

초고압 GAS Voltage Transformer의 장기 과전압 시험에 관한 연구

송 희석, 박 경원, 계강석, 정장근\*  
 주) 효성, 경남대학교\*

The study on the Long-Term overvoltage test of EHV Gas Voltage Transformer

H.S Song, K.W Park, G.S Keu, J.G Jung\*  
 HYOSUNG CORPORATION, KYUNGNAM UNIV.\*

**Abstract** - In order to obtain reliability and extend life of GAS Voltage Transformer in GIS, it has to prevent aging by overvoltage considered to insulation characteristics of insulating material. This paper describes some characteristics of V-T characteristics and partial discharges.

1. 서 론

현재 가스절연 개폐장치(GIS)에 사용되는 SF<sub>6</sub> GAS Voltage Transformer(GAS VT)의 주절연물 및 절연 부품은 높은 절연내력과 기계적 강도와 더불어 GIS에 대한 신뢰성 및 장기간의 수명 등이 요구되어지고 있다. GAS VT의 경우 현재 당사에서 55kV급, 154kV급 및 345kV급을 개발 완료하여, 55kV급과 154kV급은 실 변전소에 생산 설치되고 있으며, 345kV급의 양산품 생산을 위하여 GAS VT의 장기과전압 시험을 통한 신뢰성 확보 등을 검토하였다.

또한 신뢰성 확보 및 수명 연장을 위해 권선 절연물(양면접착성 코팅 필름)의 절연특성과 과전압에 의한 열화 와 화학적 반응, 그리고 절연물의 V-T특성과 부분방전 시험을 통한 특성 등이 중요하게 작용을 하므로, 현재 개발 완료한 345kV급 GAS VT의 장기 과전압 시험을 통하여 검토한 내용들을 본 논문에서 언급하고자 한다.

2. 본 론

2.1 GAS VT 제작사양 및 구조

당사에서 개발 완료한 345kV급 GAS VT는 권선 부분은 양면 접착성 에폭시코팅 필름을 사용하여 권선과의 접착성과 층간 절연을 증대하였으며, 권선 전체를 AL 열드로 감싸 권선 부위를 평등전계로 만들고, 평판 AL 열드를 철심과 권선 사이에 설치하여 철심의 돌출 전극을 없게 하였다. 초고압 VT는 초고압 송전 SYSTEM의 안정 운전 측면에서 고신뢰성을 요구하고 있으며, 초고압급 GAS VT 개발을 통하여 GIS의 국산기술을 한층 높이는 계기가 된다. 개발품 구조와 사양은 그림 1과 표 1에 나타내었다.

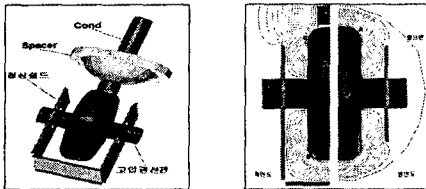


그림 1. GAS VT 구조 및 절연특성 해석

표 1 개발품 사양

항 목	사 양	
절연 및 냉각매질	SF <sub>6</sub> Gas	
상수 및 주파수	1상 ∅ 60Hz	
정격 전압	1차	345/√3 kV
	2차	115-115/√3 V
	3차	115-115√3 V
정격 용량	1차	600 VA
	2차	200 VA
	3차	400 VA
오차계급	2차	1.0 class
	3차	3.0 class
사용압력	정격	5kgf/cm <sup>2</sup>
	최대	7kgf/cm <sup>2</sup>
	시험	10.5kgf/cm <sup>2</sup>

2.2 장기 과전압 시험 검토

초고압 GAS VT에 대한 신뢰성 검증의 일환으로 장기 과전압에 의하여 절연물의 열화와 과도전압 및 온도 상승 상태에서의 절연성능 기능이 유지되는가를 확인하고자 시험을 추진하였으며, 장기 과전압 시험을 통하여 전기적 절연특성과 절연물의 내구성을 확인하고 선로 운전특성의 영향을 검토하며, 특히 주절연물인 에폭시 절연물의 열화특성에 의한 GAS VT의 신뢰성을 확보하고자 한다.

2.2.1 절연물의 절연내력

일반적으로 고체 절연물은 가스에 비하여 절연내력이 높고 실용상 약 2배의 절연내력을 갖고 있기 때문에 절연 구성 중 고체 절연물의 비율이 크면 그만큼 절연내력을 향상시킬 수 있다. 그러나 고체 절연물의 비율을 증가시키면 고체 절연물과 가스 절연물의 유전율 차이로 인하여, 전계가 유전율이 낮은 가스 간극에 집중하게 되어 부분방전을 유발시킬 위험성이 있다.

과전부의 전계집중을 방지하기 위해서는 과전부의 첨예한 부분이 발생하지 않도록 해야하며, 그 부위를 고체 절연물로 피복 하는 것이 좋다. 고체 절연물은 가능하면 등전위면을 따라 배치하고, 연면 방전이 발생하지 않도록 해야 한다. 가스 단독으로 모든 계통의 절연을 담당하는 것보다 부분적인 고체 절연물의 삽입은 계통전체의 절연내력 향상에 크게 도움이 된다.

2.2.2 절연시료의 절연 특성

에폭시 절연물의 비열처리 시편과 열처리 시편에서 절연과과전압과 초기 코로나펄스 전압, 유전 정점을 측정하였고, 표면에서 열적 특성 분석과 화학적 변화를 관찰하였다. 또한 필름 내에 보이드(Hole), 크랙(Crack), 파티클(Particle)과 같은 절연내력 저해 요인이 존재시

의 부분방전개시전압(PDIV), 절연파괴전압(BDV)를 온도변화와 가스압력에 따라 측정하여 검토하였으며, 시험설비 및 전극구성은 그림 2에 나타내었다.

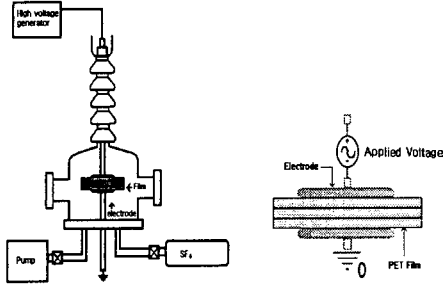


그림2. 절연물 챔버내의 시료구성 및 전극구성

현재 GAS VT에 사용되는 절연물의 시험결과에 의한 데이터의 한 예로 PDIV, BDV를 절연매수에 따라 그 특성을 검토하였다.

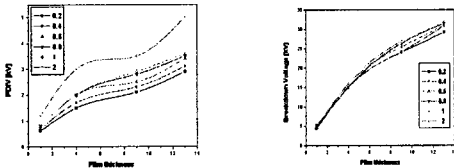


그림3. 절연물 절연매수에 따른 PDIV, BDV 특성

### 2.3 장기 과전압 시험 방법

초고압 GAS VT에 사용되는 절연물은 운전상태를 고려하여 항상 충분한 여유를 가지고 설계해야 하며, GAS VT에 실시한 과전압 시험 등의 결과와 장기간 수명시험의 실적으로부터 GAS VT에 적용할 수 있는 계산식을 (1)식과 같이 얻을 수 있다.

$$\frac{V_t}{V_n} = \left( \frac{T_t}{T} \right)^{-\frac{1}{m}} \quad (1)$$

- T : 제품의 기대 수명 [년]
- T<sub>t</sub> : 피시험의 시험 년수 [년]
- V<sub>t</sub> : 시험시의 과전압치 [kV]
- V<sub>n</sub> : 제품의 정격전압 [kV]
- m : 장시간 영역상수

여기에서 m은 상수로써 가스절연 계기용 변압기 경우 제질특성에 맞는 장시간 영역상수는 m=10으로 적용한다. 제품의 기대 수명을 계산하기 위하여 식 (1)을 다시 쓰면 식 (2)가 된다.

$$T = T_t \times \left( \frac{V_t}{V_n} \right)^m \quad (2)$$

본 논문에서는 T<sub>t</sub> = 0.58 및 과전압비 (V<sub>t</sub>/V<sub>n</sub>)가 1.49배인 경우를 적용하여 계산한 결과 31.3년의 수명이 기대할 수 있으므로, 2001년 7월부터 2002년 1월까지 약 7개월간 과전압 신뢰성 실험을 실시하여 실험을 하였고 시험 후 정밀분석을 실시하였다.

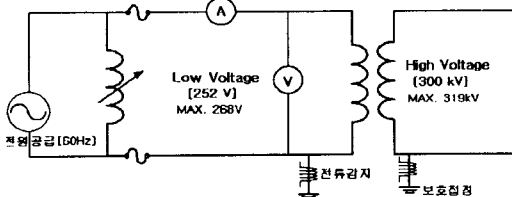


그림 4. 시험 기본 회로

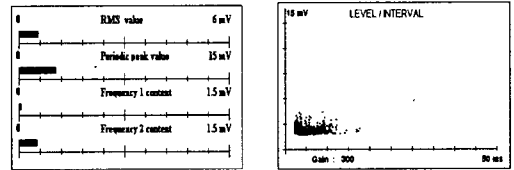
시험실은 사내 시험실에서 실시하였으며, 시험전압은 정격전압(345/√3kV)의 1.49배인 296.8kV로 시험을 실시하였으며, 다음과 같이 적용하였다.

- 1) 저압으로 2차측에 전압을 인가하여 1차 측에 과전압이 가해지도록 하여 일정기간 과전압 가압 상태를 유지함.
- 2) 장기과전압 시험 중의 P.D발생 및 온도상태확인, 이음발생, 온도상승, 가압전압 및 전류등을 측정함.
- 3) 가압전 1,2차 저항, 절연저항, 부분방전시험, 표면 및 주위온도를 측정
- 4) 초기 1달간 매일 간격으로 운전상태 기록 감시
- 5) 종료시 1,2차 저항, 절연저항, 부분방전시험, 표면 및 주위온도를 측정

### 2.4 장기 과전압 시험 및 결과

#### 2.4.2 부분방전시험 (PD : Partial Discharge)

과도 시험 상태 중에 초기, 중기, 말기 상태의 부분방전 발생여부를 확인하기 위하여 PD시험을 실시하였다. PD측정에 사용된 방식은 AIA(Acoustic Insulation Analyzer) 시험방식으로서 Enclosure내부에서 이상펄스가 발생되면 음파신호가 발생되어 외부로 전파되는데 AIA는 이 음파신호를 감지하여 이상펄스의 유형을 분석하는 방식이다. AIA방식은 연속모드(Continuous)측정과 펄스 모드(Pulse)측정으로 나뉘어진다.

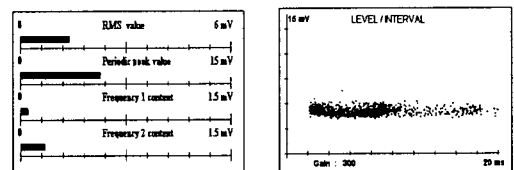


a) 연속 모드      b) 펄스 모드  
그림 5. Calibration (VT Frame)

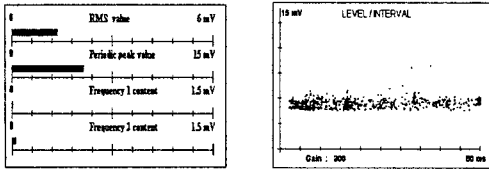
연속모드측정은 결함의 위치를 탐지하거나 GIS내에서의 코로나의 부분방전을 식별하는데 사용되고, 두 주파수를 관찰하여 주파수 요소가 있다는 것은 PD나 코로나가 있다는 것을 나타내며, 주파수 진원이 탐지된다면 AIA는 방전 현상이 중앙도체에서 발행하는지 아니면, 외함체에서 발생하는지 결정하는데 사용된다.

펄스모드측정은 내부에 유동하는 입자가 전체의 영향으로 인하여 전기적으로 충전이 되고, 전자기적인 힘을 가지게 되고, 이 힘이 입자의 중량보다 크게 되어 외함으로부터 들려지게 되는데 이것에 의해 입자의 움직이는 영향을 측정할 수 있다.

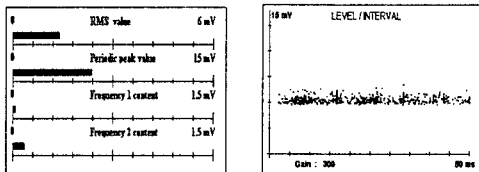
먼저 측정하고자 하는 VT외의 다른 구간에 대해 상대적 비교를 위해 측정된 값을 그림 4에 나타내었다. 과전압 시험 후 해석결과는 아래와 같다.



a) 연속 모드      b) 펄스 모드  
그림 6. VT 본체 상부



a) 연속 모드 b) 펄스 모드  
그림 7. VT 본체 중앙



a) 연속 모드 b) 펄스 모드  
그림 8. VT 본체 하부

분석 결과 첫 번째로, 연속모드 측정의 RMS Value 값은 거의 1.4mV로 나타나는데, 이것은 양산품 VT 사방의 외함에서 측정된 값과 VT 본체에서의 측정값(Calibration)이 내부에서의 이상전과 발생의 진원지를 나타내고 있으며, Periodic peak value 값이 작은 것은 유동하는 이물질의 움직임이 적음을 나타낸다.

두 번째로, 펄스모드에서의 분석은 내부의 쉴드(Shield)가 진동함으로 인해 발생하는 파형임을 알 수 있고, 나머지 부위에서는 VT 본체에서 측정된 값과 유사함을 알 수 있다.

결론적으로 각 측정위치의 RMS값 및 Level/Interval 파형에서 나타나는 값의 변화를 보면 측정위치에서 주파수 2가 주파수 1보다 크게 나타나지만 Calibration보다 이음의 크기가 크고, 느슨한 쉴드에서의 파형과 비교해 보았을 때 내부에서 철심의 진동 또는 내부 쉴드의 진동으로 인해 파형의 변화임을 알 수 있다.

그리고 GAS VT 내부에서 오는 진동 또는 부분방전보다 외부쪽 내압기에서 전달된 진동 또는 부분방전이 크다고 판단되며, 진동인지 부분방전인지의 판단에 있어 주파수 1, 2의 값들이 상대적으로 높고, 시험용 Chamber의 값들이 주변 Noise보다 약간 크므로, 기계적 진동이라고 판단된다.

### 2.4.2 GAS VT 진동 측정 결과

GAS VT 연결 챔버부위와 VT 본체 부위의 장기 과전압 시험 전과 시험 후 진동 측정을 측정하였으며 그 결과는 표 2와 같다.

표 2. 과전압 시험 전, 후 진동 측정값

측정 부위	진동크기			
	변위(μm)		속도(mm/sec)	
	시험 전	시험 후	시험 전	시험 후
본체 하부	22	19	0.13	0.13
본체 중앙	17	17	0.18	0.17
본체 상부	16	16	0.14	0.15
연결 챔버	20	16	0.14	0.13

IRD 진동 측정 장비로 측정된 결과 과전압 시험 전과 시험 후 변위 및 속도에서 차이가 없음을 알 수 있다.

### 2.4.3 절연상태 및 운전상태

GAS VT의 절연물로 적합성 절연물을 사용하여 코일과 필름간에 절연을 유지하였으며, 분해결과 양호한 지지상

태를 보였다. 과전압 시험 후 온도상승의 변화는 기온의 차이에서 발생하였으며, 전압과 전류, 절연저항의 값은 초기값과 최종 시험 후 측정값의 차이가 거의 없음을 알 수 있다.

표 3. 과전압 시험 후 측정값

항목 \ 측정치	초기치	3개월 운전	최종완료시	
주위 온도	22 °C	12 °C	3 °C	
탱크 온도	28 °C	16 °C	10 °C	
정격 전압	1차	295 kV	298 kV	299 kV
	2차	248 V	250 V	251 V
전류	1차	0.21 A	0.18 A	0.18 A
	2차	17.2 A	17.4 A	17.8 A
절연저항	1차-2차	2000MΩ	2000MΩ	∞
	1차-접지	2000MΩ	2000MΩ	∞
	2차-접지	2000MΩ	2000MΩ	8000 MΩ
가스 압력	4.0 kgf/cm <sup>2</sup>	3.8 kgf/cm <sup>2</sup>	3.6 kgf/cm <sup>2</sup>	

### 2.4.3 시험 후 본체 해체 결과

장기 과전압 시험 후 외함 해체결과 코일과 쉴드의 외관 상태와 철심과 본체의 조립상태가 양호하게 나타났으며, 코일과 철심의 조립 및 고정상태 또한 양호하게 나타났다. 그리고 진동측정기로 측정된 탱크 진동 또한 기준치에 비해 양호하게 나타남으로써 이번 과전압 신뢰성 시험을 통한 가스절연 기기의 수명에 대한 계산도 양호하게 적용할 수 있음을 알 수 있다.

또한 과전압 시험 후 부분방전 및 내압 시험에도 이상 없이 양호하게 시험됨을 알 수 있었다.

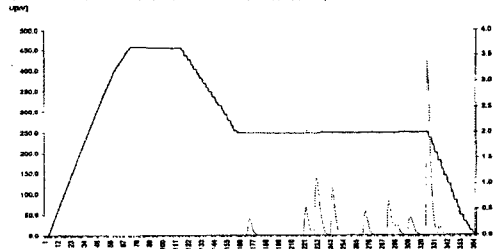


그림 9. 과전압 시험후 유도 내전압 및 PD시험

## 3. 결 론

이상에서 GAS VT의 장기과전압 시험에 대하여 언급한 결과 피시험체에 인가전압을 정격전압의 1.49배인 296.8kV를 인가하여 시험하므로 예측 수명을 30년 이상 되도록 하여 신뢰성 시험을 실시하였다.

절연물의 절연 level과 시험결과에서 양호한 특성으로 증명되어 절연내력과 기대 수명 연장과 더불어 품질특성을 확인하고 신뢰성을 높이며 신뢰성 시험 기술을 확보하게 되었다. 향후 과제로 본 논문에서 언급한 초고압 GAS VT 양산과 더불어 수급의 안정성과 고정밀급 GAS VT 제품의 다양화를 실현하고자 한다.

### (참 고 문 헌)

- (1) 電氣學會 技術報告 第 518号
- (2) "Dielectric characteristics of static shield for coil-end of gas-insulated transformer" IEEE Transactions on electrical insulations Vol. 27 No. 3, June 1992
- (3) 電氣協同 研究 第 33卷 第 4号 pp 20-23
- (4) "大用量 가스 絶緣 變壓器의 開發" T.IEE Japan Vol.115-B, No.4 pp.346-352, 1995
- (5) "Development of Large-Capacity Gas-Insulated Transformer" IEEE Transaction on Power Delivery, Vol. 11, No. 2, April 1996 pp 968-973