

가스절연부하개폐기의 신뢰성 평가장비

허종철*, 박승재* 강영식* 고희석**
*한국전기연구원 **경남대학교

Reliability testing equipment for SF6 gas load break switch

J. C. Heo*, S. J. Park* Y. S. Kang*, H. S. Koh**

*Korea Electrotechnology Research Institute, **Kyungnam University

Abstract - SF₆ gas has been increasingly used as the insulating and arc-suppressing medium in switchgears which are used as the protection devices of power system. Nowadays, most of power companies adopted the SF₆ gas-type load break switch for increasing the reliability of distribution network by its superior durability against external environmental condition, in substitution for air-type and oil-type switches. But, it is important to establish the general estimation process for the testing and estimation for long-term reliability. Accordingly, the national standard(RS C0031) was made for the reliability assessment of SF₆ gas load break switch and the testing facilities were also set in KERI(Korea Electrotechnology Research Institute).

This paper presents the requirements of RS C0031 for reliability assessment of SF₆ gas load break switch and synopsis of the accelerated life testing facilities for SF₆ gas load break switch.

1. 서 론

중전기기 분야의 기술개발전과 함께 배전선로의 안정적 인 운영을 위하여 정상 선로의 구분 및 절체, 정상 상태의 전류개폐 능력을 갖춘 개폐기는 금속의함안에 소호부와 전기적 충전부를 설치하고 내부 절연과 소호력 향상을 위하여 절연 및 소호 성능이 탁월한 SF₆ 가스를 주입한 가스절연부하개폐기(이하 개폐기라 함)의 보급이 일반화되고 있다. 국내의 한국전력공사의 경우 1980년 초반부터 가스절연을 이용한 개폐기의 사용이 보급되기 시작하여 교체나 신규 설치에 있어서 이러한 형태의 개폐기를 사용하고 있다.

이러한 형태의 가스절연 개폐기 전기적 충전부가 외부 환경적 요인(온도, 습도, 염분 등)에 노출되지 않고 20년 정도의 수명기간 동안에는 내부의 육안 점검이 불가능한 형태로서 높은 신뢰성 확보를 위한 설계, 평가 및 이를 통한 설계에의 재반영이 과정이 필수적인 요소이다. 또한 신뢰성 확보를 위한 평가를 위해서는 장기간 축적된 주요 고장 형태와 요인을 분석하여 적합한 가속 평가 모델의 정립과 이에 따른 평가 장비의 구축이 필요하다. 그러나 국내의 경우 이러한 신뢰성 평가에 소용되는 평가 기간과 비용의 한계로 인하여 제작기업 차원에서의 연구개발 활동은 미미한 상태이다.

이러한 배경으로 2003년 개폐기의 신뢰성 향상을 위한 평가법에 관한 국가 규격으로서 RS C0031(고압 가스절연 부하개폐기)을 제정하여 공표하였고 한국전기연구원에 평가 장비를 구축하게 되었으며, 본 논문에서는 개폐기의 성능 요건과 평가 장비에 대하여 기술한다.

2. 본 론

2.1 개폐기의 종류와 구분

전력계통의 개폐기는 전류 소호 성능에 따라 크게 차단기, 개폐기, 단로기로 구분한다. 그리고 개폐기의 절연 및 소호 매질에 따라 (1)기중에서 개폐 또는 차단을 수행하는 기중형, (2)절연유를 소호매질로 사용하는 유입형, (3)SF₆ 가스를 소호 매질로 사용하는 가스절연형으로 구분한다.

이러한 개폐기의 성능의 공통점은 전기 에너지를 공급이 가능한 접촉 구조를 가지고 있는 점이지만, 각각의 개폐능력은 다음과 같다.

(1) 차단기 : 핵심 계통에서 지락 또는 단락과 같은 사고를 신속하게 제거하기 위한 기기로서 고장전류와 같은 큰 전류를 차단하는 능력이 성능의 핵심으로서 큰 차단 용량을 구비하고 있다.

(2) 개폐기 : 정상상태의 부하전류, 즉 정격전류까지의 전류개폐능력을 구비한 기기로서 정상전류 개폐를 통하여 선로 분리, 절체 및 고장 구간 축소를 축소여 안정적 인 전기 에너지를 공급하는 것이 주요 목적이다.

(3) 단로기 : 단로기는 기계적 개폐 구조를 가지고 있지만, 전류개폐 성능은 없고 단순하게 무부하 상태에서 전로를 개폐하는 구조로서, 차단기나 개폐기를 개방한 후 단로기를 개방한다. 이러한 단로기는 접지 개폐기와 함께 선로의 유지보수시 안전을 확보하기 위하여 주로 사용한다.

2.2 개폐기의 성능 요건

개폐기는 전력계통에서 무부하 상태의 선로 개폐와 부하 상태의 선로 개폐뿐만 아니라 고장 선로의 투입 기능을 가진 기기로서, 고장 선로 보호를 위하여 사용하는 차단기와 가장 큰 차이점은 고장전류 차단 성능이 요구되지 않는다는 점이다. 이러한 개폐기의 성능은 국제규격으로 통용되고 있는 IEC 60265-1(1998)에 따라 표 1과 같이 규정되어 있으며, 국내의 최대 사용 기관인 한국전력공사도 이 규격을 근간으로 사용하고 있다. 표 1에서 알 수 있는 바와 같이 개폐기에 요구되는 기본 성능은 크게 다음과 같이 구분된다.

(1)절연성능 : 정상상태의 전압 또는 이상 상태의 전압에 대하여 상간 또는 대지간 절연이 유지되어야 한다.

(2)전류통전성능 : 정상적인 전기 에너지 공급시 발생 하는 정격전류를 연속하여 통전이 가능한 능력을 구비하여야 한다.

(3)개폐내구성능 : 1000회 이상의 무부하 개폐동작을 하여도 이상이 발생하지 않는 동작 메카니즘의 기계적 내구성이 확보되어야 한다.

(4) 전류개폐 및 고장전류 투입성능 : 정상적인 전류, 즉 정격 전류의 개폐 내구성 및 고장 상태의 선로조건에서 투입능력을 구비하여야 한다.

(5)기밀성능 : 기밀성능은 최근 기기의 소형화와 절연 유지를 위하여 SF₆ 가스의 사용이 일반화됨에 따라 추 가되는 항목이다.

표-1 : 개폐기의 시험평가 항목

항목	시험항목	목적
절연	상용주파내전압시험	교류 전압에 대한 절연성능 검증
	충격내전압시험	낙뢰등 서지에 대한 절연성능 검증
	보조 및 제어회로 내전압시험	제어회로의 절연성능 검증
	인공오손시험	오손 상태의 절연 유지성능 검증
	부분방전시험	장기 사용에 대한 열화성능 검증
전류통전	온도상승시험	정격 부하상태의 전류에 대한 연속 통전 유지성능
	단시간전류시험	고장전류에 대한 단시간(약 1초)동안의 전류통전 기능
개폐내구성	M1급 내구성시험	1000회 개폐성능으로서 일반용 개폐기에 적용
	M2급 내구성시험	5000회의 개폐내구성으로서 다빈도 개폐기에 적용
전류개폐 및 고장전류 투입	부하개폐시험	정격까지의 부하전류 개폐성능
	지상전류개폐시험	
	진상전류개폐시험	
	단락 투입시험	고장전류에 대한 투입성능
가스기밀 유지	기밀시험	SF6 가스기밀 유지 성능 검증

2.3 개폐기의 주요 고장요인과 양상

가스 절연을 사용하는 전력기기의 신뢰성 향상을 위해서는 사용 중 수집된 고장에 대한 조사 자료가 필수적이다. 개폐기에 있어서 소호부와 절연물은 무보수 방식으로 설계하고 있으며, 고장 양상도 개폐기 내부의 절연과 90% 이상이며 가장 치명적인 것으로 보고되고 있다. 이러한 절연과 관련된 원인은 (1)절연 유지를 위해 사용하는 SF6 가스 기밀 유지를 위한 기밀재(O-ring)의 열화, (2)사용 중 상시 과전 상태인 절연물의 열화로 인한 고장이다.

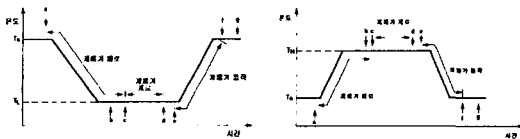
장기간 사용에 따른 개폐기의 주요 고장 형태로는 가스 기밀 성능을 결정해주는 기밀재는 주위 온도에 의한 열화 특성을 가지고 있으며, 내부 절연물은 장기간 과전에 따른 전기적 수명이 주원인이다.

2.3.1 외부 환경 변화에 대한 평가

일반적으로 SF6 가스의 누기율은 신문의 기밀재를 사용해도 주위 온도에 따라 달라지며, IEC 60694에서는 한계 온도에서 표-2와 같이 상온에서 정상적인 누기율의 최대 6배 높은 값을 허용하고 있으며, 다시 상온으로 복귀시에는 정상치로 복귀해야 한다. 이러한 온도 변화에 대한 누기율외에 한계 고저온 상태에서 정상적인 동작 특성 유지 여부를 평가하는 것은 아주 중요한 요소이다. 이러한 가스기밀과 기계적 동작 특성을 검증하기 위한 평가방법은 그림-1과 같다.

표-2 : 온도에 따른 허용 누기율

온도 상승(℃)	일시적 누기율의 허용치
+40 및 +50	3Fp
상온	Fp
5/ 10/ 15/ 25/ 40	3Fp
50	6Fp



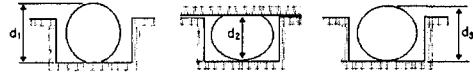
(a) 저온평가 (b) 고온평가

그림-1 : 외부 환경에 대한 평가 방법

2.3.2 장기 열화 특성

2.3.2.1 기밀재

외환이 모두 용접된 완전 밀폐형인 개폐기의 SF6 가스 기밀 유지는 부상, 가스 주입구, 계기류, 조작 로드 등의 기밀을 위하여 사용하는 오링의 열화 특성에 의해 좌우된다. 이러한 기밀재는 클로로프로필렌(네오플렌 고무), 니트릴 고무 또는 에틸렌 프로필렌 고무 등이 이용되고 있으며, 기밀 성능은 이들 고무의 압축 복원력에 따라 유지된다. 이 압축 복원력이 한계치에 도달하는 경우, 즉 압축에 따른 영구 압축 변형율이 일정치를 초과하면 기밀재의 기밀 효과를 상실하게 되며, 이러한 압축 복원력은 경년에 따른 열적 요인에 의해 지배된다. 이러한 개폐기의 기밀 유지는 그림-2의 영구 압축 변형율이 80%까지는 기밀이 유지된다.



(a) 사용 전(신품) (b) 사용 중 (c) 사용 후

여기서,

$$\text{압축량} : \delta = d_1 - d_2$$

$$\text{영구 압축 변형치} : \delta' = d_1 - d_3$$

$$\text{압축율}(P) = \frac{\text{압축량}}{\text{기밀재 두께}} \times 100 = \frac{d_1 - d_2}{a_1} \times 100$$

$$\text{영구압축 변형율}(P_p) = \frac{\text{압축영구 변형치}}{\text{압축량}} \times 100 = \frac{d_1 - d_3}{d_1 - d_2} \times 100 (\%)$$

그림-2 : 기밀재의 영구압축 변형율

이러한 기밀재의 열화 특성을 나타내는 영구압축 변형율은 사용 온도에 의한 식-(1)의 10℃ 반감 법칙이 성립하며, 압축율에 따라 열화 속도가 달라지고 압축율은 대부분 25-30% 정도를 유지하는 것이 일반적이다.

$$L = L_0 \times 2^{\frac{T_0 - T}{10}} \quad (1)$$

여기서,

- L : T(℃)에서 수명
- L0 : T0(℃)에서 수명
- T : 상온(20℃)
- T0 : 시험 온도(℃)

2.3.2.2 내부 절연물

절연물에 상시 전압을 인가시켜 놓으면 시간의 경과에 따라 재료의 전기적 특성은 식-(2)에 따르며, 식-(3)의 전압 역누승 법칙에 따른 열화 특성을 나타낸다.

$$V^n L = C \quad (2)$$

여기서, V : 인가 전압

L : 수명

C : 상수

$$\alpha = \frac{V_1}{V_2} = \left(\frac{T_1}{T_2} \right)^{-\frac{1}{n}} \quad (3)$$

여기서,

- V1 : 시험 전압
- V2 : 운전 전압
- T1 : 시험 기간
- T2 : 기대 수명

2.3.3 신뢰성 평가 조건

RS C0031에 규정된 개폐기 신뢰성 평가를 위한 인증 조건은 와이블 분포를 이용한 무고장 조건으로서, 이에 대한 평가 인증 조건은 다음과 같다.

- 보증 수명(B10) : 20년(7,300일)
- 신뢰 수준 : 90%

위와 같은 조건에서 개폐기의 신뢰성을 평가하기 위한 기밀재인 오링과 절연물의 평가 인증시험조건은 표-4와 같다.

표-3 : 신뢰성 평가인증 조건

항목	인증 조건		열화 조건	시험기간(일)		가속계수 (Af)
				T0	T	
기밀재	B10	20년	시험온도 : 100℃	18,875	74	2 ⁸ ·256
	신뢰수준	95%				
	형상모수	1.1				
	시료 수	10				
절연물	B10	20년	과전계수 : 1.4	14,418	130	1.4 ¹⁴ ·111
	신뢰수준	95%				
	형상모수	3.9				
	시료 수	2				

2.3.4 신뢰성 평가 장비

표-3에 규정된 개폐기 신뢰성 평가를 위해서는 기밀재의 고온가속열화를 위한 항온 chamber, 절연물의 전압가속열화를 위한 전압시험장치 및 미소한 SF₆ 양의 가스를 검출하기 위한 정밀 detector가 필요하다.

① 항온 항습 챔버와 가스 detector

2.3.1에 규정된 고저온 환경시험을 위해서는 개폐기 전체로 조립된 상태에서 온도 변화에 따라 개폐기로부터 누설된 미소한 양의 SF₆ 가스가 chamber 외부로 빠져나가지 않도록 기밀이 확보된 chamber가 필요하다. 또한 개폐기로부터 누설된 가스량은 정상상태의 경우 10⁻⁵cc/sec 이하이므로 chamber size는 가능한 한 작게 유지해야 하며, 또한 10⁻⁹ppm 정도까지의 SF₆ 가스를 검출할 수 있는 고정밀도의 detector가 필요하다. 그리고 개폐기 수명 결정요소의 핵심인 가스 기밀재(오링)의 온도가속열화는 100℃의 고온상태에서 74일간 장기동안 항온상태를 유지할 수 있어야 하기 때문에 이 chamber는 장기간 연속사용에 대한 유지 기능이 필요하다. 그림-2는 개폐기 고저온 평가와 기밀재인 오링의 온도가속열화시험을 위하여 구축된 chamber와 SF₆ 가스 detector를 보여주고 있으며 정격사양은 다음과 같다.

(1) 항온항습 Chamber

- 내부치수: 2500×1500×1500 mm.
- 간접 온도제어 방식 : 밀폐형으로서 내외부 공기 및 가스가 외부로 누설이 없음.
- 온도 제어 범위 : -60℃ ~ 150℃ ± 1℃
- 온도 증감율 : ±0.1℃/분 ~ ±1℃/분의 범위
- 습도 제어범위 : 30 ~ 95 ±2.5% RH.

(2) SF₆ 가스 detector

- 검출범위 : 10⁻⁹ppm



그림-3 : 항온항습 chamber와 가스 검출장치

② 내전압시험기

표-3의 내부 절연물에 대한 가속 조건인 전압 가속열화시험을 위한 내압기는 5개월 정도의 연속사용이 요구되기 때문에 일반적인 내전압 시험기와는 달리 장기간의 내구성이 요구된다. 그림-4는 본 연구에서 구축된 내전압시험기, 제어용 컴퓨터 및 이를 이용한 열화시험 장면으로서 정격 사양은 다음과 같다. 본 내전압시험기는 옥내용으로서 최대 출력전압은 200kVac로서 허용 누설전류는 500mA이며, 측정항목은 전압, 누설전류, 누설전류 과다 또는 절연파괴 발생시 순시 Trip과 시점의 기록이다.

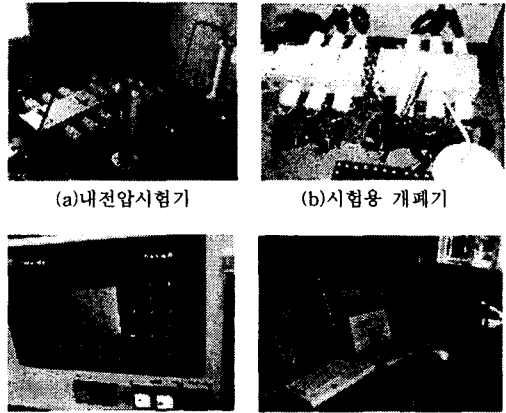


그림-4 : 장기과전시험용 내전압 시험기

3. 결 론

SF₆ 가스를 이용한 개폐기는 소형화와 높은 신뢰성으로 인하여 기존 개폐기나 유입형 개폐기를 급속하게 대체하여 사용이 확산되고 있으며, 국내에서도 한국전력공사의 경우에는 모두 이 가스절연 개폐기로 교체, 사용하고 있다. 그러나 이러한 개폐기는 소호부등이 모두 용접되어 있는 금속 외함안에 설치되어 있으므로 열화 정도나 이상 유무를 외부에서 육안으로 검사하는 것이 전혀 불가능하다. 따라서 장기간 과전 상태에 있는 가스절연 개폐기의 신뢰성 평가를 통하여 사용 수명에 대한 추정이 가능해질 것으로 사려된다. 또한 본 연구를 통하여 수립된 평가 방법은 전기부품 신뢰성 인증 규격으로 규격화되었으며, 향후 국내 개폐기에 실시되고 있는 성능평가 시험과 병행하여 제품의 신뢰성 향상을 위한 평가를 통하여 전력 에너지의 안정적인 공급에 이바지할 것으로 사려된다.

[참 고 문 헌]

- [1] IEC 60265-1, "Switches for rated voltages above 1kV and less than 52kV", 1998
- [2] IEC 62271-100, "High-voltage switchgear and controlgear - Part 100 : High-voltage alternating current circuit-breakers", 2001
- [3] IEC 60694, "Common specifications high-voltage switchgear and controlgear standards", 1996
- [4] PS 151-146, 147, 151-170, 180), "25.8kV 가스절연부하개폐기(가공용)", 2001
- [5] PS 151-143, 155, 151-165, 178 : "25.8kV 가스절연부하개폐기(지중용)", 2001
- [6] 일본 전기학회 기술보고(II부) 제355호, "변전설비의 환경열화시험"
- [7] 일본 전기학회 기술보고(II부) 제159호, "공장전기설비의 수명과 유지보수에 관한 양케이트 조사보고"
- [8] 일본 전기학회 기술보고(II부) 제290호, "차단기의 신뢰성 및 진단기술"
- [9] 일본 전기협동연구 제33권 제4호, "SF₆ 가스절연기기보수기준집"
- [10] 일본 전기협동연구 44권 제2호, "가스절연기기의 신뢰성 향상책"
- [11] 사단법인 대한전기협회, "전기설비의 진단기술", 1994
- [12] 산업자원부 기술표준원, RS C 0031, "고압가스절연부하개폐기", 2003