

SF₆-N₂ 혼합가스의 절연특성에 미치는 파티클의 영향

이근* 이동준 이강수 김경화 곽희로
 송실대학교

The effect of particle on insulation Characteristic of SF₆-N₂ Mixtures

Kon Lee* Dong Zoon Lee Kang Soo Lee Kyung Wha Kim Hee Ro Kwak
 Soongsil University

Abstract - This paper describes the effect of particles on insulation characteristics of SF₆-N₂ mixtures such as breakdown voltages, lift-off voltages and maximum discharge. As a result, the breakdown voltage was increased with the increment of SF₆ and the mixture containing 20[%] of SF₆ has a breakdown voltage ratio factor better than the other mixtures. The lift-off voltage was nearly constant with all mixtures. Discharge was decreased with the increment of SF₆.

여, 먼저 투명 아크릴로 지름 100(mm) 높이 135(mm)의 원통형 챔버를 제작하였다. 또한 전극은 평등전계를 만들기 위해 평판-평판 전극을 사용하였으며 전극간의 거리는 11(mm)로 하였다. 실험에 사용된 파티클은 지름 0.58(mm), 길이 6, 7, 8(mm)의 선형 구리 파티클을 사용하였고 정확한 부분방전량 실험을 위하여 파티클 끝 부분을 라운드 처리하고 또한 실험전 수차 방전시켜 부정현상을 방지하였다.

인가한 전압은 교류 60(Hz)로 최대 50(kV)까지 인가할 수 있는 고전압 발생장치를 이용하였다. 또한 가스 주입전 챔버내 진공은 1×10^{-3} (mmHg)로 한후, 압력은 0.2 (MPa)로 혼합가스를 주입하였다. SF₆-N₂의 혼합비는 압력비로 하였으며 그 비율은 표 1과 같다.

1. 서 론

GIS(Gas Insulated Switchgear)는 차단기, 단로기 등의 개폐기를 밀폐용기 내에 넣어 SF₆ 가스로 절연한 것으로 상당히 신뢰성이 높은 기기이지만(1), GIS의 절연재료로 사용되는 SF₆ 가스는 다른 가스 절연물에 비해 가격이 비싸고, 저온 및 높은 압력에서 액화되기 쉬우며, 금속 이물 등으로 인한 국부적인 고전계에 매우 민감하게 반응하는 것으로 알려져 있다. 또한, 근래에는 온실효과 등으로 인한 환경문제 때문에 SF₆ 가스 사용을 제한하려 하고 있다.

이와 같은 이유 때문에 SF₆ 가스의 사용량을 감소시키기 위하여 SF₆ 가스와 다른 가스와의 혼합문제가 관심의 대상이 되어 왔으며, 그 중 N₂ 가스는 다른 혼합가스에 비해 절연특성이 매우 우수하여 SF₆ 가스와 N₂ 가스의 혼합에 대해 많은 연구가 행하여져 왔다. 그러나 혼합가스내 파티클이 존재할 때 혼합가스의 절연특성에 어떤 영향을 미치는 지에 대한 연구는 아직 미비한 실정이다.

본 논문에서는 SF₆-N₂ 혼합가스를 절연재료로 사용하고자 할 때 혼합가스내 파티클 존재시 파티클이 혼합가스의 절연특성에 미치는 영향에 대해 알아보았다.

표 1. SF₆ 가스와 N₂ 가스의 혼합비 (단위:%)

구분 가스	Mix#1	Mix#2	Mix#3	Mix#4	Mix#5	Mix#6
SF ₆	0	20	40	60	80	100
N ₂	100	80	60	40	20	0

절연특성 항목은 혼합비를 변화시키면서 파티클의 길이에 따라 절연파괴전압과 부상전압 그리고 부분방전량을 측정하였다. 절연파괴전압, 부상전압 및 부분방전량은 각 항목에 대해 5회 실시하여 그 중 상이한 값 1회를 제외하고 나머지 4회의 평균으로 비교 분석하였고, 부분방전량은 인가전압을 2.5(kV)씩 올리면서 절연파괴가 일어날 때까지 측정된 값을 기록하였다. 또한, 정확한 부상전압과 부분방전량 측정을 위하여 12.5(kV)에서 부상할 때까지는 0.2(kV)씩 올리며 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 1은 혼합비에 따른 절연파괴전압을 나타낸 것으로, 그림에서 나타난 것처럼 혼합가스의 파괴전압은 파티클의 길이와 상관없이 SF₆ 가스의 혼합비가 증가함에 따라 절연파괴전압이 높아지는 것을 알 수 있다.

2. 실험방법

혼합가스내 파티클 존재시 절연특성을 살펴보기 위하

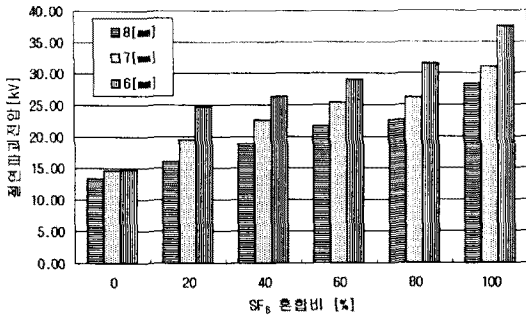


그림 1. 가스 혼합비에 따른 절연파괴전압

평등전계에서 혼합가스내 파티클이 존재할 때 혼합가스의 절연파괴전압은 다음 식같이 나타내어진다[2].

$$\frac{V_{mix, calc}}{P \cdot d} = (E/p)_{lim} \quad (1)$$

여기서, P는 가스압력, d는 전극간의 거리, $(E/p)_{lim}$ 은 SF₆-N₂ 혼합가스별 $\bar{\alpha}(E/p) = 0$ 일 때의 값이다.

식 (1)은 평등전계내에서 혼합가스비에 따른 절연파괴전압을 구하는 공식이다. 본 논문에서는 파티클이 없을 때의 절연파괴전압은 식 (1)을 이용하여 계산한 파괴전압을 사용하였다.

표 2는 평등전계에서 혼합비별 절연파괴전압을 나타낸 것이다. 파티클이 없을 때에는 식 (1)을 이용한 계산치를 나타낸 것이고 파티클이 존재할 때에는 실험치를 나타낸 것이다. 여기서 100[%] N₂ 가스인 Mix#1 제외하였다.

표 2. 평등전계에서 파티클 유무에 따른 절연파괴전압 [단위:kV]

	Mix#2	Mix#3	Mix#4	Mix#5	Mix#6
$V_{mix, calc}$	132.50	154.90	170.60	182.90	193.00
$V_{mix, particle}$ (6 (mm))	24.70	26.33	29.00	31.50	37.50
$V_{mix, particle}$ (7 (mm))	19.67	22.53	25.30	26.15	31.00
$V_{mix, particle}$ (8 (mm))	16.27	18.83	21.57	22.60	28.25

혼합가스내 파티클 존재시 절연성능을 비교하기 위하여 동일한 혼합비에서 파티클이 존재할 때의 절연파괴전압을 파티클이 존재하지 않을 때의 절연파괴 전압으로 나누어 그 결과를 표 3에 나타내었다.

표 3. 파티클 존재시 절연파괴전압의 감소비율 [단위:%]

	Mix#2	Mix#3	Mix#4	Mix#5	Mix#6
6(mm)	18.64	17.00	17.00	17.22	19.43
7(mm)	14.84	14.55	14.68	14.30	16.06
8(mm)	12.28	12.16	12.64	12.36	14.64
평균	15.25	14.57	14.77	14.63	16.71

위 표에서 나타난 것처럼 파티클이 존재할 경우 평균적으로 절연파괴전압의 감소는 Mix#6(SF₆:N₂=100:0)의 경우 제일 낮았고 다음은 Mix#2(SF₆:N₂=20:80), Mix#4(SF₆:N₂=60:40), Mix#5(SF₆:N₂=80:20), Mix#3(SF₆:N₂=40:60) 순으로 낮았다. 그러나 Mix#6는 SF₆ 가스 100[%]이므로 이것을 제외하면 혼합가스중 Mix#2가 절연파괴전압 감소가 가장 작았다. 또한 파티클의 길이가 작아질수록 Mix#2의 절연파괴전압 비교 수치가 상대적으로 좋아지고 있다.

그림 2는 혼합비에 따른 부상전압을 나타낸 것으로 Mix#1(SF₆:N₂=0:100)에서는 부상과 동시에 절연파괴가 일어나 부상전압을 구할 수 없었다. 그림에서 나타난 것처럼 부상전압은 파티클의 길이가 동일할 경우 혼합비에 따라 거의 일정하게 나타났으며, 동일한 혼합비에서는 파티클의 길이에 따라 다소차이가 나타났다.

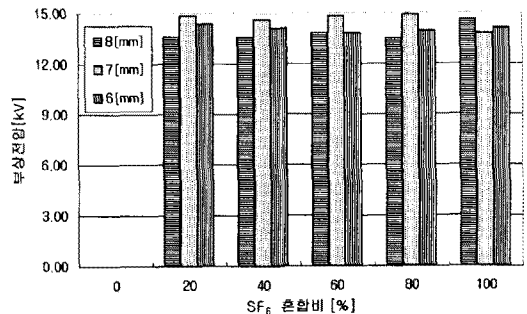
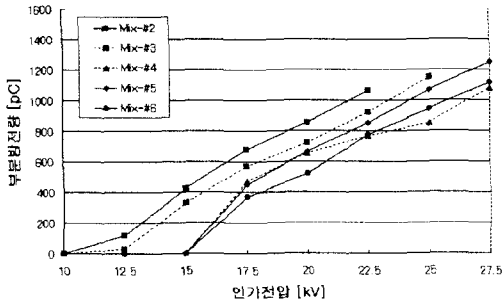
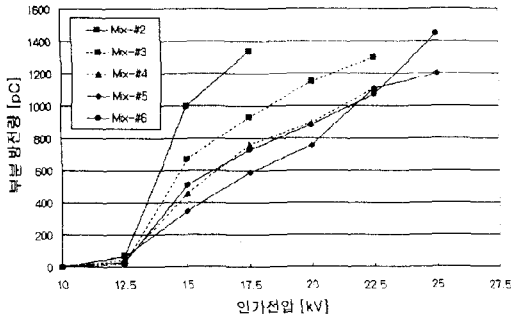


그림 2. 가스 혼합비에 따른 부상전압

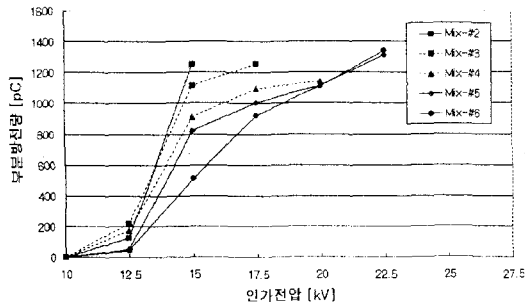
그림 3은 전압을 인가함에 따라 발생하는 부분방전량의 최대값을 나타낸 것으로, 파티클의 길이 및 혼합비에 따라 전압을 증가시키면서 부분방전량을 측정하였다. 그림 3에서 Mix#1의 경우 부상과 동시에 절연파괴가 발생하여 그림에 나타내지 않았다.



(a) 6(mm)



(b) 7(mm)



(c) 8(mm)

그림 3. 인가전압에 따른 부분방전량

그림에 나타난 것처럼 대부분 혼합비에서 12.5 [kV] 미만에서는 부분방전량이 미약하게 나타나지만 15.0[kV] 이상에서는 부분방전량이 급증하는 것을 보여주고 있다. 이는 앞의 그림 2에서 알 수 있듯이 13.0~15.0[kV]에서 파티클이 부상하기 때문에 부분방전량이 급증한다고 생각되어진다. 즉 파티클이 침 전극으로 작용하기 때문에 침 끝부분에 전계집중이 발생하여 부분방전량이 증가한다고 판단된다.

그리고, 동일한 크기의 파티클 내에서도 SF₆ 가스의 혼합비가 클수록 부분방전량이 적게 나타나고 있는데 이것은 전자 부착 계수가 큰 SF₆ 가스가 많아지면서 파티클에서의 부분방전을 억제해 주기 때문으로 생각된다 [3]. 또한, 동일한 혼합비, 동일한 인가전압에서는 파티클이 길어짐에 따라 발생하는 부분방전량도 커지는 것을 볼 수 있었다.

그리고, 파티클 부상직후 부분방전량은 혼합비와 파티클의 길이에 따라 다르게 나타나지만, 절연파괴가 일어나기 직전의 부분방전량은 약 1,100~1,300[pC]으로 혼합비에 관계없이 일정하게 나타났다.

4. 결 론

SF₆-N₂ 혼합가스의 절연특성에 파티클이 미치는 영향을 살펴보기 위하여 각각의 혼합비에 따라 파티클의 길이를 변화시키면서 절연파괴전압, 부상전압 및 부분방전량을 측정하였다. 그 결과는 다음과 같다.

- 절연파괴전압은 SF₆ 가스의 양이 증가함에 따라 증가하였으며, 파티클이 없을 때의 절연파괴 전압과 비교해본 결과 혼합가스 중에서는 SF₆-N₂의 혼합비가 20 : 80일 때 절연파괴 감소비율이 가장 작았다.

- 부상전압은 가스혼합비에 대해서는 큰 변화가 없었으며, 파티클의 길이에 따라 약간 변화하였다.

- 부분방전량은 SF₆ 가스의 양이 증가함에 따라, 그리고 파티클의 길이가 작아짐에 따라 줄어들었고, 또한 절연파괴 직전 부분방전량은 가스 혼합비에 상관없이 약 1,100~1,300 [pC]으로 일정하게 나타났다.

[참 고 문 헌]

- [1] 광희로의 7인, "질소가스에서 도전성 금속이물에 의한 코로나와 절연파괴 특성", 방전 및 고전압연구회 춘계학술발표회 논문집, 1998, pp50-52
- [2] N.H. Malik and A.H. Qureshi, "Breakdown Gradients In SF₆-N₂, SF₆-Air And SF₆-CO₂ Mixtures," IEEE Trans. on Elect. Insul. Vol. EI-15 No.5, 1980, pp413-418
- [3] M. S. Dincer and G. R. Govinda Raju, "Ionization and Attachment Coefficients in SF₆ + N₂ Mixtures" IEEE Trans. on Elect. Insul. Vol. EI-19 No.1, 1984, pp41-44