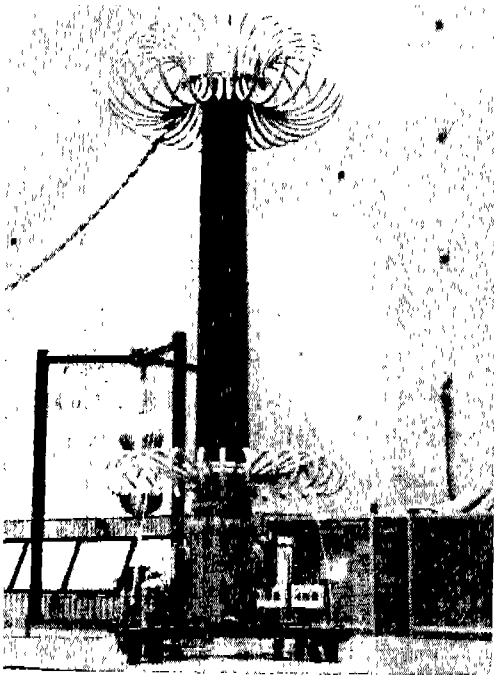


가스 絶緣 試驗用 체임버 開發

Development of a Testing
Chamber for Gas Insulation

조 연 옥

韓國電氣研究所 高電圧研究室長



△ 새로 개발된 가스 체임버

1. 서 론

최근 SF₆ 가스를 이용한 고전압 전기 기기가 급속히 발전하여 고전압 대전력 수송 및 도시의 과밀화 대책으로서 기기를 소형 축소화하고 변전소 기기 전체를 일체화하는 추세에 있다. 또한 SF₆ 가스는 가스 절연변전소(GIS)의 각종 전력기기 이외에도 가스 절연송전선로(CGIT) 등 그 이용분야가 점차 증가하고 있다. 그러나 가스 절연 전력기기의 크기를 축소화하는 데는 신뢰성을 확보하는 것이 우선조건이어서 가스의 제특성에 영향을 미치는 요인을 구명하고 설계나 제조품질 또는 유지보수에 대한 기준을 설정하는 것이 반드시 필요하다.

한편 가스 절연방식을 채택한 고전압 계통이나 기기에서 가스 만으로 전기적 절연을 시키는 것은 불가능하며, 반드시 고전압도체를 고정시키고 지지하기 위한 고체 절연물이 필요하다. 이것을 스페이서(Spacer)라고 부른다. 이와 같은

스페이서가 가스 절연계 내부에 존재하면 고전압 절연계통에서 복합 유전체를 형성하게 되어 가스 만의 경우보다 훨씬 복잡한 현상이 나타나며, 절연계통에서 절연상 가장 취약한 부분이 되기 쉬우므로 고전압 기기의 운전전압은 스페이서의 절연파괴현상에 제한을 받게 된다. 이러한 스페이서는 가스 절연변전소 제작비용의 10~20%를 차지하는 가스 절연계통에서 고도의 기술을 요하는 핵심부품이다.

따라서 계통의 운전전압을 향상시키고, 고전압 기기의 소형 축소화 및 경제적인 절연설계를 위해 스페이서의 연면방전특성의 연구와 아울러 이상적인 스페이서 형상 결정 및 절연특성에 영향을 미치는 인자에 대한 영향을 파악하는 것은 대단히 중요하다.

이러한 관점으로부터 SF₆ 가스의 절연특성과 가스 절연기기의 주요부품 개발을 위한 연구 및 실증시험을 수행할 수 있는 시험장비인 가스 체임버를 설계 제작하는 데 착안하여 1988년 5

월부터 기본설계를 착수하여 1989년 4월 제작을 완료하였다.

본고에서는 가스 체임버의 국산화 개발에 따른 주요 부품의 설계개요, 설계방법, 개발의 의의 및 이용분야 등에 대하여 기술하고자 한다.

2. 본 론

가. 설계기준 및 설계방법

가스 절연방식을 채택하는 전력기기의 절연설계는 구성되는 각종 전극계의 현상에 대해 전계강도를 산출하여 이 전계강도가 가스의 허용 전계강도 이하가 되도록 하는 것이 설계의 기본이다. 개발된 가스 체임버는 800kV급 송전망 도입에 대비한 가스 절연 전력기기의 절연설계 및 부품의 국산화 개발을 위해 제작된 연구 및 실증시험용 시험장비이므로 뇌충격전압 1,800kV를 기준으로 설계하였다. 1,800kV급 가스체임버의 설계자료는 표 1과 같다.

(표 1) 가스 체임버 설계자료 (4기압 기준)

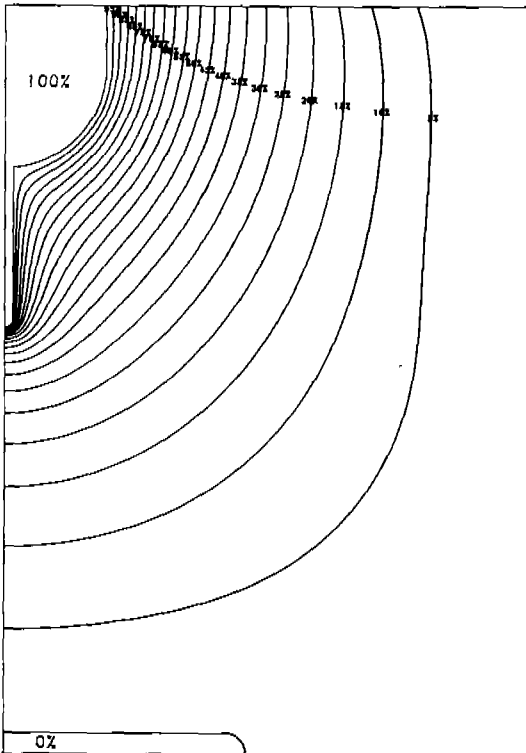
부 품	설계방법	설 계 기 준	설 계 치	설계내력	제작회사
Main Chamber	전계계산	<17kV/mm 8기압	전극간거리 : 50cm 내 경 : 120cm 높 이 : 180cm	16.2kV/mm	효성중공업
Bushing	공기절연 전계계산	1800kV <0.7kVrms/mm 8기압	높 이 : 700cm 두께 : 1.5cm 내 경 : 90cm	2400kV 0.66kVrms/mm	한국화이바
Spacer	전계계산	<17kV/mm <4kVrms/mm	직 경 : 100.5cm 중앙부분두께 : 26.7cm 플랜지부분두께 : 10cm	6.2kV/mm 1.8kVrms/mm	대한전선 대영정밀 세운금속
내부도체	전계계산	<17kV/mm	내 경 : 25cm 길 이 : 700cm	12.7kV/mm	신광공업사
외부Shield (상 부)	전계계산	1.5kVrms/mm	내 경 : 130cm 외 경 : 432cm 높 이 : 150cm	0.79kVrms/mm	대영정밀
외부Shield (하 부)	전계계산	1.5kVrms/mm	내 경 : 150cm 외 경 : 430cm	0.3kVrms/mm	대영정밀
내부Shield (상·하부)	전계계산	<17kV/mm	내 경 : 78cm 높 이 : 60.25cm	11.2kV/mm	신광공업사
Feedthrough	기 밀 성	진공도 : 10 Torr 압 력 : 8기압 전 류 : 50 kA BNC : 외부Noise차폐	전 류 : 13pin BNC : 10 pin		태백공업사
관 측 창	기 밀 성	자외선투과	직 경 : 10cm 두께 : 1.2cm		한국전광

나. 주요 부품의 설계

(1) 주 체임버(Main Chamber)

주 체임버는 내부에서 시험전극을 이용한 가스 절연특성 연구와 절연물의 연구개발 및 실증 시험을 실시할 수 있는 가스 체임버의 핵심부분이다.

주 체임버는 362kV급 및 800kV급 지지절연물의 개발 및 실증시험에 사용할 예정인 2개의 대형 플랜지(직경 500mm, 900mm), 관측창, 갭조정장치, 단자대, 시험전극 및 가스 흡·배기장치 등으로 구성되어 있으며, 전하중첩법을 이용하여 전계를 해석하였다. 주 체임버 내부에 직경 20mm의 봉전극과 직경 600mm의 평판전극을 설치하였을 때의 주 체임버 내부의 등전위 분포는



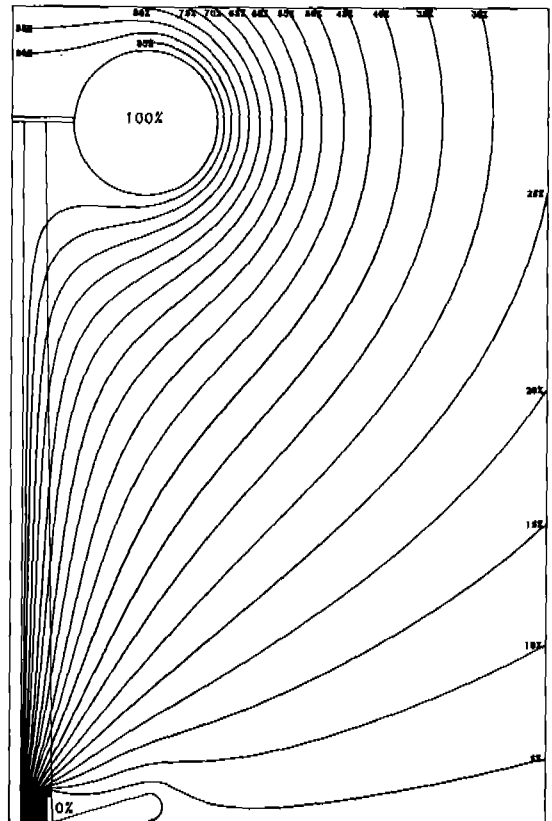
〈그림 1〉 주 체임버의 등전위분포

그림 1과 같다.

(2) 고전압 인가부(High Voltage Bushing)

가스 체임버의 제작을 위해 1,800kV급 육내용 고전압 부싱(High Voltage Bushing)을 개발하였다. 개발된 고전압 부싱은 섬유유리와 에폭시 수지의 복합절연재료로 만든 직경 900mm, 길이 7,000mm의 원통 속에 직경 250mm, 길이 7,000mm인 도체를 삽입하여 SF₆를 압축봉입한 구조이다. 개발된 고전압 부싱을 주 체임버에 조립했을 때의 등전위 분포는 그림 2와 같다.

(3) 전계완화용 실드(Shield)



〈그림 2〉 고전압 부싱의 등전위분포

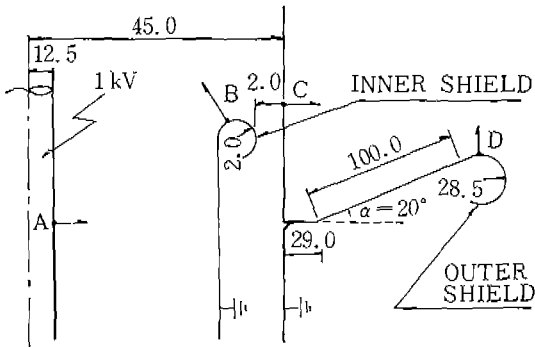
가스 챔버 부싱 양단과 내부의 스페이서 상·하부에는 전계완화를 위해 쉴드를 설치하였다. 가스 챔버의 쉴드는 외부 쉴드와 내부 쉴드로 분류된다. 가스 챔버의 고전압 부싱 하단부에 설치된 내·외부 쉴드의 구조는 그림 3과 같다.

그림 3에서 A는 내부도체, B는 내부 쉴드, C는 고전압 부싱, D는 외부 쉴드의 최대 전계 계산점을 나타낸다.

계산결과는 표 2와 같다.

(4) 스페이서 (Spacer)

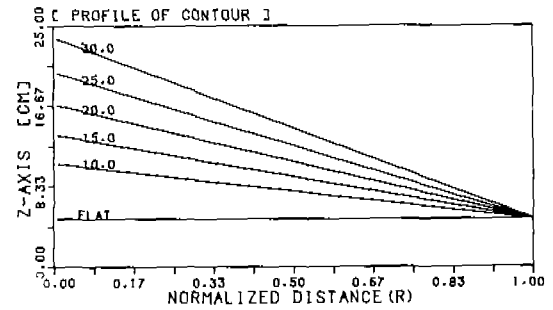
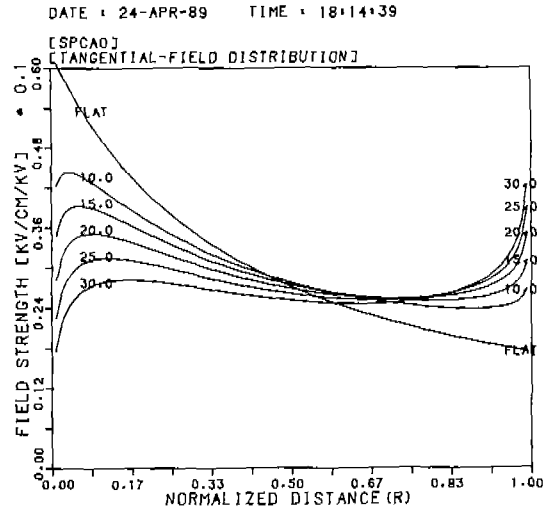
가스 절연체통의 스페이서는 원판형 (Disc), 원추형 (Cone) 및 지지형 (Post) 등으로 분류된다. 본 가스 챔버의 제작을 위해 개발한 스페이서



〈그림 3〉 고전압 부싱 하단부의 내·외부 쉴드

〈표 2〉 고전압 부싱 하단부의 전계계산 결과

전계 계산점	설계기준전압	설계기준치 (kV/mm)	계 산 치 (kV/mm/kV)	설계내력 (kV/mm)
A	비충격전압 1800kV	17	0.00703	12.7
B	비충격전압 1800kV	17	0.0062	11.2
C	상용주파전압 508kV	0.7	0.0013	0.66
D	상용주파전압 508kV	1.5	0.0006	0.30



〈그림 4〉 스페이서 표면각 α 의 변화에 대한 전계분포

는 내부도체를 지지하고 가스 영역을 분리시킬 목적으로 사용되므로 구조가 간단한 원판형으로 결정하였다.

스페이서 1차 모델 형상을 결정하기 위해 표면각 α 를 변화시킴에 따른 전계분포를 조사하였다. 그 결과를 나타내면 그림 4와 같다.

그림 4에서 각 α 가 작아짐에 따라 고전압전극 쪽의 전계는 상승하고 접지전극 부근의 전계는 감소하게 되며, α 가 커지면 그와는 반대현상이 나타남을 알 수 있다. 검토한 결과 $\alpha=20^\circ$ 일 때 스페이서 표면의 전계분포가 가장 균등하였다.

이상의 연구결과를 토대로 다음과 같은 스페

이서 형상설계기준을 설정하였다.

1) 스페이서의 조기 모델은 구조가 간단한 원판형

2) 스페이서의 연면거리는 전계분포가 비교적 균등한 $\alpha=20^\circ$ 일 때를 기준

3) 도체부와 스페이서 경계면의 전계 최소화 (접촉각 $\alpha=20^\circ$)

4) 도체부와 직각으로 접촉하는 부분의 연면 거리 설정

5) 전기적으로 최대 취약점인 3중점은 고압 도체의 형상 변경, 매입전극 설치 또는 실드 취부 방법 검토

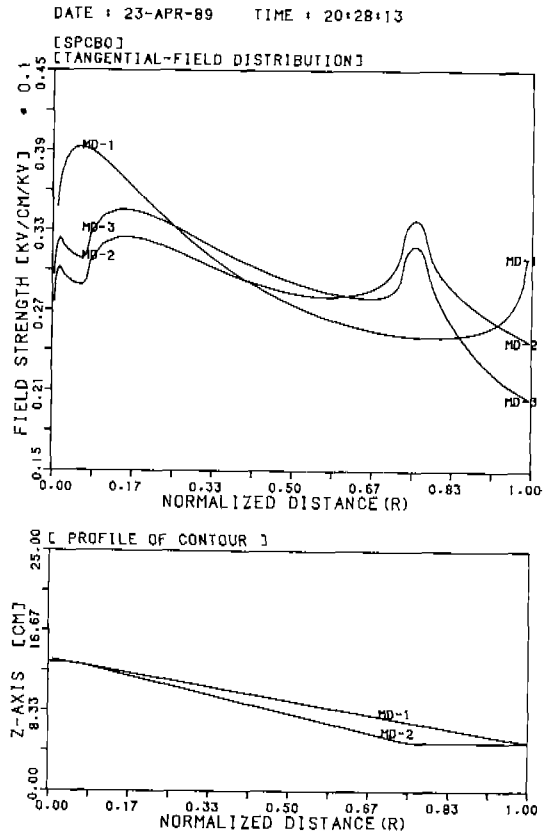
6) 스페이서 연면의 곡률 완화

이와 같은 설계기준을 적용하여 설계한 최종 모델 스페이서의 전계강도를 나타내면 그림 5와 같다.

그림 5에서 MD-1은 기본모델 $\alpha=20^\circ$ 인 경우이고, MD-2는 내부 실드가 없는 최종 모델이며, MD-3는 내부 실드가 취부되었을 경우의 전계분포이다. 그 중에서 MD-3가 가장 균등한 전계분포를 이루고 있으며, 최대 전계강도는 $0.00345 \text{ (kV/mm/kV)}$ 이다. 이 값을 뇌충격전압 $1,800 \text{ kV}$ 를 기준으로 하면 6.21 kV/mm , 부분방전 발생전압을 기준으로 하면 1.75 kVrms/mm 에 해당되므로 설계기준치인 17 kV/mm 및 4 kVrms/mm 를 만족한다. 최종 모델 스페이서의 등전위 분포를 나타내면 그림 6과 같다.

다. 개발의 의의 및 이용분야

개발된 $1,800 \text{ kV}$ 가스 채임버는 국내외를 막론하고 최대의 가스 절연 시험장비로 간주하여도 무리가 없다. 가스 채임버의 모든 부품은 100% 국산화 했다는데 큰 의의가 있다고 볼 수 있다. 특히 $1,800 \text{ kV}$ 의 뇌충격전압을 인가할 수 있는 고전압 인가부의 개발과 고전압 인가부와 주 채임버 사이에 결합되어 도체를 지지하면서 가스

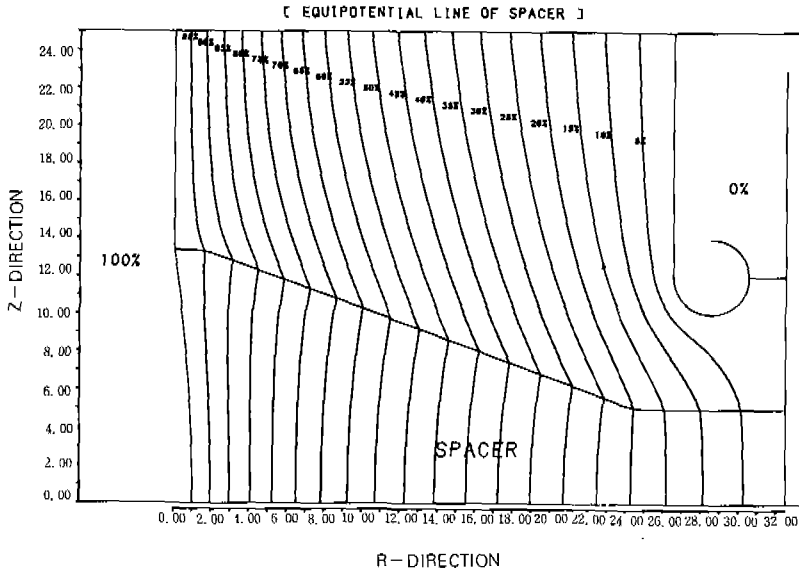


〈그림 5〉 최종 모델 스페이서의 전계강도

영역을 분리시키는 800 kV 급 스페이서의 설계 및 제조기술 개발은 큰 성과로 평가된다.

현재 널리 사용되고 있는 고전압 인가부는 대부분 자기애자형이며, 수입에 의존하고 있다. 개발된 옥내용 고전압 인가부는 섬유유리와 에폭시 수지를 혼합한 복합절연재료로 제작하였기 때문에 높은 가스 압력에 따른 위험부담이 없으며, 가격도 저렴하다. 그리고 고도의 기술을 요하는 스페이서의 경우 170 kV 급 스페이서는 일부 국산화되어 있으나 그 이상의 고전압에서 사용되는 스페이서는 전량 수입하고 있다.

개발된 스페이서는 800 kV 급이며, 약간의 기술적인 보완 및 신뢰성 보증이 이루어지면 설계



〈그림 6〉 최종 모델 스페이서의 등전위분포

통의 기기에 적용 가능할 것으로 보인다. 특히 가스 절연변전소의 일부를 축소된 형태인 가스 체임버의 설계·제작기술 개발은 지금까지 수입에 의존하고 있는 초고압 시험설비 및 전력기기용 부품의 국산화가 가능함을 의미한다.

개발된 가스 체임버의 이용분야를 살펴 보면 1) SF₆ 가스와 같은 절연기체의 특성 연구, 2) 스페이서를 포함한 각종 절연부품의 개발 및 실증시험, 3) 가스 절연기기의 신뢰성 향상대책 연구, 4) 가속기, X-Ray 장비 등 첨단장비 개발을 위한 기초연구, 5) 차기세대의 가스 절연 전력기기의 개발연구 등이다.

3. 결 론

800kV급 송전계통의 가스 절연설계를 위한 SF₆ 가스의 절연특성연구 및 지지절연물의 연구·개발시험을 수행할 수 있는 1,800kV급 가스 체임버를 개발하였으며, 모든 부품의 설계와 제

작은 100% 국산화하였다. 가스 체임버를 제작하면서 개발된 주요분야는 다음과 같다.

- 1) 가스절연 및 절연물 개발을 위한 연구 및 실증시험용 주 체임버
- 2) 섬유유리원통으로 제작한 육내용 고전압 부싱
- 3) 800kV급 원판형 스페이서의 설계 및 제작기술
- 4) 전계해석을 통한 내·외부 필드의 설계
- 5) 각종 측정 센서를 연결할 수 있는 단자대의 설계
- 6) 가스 체임버 설계를 위한 컴퓨터 모의기법 개발

그 중에서 특히 1,800kV 뇌충격전압을 인가할 수 있는 섬유유리원통으로 만든 육내용 고전압 부싱 및 스페이서의 설계제작, 그리고 가스절연변전소 일부를 축소된 형태인 가스 체임버의 설계를 위한 컴퓨터 모의기술 개발은 전기기술 발전에 크게 기여하리라 기대된다.