

불평등 전계 하에서의 침전극 가공상태에 따른 SF6혼합가스의 방전특성

고연성, 서호준, 이동희
수원대학교

Discharge Characteristics of SF6 Mixture Gases due to Processing Status of needle electrode under Non-Uniform Fields.

Y.S.Go, H.J.Seo, D.H.Rhie
The University of Suwon

Abstract - AC spark discharge voltage of SF6/CO2 and SF6/N2 containing various mixed rate in volume percent (1, 5 and 10%) of SF6 in non-uniform fields are investigated. The needle to plane electrode gap spacing was 5 and 10 mm, and the gas pressure was varied within the range of 0.1~0.7 MPa. We have observed a N-characteristic typical for the electronegative gases even in gas mixtures of 1% SF6 with CO2 and N2 as buffer gases. Especially, the materials of the needle electrode affect the insulation properties of the gas mixtures drastically. On the contrary to the case of needle electrodes made by mild steel or high carbon steel, the N-characteristics are hardly perceived in the case of stainless steel needle in this experiment.
Keywords: SF6/buffer gas mixture, non-uniform field, insulation property, corona stabilization

1. 서 론

절연, 소호 및 전류차단을 위해 고압질소 및 SF6/N2 혼합가스의 사용이 꾸준히 제안되어 왔으며[1-4], 더욱이 최근에는 가스절연송전선용으로 고압 질소가 심각하게 고려되고 있다[4]. SF6/N2 혼합 가스는 과거로부터 현재에 이르기까지, 차단기에서 사용하는 압력 조건하에서 SF6가 응축되어 그 전류차단능이 저하되는 가혹한 기후조건(T<-40℃)에서 사용되어져 오고 있다. 그와 같은 용도에 있어서는 SF6 50%를 포함한 SF6/N2 혼합가스가 유효한 전류차단 매질로 알려져 있다[5,6]. SF6/N2 외에도 SF6/CF4나 SF6/He를 포함한 여타 혼합가스가 이용되고 있다[6,7]. 특히 실용 전력기기의 경우 금속이물질 등의 혼입에 의해 기기 내에서 불평등전계가 형성되어 부분방전을 거쳐 절연파괴에 이르는 가능성이 있으므로 본 연구에서는 불평등전계 하에서 혼합가스의 절연특성이 침전극 재질에 의해 영향을 받는 효과에 대해 실험적으로 조사하였다. 본 연구에서는 순 SF6, N2, CO2 및 인조공기 및 이들이 혼합된 2종 혼합가스에 대해 가스압력 0.7MPa 이하에서 상용교류 전압을 인가하여 실험에 의해 그 절연특성을 조사하였다.

2. 실 험

2.1 실험장치 및 실험방법

압력용기는 스테인레스제로 직경 20cm, 높이 30cm의 원통형상으로 되어 있고, 외벽 측에는 방압밸(放壓弁)이 설치되어 있다. 방압면에 의해 압력용기 내부를 0.7MPa 까지 가압할 수 있다. 불평등전계 하의 절연파괴특성을 검토하기 위해 압력용기 내 중앙부에 고전압 도체상의 금속 이물질들을 모으는 침-평판 전극을 설치하였다. 침전극은 주철, 고탄소강 및 스테인레스강의 3종으로 하였으며 곡률반경 500μm 이다. 또한 전극간 간격은 1~10mm로 가변시킬 수 있도록 구성하였으며, 본 실험에서는 10 mm로 고정하여 실험에 임하였다. 고전압은 부싱을 매개로 하여 압력용기 내의 전극(침-평판전극)에 인가된다.

가스를 압력용기에 봉입할 때에는, 우선, 용기 내부를 진공펌프로 10⁻¹ torr 정도까지 배기시켰다. 그 후 시험용기 중을 SF6 및 혼합용 가스로 목표 압력까지 충전시키고 가스압력 및 혼합비를 변화시켜 측정치를 측정하였다. 혼합비의 조정은 모두 압력비로 환산하여 조정하였다.

시험가스는 SF6, CO2, N2, 공기, 및 SF6/N2, SF6/CO2, SF6/Air 2종 혼합가스, 그리고 N2/Air, CO2/Air 2종 혼합가스 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.

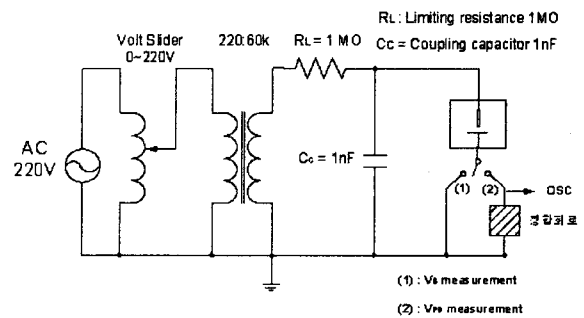
2.2 전기적특성 측정

그림 1은 교류전압 인가회로를 나타내고 있다. 교류 100V를 슬라이더를 통해 시험용변압기의 1차측에 입력하고, 승압된 2차측 출력을 제한저항 RL(1MΩ)을 통해 결합컨덴서 Cc(333pC) 및 공시물에 인가한다. 제한저항은 절연파괴시에 대전류가 변압기로 유입되는 것을 막기 위한 것이고 결합컨덴서는 고주파부분방전을 검출하기 위해 설치하였다.

교류절연파괴시험의 경우 절연파괴 측정 시에는 공시물의 저전압측 즉 평판전극을 직접 접지시키고, 부분방전 측정 시에는 공시물의 저전압측을 임피던스 경합회로를 통해 접지시킨 후 공시물에 전압을 인가하여 임피던

스 경합회로 내의 검출저항에 의해 부분방전신호를 검출하여 PD검출기로 측정하였다.

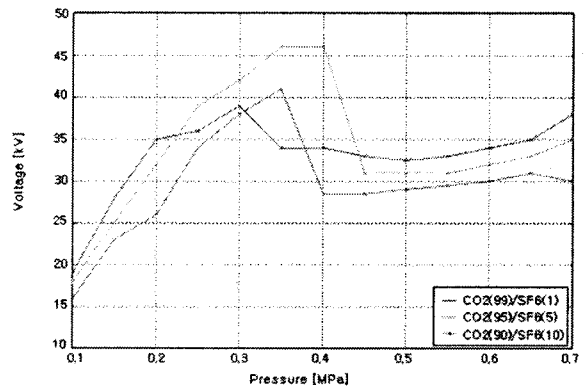
교류절연파괴 시험 시에는 초기에 교류전압을 1분간 인가한 후 다음 1분간은 이전 전압치보다 2kV 승압시킨 전압을 인가한다. 이를 절연파괴가 일어날 때까지 반복하여 시험하였다.



<그림 1>. 고전압 시험회로

3. 결과 및 고찰

그림 2에 완충가스로 CO2를 대상으로 하여 SF6를 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.

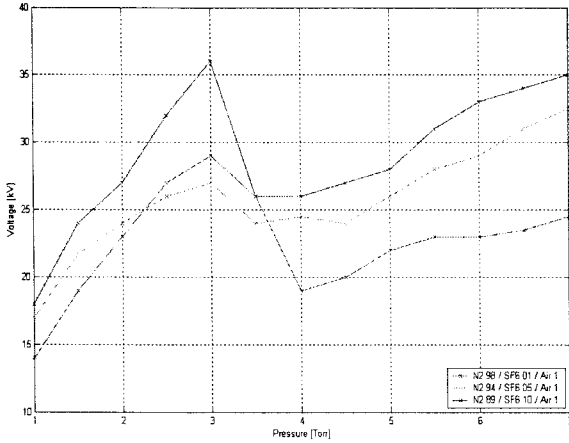


<그림 2> 주철제 침전극에 의한 SF6/CO2 혼합가스의 섬락특성

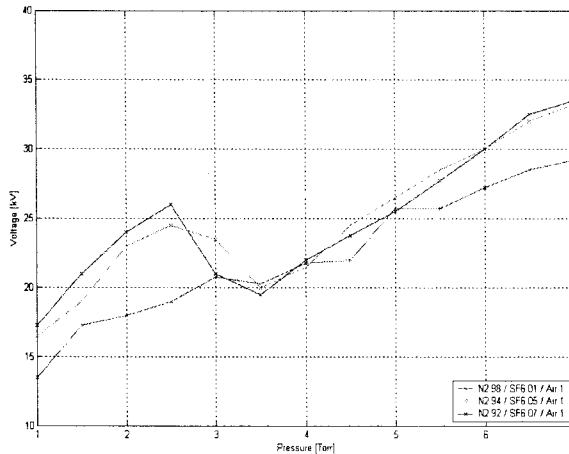
한편 그림 3-그림4에는 N2 를 완충가스로 하여 SF6를 체적비로 1%에서 10% 범위까지 변화시킨 혼합가스의 경우 주철제 침전극에서의 섬락전압특성을 나타내었다. 그림에서와 같이 침전극을 가공공정을 거치기 전과 후로 나누어서 실험을 한 결과, 가공 전에는 0.25MPa 부근의 기압에서 섬락전압의 극대치가 나타남을 알 수 있다. 또한 가공공정 후에는 0.3 MPa 부근의 기압에서 섬락전압의 극대치가 나타나며 섬락전압의 크기가 상대적으로 감소함을 알 수 있다..

상기 N-특성은 전극간 전계가 공간전하 축적효과(space charge accumulation)에 의해 영향을 받아 나타나는 것으로 이해되고 있으며 일반적으로 "코로나 안정화작용(corona stabilization)"이라 불리고 있다. 파괴전압보다 낮은 전압에서 코로나 방전이 발생되는 저기압 영역에서 전극 간을 흐르는 파괴전류(prebreakdown current)는 전계를 보다 평등화시키는 공간전하를 발생시키며, 이와 같은 전계의 평등화에 따라 전극간 절연파괴

를 일으키는데 필요한 전압은 보다 증가하게 된다. 파괴전압의 극대치가 나타나는 기압보다 높은 기압 영역에서는 침전극 선단 부근에서 스트리머(streamer)가 발생되면 이 전압에서 전극 간을 스트리머가 바로 진행해 가기에 충분한 정도로 된다. 결과적으로 공간전하가 전극 간에 축적되어 전계 분포에 영향을 미치지 전에 절연파괴가 발생되고, 이와 같은 조건 하에서는 절연파괴에 선행하는 정상(定常) 코로나방전이 발생되지 않는다. 이 코로나 안정화작용은 질소와 같은 비전기부성기체(non-electronegative gas)의 경우에는 그 효과가 나타나지 않거나 최소화된다. 한편 최근 특정 조건 하에서는 코로나 방전이 파괴전압의 증가에 기여하는 전자적(電子的) 여기분자를 다량으로 발생시킨다는 지적이 제기되고 있다[8]. 이는 전자가 전자적(電子的)으로 여기상태에 있는 분자에 보다 높은 확률로 부착되기 때문이다. 즉 기저상태에 있는 분자보다 충돌단면적이 크기 때문에 부착 확률이 높아지는 것이다[9].

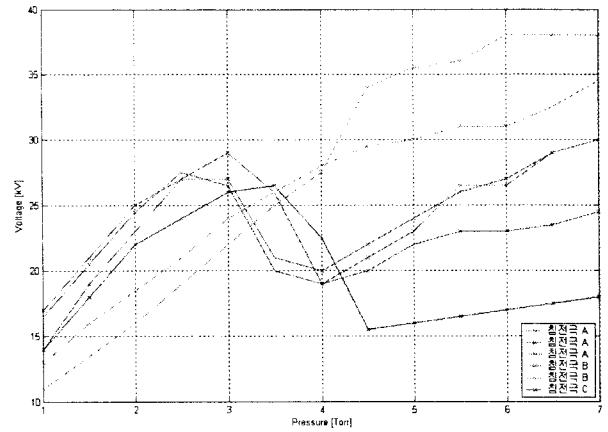


〈그림 3〉 연마공정 전 주철제 침전극에 의한 SF₆/N₂ 혼합가스의 섬락특성



〈그림 4〉 연마공정 후 주철제 침전극에 의한 SF₆/N₂ 혼합가스의 섬락특성

그림 5에는 본 실험에 사용한 주철, 스테인레스강 및 고탄소강으로 제작한 각각의 침전극에 대한 혼합가스의 섬락전압특성을 나타내었다. 그림 6은 완충기체로 질소를 사용하고 SF6를 체적비로 1% 혼합한 경우의 혼합가스에 대한 실험 결과이다. 그림 5의 결과를 보면 주철제 및 고탄소강 재질의 침전극에서는 전기부성기체에서 나타나는 N-특성이 명확히 나타나나 스테인레스 강으로 제작된 침전극의 경우 거의 선행적인 섬락전압특성을 보이고 있다. 또한 동일한 실험 조건에서 주철제 침전극과 고탄소강 침전극의 경우 섬락전압의 N-특성은 확연히 나타나나 고탄소강 침전극의 경우 주철제 침전극에 비해 섬락전압이 보다 낮은 값에서 주어짐을 알 수 있다.



〈그림 5〉 주철, 스테인레스강, 고탄소강 전극재질에 따른 혼합가스의 섬락전압 특성

특히 스테인레스 침전극의 경우 본 실험 결과에 의하면 실험 오차를 고려하더라도 섬락전압의 N-특성을 명확히 인지하기 어려우며 이는 전기부성기체를 혼합한 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 재질로 제작된 침전극의 경우 동일한 실험 조건 하에서 기본적으로 유사한 N-특성을 나타내었다. 그러나 침전극을 가공하기 전과 가공한 후를 비교하여 실험한 결과 가공후 침전극의 경우 섬락 전압의 극대치가 보다 낮은 기압에서 발생하였다. 한편 스테인레스 강으로 제작된 침전극의 경우 동일한 실험 조건에서 N-특성이 거의 나타나지 않았으며 이는 SF6계 혼합가스의 일반적인 절연파괴특성과 상당히 상이한 결과로서 향후 이에 대한 보다 면밀한 실험이 이루어져야 할 것으로 사료된다.

[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 SF6 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, "SF6/N2 Mixtures, Basic and HV Insulation Properties", IEEE Trans. Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 2, pp.952-1003, 1995.
- [5] A.Lec, 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 SF6-CF4 and SF6/C2F6 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. Razafimanana, S. Vacquie, "Decay of Wall Stabilized Arcs SF6/N2 in Mixtures," J. Appl. phys., Vol. 61, pp.510-518, 1987
- [8] Pinnaduwa 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 11th International Conference on Gas Discharges and Their Applications, Tokyo, Japan, September 10-15, 1995