

SF₆ - N₂ 혼합가스의 正·부극성 뇌충격전압에 대한 50% FOV와 V-t 特性

오권표^{***} 김정달^{*} 고희석^{*} 김동의^{*} 권영한^{**} 조규복^{**} 이철현^{**}
^{*}경남대학교 전기공학과 ^{**}효성중공업 주식회사

50% Flashover Voltage and V-t Characteristics for SF₆ - N₂ Mixtures under Positive & Negative Lightning Impulse Voltage

W.P.Song J.D.Kim H.S.Koh D.O.Kim Y.H.Kwon K.B.Cho C.H.Lee
 Kyong Nam University Hyosung Industries Co.

ABSTRACT

Sulphur-hexafluoride has extensively been used as an insulating gas of electric power equipment in substation for its high dielectric strength, non-toixity and non-flammable properties. But it is very expensive and is liquidizable under the condition of low temperature and high pressure. And it is very sensible to the locally high electric field strength. To resolve these problems, we studied 50% FOV and V-t characteristics of SF₆ - N₂ mixtures under positive and negative lightning impulses using a 25mm rod-plane gap. 50% FOV of SF₆ 50% - N₂ 50% mixture was about 85% of pure SF₆ and it was known that SF₆ - N₂ mixtures can be used as an economic substitution insulating gas for SF₆.

1. 서 론

SF₆ 가스는 다른 전기적 부성기체와 함께 고전압 전력기기의 절연매체로서 널리 사용되어 왔다. 특히 높은 절연내력, 뛰어난 아크소호특성 및 양호한 열전달 특성으로 인하여 GCB, GIS, 가스 절연케이블, 피뢰기 및 가스절연변압기 등에 응용되고 있으며, 변전기기 및 변전소의 축소화에 크게 기여하였다. 그러나 SF₆ 가스는 다른 절연가스에 비해 가격이 비싸고, 자온 및 고압력하에서 액화되기 쉽고, 국부 고전계에 매우 민감한 단점을 가지고 있다. 이러한 순수 SF₆ 가스의 단점을 보완하기 위해서 많은 연구가 있었으며, 특히 혼합가스에 대한 연구가 주류를 이루고 있다. SF₆ 와의 혼합가스로는 Air, N₂, H₂, He 등이 연구대상이 되었으나, 안정성, 경제성 등의 이유로 Air나 H₂ 가 주로 연구되어졌다. 본 연구에서는 직경 10mm, 선단 곡률반경 R5인 봉대 평판전극에서 SF₆ - N₂ 혼합가스의 50% FOV와 V-t 특성을 검토하였다. 혼합가스의 포탈압력범위는 1~3bar로 하였고, 혼합비율은 SF₆ 기준으로 100%, 50%, 20%, 0% 하였다. 또 V-t특성을 검토하기 위하여 이론식에 의한 V-t 곡선도 계산하여 측정치와 비교하였다.

2. 이 론

(1) 50% FOV 측정법

SF₆ - N₂ 혼합가스의 50% FOV는 승강법(up-and-down method)을 사용하여 계산하였다. (1)(2) 승강법에 의해서 50% FOV 및 방전물곡선에서의 표준편차(S)가 구해지며, 측정정도를 파악하기 위하여 50% FOV의 표준편차(σ)도 계산하였다.

(2) V-t 곡선의 실험식(3)(4)

V-t곡선을 이론적으로 계산하기 위해서 등면적법칙(Equal area-law)을 이용하였다. 그림 1과 같이 어느 전압파형이 일정한 전압(최소 50%FOV)을 넘어선 후의 면적이 일정한 값을 넘어서면 절연 파괴가 일어난다고 하는 것이 등면적법칙이다. 즉 식(1)에서 Vmin과 Ar 만을 알면 V-t 곡선을 그릴 수 있다. 단 식(1)에서는 통계적 지연을 0으로 하는 V-t 곡선 하한치에 대한 경우이다.

$$\int_{t_0}^{t_0+t_f} (V(t) - V_{min}) dt = Ar \quad \dots\dots\dots (1)$$

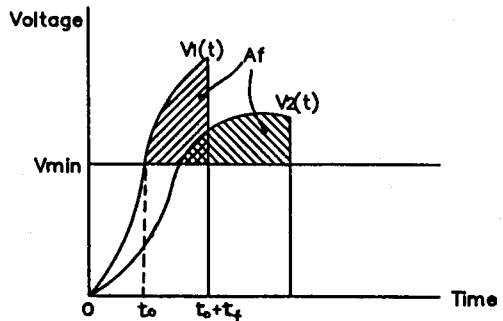


그림 1. Equal - area law

3. 실험장치 및 실험방법

(1) 실험장치

그림 2는 본 연구에서 사용한 실험장치의 전경이며, 그림 3은 실험장치의 구성도이다. 임펄스 전압의 발생 및 측정장치는 일본 Pulse사 제품이고, Test chamber 하부에는 진공배기 장치가 설치되어 있다. 임펄스 전압은 최대 600KVp, 유효 480KVp이며, 진공도는 Mcleod 진공계($\sim 10^{-4}$ torr)를 사용하였다. 그림 4는 전극 구성도이다.

(2) 실험방법

50% FOV 측정시 예상과피전압은 4~5회의 예비실험을 통해서 구했으며, 매조건에서 전압인가수는 30회 기준으로 했고, 인가전압의 승강시 전압폭은 1KV로 하였다. 인가전압 파형은 $1.2 \times 50 \mu s$ 의 표준파형을 사용했고, 극간 결연과피여부는 Surge scope의 파형 관측을 통해 확인하였다. 50% FOV는 혼합가스의 보탈압력과 혼합비율을 변화시키면서 측정하였고, 보탈가스압력은 1, 2, 3bar, 혼합비율은 SF₆ 기준으로 100%, 50%, 20%, 0% 하였다.

V-t 특성 실험에서 인가회수는 매조건에서 20회 이상으로 하였으며, 특성 Data는 Surge scope파형을 Polaroid 카메라로 촬영하여 사진으로 부터 측정하였다.

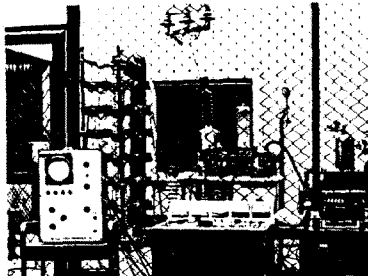


그림 2. 실험장치의 전경

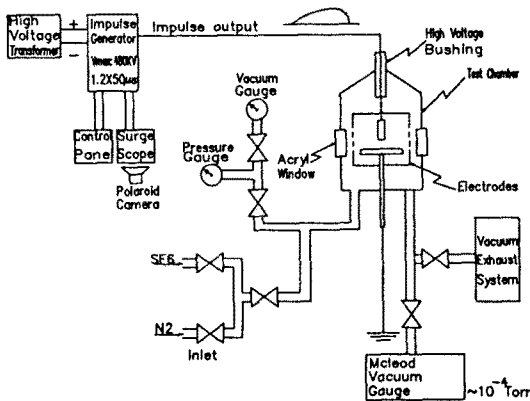


그림 3. 실험장치의 구성도

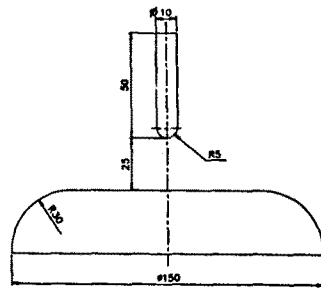


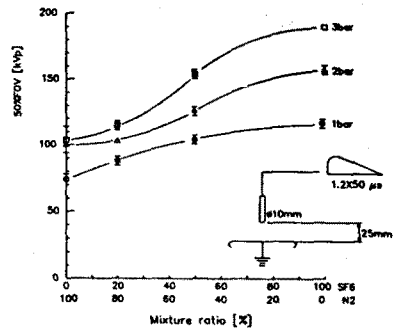
그림 4. 전극 구성도

4. SF₆ - N₂ 혼합가스의 50% FOV 특성

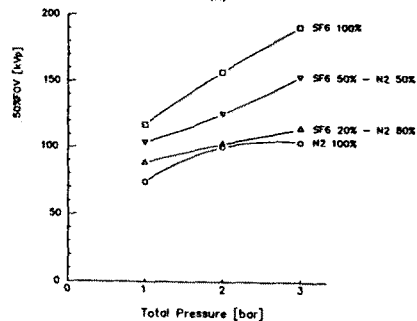
(1) 정극성 뇌임펄스 전압

그림 5는 정극성 뇌임펄스전압에 대한 SF₆ - N₂ 혼합가스의 봉대 평판전극에서의 50% FOV 이다. 종속은 50% FOV이고, 횡축은 SF₆ 또는 N₂의 혼합비율이다. SF₆ - N₂ 혼합가스의 50% FOV는 보탈압력에 관계없이 SF₆의 혼합비율이 증가할 수록 서서히 상승하고 있으며, 보탈압력이 클수록 역시 50% FOV는 높다. SF₆ 혼합비율이 커질수록 보탈압력별 50% FOV의 차도 커지고 있다.

또 SF₆ 50% 혼합시 보탈압력 3 bar의 50% FOV는 보탈압력 2bar, SF₆ 100%의 50% FOV보다 동등이상이고, 보탈압력 2bar, SF₆ 50%의 50% FOV는 순수 SF₆ 1bar의 그것보다 동등이상이다. 그림 5 (b)는 동일데이터를 보탈압력에 대해 나타낸 것이다.



(a)



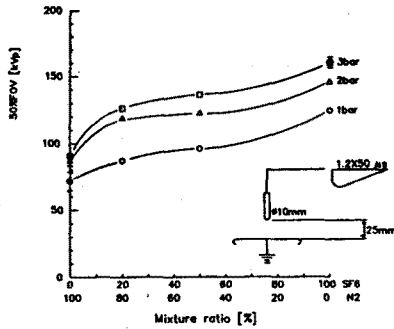
(b)

그림 5. SF₆ - N₂ 정극성 임펄스 전압에 대한 50% FOV 특성

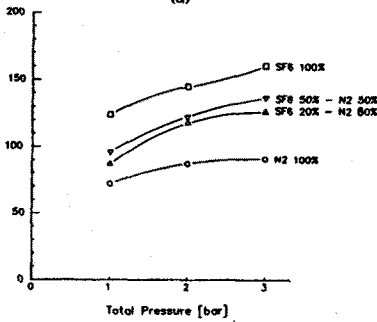
(2) 부극성 뇌임펄스전압

그림 6(a)는 부극성 뇌임펄스전압에 대한 SF₆-N₂ 혼합가스의 봉대 평판전극에서의 50% FOV이다. 부극성의 경우 SF₆ 혼합비율이 0~20% 범위에서는 50% FOV가 SF₆ 혼합비율 증가에 따라 급격히 상승하며, 그 이상의 범위에서는 서서히 상승하는 특성을 보이고 있다.

또 SF₆ 혼합비율 20~80% 범위에서는 거의 증가하지 않는 특성도 보이고 있다. 그림 6(b)는 동일데이터를 토랄압력에 대해 나타낸 것이다. SF₆ 혼합비 50%, 3bar의 50% FOV는 순수 SF₆ 2bar의 그것보다 낮고, 순수 SF₆ 1bar의 50% FOV 보다 높은 값을 보이고 있어, 정극성의 경우에는 다른 점도 보인다.



(a)



(b)

그림 6. SF₆-N₂의 부극성 임펄스 전압에 대한 50% FOV

(3) SF₆-N₂ 혼합가스의 E/P₂₀ 특성

그림 7은 50% FOV 측정데이터를 혼합비율에 대해 E/P₂₀로 환산한 것이다. 토랄압력이 클수록 E/P₂₀은 감소하고 있으며, 토랄압력 3bar에서 측정치 E/P와 이론계산치 E/P는 거의 일치하고 있다. 그림 8은 N.H.Malik의 SF₆-N₂ 혼합가스에 대한(α-γ)/P와 E/P의 이론계산 결과이고^[6], 그림 9는 전계해석 결과이다.

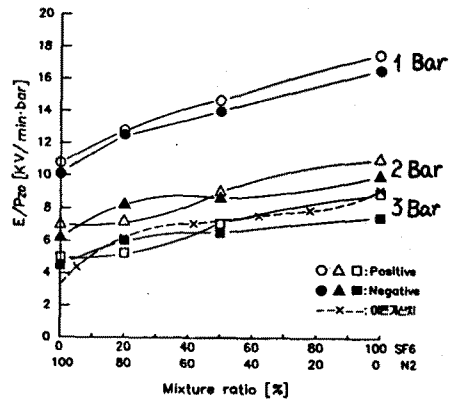


그림 7. SF₆-N₂ 혼합가스의 E/P₂₀

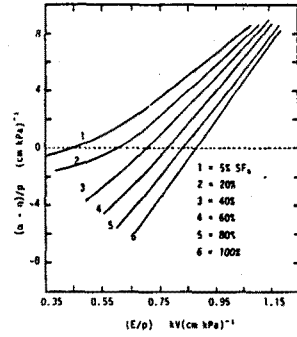


그림 8. SF₆-N₂ 혼합가스의 (α-γ)/P와 E/P (계산치)

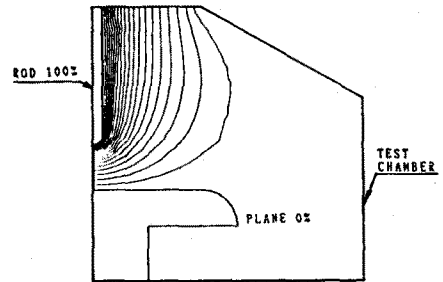


그림 9. 봉대 평판전극의 전계해석 결과

5. SF₆-N₂ 혼합가스의 V-t 특성

그림 10은 SF₆-N₂ 혼합가스의 봉대 평판전극에 대한 정·부극성 뇌임펄스전압 V-t 특성측정치와 V-t 곡선 계산결과이다. 실험식으로부터 계산한 V-t 곡선은 측정데이터의 하한치와 잘 일치하고 있으나, 1μs 이하의 경우에는 측정데이터가 적어 확실하지 않다. 대체로 정극성의 데이터는 긴 파괴시간까지 퍼져 있으나, 부극성의 데이터는 짧은 파괴시간대에 집중되어 있다. 그러나 순수 N₂의 경우에는 부극성에서도 긴 파괴시간까지 퍼져 있음을 알 수 있다. 또 혼합가스의 토랄압력이 높아질수록 V-t 특성데이터의 산포가 심한 경향을 보여준다. 그림 11은 V-t 특성 데이터 측정을 위해 플라즈마로 촬영한 전압파형의 일례이다.

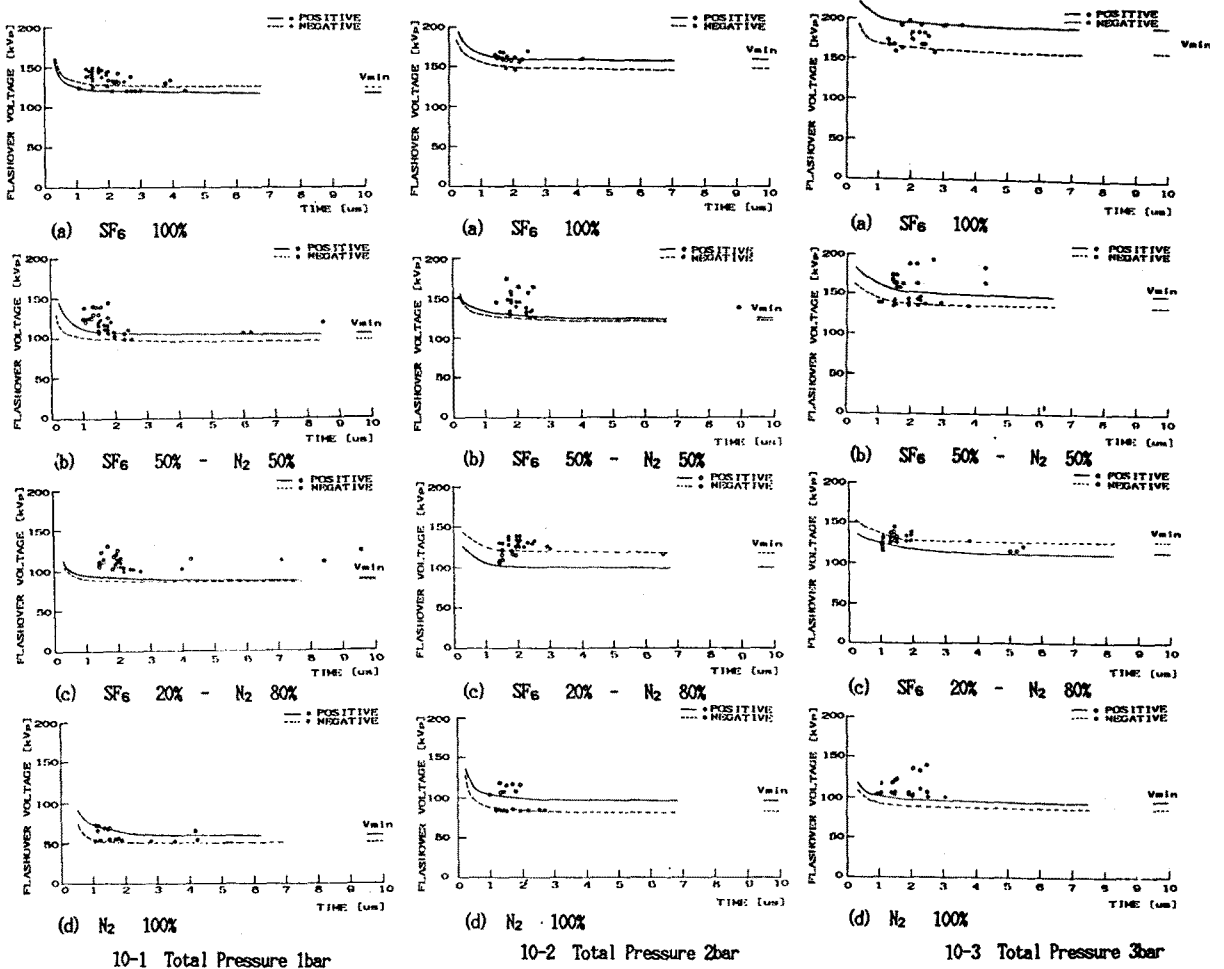


그림 10. SF₆ - N₂ 혼합가스의 V-t 특성 데이터와 실험식으로부터 계산한 V-t 곡선

6. 결 론

갭 25mm의 봉대 평판전극에서 SF₆ - N₂ 혼합가스의 뇌임펄스 전압에 대한 50% FOV와 V-t 특성을 측정·검토하였다. SF₆ 50% - N₂ 50%에서 순수 SF₆의 85% 수준의 파괴전압을 갖는다는 것으로부터 SF₆ - N₂ 혼합가스의 SF₆에 대한 경제적 대체운용이 가능함을 알았다. 또 실험식으로부터 구한 V-t 곡선은 측정치의 하한치에 거의 일치하고 있어, 전력기기 내부에서의 V-t 특성을 계산에 의해 추정할 수 있는 방법을 확립하였다.

참고 문헌

- (1) 일본전기학회, "고전압시험엔드북", pp.312-317, 1983
- (2) 大重力 외, "고전압현상", 森北出版, pp.82-89, 1984
- (3) 일본전기학회, "SF₆ 가스의 V-t 특성", 전기학회기술보고(II) 제 206호, 1986
- (4) S.R.Naidu, "Volt-time curves for a coaxial-cylindrical Gap in SF₆ - N₂ mixtures", IEEE Trans. EI-22, No. 6, pp.755-762, Dec., 1987
- (5) N.H.Malik, "Calculation of Discharge Inception Voltages in SF₆ - N₂ mixtures", IEEE Trans. EI-14, No.2,

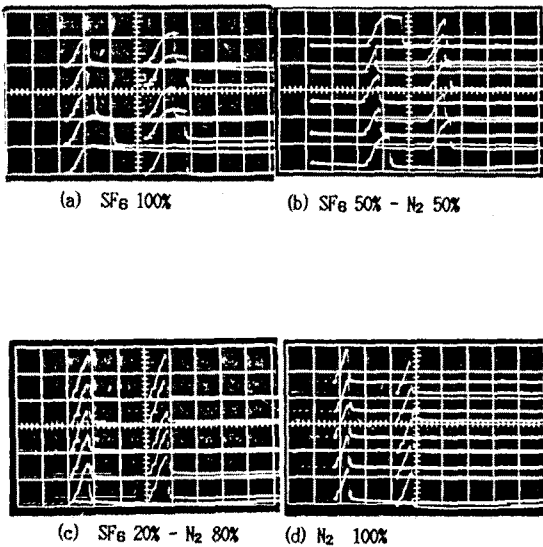


그림 11. SF₆ - N₂ 혼합가스의 V-t 특성 실험에서의 측정전압파형 (Total Pressure = 3bar)