초고압 대용량 63kA 가스차단기 개발

김 덕수, 송 원표, 권 기영, 정 준모, 신 의호, 박 경엽\*, 송 기동\*  
 효성중공업(주) 기술연구소 \*한국전기연구소

### Development of 63kA Gas Insulated Circuit Breaker

D.S.Kim, W.P.Song, K.Y.Kweon, J.M.Chung, I.H.Shin, K.Y.Park\*, K.D.Song\*  
 HYOSUNG INDUSTRIES CO., LTD. \*KERI

**Abstract** - In the future, it is expected that a fault-current of 345kV power system is beyond 60kA and stability and reliability in transmission system will be more important. From these points of view, we needed a development of a circuit breaker having ability of breaking a large fault current, more than 60kA. This paper describe the specification and history of a development on 362kV 63kA 8000A GCB(Gas insulated Circuit Breaker) of which we completed a development. A development of this GCB will contribute to improve the technique to design and make GCB, and the stability and reliability of power system in our country.

#### 1. 서 론

국내 전력계통은 154kV, 345kV 계통이 주요 송전계통으로 이루어져 있으며, 고장전류입장에서 볼 때 154kV 송전계통은 50kA, 345kV 송전계통은 40kA가 주류로 되어있다. 그러나 345kV 송전계통이 초기와는 달리 계통이 복잡해지고, 서로 밀접하게 연관, 구성되어짐에 따라 고장전류의 양상도 크게 변화되어가고 있고, 2000년 이후에는 거의 모든 345kV 계통구간의 고장전류가 60kA 정도로 대용량화 될 예정이다. 이에 따라 송전계통의 안정과 신뢰성 증대를 위해서 대용량고장전류 정격을 갖고, 차기 초고압 송전인 765kV 계통에 연계로 사용할 초고압 차단기 및 GIS(Gas Insulated switchgear)가 필요하게 되었으며, 우선적으로 전류용량이 큰 발전소용과 765 kV 변전소용으로 요구되고 있는 실정이다.

따라서 당사는 한국전력공사의 전력사업에 적극적으로 대응하기 위해서 기존 345kV 계통의 362kV 40kA 4000A GIS 기술을 토대로 해서 362kV 63kA 8000A GIS를 조기에 개발 착수하여 완료하게 되었으며, 이에 따라 GIS를 구성하는 362kV 63kA 8000A 가스차단기(GCB)의 개발도 이루어졌다. 향후 UHV 송전계통과 국내 주요기간 전력계통의 신뢰성과 안정성 증대를 위하여 345kV 계통은 전량 63kA 8000A 정격 GIS로 이루어질 전망이며, GIS의 주요 구성품인 가스 차단기도 63kA 8000A 정격을 가지게 됨으로써 장래 우리나라 전력계통의 품질을 크게 향상시킬 수 있을 것이다.

#### 2. 본 론

##### 2.1 63kA 차단기 설계목표 및 기술과제

###### 2.1.1 설계목표

본 차단기 개발을 위한 설계의 기본 목표는 대용량 고장전류 차단시 신뢰성 확보에 있으며, 이를 위해 다음 사

항들을 고려하였다.

- 1) 당사에서 기생산 중인 정격차단전류 50kA 이하의 파퍼 Puffer형 가스차단기의 기본구조를 그대로 사용하여 신뢰성을 확보한다.
- 2) 대용량 차단시 신뢰성 유지를 위해 조작력을 증대시키며, 유압조작기를 사용한다.
- 3) 차단용량 증대를 위한 과도회복전압 조정용 Condenser를 차단부 극간에 배치, 분압 Condenser와 병행할 수 있도록 하여 구성 및 절연설계등의 면에서 종래 기술을 적용 가능하도록 한다.
- 4) 다수의 전류차단에 대한 Arc 접촉자의 신뢰성을 확보한다.

최근 차단기 조작 기구로 공기조작기와 함께 유압조작기가 널리 이용되는 데, 비압축성 유체 사용으로 여러 이점을 가진 유압조작기를 사용, 조작력을 증대시키고자 하였고, 8000A 대전류 통전을 위해 외부뱅크 순환전류 및 와전류, 전기적 접촉부위의 주울손실, 주도체 주울손실등의 열적 제한요소 관련한 통전설계를 고려하였다.

##### 2.1.2 개발기기 사양 및 차단부 형상

금회 개발완료한 362kV 63kA 8000A 가스차단기는 정격전압 362kV, 차단전류는 63kA, 정격 통전 전류는 8000A로 기본사양을 정리하면 표1과 같다.

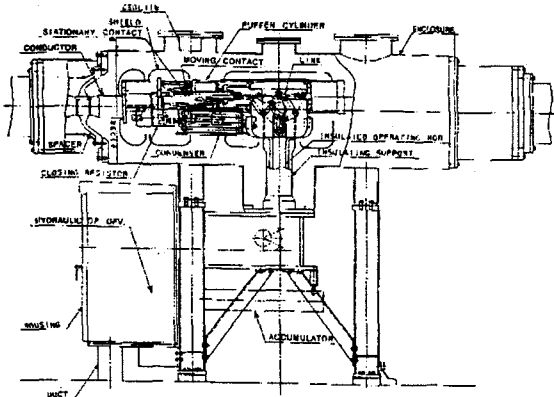
표 1. 362kV 63kA 8000A 가스차단기 기본사양

구 분	기본사양 및 주요시험 항목	
기 본 사 양	공 칭 전 압	345kV
	정 격 전 압	362kV
	정 격 전 류	8000A
	정격 차단 전류	63kA
	정격 투입 용량	158kAp
	뇌충격 내전압	1175kVp
	개폐충격내전압	950kVp
	AC상용주파내전압	450kV
	조 작 방 식	유압상분리 조작
	차 단 부 구 성	단상 2점접
	절 연 방 식	SF6 가스
	단 시 간 전 류	63kArms, 1sec, 158kAp

위 정격의 가스차단기 차단부 형상이 다음 그림 1에 보여지고 있다. 63kA 대전류 차단과 8000A 대전류 통전 성능을 동시에 확보하기 위해 1상당 2점절로 구성되어 있고, 차단부 극간에는 전압분담 및 차단성능 향상 목적으로 콘덴서가 병렬 삽입되어 있으며, 또 계통의 써지전

압을 억제하기 위해서 극간에 투입저항이 삽입되어 있는 구조로 되어 있다. 중심의 가동부측은 지지절연통으로 지지되어 있고, 양쪽의 고정부측은 절연 스페이스에 의해 지지 되어 있다.

그림1. 362kV 63kA 8000A 가스차단기 차단부 형상



**2.1.3 개발상의 중요 기술과제**

상기의 설계목표를 실현하기 위한 중요 기술적 과제를 살펴보면 다음과 같다.

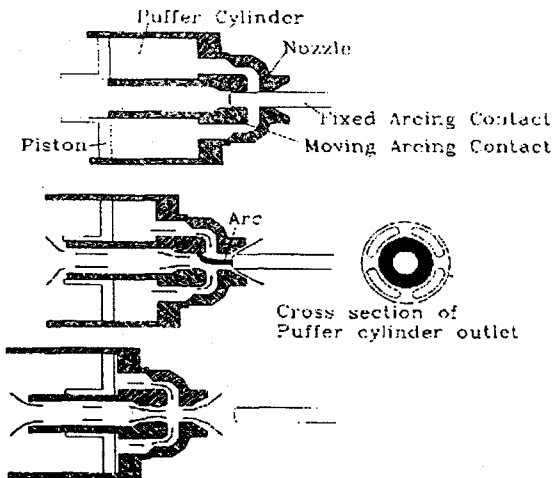
- 1) 대용량 고장전류 차단을 위한 Puffer 압력의 효과적인 상승과 차단 책무 경감을 위한 회복전압상승률 (Rate of rise of recovery voltage, rrrv)의 저감 기술.
- 2) Puffer 압력 특성 해석과 압력증대에 영향을 주는 요인 분석을 통해 조작력의 증대 없이 Puffer 압력 증대를 도모하는 기술.
- 3) 허용 공간내에서 배치가능한 Condenser 용량을 증대 시킴.
- 4) 63kA 대전류 차단을 10회이상 견딜 수 있는 Arc 접촉자의 개발

**2.2 63kA 파퍼형 가스차단기 개발**

**2.2.1 파퍼형 가스차단기의 차단특성**

파퍼(Puffer)형 가스차단기는 초고압 송변전계통에서 현재 전세계적으로 널리 사용되고 있는데, 그림 2은 차단동작에 따른 아크소호 과정을 나타내고 있다.

그림2. 파퍼형 가스차단기의 소호원리



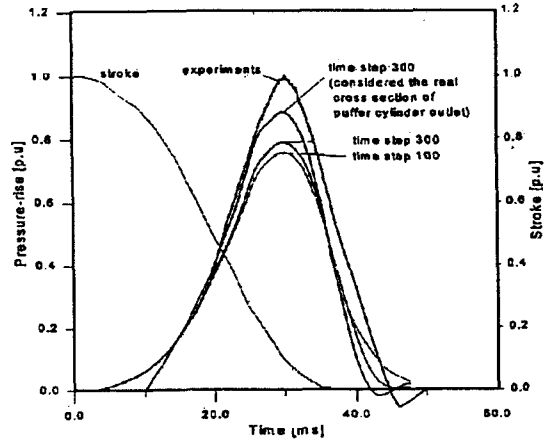
이와 같이 차단동작에 의해 파퍼압력을 증대시키므로 파

퍼 압력과 차단부 구조와는 밀접한 관계가 있으며, 효과적인 파퍼 압력상승과 이용이 가장 중요한 과제가 된다. 조작기에 의해 차단기 가동부(노즐, 파퍼실린더, 가동접점 등)가 움직이면 파퍼실린더내의 SF<sub>6</sub>가스는 피스톤에 의해 압축되고, 가동부의 이동으로 가동아크접점과 고정아크접점이 분리되어 두 접점상이에 아크가 발생한다. 이러한 아크는 파퍼실린더에서 압축된 SF<sub>6</sub>가스가 노즐 내부에서 가속되어 분사됨으로써 소호되고 비로소 차단기는 고장전류 차단에 성공하게 된다.

**2.2.2 파퍼 압력해석**

이처럼 고장전류 차단을 위한 아크소호를 위해 소호가스를 어떻게 효율적으로 이용하는가에 따라 차단기의 차단 성능이 결정되는 데, SF<sub>6</sub>가스를 압축하는 파퍼실린더의 압력특성이 그림3에 보여지고 있다.

그림3. 파퍼실린더 압력상승의 실험치와 비교



위 압력특성 곡선에서는 실험치와 시간간격 ΔT를 각각 다르게 주고 계산한 계산치(압력해석 결과)가 비교되어 있다. 전류 차단시 파퍼실린더의 압력특성은 아크의 영향으로 무부하시 압력과는 전혀 다르게 급격히 상승한다. 아크는 그림2에서 보듯이 파퍼실린더에서 압축되어 노즐을 통해 분사되는 가스 유로를 폐쇄하는 것 이외에도 파퍼 압력증대에 영향을 주는 다른 요소를 가지고 있으며 파퍼 압력의 상승과 함께 차단성능은 향상된다.

**2.2.3 회복전압상승률(rrrv)의 저감**

회복전압상승률(Rate of rise of recovery voltage, rrrv)은 전류 차단시 차단기 극간의 절연회복특성과 함께 차단성능에 큰 영향을 미치는 요소이다.

노즐 형상의 개선등에 의한 방법으로 차단부의 유로를 확대하거나 극간의 가스 밀도를 높이게 되면 극간절연회복특성은 상당히 개선되어 충전전류차단성능은 좋아지겠지만 근거리선로고장(Short Line Fault : SLF)전류 차단성능은 낮아질 가능성이 있다. 이러한 근거리선로고장 차단성능에 가장 가혹한 영향을 미치는 초기회복전압상승률(rrrv)에 대한 책무경감은 가스차단기의 경우 파퍼 압력 상승과 더불어 극간의 병렬 폰넨 설치로 가능하다.

**2.3 차단시험 결과**

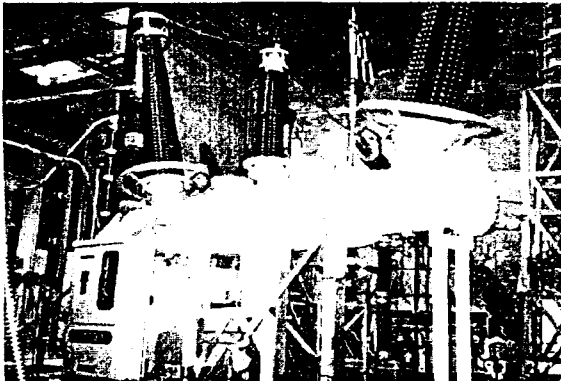
금번 당사에서는 362kV 63kA 8000A 가스차단기에 대한 개발시험을 실시하여 매우 양호한 결과를 얻었으며, 특히 차단전류 63kA의 대용량 차단성능을 충분히 가진 것으로 확인하였다. 주요 개발시험 항목과 시험내용을 표 2에 정리하였다.

표 2. 362kV 63kA 8000A 가스차단기 주요 개발시험 항목

주요 개발시험 항목		관련규격
1. 전기적절연시험	- 상용주파내전압시험 450kVrms (520kVrms) - 뇌임펄스내전압시험 1175kVp (1175+205kVp) - 개폐임펄스내전압시험 950kVp (800+295kVp) - 0기압 내전압시험	IEC 517
2. 투입 및 차단능력 시험	- 기본단락시험 (BTF1~5) - 근거리 선로고장차단시험 (SLF 75,90) - 탈조 차단시험 - 충전전류 차단시험 - 지상소전류 차단시험	IEC 56  JEC 2300
3. 온도상승시험	- 8000A 대전류 통전성능	IEC 517
4. 기계적동작시험	- 연속개폐시험(10,000회)	ES 150, IEC 517
5. 단시간전류시험	- 63kA, 1초, 158kAp	IEC 517

온도상승시험을 통해 8000A 대전류 통전성능을 확인하였으며 63kA(158kAp) 단시간 전류 시험 및 기본단락 시험, 근거리 선로고장 차단시험등의 투입, 차단능력 확인 시험으로 대용량 차단성능을 확인하였다.

그림 4. 투입 및 차단능력 확인시험 장면(CESI 시험소, Italy)

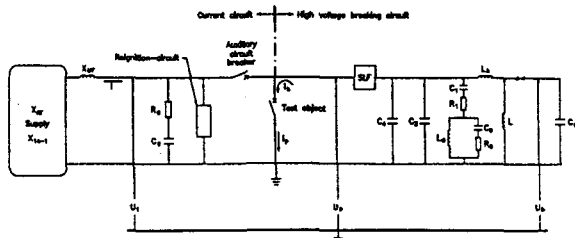


국내시험이 가능한 대부분의 시험항목은 한국전기연구소(KERI) 및 당사에서 실시하였고, 설비용량 부족으로 국내시험이 불가능한, 차단기의 차단능력을 확인하는 투입 및 차단능력 시험등은 국제 공인 시험기관(CESI 단락시험소, Italy)에서 실시하였으며, 위 그림 4에 그 시험장면을 나타내었다.

다음은 차단능력 확인시험 중 근거리선로고장차단시험(SLF 90)에 대한 시험회로도 및 시험결과를 나타낸 것으로 회복전압상승률(rrrv)이 차단성능에 가혹한 영향을 미치게 된다.

그림 5. 근거리선로고장 차단시험에 대한 시험회로도

$U_1$  : r.m.s. value of the power frequency voltage of the current circuit



$U_p$  : value of the recovery voltage  
 $I$  : r.m.s. value of the power frequency current measured in the last loop of the period of arcing  
 $i_0$  : injected current  
 $i_p$  : equivalent r.m.s. value of the test current calculated by  $dI/dt$  at the  $i_0$  zero

위 회로에서 피시품(시험 차단기)를 중심으로 좌측의 전류원 회로와 우측의 전압원 회로(회복전압)에 의한 합성 시험으로 실시하여 충분한 성능을 확인하였으며, 그 결과를 표 3에 나타내었다.

표 3. 근거리선로고장 차단시험 결과

Single-phase symmetrical short-circuit test results

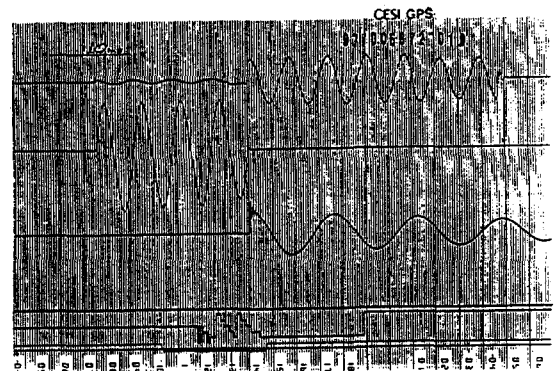
test circuit		circuit breaker		test object		test results	
U <sub>1</sub>	I <sub>1</sub>	U <sub>2</sub>	I <sub>2</sub>	U <sub>3</sub>	I <sub>3</sub>	U <sub>4</sub>	I <sub>4</sub>
362	158	450	63	1175	950	0	0
362	158	450	63	1175	950	0	0

Definition of the symbols used in the table: see annexes no. 1 and 2

test	operation	opening	closing	number of the current circuit	operating current	recovery voltage	test results
no.	no.	no.	no.	no.	no.	no.	no.
1	0.3	0.3	0.3	2	2	0.8	0.1
2	0.3	0.3	0.3	2	2	0.8	0.1
3	1.0	0.3	0.3	2	2	0.8	0.1
4	1.1	0.3	0.3	2	2	0.8	0.1
5	1.1	0.3	0.3	2	2	0.8	0.1
6	1.0	0.3	0.3	2	2	0.8	0.1

다음은 차단성공을 나타내는 Oscillograph이다.

그림 6. 근거리선로고장 차단시험에 대한 Oscillograph



### 3. 결 론

362kV 63kA 8000A 가스차단기(GCB)는 국내에서 최초로 개발에 성공한 대용량 차단기로서, 개발 기간 동안에 축적된 차단기 관련 해석, 설계 및 제조 기술은 하위 기종 및 800kV급 차단기 개발에도 크게 활용될 것으로 보며, 국내 가스절연개폐장치(GIS)와 가스차단기(GCB) 기술을 한층 더 발전시켰다고 사료된다.

### [참 고 문 헌]

1. L.S Frost and R.W Liebermann "Composition and transport properties of SF6 and their use in a simplified enthalpy flow arc model", Proc. IEEE, 59(4), pp.474-485, 1971
2. "超高壓 大容量 가스遮斷器開發における 氣流解析技術の適用", 전기학회연구회자료 개폐보호연구(HV-89-91)
3. V.V. Chulkov, 최영길, 송기동, 박경엽, 신영준, "800kV 가스차단기의 아크특성 해석", 대한전기학회 하계학술대회 논문집 A, pp 1287-1289, 1995
4. 한국전기연구소 "차기 초고압기기의 국산화 기술연구" 과기처 연구과제보고서, 1989-1990
5. 송원표, 권기영, "362kV 63kA GIS 설계 및 제조기술 개발에 관한 연구" 연구과제보고서