

## 25.8kV SF<sub>6</sub> 가스개폐기의 고장분석

권태호, 김동명  
한국전력공사

### Failure Analysis for 25.8kV SF<sub>6</sub> Gas Switchgears

Tae-Ho Kwon, Dong-Myeong Kim  
KEPCO

**Abstract** - 본 논문은 최근에 25.8kV SF<sub>6</sub> 가스절연부하개폐기 (이하 가스개폐기)에서 발생한 고장을 전력연구원에서 분석하여 고장 원인별 현황을 나타내었으며, 주요 고장으로 분류되는 절연 불량, 기계적 손상, 외부 손상 등이 발생하는 원인을 분석하였다. 장기신뢰성 확보를 위해서 가스개폐기의 취약점인 SF<sub>6</sub> 가스 순도에 따른 절연파괴 특성 및 금속 파티클의 거동특성에 대해 분석하였다.

사용된다. 그림 6은 절연암에 발생된 크랙(crack)이며, 투입 조작하였을 때 가동전극이 절연암에 기계적인 충격을 주어 발생한 것으로 추정되며, 해체 분석한 결과 크랙면을 따라 상간에 트랙킹(Tracking)에 의한 도전로가 형성된 것을 확인하였다.

#### <표 2> 주요 고장유형

고장 개소	지중용 가스개폐기	가공용 가스개폐기
조작부	부식, 그리스 고착, 장치파손	부식, 구동암 파손
차단부	전극 접촉불량, 정격을 초과하는 이상전압(TRV) 발생	
절연물	절연물 표면방전, 보이드	SF <sub>6</sub> 가스 오염
부식	전압 Screen 결함	몰드콘 접합부의 기밀 불량
엘보우	표면손상, Connector의 접속불량	-
기타	시공불량, 흡습, 제어회로 절연불량, 가스누기	

## 1. 서론

최근 전력시장의 구조개편 및 경쟁체제가 이루어지는 가운데 전력설비를 더욱 효율적으로 운용할 필요성이 증대되고 있다. 따라서 설비의 성능저하 및 고장 원인을 분석하여 기존 운용중인 설비를 진단하고, 개발되는 설비의 품질을 개선할 수 있는 방안 모색이 필요하다.

배전 설비분야 중 차단기 및 개폐기는 전력계통에 있어서 부하와 직접 접속되어 차단·투입, 통전설비로 사용된다. 개폐장치의 고장은 산업설비의 제어불능, 정지를 의미하며, 수용가의 광범위한 정전을 유발함과 동시에 전기품질 저하의 원인이 되고 있다. 따라서 개폐장치의 품질개선 방안이 시급하다.

### 1.1 운전현황

2008년 4월 현재 국내 22.9kV-y 배전계통에 설치 운영되고 있는 차단기·보호기기 등 가공형은 약 9.3만대, 지중선로용 가스개폐기는 약 3.8만대로 총 104,353대이다. 전체 개폐장치의 87.2[%]를 SF<sub>6</sub> 가스절연방식인 가공형 가스개폐기(Gas SW)와 지중중형 가스개폐기(Pad. SW)가 점유하고 있다. 표 1은 국내의 배전선로 보호장치 및 개폐기 설치현황을 나타내고 있다.

<표 1> 배전용 가스개폐기 설치현황

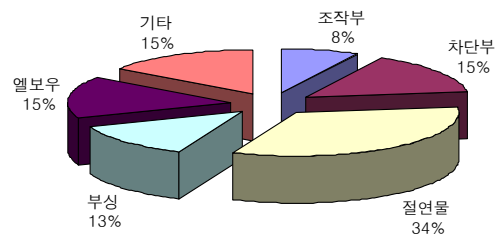
사용 전압	인터럽터	G/S (가공)	P/S (지중)	보호기기	계
22.9kV	206	93,405	38,698	5,333	137,642
점유율(%)	1.4	66.8	28.1	3.7	100

- 보호기기 : Recloser, Sectionalizer

## 2. 고장 분석

### 2.1 고장유형

최근 6년간(2002~2007년) 국내 25.8kV SF<sub>6</sub> 가스절연부하개폐기의 고장에 대해 전력연구원에서 분석한 결과, 주요 고장유형을 표 2에 부위별 고장 발생현황을 그림 1에 나타내었다.



<그림 1> 부위별 고장 발생현황



<그림 2> 부식의 파손

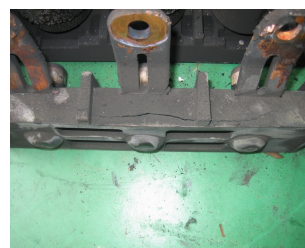


<그림 3> 수분침투 경로

### 2.2 고장분석 사례

#### 2.2.1 부식의 파손

그림 2와 같은 가공형 가스개폐기 부식파손에 의한 지락고장은 대부분 겨울에 발생되고 있다. 이것은 부식 애관과 구출선 몰드콘의 기밀불량(bonding 불량)으로 부식내부에 침투된 수분이 주위 온도에 따라 응결을 반복한다. 응결에 의한 기계적 스트레스를 부식이 견디지 못해 고장이 발생한 것으로 확인되었으며 그림 3에 수분침투 경로를 나타내었다.



<그림 4> 절연암의 크랙



<그림 5> 상간 도전로

#### 2.2.2 절연암 불량

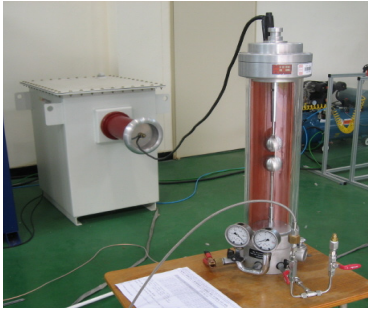
절연암은 가스개폐기 내부에서 상간의 절연거리 확보를 위해

### 3. 가스개폐기의 취약점 분석

#### 3.1 SF<sub>6</sub> 가스 순도에 따른 절연파괴 특성

개폐기의 SF<sub>6</sub> 가스 순도는 장시간 운전함에 따라 떨어지게 되며, 이에 따라 SF<sub>6</sub> 가스의 절연내력도 저하된다. 본 시험에서는 SF<sub>6</sub> 가스가 공기에 노출되어 있을 경우 가스의 절연성능을 파악하기 위하여 SF<sub>6</sub> 가스와 공기(Air)의 혼합 비율에 따라 교류전계 하에서의 절연파괴 특성을 시험하였다.

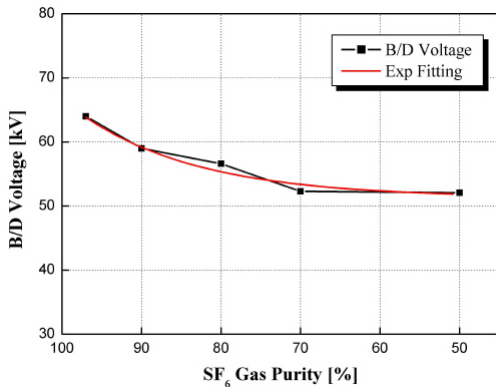
절연파괴시험을 위하여 그림 6과 같이 100kV 교류내압기(Haefely)와 지름 50mm, 극간 거리는 10mm의 구대구 전극을 이용하였다. 시험 시 SF<sub>6</sub> 가스압력은 개폐기 운전시의 조건과 유사하게 7 psi를 주입하였으며, 가스는 SF<sub>6</sub>/Air 혼합가스의 혼합 비율을 0~97 %로 변화시키며 파괴특성을 비교하였다.



<그림 6> 절연파괴시험 장면

SF<sub>6</sub> 가스 순도를 97%, 90%, 80%, 70% 50% 및 0%(100% air) 등 6가지 조건에 대하여 시험한 결과 SF<sub>6</sub> 가스 순도가 97%인 경우 평균 절연파괴전압은 63.4kV이며, 50%인 경우 평균 절연파괴전압이 52.1kV로 약 11.3kV가 감소하였다. 순도가 97%일 때 보다 절연성능이 약 18% 저하된 것으로 확인되었다(그림 7).

SF<sub>6</sub> 가스 순도에 따른 절연파괴전압은 완만한 감소를 보여주고 있어 개폐기의 절연성능에 미치는 영향은 크지 않을 것으로 추정되나 투·개방 시 발생하는 아크에 대한 소화성능을 고려할 경우 순도관리는 필요할 것으로 판단된다.



<그림 7> 순도에 따른 평균 절연파괴전압

#### 3.2 가스개폐기내 금속파티클의 거동특성

가스절연기기는 밀폐되어 있어 대기환경의 영향은 받지 않으나 미소한 이물, 분진 등 금속이물이 혼입되면 절연특성이 크게 저하한다. 특히 구형(球形)보다는 가늘고 기다란 형상이며 가벼운 것일수록 영향이 크다. 본 시험에서는 배전급 가스개폐기 내부에 금속이물이 존재할 경우 절연내력 저하정도를 파악하기 위하여 가스개폐기를 축소(가스압력, 접지-상 부스간격 등)하여 고전압발생장치에 연결하였고 시험 중 육안관찰이 가능하도록 한 면을 투명창으로 제작하였다.

가장 가혹한 환경을 모의하고자 파괴전압이 낮은 침전극 형상으로 직경 2mm, 길이 20, 30, 40mm의 금속선 시편을 절연물, 도체, 접지에 부착하였으며 전압 인가시 부상여부를 확인하기 위한 분말형태의 금속가루의 시편을 준비하였다.

적용된 시험방법 및 조건은 다음과 같다.

- ① 시험전압은 계통전압과 같은 13.2kV, 60Hz와 투입 과전압

을 상정한 20.2kV, 너서지 모의를 위해 표준파형의 125 kV를 인가하였다.

※ 20.2 kV(=13.2×1.53) : 22.9 kV 배전계통에서 개폐기 투입 시 최대값(peak)은 1.53 p.u

- ② 시료별로 부분방전량을 검출하여 절연열화 정도를 파악한다.



<그림 8> 철가루와 선형 철선



<그림 9> 내전압 시험장면

개폐기내 SF<sub>6</sub> 가스압이 5psi일 경우 전계의 세기는 공기의 약 3배(90kV/cm)이므로, 시편의 전극간 이격이 40~60mm일 경우 평등전계의 파괴전압은 40kV 정도로 추정되었으나, 시험결과는 50kV를 초과하였다. 따라서 일반적인 조건에서 배전급 전압 조건하에서는 금속이물이 부상 또는 이동하기는 어렵다는 것을 확인하였다. 송전급과 달리 배전전압에서는 돌출전극, 선형의 도전성 입자가 가스절연기내에 존재하더라도 침략에 직접 영향을 주는 것은 어려운 것으로 판단되나 전계와 무관하게 부유가 가능한 미세한 금속분진이 존재할 경우에는 가스의 절연내력 저하에 영향을 줄 것으로 판단된다.

### 4. 결 론

본 논문에서는 배전용 가스개폐기 운전 중 발생된 고장현황과 주요 고장유형을 나타내고 고장원인 분석사례를 나타내었으며, 가스개폐기의 취약점을 분석한 결과는 다음과 같다.

1. SF<sub>6</sub> 가스 순도에 따른 절연파괴 특성을 분석한 결과 순도가 저하됨에 따라 절연성능에 미치는 영향은 크지 않으나, 투·개방시 아크 소화성능을 고려하면 순도관리는 필요하다
2. 가스개폐기내 금속파티클의 거동특성을 분석한 결과 배전급 전압에서는 금속이물의 부상 또는 이동이 어렵다는 것을 확인하였다.

### [참 고 문 헌]

- [1] “배전보호협조”, 한국전력공사 중앙교육원, 1997
- [2] “배전기기 통계자료. 2003.01”, 한국전력공사
- [3] “고장분석 및 예방대책”, 한국전력공사 배전처, 2002년
- [4] J M Braun, L A Gonzalez and F Y Chu, “A model of moisture ingress and distribution in gas insulated switchgear”, Proceedings, CIGRE Symposium 05-87, New and Improved Materials for Electro-technology, Paper 400-04, Vienna, 1987
- [5] S W Rowe, “Dielectric strength of SF<sub>6</sub>/air mixtures”, Proceedings, 5th ISH, No 13.09, Braunschweig, 1987
- [6] “IEEE Guide for Diagnostics and Failure Investigation of Power Circuit Breaker”, IEEE Std C 37.10 - 1995
- [7] “25.8kV 가스절연부하개폐기 고장분석보고서”, 한국전력공사 전력연구원, 2003-2004년
- [8] M. Nagao 외(Japan), “Effect of moisture on treeing phenomenon in resin with filler under ac voltage”, 2002 CEIDP.
- [9] N Anis and K D Srivastava, “Generalized breakdown criteria for particle-contaminated sulphur hexafluoride under DC, AC and impulse voltage”, Proceedings, Int Symp on Gas Discharge, IEEE publication 189, pp 220, 1980.
- [10] G Luxa, E Kynast 외, “Recent research activity on the dielectric performance of SF<sub>6</sub> with special reference to very fast transients”, CIGRE Report 15-06, 1988.