

800kV GIS용 차단부의 절연특성 및 차단특성

신영준^o 박경업 장기찬 이정희 송원표^o 강종호^o 심용보^o
한국전기연구소 개폐장치연구팀

* : 효성중공업(주) 기술연구소 ** : 현대중공업(주) 고압차단기부
*** : 한전기술연구원 765kV 송전기술연구팀

Insulation and Interruption Characteristics of Interrupter for 800kV GIS

Y. J. Shin^o K. Y. Park K. C. Chang J. H. Lee W. P. Song^o J. H. Kang^o E. B. Shim^o
Korea Electrotechnology Research Institute

* : Hyosung Industries Co. R&D Dept.
** : Hyundai Heavy Industries Co. H.V. Circuit Breaker R&D Dept.
*** : KEPCO Research Center 765kV Transmission Research Team

Abstract

In this paper, the procedures and the results of design and manufacturing technologies, mechanical operating tests, insulation tests and short-circuit tests for 800kV 40kA model GCB are presented. The problems to be solved and the countermeasures for the problems are also proposed to improve the performances of the model GCB.

1. 서론

우리나라는 전력수요가 폭발적으로 증가하고 있고 수도권에 부하가 집중되어 있어 2001년 중반경 계통최고전압을 765kV로 격상하기로 결정하고 이에 대한 전력계통연구와 이 때 소요되는 송전전기기의 개발에 박차를 가하고 있다. 한국전기연구소와 효성중공업 및 현대중공업은 1991년 12월부터 현재까지 800kV GIS용 차단부의 개발과제를 수행해 오고 있으며, 지난 1년동안 800kV 40kA 4000A 2-breaks 공압조작 SF₆가스절연 파피소호방식 차단부를 순수 국내기술로 설계·제작하였다[1]. 이 800kV 차단부의 설계는 절연설계, 차단설계, 통전설계로 크게 나누어지며, 설계성능을 검증하기 위하여 현재까지 동작특성시험, 대기간 및 극간 절연시험과 SLF 및 BTF 차단시험의 일부를 수행하였다. 본 논문에서는 800kV 차단부를 구성하고 있는 각 부품의 설계치에 대해 언급하며, 차단부에 실시한 성능검증시험의 결과를 분석하며, 시험중에 나타난 문제점과 보완대책에 대해서 기술한다.

2. 800kV GCB의 설계 및 제작

2.1 설계 및 성능시험

800kV급 모델 차단부는 SF₆ Gas를 기본 절연매체로 사용하고 있으며, 도체 지지용으로는 예폭시 수지계 고체 절연물을 사용하고 있다. 예폭시 수지계 고체 절연물은 국산화된 제품으로서 기존 170kV급과 362kV급의 GIS 등에서 많은 운전실적을 가지고 있다. 800kV급 모델 차단부의 기본 설계시 고려해야 할 항목과 그 내용을 표 1에 그리고 주요시험 항목을 표 2에 나타내며, 시험을 위한 적용규격은 ESB 150(1990), IEC 56(1987), IEC 694(1980), IEC 517(1990), IEC 2300(1985) 등이다. 800kV급 모델 차단부는 표 1 및 표 2의 설계시 고려사항과 시험항목을 충분히 고려하여 기본형상을 설계하였으며, 기본형상 설계 후에는 전계해석 및 유동해석을 통해 설계검증 및 형상개선 과정을 거쳤다[2-3].

GIS/GCB 차단부의 설계에는 크게 차단설계, 절연설계, 통전설계로 구성된 전기적 설계와 구조설계인 기계적 설계로 나눌 수 있으며, 각각의 전기적 설계에서 고려해야 할 차단부의 열적 및 유전적 회복특성에 영향을 주는 중요한 설계변수와 이런 설계변수를 검증하거나 산출할 수 있는 시험 또는 기준이 상호 관련지어져 그림 1에 도식적으로 나타나 있다.

파피식 가스차단기의 차단부에서 가동아크절점과 고정아크절점이 접촉상태로부터 개리하기 시작하면 두 접점 사이에 아크가 발생하기 시작하고, 가동절점의 운동과 동시에 파피피톤의 압축 작용이 일어나 파피실린더내의 SF₆가스를 압축하고 아크자체에 의해 열기스가 발생하여 노플상류장의 압력은 더욱 올라간다. 노플목이 고정아크절점의 선단을 빠져나갈 시점에서 압축된 가스가 아크로 분사되면서 아크는 냉각되어 전류영점에서 소호된다. 아크가 일단 소호되면 차단기의 두 접점 사이에는 과도회복전압이 인가되기 시작하여 열적 및 유전적 회복에 성공하게 되면 차단기는 차단에 성공하게 된다.

표 1 800kV 모델 차단부 설계시 주요 고려사항

구분	항 목	설 계 내 용	비 고
1. 절 연 설 계	(1) 가스압력	<ul style="list-style-type: none"> o 정격 : 6.0kg/cm².G o 최저보충 : 5.0kg/cm².G o LIWL = 2100kV (5.0kg/cm².G) 	LIWL = Lightning Impulse Withstand Level
	(2) 전계강도 (a) 비충격내전압기준 (LIWL) (b) 상규운전전압	<ul style="list-style-type: none"> o 비충격내전압 - 가스공간 : 27.4kV/mm - 절연물 연면 : 18.7kV/mm - 절연물 내부 : 20.0kV/mm o 상규운전전압=800/√3=462kVrms 	
2. 차 단 성 능	(1) 차단절수	<ul style="list-style-type: none"> o 2절/상 - 800kV 2절점 GCB의 차단부는 362kV 40kA 1절점 GCB의 차단부를 2절 직렬로 구성함. 	
	(2) 정격차단 전류	o 40kA	
	(3) 추차단부구조제한	o 200mm	
	(a) 소호실스트로크	o 2단 N형 노플	
	(b) 노플형상	o 과도회복 전압 (상당)	
	(4) 대전류 차단성능	<ul style="list-style-type: none"> - 초기파고치 : 849kV - 파 고 치 : 1189kV 	
(5) 소전류 차단성능	<ul style="list-style-type: none"> o 전상소전류 차단 - 과도회복전압 파고치: 1306kV 		
(6) 부입전류	o 100kA		
3. 통 전 성 능	(1) 정격전류	o 4000A	
	(2) 온도상승	<ul style="list-style-type: none"> o 온도상승 한도 - 탭크 : 30 deg - 도체 : 75 deg 	
4. 저 항 체	(1) 저항기	o 1100Ω/상	o 차단저항은 존재하지 않음.
	(2) 부입저항	o 접점은 추차단부의 밀착 구조이 기 때문에 독립된 구동원은 없 다.	
5. 극 간 변 용	(1) 정전용량	o 1200pF/점	

표 2 800kV모델 차단부의 주요 시험 항목

시험 항목	시험 내용	차단부 조건	비고 (적용규격)
1. 구조외관 검사	1.1 구조, 지수, 외관등의 확인	1.1 실사용 상태로 조립	ESB 150
2. 전기적 절연시험	2.1 SF ₆ 가스 : 최저보증압력 (5.0kg/cm ² , G)	2.1 SF ₆ 가스 : 최저보증압력 (5.0kg/cm ² , G)	IEC 694 IEC 517
2.1 최종내전압 시험	2.1.1 대지간, 상간: 2100kV _{eff} 2.1.2 극 간 : 2100(+435)kV _{eff} 2.1.3 파형 : 1.2x50 μs		
2.2 개폐중격 내전압 시험	2.2.1 대지간, 상간: 1425kV _{eff} 2.2.2 극 간 : 1550kV _{eff} 또는 1100(+625)kV _{eff} 2.2.3 파형 : 200x2000 μs		
2.3 사용중격 내전압 시험	2.3.1 대지간, 상간: 830kV _{eff} 2.3.2 극 간 : 1100kV _{eff} 2.3.3 파형 : 60Hz, 1min		
2.4 부분방전 시험	2.4.1 대지간, 극간: 800x1.1/√3=508kV _{eff} 2.4.2 기 준 : 10pC 이하		
3. 기계적 동작시험	3.1 개폐특성시험 1) 투입특성 2) 트립특성 3.2 수동기폐시험	3.1 SF ₆ 가스 : 정격압력 (6.0kg/cm ² , G) 3.2 제어전압 : 60% ~ 125% 3.3 조차공기압력 : 85% ~ 100%	
4. 부일및차단 시험	4.1.1 BTF Duty 4, 5 1) 대정전류: 100% (D-4) 2) 비대정전류: 100% (D-5)	4.1 SF ₆ 가스 : 최저보증압력 4.2 조작조건 : 최소조작조건 (저압, 공기압력)	
4.2 근거리선로고장 차단시험	4.2.1 SLF 90%		
4.3 탈조차단 시험	4.3.1 Duty 1, 2		
5. 진상소전류차단 시험	5.1 시험전류의 규정이 없음.	5.1 상동	

표 3 GCB/GIS의 절연설계시 기본적인 고려사항

구분	설계 기준	비 고
절연설계 기준	① 절연설계방법: 기본적 수치전계계산법 따라 행함 ② 기준전계: 기준 뇌임펄스 내전압(LIWL)에 대하여 최대전계치가 부파리전계의 -30% 이하일 것 ③ 기준압력: 최저보증압력에 의해 설계	*최대전계치에 주목하여 설계
3중 접합부	① 구조: 3중접합점(전극-절연물-SF ₆ 가스) 부분의 극소적 전계집중이 충분히 완화된 구조 ② 설계: 극소의 전계치를 정밀하게 해석하여 스트리머이후에 의한 침락치가 기준전압에 충분히 견딜 것	*스트리머 이온의한 연연파괴로 견도
고체 절연물	① 기준: 전계의 연연방형성분을 파괴전계치(-30)의 50% 이하로 억제함 ② 고전계에 사용되는 지지체에 대하여는 입자 부착시의 내입형상대체의 목적의 주름을 갖을 것	*연연방형 전계저감, 스트리머전전방지 *표면에 유 입자 부착 내입형상
절연표면	① 고체절연을 내부전계 기준치: 상구대지전압시 정급구기 V-t 특성의 50년 수명에 상당하는 사용스트레스 표면(-30) 이하	*절연물이 매일된 급구의 표면
도전성	① 탱크벽전계설계: 입부미늘입자의 기립전계치 이하 ② 입자 부착시 내인: 표준입자(φ 0.3, 길이 5mm)가 이물 절연물연면에 부착하여도 규격의 LIWL에 견딜 것	*입자 기립실험 *절연물 입자부착시 내입검증
절연협조	① 기기내부의 절연협조: 상간>극간>대지간>LIWL ② 대지간 설계는 극구의 LIWL에 대해 입자(탱크벽전계), V-t특성을 고려하여 정함.	*대지간은 LIWL에 비해 충분히 여유있는 값
부유전극	① Shield 등의 급속구조를 및 부품이 전기적으로 부유하지 않는 구조로 함.	

GIS/GCB의 차단부에 대한 차단설계를 분류해 보면 크게 2가지로 나누어 질 수 있다. 하나는 진상소전류 및 지상소전류와 같이 소전류를 차단할 수 있도록 차단설계하는 것이고, 다른 하나는 SLF(Short Line Fault: 근거리선로고장) 및 BTF(Bus Terminal Fault: 단자단락고장)와 같은 대전류를 차단할 수 있도록 설계하는 것이다.

소전류차단에 대한 설계는 주로 진상소전류에 대한 차단설계만을 고려하고 있다. 진상소전류에 대한 차단설계에서는 차단기가 진상소전류를 차단한 후 0.5 사이클 뒤에 계통전압의 최대치의 약 2배에 해당하는 정연파의 과도회복전압이 차단기 극간에 인가되어 오기 때문에 주절점 및 아크절점 사이의 절연강도가 충분히 회복되도록 하여야 하며, 극간에 가해지는 높은 전압책부에 잘 견디도록 무부하 차단시 및 무부하 차단시에 절연회복특성을 향상시키는 것이 특히 중요하다. GIS/GCB 차단부의 무부하 및 유부하 절연회복특성은 차단동작에 따라 변화하는 아크절점 근방의 전계강도와 가스밀도에 의해 주로 지배되므로 절연회복특성을 향상시키기 위해서는 차단속도의 향상과 절점형상의 개량으로 절점 표면의 전계강도를 저감하여야 함은 물론, 동시에 노출형상에 대한 연구를 수행하여 절점 근방의 가스밀도를 높여야 한다. 진상소전류의 차단에서는 절점간의 거리가 그다지 크지 않을 때에도 전류가 차단되어 극간에 과도회복전압이 인가되며, 절점간의 절연회복은 절점형상, 가스유동의 분포, 개국속도에 의해 주로 결정되지만 절점의 형상을 개선하거나 가스유동을 개선하는 데에는 스스로 한계가 있으므로 기본적으로 개국속도를 대폭 증가시킬 필요가 있다.

대전류차단에 대한 설계에서는 BTF에 대한 차단설계와 SLF에 대한 차단설계를 모두 포함하여야 한다. BTF에 대한 차단설계에서는 차단기가 큰 고장전류를 차단한 후 고온가스가 아직 차단부내에 머물고 있는 상태에서 전력계통의 고유한 회로정수에 의해 결정되는 과도회복전압 또는 제기전압이 차단기 극간에 인가되어 오기 때문에 아크를 효과적으로 냉각하도록 하여야 하며, 고온가스를 효율적으로 배출할 수 있도록 하여야 할 뿐만 아니라 절점 근방의 내전압이 향상되도록 하는 것이 매우 중요하다. BTF 차단에서는 차단속도에 거의 비례하여 아크의 발생에너지가 증가하기 때문에 차단속도의 증가를 필요한 한도내에서 최소로 하여 아크의 발생에너지를 억제하는 것이 유효한 수단이 된다. 또한 극간에서 고온가스가 효율적으로 배출되도록 하고, 아크에 의해 가스밀도가 저하되는 것을 줄일 수 있도록 하며, 동시에 아크에 분사되는 가스의 유속을 증가시켜서 대전류기간부터 소전류기간에 걸쳐 아크에 대한 냉각능력을 높일 수 있도록 설계하여야 한다. 따

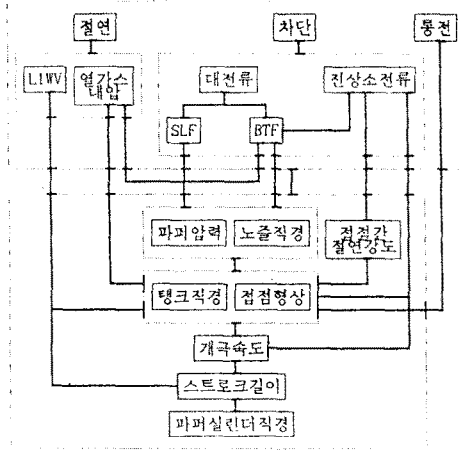


그림 1 차단부의 전기적 설계 및 설계변수

열적 및 유전적 회복과정에서 국부적으로 전계가 집중되어 절연파괴 전계강도 이상으로 전계가 올라가면 절연파괴가 일어나 아크는 재점화된다. 또한 완전 폐로 또는 개로상태에서도 국부적으로 임계전계강도 이상으로 전계가 집중되면 코로나가 발생하고 Streamer로 발전하여 결국 절연파괴에 도달하기도 한다. 그 중에서도 중요한 것은 최소아킹시간부터 최대아킹시간까지 극간의 전계변화이며, 특히 최소아킹시간에서의 전계변화라 할 수 있다. 일반적으로 가스차단기(GCB) 또는 GIS(Gas Insulated Switchgear or Substation)의 절연설계시에 기본적으로 고려해야 할 사항을 나타내면 표 3과 같다.

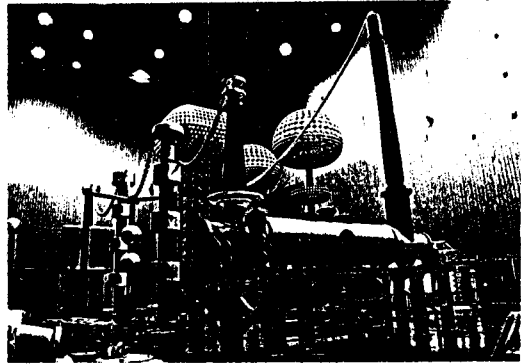
라서 BTF 차단에서는 고온가스를 극간으로부터 가능한 한 빨리 배출하여 고온가스에 대한 유전적 절연능력을 회복시키는 것이 가장 중요하며, 고온가스는 주로 Enthalpy Flow인 pvh (p 밀도, v 속도, h 엔탈피)에 의해 배출되므로 유속을 증가하면 유전적 절연능력이 개선될 수 있다.

차단기가 근거리선로에서 발생한 고장에 의해 흐르는 전류를 차단한 순간 차단기의 부하측 전압은 차단순간의 전압이 근거리선로를 진행해 갔다가 고장점에서 반사되는 과정을 반복하면서 들니모양의 파형을 형성하여 점차 영으로 감쇠되어 가고, 차단기의 전원측 전압은 전력계통의 고유한 회로정수에 의해 결정되는 과도회복전압 또는 재기전압이 인가되어 온 후 전력계통의 전압으로 점차 감쇠되어 간다. 그래서 차단기의 극간에는 열가스가 충전되어 있는 상태에서 결국 전원측 전압과 부하측 전압의 차이 만큼 인가되기 때문에 매우 급준한 상승율을 가진 과도회복전압이 걸리게 되므로 SLF에 대한 차단설계에서는 아크로 분사되는 가스유속을 높이는 것이 매우 중요하다. SLF 차단에서는 난류효과를 높이면 열적인 차단능력이 향상되며, 난류효과는 밀도와 유속 및 비열에 좌우되므로 결국 밀도와 유속을 높이기 위해서는 파퍼실의 압력을 높일 필요가 있다.

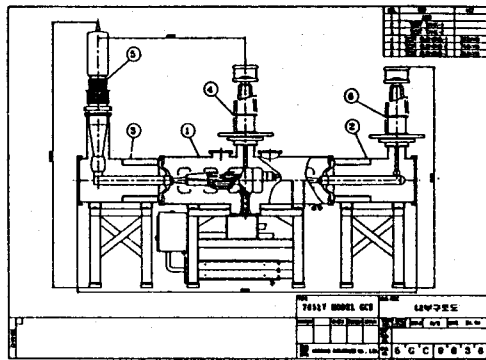
이상에서 기술한 차단설계중 가장 중요한 3가지, 즉 진상소전류 차단설계, BTF 차단설계, SLF 차단설계에서 고려해야 할 기본방향과 대응방안을 정리하면 표 4와 같다.

표 4 차단설계에서 고려해야 할 기본방향 및 대응방안

차단설계	기본방향	대응방안
진상소전류 차단설계	절점근방의 밀도를 증가시켜 내전압성이 향상되도록	정격가스압력의 증가 노출형상의 개량 차단속도의 고속화
BTF 차단설계	절점근방의 스트로크별 전계특성을 개선시켜 내전압성이 향상되도록	정격가스압력의 증가 노출형상의 개량 차단속도의 고속화 파퍼실린드 직경의 최적화
SLF 차단설계	절점근방의 스트로크별 전계특성을 개선시켜 내전압성이 향상되도록 아크에너지에 의한 가스밀도의 저하를 억제시켜 내전압성이 향상되도록 - 열가스 배출의 효율적 촉진 - 아크에너지 자체의 발생 억제 아크로 분사되는 가스유속을 높여 냉각능력이 향상되고 열가스의 배출이 효율적으로 촉진되도록	정격가스압력의 증가 노출형상의 개량 차단속도의 고속화 파퍼실린드 직경의 최적화 아크절점 형상의 개량 차단속도의 고속화 파퍼실린드 직경의 최적화 노출자류 열가스유도 직경화 노출형상의 개량 차단속도의 고속화 파퍼실린드 직경의 최적화



(a) 외형도



(b) 차단부 내부 구조도

그림 2 800kV 모델 GCB의 외형도 및 차단부의 내부 구조도

3. 일반특성 및 동작특성시험

아래 표 5에 일반특성 및 동작특성 시험결과를 나타낸다. 시험 조건은 IEC 56의 규정에 따랐으며, 결과는 최소 조작조건에서의 절점의 개극속도가 극간절연회복 특성해석에서 요구되는 최소한의 값인 9.5m/s에 다소 못 미치는 7.6m/s로 나온 점이 미흡하다.

4. 고전압 절연특성시험

표 6에 800kV 모델차단부에 대한 절연성능 시험결과를 나타낸다. 절연성능시험은 당 소의 고전압 연구시험설비를 이용하였으며 시험조건 및 시험방법은 800kV 차단기에 대한 명확한 시험기준이 아직 마련되지 않은 실정임으로 ESB 150, IEC 56 및 IEC 694의 관련조항, South Africa의 ESKOM에 납품한 800kV GIS에 대한 BBC(현재 ABB)의 시험조건 등을 참고로 하여 결정하였다. 참고로 당해년도의 고전압 및 대전력 성능시험은 800kV 모델차단부의 성능평가가 주된 목적이었으므로 표 6에 제시한 시험조건 또는 시험기준은 절대적인 것이 아니며 추후에도 변경될 소지가 충분하였다.

시험결과를 보면 대시간 절연특성은 정해진 시험조건을 모두 만족하고 있음을 알 수 있다. 참고로 100%의 뇌임펄스시험에서 2차례의 Flashover(FO)가 발생하였으나 이것은 IEC 694에서 self-restoring insulation인 경우에 허용하고 있는 최대 2회까지의 Flashover에 해당되므로 규격상으로는 문제가 없다. 시험 후에 밝혀진 바에 의하면 이 2차례의 방전은 한 번은 800kV 스페이스 표면에 부착된 기름때에 의해, 그리고 나머지 한 번은 800kV 봉상 인입부와 차단부 본체 사이의 튀어나온 용접부위가 원인이 되었다.

2.2 800kV 모델 차단부의 제작

그림 2는 800kV 모델 GCB의 외형도와 차단부의 내부 구조도이다. 차단부는 2절점으로 구성되어 있으며, 조작기는 공기 조작기를 사용하고 있다. 차단부 중심하부에서 수직방향으로 절연로드가 설치되어 있으며, 지표면에서 차단부 탱크 중심까지의 높이는 약 3m이고 차단기의 폭은 약 5m이며, Unit 차단시험을 위해 탱크 중앙에 362kV급 Bushing을 조립하도록 되어 있다. 또한 차단부 내부에 압력센서를 설치할 수 있도록 되어 있으며, 센서 출력을 내기 위해 터미널 단자대를 설치하였다.

그림 2의 (b) 차단부 내부 구조도를 보면, 링크 양측에 차단 절점부가 1개씩 있어 2절절로 구성된 차단부이다. 각각의 극간에는 전압분담 조정용의 분압 콘덴서가 있고, 투입시의 써지억제용으로 취부된 세라믹 저항소자가 있다. 차단부 양단에는 중심도체의 지지 및 절연을 하기 위한 스페이서가 조립되어 있으며, 중심부에는 차단부 기동축의 절연 및 지지를 위한 절연봉이 취부되어 있다. 여기에 사용되는 스페이스나 절연봉은 현재까지 국내에서 제작된 절연물중에서 최대의 것이며, 극산기술로 설계한 것이다.

표 5 일반특성 및 동작특성 시험결과

항목	시험조건	시험결과	비고	
1) 동작 특성 시험	최소 조작 조건	1) OPEN - 전압: 75V - 공기압: 12.75kg/cm ² · G	- 속도: 7.6m/s - 개극시간: 25.2ms	
		2) CLOSE - 전압: 93.75V - 공기압: 12.75kg/cm ² · G	- 속도: 2.06m/s - 아킹점점 투입시간: 150ms - 주점점 투입시간: 164ms	
	최대 조작 조건	1) OPEN - 전압: 157V - 공기압: 16.5kg/cm ² · G	- 속도: 10.3m/s - 개극시간: 29.5ms	
		2) CLOSE - 전압: 157V - 공기압: 16.5kg/cm ² · G	- 속도: 1.85m/s - 아킹점점 투입시간: 72ms - 주점점 투입시간: 88ms	
	정격 조작 조건	1) OPEN - 전압: 125V - 공기압: 15kg/cm ² · G	- 속도: 8.7m/s - 개극시간: 23ms	
		2) CLOSE - 전압: 125V - 공기압: 15kg/cm ² · G	- 속도: 1.87m/s - 아킹점점 투입시간: 72ms - 주점점 투입시간: 86ms	
		3) CLOSE OPEN - 전압: 125V - 공기압: 15kg/cm ² · G	- 속도: 2.11m/s - 아킹점점 투입시간: 121ms - 주점점 투입시간: 135ms • OPEN - 속도: 8.33m/s - 개극시간: 21ms	
		4) OPEN1-CLOSE OPEN2 - 전압: 125V - 공기압: 15kg/cm ² · G	- 속도: 8.774m/s - 개극시간: 21.9/20ms • CLOSE - 속도: 2.3m/s - 아킹점점 투입시간: 81ms - 주점점 투입시간: 87ms	
	2) RUN DOWN 시험	최소 조작 입력 확인 시험 - 정격전압(DC125V)에서 실시 - 공기압 15kg/cm ² · G에서 Start	- 압력: 6.2kg/cm ² · G	
		최소 동작 전압 확인 시험 • OPEN - 정격공기압(15kg/cm ² · G)에서 실시 - 전압 0V에서 Start • CLOSE - 정격공기압(15kg/cm ² · G)에서 실시 - 전압 0V에서 Start	- 전압: 72V - 전압: 88V	

항목	시험조건	시험결과	비고
3) COIL 저항 측정	- Closing, Trip Coil 저항 측정	- Closing Coil: 14.7Ω - Trip Coil: 1.9Ω	
4) 주회로 접촉저항 측정	- 100A 동전 - 주회온도: 15℃	- 접촉저항: 43μΩ	
5) 절연저항 측정	- Megger(1000V 인가)로 측정	- 절연저항: 무한대	
6) 교류 내전압 시험	- AC 450kV(대지간) - 1분간 인가	- 교류내전압: 양호	

표 6 절연특성 시험결과

항목	시험조건	시험결과	비고
1) 상용 주파	- Aa: Closed and voltage applied to - 상용주파 830kV 전조 1분간 - 구형 단말탱크 사용	- 상용주파: 양호	
2) BIL	- Aa: Closed and voltage applied to - 파형: 1.25×49us, ±2100kV - 표준 구(Gap (Dia. 1m, 이격거리 45cm)) - 구형 단말탱크 사용 - Positive & Negative 각각 15회	• POSITIVE - 70%(1470kV), 80%(1680kV), 90%(1800kV): OK - 100%(2100kV) 1회: PO - 50%, 70%, 80%, 90%, 100% 2회, 100% 3회: OK - 100% 4회: PO - 100% 5회 ~ 100% 15회: OK • NEGATIVE - 50%, 70%, 80%, 90%, 100% 1회 ~ 100% 15회: OK	
	- Aa: Closed and voltage applied to - 파형: 240×2490us, ±1425kV - 표준 구(Gap (Dia. 1m, 이격거리 20cm)) - 구형 단말탱크 사용 - Positive & Negative 각각 15회	• POSITIVE - 50%(713kV), 70%(998kV), 80%(1140kV), 90%(1283kV), 100%(1425kV) 1회 ~ 100% 15회: OK • NEGATIVE - 50%, 70%, 80%, 90%, 100% 1회 ~ 100% 15회: OK	
3) SIL	- Aa: Closed and voltage applied to - 파형: 240×2490us, ±1425kV - 표준 구(Gap (Dia. 1m, 이격거리 20cm)) - 구형 단말탱크 사용 - Positive & Negative 각각 15회	- 70%(AC 310kV _{max} , SIL 997.5kV _p), 80%(AC 354kV _{max} , SIL 1140kV _p), 90%(AC 398kV _{max} , SIL 1283kV _p): OK - ±1100kV _p ± 625kV _p (442kV _{rms}) - 362kV 봉상 단말탱크 사용 - Positive & Negative 각각 15회	

2) 극간

항목	시험조건	시험결과	비고
1) SIL	- Aa: Open and voltage applied to - 파형: (240×2490us)±(상용주파) - ±1100kV _p ± 625kV _p (442kV _{rms}) - 362kV 봉상 단말탱크 사용 - Positive & Negative 각각 15회	- 70%(AC 310kV _{max} , SIL 997.5kV _p), 80%(AC 354kV _{max} , SIL 1140kV _p), 90%(AC 398kV _{max} , SIL 1283kV _p): OK - ±1100kV _p ± 625kV _p (442kV _{rms}) - 100%(AC 442kV _{max} , SIL 1425kV _p) 1회: PO, 극간 Grading Capacitor 결연파괴	

극간의 절연성능은 100%의 개폐임펄스시험(SIL) 중에 차단기의 극간콘덴서를 통한 절연파괴가 발생하는 바람에 충분한 검증이 이루어지지 못하였다. 그러나 이 SIL 시험도 본 시험조건인 90%에서는 성공하였으므로, IEC 56에서 규정하고 있는 765kV 차단기의 경우의 기준(±1100kV_p 625kV_p)에 따른다면 성공한 것으로 간주할 수도 있다. 그림 3 및 그림 4는 대지간의 100% 뇌임펄스 시험 및 100% 개폐임펄스시험에서 측정된 사진이다.

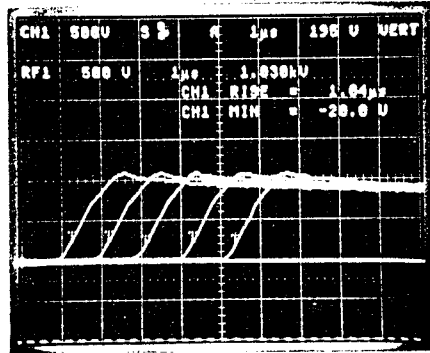


그림 3 대지간의 100% 뇌임펄스 시험결과 사진

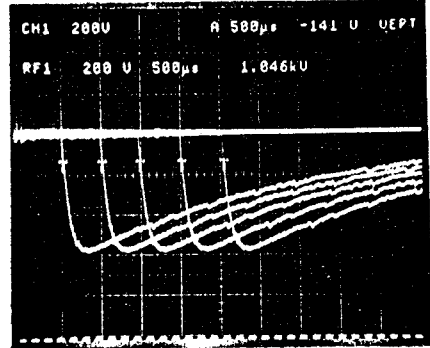


그림 4 대지간의 100% 개폐임펄스 시험결과 사진

5. 단락특성시험

단락시험은 대전류차단성능 검증을 위해 가장 문제가 될 것으로 예상되는 단락 Duty 4와 SLF 90%를 우선적으로 실시하였다. 표 7 및 표 8에 단락 Duty 4 및 SLF 90%에 대한 시험조건과 시험 결과를 나타내며 그림 5는 SLF 90% 시험시의 회로도를 나타낸다.

6. 문제점 및 보완대책

현재까지 실시한 시험결과를 분석해 보면 몇 가지 문제점들을 발견할 수 있다. 우선 차단부의 극간의 절연성능이 여유가 거의 없다는 사실이다. 물론 IEC 765kV의 규정(±1100kV_p 625kV_p)에 따르면 개폐임펄스시험도 성공하였다고 간주할 수도 있었으나 현재 개발 중인 차단기의 정격전압이 800kV이고 또한 ESKOM에 납

품한 BBC사의 경우 개폐임펄스내전압 시험치가 $\pm 1550\text{kV}$ $\sqrt{650\text{kVp}}$ 였다는 사실을 고려할 때에 극간의 절연성능에는 다소 문제가 있을 것으로 판단된다. 그리고 대지간의 절연성능도 뇌임펄스시험시에 다행히 2번의 회복가능한 절연파괴만 발생하여 IEC 694에서 규정한 기준으로는 합격이지만, 보다 신뢰성이 높은 제품을 만들기 위해서는 보완대책이 필요할 것으로 보인다.

극간의 절연성능을 높이기 위해서는 극간 콘덴서의 절연내력을 증가시켜야 하는데 이를 위해서는 직렬 콘덴서의 개수를 증가시키거나 보다 내압특성이 우수한 콘덴서를 사용할 필요가 있을 것으로 판단된다. 뇌임펄스 시험시에 발생한 2회의 대지간의 절연파괴는 모두 작업상의 뒷마무리가 주된 원인이 된 것으로 보인다

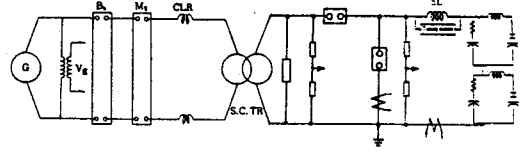


그림 5 SLF 90% 시험시의 회로도

표 7 단락시험 Duty 4의 시험조건 및 시험결과

항 목		사 양	시험결과
시험 회 로		-	HPL-01
전류원	시험 주 파 수 (Hz)	60	60
	단 락 역 률 (%)	<15	<15
회로	전 압 (kV)	-	18.4
	전 류 (kA)	40.0	40.8
전압원	주 입 전 류	전 류 (kA)	40.0
		주 파 수 (HZ)	250-1000
회로	전원측 T R V	파 고 치 U_c (kV)	595
		초기파고치 U_1 (kV)	425
		초기파고시간 (μs)	212.5
		파고시간 ($\text{kV}/\mu\text{s}$)	661
		지연 시간 (μs)	2.0

표 8 SLF 90%의 시험조건 및 시험결과

항 목		사 양	시험결과
시험 회 로		-	HPL-02
전류원	시험 주 파 수 (Hz)	60	60
	단 락 역 률 (%)	<15	<15
회로	전 압 (kV)	-	16.8
	전 류 (kA)	$36.0 \pm 5\%$	36.5
전압원	주 입 전 류	전 류 (kA)	$36.0 \pm 5\%$
		주 파 수 (HZ)	250-1000
회로	전원측 T R V	파 고 치 U_c (kV)	458
		초기파고치 U_1 (kV)	327
		초기파고시간 (μs)	163.5
		파고시간 ($\text{kV}/\mu\text{s}$)	509
		지연시간 (μs)	2.0
선로측 T R V		U_L (kV)	52.3
		t_L (μs)	6.04
		Peak factor (k)	1.6

다. 따라서 설치작업 후에는 스페이서, 전극, 바닥 등의 표면 청결상태를 반드시 확인하고, 돌출한 용접부위는 사상작업을 통해 완전히 제거할 필요가 있다. 그리고 800kV 붓싱 인입부위와 차단부 본체와의 용접된 접속부위가 고전계에 의한 절연파괴의 가능성이 높으므로 돌출부위에 대한 사상작업은 물론, 접속부위에 적절한 곡류반경을 부여하는 것도 고려할 필요가 있다.

현재 당 소에 개발 중인 800kV GCB는 40kA이지만 2001년부터 송전이 개시될 한국전력의 765kV 전력계통에는 800kV 50kA GCB가 채용될 전망이다. 따라서 차단전류 증가에 대비한 차단부 내의 형상변경, 조작기의 속도증가, 50kA 이상의 대전류차단에 요구되는 특수재질인 강화테플론 노즐의 채택 등에 대한 충분한 고려가 필수적이다.

7. 결 론

765kV급 GIS용 차단부의 설계 및 제조기술 개발은 한국전력의 생기반과제로 연구개발비의 지원을 받아 현재 마지막인 4차년도 연구 수행 중에 있으며, 본 논문에서는 3차년도에 제작한 800kV 40kA 2점절 모델차단기에 대한 설계 및 제작기술, 일반특성 및 동작특성시험, 고전압 및 단락시험 등에 대한 결과를 제시하고 문제점 및 보완대책에 대해 기술하였다. 이 중에서 중요한 결과들을 요약하면 다음과 같다.

- 1) 국내 최초로 순수 국내 설계기술로 800kV급 GCB 및 절연 스페이서를 설계 제작하였다.
- 2) 초고압 GCB 설계를 위한 해석기술(전계해석, 유동해석, 아크 해석 등)을 확립하였다.
- 3) 한국전기연구소의 고전압 및 대전력 시험설비를 이용하여 상기 GCB에 대한 절연성능 및 대전류차단성능을 확인하였다.
 - 대지간 절연성능 : 양호(상용주파, 뇌임펄스, 개폐임펄스)
 - 극간 절연성능 : 다소 미흡
 - 단락 Duty 4 : 차단성공
 - SLF 90% : 차단성공

본 연구는 한국전력공사의 생기반 지원과제인 94IP30으로 수행한 연구내용 중의 일부입니다.

참고문헌

- [1] "765kV급 GIS용 차단부설계 및 제조기술 개발", 한국전력공사 (주관 : 한국전기연구소), 1994
- [2] 송기동 외, "800kV 차단부의 노즐형상에 따른 유동특성", 대한전기학회 춘계논문집, 95.4, PP. 135-138
- [3] 신영준 외, "800kV 모델차단부의 극간 절연회복특성", 대한전기학회 추계논문집, 94.11, PP. 270-273