

## 불평등전계하에서의 SF<sub>6</sub> 혼합가스의 방전 특성

고연성, 서호준, 이동희  
수원대학교

### Discharge Characteristics of SF<sub>6</sub> Mixture Gases in Non-Uniform Fields

Yeon-Sung Ko, Ho-Joon Seo and Dong-Hee Rhie  
Suwon University

**Abstract :** 본 논문에서는 질소와 이산화탄소를 완충기체로 사용하는 경우의 혼합가스에 대해 가스절연설비 내부의 이물질에 의한 절연과피특성을 모의하기 위한 침-평판 전극구조에서의 침전극 재질을 연철, 고탄소강, 스테인레스 강 등으로 구성된 경우 혼합가스의 절연과피 특성에서 나타나는 전극 재질에 의한 영향을 실험적으로 검토해 보았다. 실험 결과 연철제 전극과 고탄소강제 전극의 경우에는 혼합가스의 절연과피특성에서 유사한 N-특성이 나타남을 확인할 수 있었으나 스테인레스 강제 전극의 경우에는 다소 상이한 양상이 나타났다. SF<sub>6</sub>계 혼합가스의 경우에는 순 SF<sub>6</sub>의 경우와 동일하게 코로나 안정화작용에 의한 N-특성이 발현됨이 일반적인 특성으로 알려져 있으나 본 실험 결과에 의하면 침전극 재질에 따라 다소 상이한 양상이 나타날 수 있음을 관측하였다.

**Key Words :** N-특성, SF<sub>6</sub>, SF<sub>6</sub>/N<sub>2</sub>, SF<sub>6</sub>/CO<sub>2</sub>, 침전극

## 1. 서 론

지난 20년 동안 절연, 소호 및 전류차단을 위해 고압질소 및 SF<sub>6</sub>/N<sub>2</sub> 혼합가스의 사용이 꾸준히 제안되어 왔으며 [1-4], 더욱이 최근에는 가스절연송전선용으로 고압질소가 심각하게 고려되고 있다[4]. SF<sub>6</sub>/N<sub>2</sub> 혼합가스는 과거로부터 현재에 이르기까지, 차단기에서 사용하는 압력 조건하에서 SF<sub>6</sub>가 응축되어 그 전류차단능력이 저하되는 가혹한 기후조건(T<-40℃)에서 사용되어져 오고 있다. 그와 같은 용도에 있어서는 SF<sub>6</sub> 50%를 포함한 SF<sub>6</sub>/N<sub>2</sub> 혼합가스가 유효한 전류차단 매질로 알려져 있다[5,6]. SF<sub>6</sub>/N<sub>2</sub> 외에도 SF<sub>6</sub>/CF<sub>4</sub>나 SF<sub>6</sub>/He를 포함한 여타 혼합가스가 이용되고 있다[6,7]. 특히 실용 전력기기의 경우 금속이물질 등의 혼입에 의해 기기 내에서 불평등전계가 형성되어 부분방전을 거쳐 절연과피에 이르는 가능성이 있으므로 본 연구에서는 불평등전계 하에서 혼합가스의 절연특성이 침전극 재질에 의해 영향을 받는 효과에 대해 실험적으로 조사하였다. 본 연구에서는 순 SF<sub>6</sub>, N<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> 및 인조공기 및 이들이 혼합된 2종 혼합가스에 대해 가스압력 0.7MPa 이하에서 상용교류전압을 인가하여 실험에 의해 그 절연특성을 조사하였다.

## 2. 실험

압력용기는 스테인레스제로 직경 20cm, 높이 30cm의 원통형상으로 되어 있고, 외벽 측에는 방압변(放壓弁)이 설치되어 있다. 방압변에 의해 압력용기 내부를 0.7MPa 까지 가압할 수 있다. 불평등전계 하의 절연과피특성을 검토하기 위해 고전압 도체상의 금속 이물질을 모의한 침-평판 전극을 설치하였다. 침전극은 주철, 고탄소강 및 스테인레스강의 3종으로 하였으며 곡률반경 r은 500μm 이다. 또한 전극간 간격 g는 1~10mm 로 가변시킬 수 있도록 구성하였으며, 본 실험에서는 10 mm로 고정하여 실험에 임하였다. 고전압은 부상을 매개로 하여 압력용기 내의 전극계(침-평판전극)에 인가된다.

시험가스는 SF<sub>6</sub>, CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, 공기, 및 SF<sub>6</sub>/N<sub>2</sub>, SF<sub>6</sub>/CO<sub>2</sub>, SF<sub>6</sub>/Air 2종 혼합가스, 그리고 N<sub>2</sub>/Air, CO<sub>2</sub>/Air 2종 혼합

가스 등으로 하였다. 시험가스의 혼합비는 압력계 및 진공계를 이용하여 실온에서 각 가스의 압력비로 정하였다. 이와 같은 혼합가스의 혼합도를 확보하기 위하여 가스 봉입 후 24시간 동안 방치하여 자연확산에 의해 충분히 가스들이 혼합될 수 있도록 하였다.

교류절연과피시험의 경우 절연과피 측정 시에는 공시물의 저전압측 즉 평판전극을 직접 접지시키고, 부분방전 측정 시에는 공시물의 저전압측을 임피던스 정합회로를 통해 접지시킨 후 공시물에 전압을 인가하여 임피던스 정합회로 내의 검출저항에 의해 부분방전신호를 검출하여 PD 검출기로 측정하였다.

교류절연과피 시험 시에는 초기에 교류전압을 1분간 인가한 후 다음 1분간은 이전 전압치보다 2kV 승압시킨 전압을 인가한다. 이를 절연과피가 일어날 때까지 반복하여 시험하였다.

## 3. 결과 및 고찰

그림 1에 완충가스로 CO<sub>2</sub>를 대상으로 하여 SF<sub>6</sub>를 체적비로 1%에서 10% 범위까지 변화시킨 혼합가스의 경우 주철제 침전극에서의 섬락전압특성을 나타내었다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 0.3-0.4 MPa 압력 범위 사이에서 섬락전압의 극대치가 나타나는 N-특성을 확인할 수 있다. 한편 그림 2에는 N<sub>2</sub> 를 완충가스로 하여 SF<sub>6</sub>를 체적비로 1%에서 10% 범위까지 변화시킨 혼합가스의 경우 주철제 침전극에서의 섬락전압특성을 나타내었다. 그림에서와 같이 0.3 MPa 부근의 기압에서 섬락전압의 극대치가 나타남을 알 수 있다.그림 6.에는 고탄소강 재질로 제작한 침전극계에 대해 질소를 완충가스로 한 경우 SF<sub>6</sub>를 각각 1% 및 5% 혼합한 혼합가스의 가스압력에 따른 섬락전압 및 부분방전 개시전압 특성을 보이고 있다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 약 0.35 MPa 부근의 압력 범위에서 섬락전압의 극대치가 나타나며 고기압 영역에서는 섬락전압과 부분방전 개시전압이 거의 근사한 값을 보이고 있다.

이로부터 저기압 영역에서는 섬락전압의 극대치가 나타나고 보다 높은 기압 영역에서는 섬락전압의 극소치를 나타낸 후 그 이상의 고기압 영역에서는 봉입 압력의 증가

에 따라 섬락전압이 단조 증가하는 N-특성이 나타남을 확인할 수 있다.

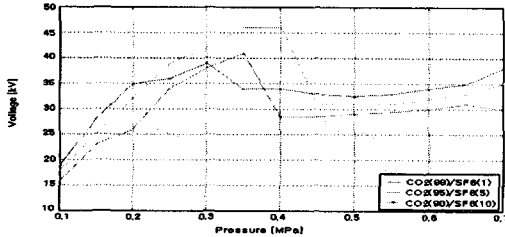


그림 1. 주철제 침전극 SF<sub>6</sub>/CO<sub>2</sub> 혼합가스의 섬락특성

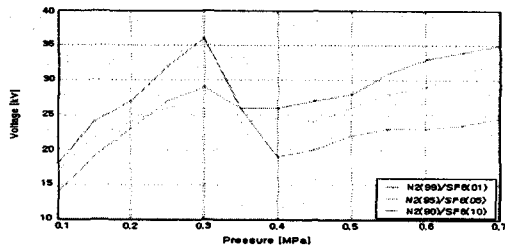


그림 2. 주철제 침전극 SF<sub>6</sub>/N<sub>2</sub> 혼합가스의 섬락특성

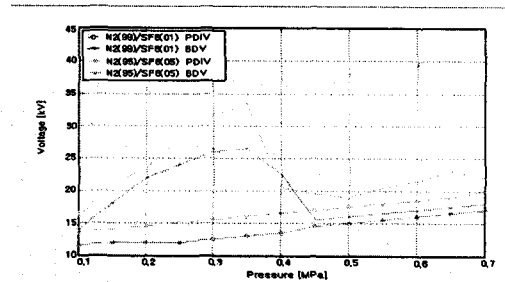


그림 3. 고탄소강 침전극에 의한 SF<sub>6</sub>/N<sub>2</sub> 혼합가스의 섬락특성 및 PD 개시전압 특성

그림 4.에는 본 실험에 사용한 주철, 스테인레스강 및 고탄소강으로 제작한 각각의 침전극에 대한 혼합가스의 섬락전압특성을 나타내었다. 그림 4는 완충기체로 질소를 사용하고 SF<sub>6</sub>를 체적비로 1% 혼입한 경우의 혼합가스에 대한 실험 결과이다. 결과를 보면 주철제 및 고탄소강 재료의 침전극에서는 전기부성기체에서 나타나는 N-특성이 명확히 나타나나 스테인레스강으로 제작된 침전극의 경우 거의 선형적인 섬락전압특성을 보이고 있다. 또한 동일한 실험 조건에서 주철제 침전극과 고탄소강계 침전극의 경우 섬락전압의 N-특성은 확연히 나타나나 고탄소강 침전극의 경우 주철제 침전극에 비해 섬락전압이 보다 낮은 값에서 주어짐을 알 수 있다.

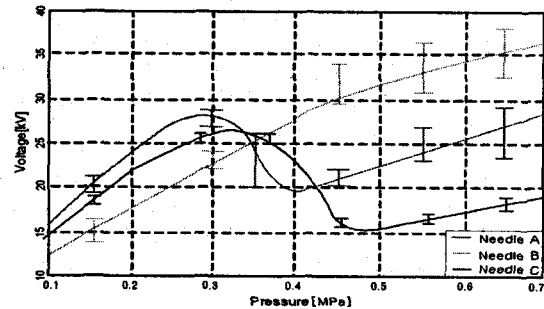


그림 4. 3종 전극재질에 따른 혼합가스의 섬락전압 특성

특히 스테인레스 침전극의 경우 본 실험 결과에 의하면 실험 오차를 고려하더라도 섬락전압의 N-특성을 명확히 인지하기 어려우며 이는 전기부성기체를 혼입한 혼합가스에서의 코로나 안정화작용이 거의 영향을 미치지 않음을 나타내나 이에 대해서는 추가적인 보완 실험이 필요할 것으로 사료된다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 불평등전계 하 혼합가스의 절연특성에 미치는 침전극 재질의 효과를 실험적으로 조사해 보았다. 본 연구 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다. 주철 및 고탄소강 재질로 제작된 침전극의 경우 동일한 실험 조건 하에서 기본적으로 유사한 N-특성을 나타내었다. 그러나 고탄소강으로 제작한 침전극의 경우 상대적으로 고기압 영역에서의 절연과파전압이 주철제 침전극에 비해 낮은 값을 보였다. 한편 스테인레스강으로 제작된 침전극의 경우 동일한 실험 조건에서 N-특성이 거의 나타나지 않았으며 이는 SF<sub>6</sub>계 혼합가스의 일반적인 절연과파특성과 상당히 상이한 결과로서 향후 이에 대한 보다 면밀한 실험이 이루어져야 할 것으로 사료된다.

#### 감사의 글

본 연구는 산업자원부 전력산업연구개발사업의 연구비 지원에 의한 것입니다.

#### [참 고 문 헌]

- [1] L.G.Christophorou(ed.), Gaseous Dielectrics, Volumes, I-V, Pergamon Press, New York, respectively, 1978, 1980, 1982, 1984, 1987; Volumes VI and VII, Plenum press, New York, respectively, 1990 and 1994.
- [2] Electric Power Research Institute : Gases Superior to SF<sub>6</sub> for Insulation and Interruption : Report EPRI EL-2620, September, 1982.
- [3] S.A.Boggs, F.Y.Chu, and N.Fujimoto(eds), Gas-Insulated substations, Pergamon Press, New York, 1986.
- [4] L.G.Christophorou, R.J.Van Brunt, "SF<sub>6</sub>/N<sub>2</sub> Mixtures, Basic and HV Insulation Properties", IEEE Trans. Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 2, pp.952-1003, 1995.
- [5] A.Lee, L.S. Frost, "Interruption Capability of Gases and Gas Mixtures in a Puffer-Type Interrupter" : IEEE Trans. Plasma Science, Vol. Ps-8, pp.362-367, 1980.
- [6] B.Chervy, H.Riad, A.Gleizes, and J.J. Gonzalez, Interruption Capability of SF<sub>6</sub>-CF<sub>4</sub> and SF<sub>6</sub>/C<sub>2</sub>F<sub>6</sub> Mixtures", Eleventh Intern. Conf. Gas Discharges and Their Applications, pp.I-334-I-337, Chuo University, Tokyo, Japan, 1995.
- [7] A. Gleizes, I. Sakalis, M. Razafinimanana, S. Vacquie, "Decay of Wall Stabilized Arcs SF<sub>6</sub>/N<sub>2</sub> in Mixtures", J. Appl. phys., Vol. 61, pp.510-518, 1987
- [8] Pinnaduwege LA, Christophorou LG, "A Possible New Mechanism Involved in Non-Uniform Field Breakdown in Gaseous Dielectrics" In: Gaseous Dielectrics VII, Plenum Press, NY, pp.123-130, 1994
- [9] Christophorou LG, Van Brunt RJ, and Olthoff J, Electron Attachment to Excited Molecules. In: Proceedings of 11<sup>th</sup> International Conference on Gas Discharges and Their Applications, Tokyo, Japan, September 10-15, 1995