

혼합가스의 이물 존재시 절연 특성 연구

정동훈*, 우수열*, 서경보*, 김진호*
(주)효성 중공업 연구소*

A study of dielectric strength and insulating property for particle contamination Under SF6/N2 Mixture

Dong-Hoon Jeong*, Su-Youl Woo*, Kyoung-Bo Seo*, Jin-Ho Kim*
Hyosung Corporation R&D Center*

Abstract - Sulfur hexafluoride is the most commonly used insulation gas in electrical systems. Gas insulated systems are widely used in the electric power industry for transmission and distribution of electrical energy. When SF₆ was first discovered, the potential application was only considered for insulation because of good dielectric properties. But the widespread use of SF₆ gas by electric power and other industries has led to increase concentrations of SF₆ gas in the atmosphere. This concern as to possible effects on global warming because SF₆ is a potent greenhouse gas. That's why firstly we studied uniform and nonuniform field property by mixing SF₆ and N₂ gas. This paper presents the dielectric strength and insulating property for particle contamination under SF₆/N₂ mixtures. Two types of mixed gases(50% SF₆_50%N₂, 20% SF₆_80%N₂) were applied. We performed tests for the length and shape of particle. Test gas pressure is from 0.3 to 0.7 Mpa. The study was conducted to develop environment-friendly insulating material for GIS that can reduce SF₆ gas and make a design criteria for mixtures.

1. 서 론

온실가스 감축의무를 규정하기 위해 세계 각 국은 1997년 교토의정서를 의결하여 선진국 등이 포함된 부속국에 대해서 제1차 의무감약기간(2008~2012년)에 1990년 대비 평균 5.2%로 온실가스 감축의무를 부과하였다. 감축 대상 온실가스는 이산화탄소(CO₂), 메탄(CH₄), 아질화산소(N₂O), 수소불화탄소(HFCs), 육불화화합(SF₆), 염화불화탄소(CFCs)의 6종이다. 우리나라가 포함되어 있는 개발도상국은 2013년부터 적용될 예정이며 이러한 국제환경규제에 대응하여 Major 기업들은 SF₆가스를 대체할 수 있는 절연매질을 이용한 친환경 제품에 대해서 연구를 하고 있다.

현재 친환경 Switchgear에 대한 동향은 유럽은 SF₆ 가스를 줄이기 위해서 제품의 Size를 줄이고 누기를 방지하고 있으며 가스의 사용량에 대해서 적극적인 절감 방법으로 제품의 Compact화를 통한 저 가스압력을 적용과 혼합가스(SF₆+N₂)를 적용하고 있다. Medium Voltage급에서는 SF₆ 가스를 사용하지 않고 차단부를 Vacuum Interrupter를 적용한 고체절연이나 Dry Air를 이용한 제품이 현재 상용화 되어 있다. 초고압 Class에서는 145kV에 대한 친환경 GIS Prototype Test가 진행 중에 있으며 현재 연구가 진행되고 있다.

본 논문에서는 SF₆가스를 줄이기 위한 노력의 일환으로 혼합가스 하에 particle 존재시 특성에 대한 연구를 통하여 GIS 개발의 기초 설계 DATA를 구축하여 추후 GIS 개발시 적용하기 위한 실험에 대한 절차 및 설계 기준을 기술 하고자 한다.

2. 본 론

2.1 혼합가스

혼합가스를 시험에 적용하기 위해서는 혼합비율을 확인할 수 있는 장비가 있어야 한다. 보통 이종의 가스를 혼합하는 방법에는 두 가지가 있다. 첫 번째는 압력비를 통한 방법이 있다. 이것은 가스압력 계지를 확인하고 주입하여 혼합가스를 만드는 방법이다. 이 방법은 얻고자하는 혼합비를 정확하게 얻지 못한다. 온도, 대기압 등의 환경적인 요소들과 주입하는 사람의 오차 등으로 인하여 최소 5%이상의 오차율이 있다.

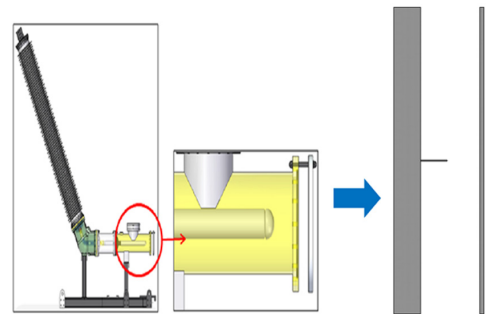
두 번째 방법은 가스의 질량비를 이용한 방법이다. 이것은 가스의 질량을 측정하여 가스용기에 혼합하기 때문에 혼합비를 정확하게 얻을 수 있다. 업체에서 측정한 가스 혼합비율의 신뢰성을 확보하기 위하여 한국 표준과학연구원에 의뢰하여 혼합비에 대한 성분분석을 의뢰한 결과는 아래의 표와 같다.[1]

〈표 1〉 혼합가스 성분 분석 결과

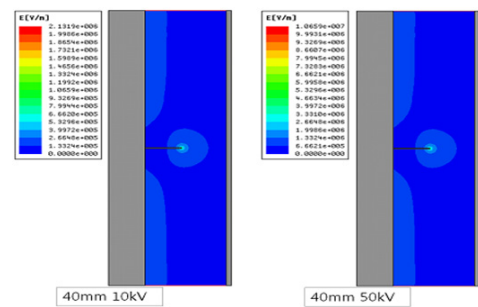
| 혼합비 | 제작사 분석결과 | 한국표준과학연구원 |
|--------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| 20% (SF ₆ 가스 비율) | 20.01% (SF ₆ 가스 비율) | 19.92% (SF ₆ 가스 비율) |
| 50% (SF ₆ 가스 비율) | 49.92% (SF ₆ 가스 비율) | 49.52% (SF ₆ 가스 비율) |

본 시험에 적용한 가스의 혼합하는 방법은 질량비를 측정하여 가스용기에 주입하고 균일한 혼합을 위하여 병을 회전시켜서 내부 가스를 순환시킨 후에 순도와 수분을 측정하여 절연시험에 적용하였다.

2.1.1 해석 및 분석



〈그림 1〉 단순화 모델



〈그림 2〉 전계해석 결과

그림 1은 시험 챔버 및 전체 Layout과 해석을 위한 단순화 모델이다. SF₆ 가스 적용 구간을 제외하고 혼합가스에 대한 부분에 대해서 전계 해석을 실시하였으며 시험 구간의 챔버는 당사에서 사용 중인 72kV의 모델을 적용하여 325kV를 최대 전압으로 하여 해석을 수행하였으며 이 물의 길이는 5~40mm까지 5mm를 제외하고 10mm 간격으로 적용하였다. 그림 2는 도체이물체에 대한 해석결과를 나타낸 것이다. 전압이 상승할수록 이물길이가 짧아질수록 최대전계 값이 커짐을 알 수 있다.

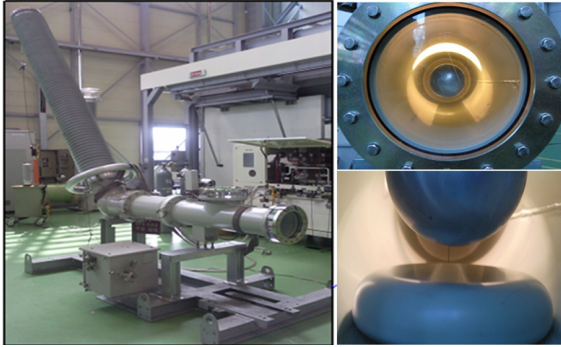
2.2 시험 Process 및 결과

전기절연파괴를 비롯한 각종 파괴현상에서는 계 내의 파괴강도가 가장 낮은 부분(약점부)의 특성에 의해 계전체의 특성이 지배되며 이와 같은 파괴를 약점파괴라 한다. 이와 같은 계에 대한 해석 수단으로 Weibull 분포를 이용한 통계적 수법이 널리 이용되고 있다.

$$V_{50} = V_1 \{-\ln(1-p)\}^{\frac{1}{m}} \quad (\text{식 1})$$

P : 전압 V에서의 누적 파괴 확률
 V1: 척도파라미터(64% 확률강도에 해당)
 m : 형상파라미터(편차)

식 1을 이용하여 시험의 Process를 수립하고 50% 파괴전압을 도출하였다.[2]



〈그림 3〉 시험 챔버 및 내부

그림 3은 시험챔버 및 시험구간의 내부를 나타낸 것이다. 이물은 공장 내에서 작업 후 생성되는 AL이물을 적용하였다.

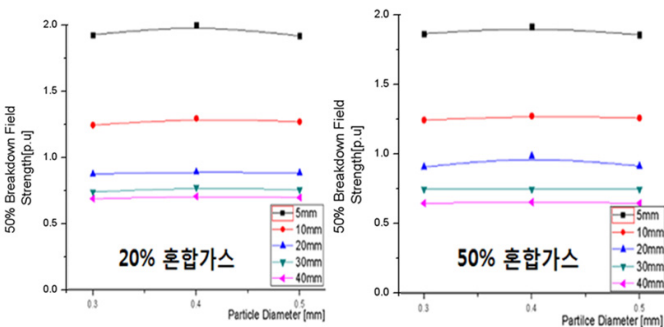
〈표 2〉 LI 시험 분류(총 480Case)

| 분류 | 혼합비율 | 가스압력 | 이물 두께 | 이물 길이 | 극성 |
|----|------------------------------|--------------------|---------------------|--------------------|-----|
| 내용 | 20:80 /50:50/ 100:0[%] | 3/4/5/6/7 [bar] | 0.3/0.4/0.5 [mm] | 5/10/15/20 [mm] | 정/부 |

〈표 3〉 AC 시험 분류(총 180Case)

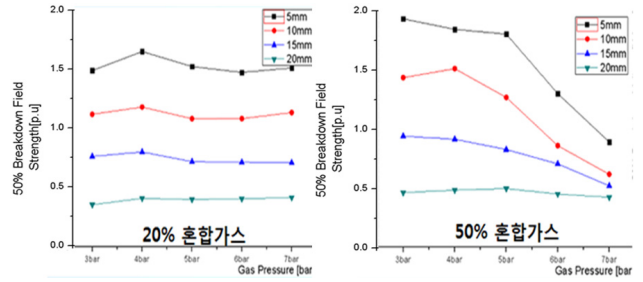
| 분류 | 혼합비율 | 가스압력 | 이물 두께 | 이물 길이 |
|----|------------------------------|--------------------|---------------------|--------------------|
| 내용 | 20:80 /50:50/ 100:0[%] | 3/4/5/6/7 [bar] | 0.3/0.4/0.5 [mm] | 5/10/15/20 [mm] |

표 2,3은 LI/AC 시험 분류를 나타낸 것이다. 1 Case는 LI시험의 경우는 절연파괴횟수를 10회 기준이며 AC시험의 경우는 5회를 기준으로 진행하였다.



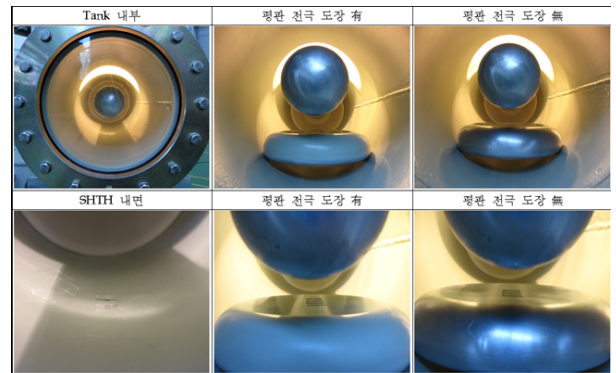
〈그림 4〉 LI시험 결과

그림 4는 도체 이물 파괴시험 결과(LI)를 나타낸 것이다. 직경에 대한 절연 특성의 변화가 거의 없으며 가스압력의 변화와도 무관하다. 50% 혼합가스를 기준으로 20%혼합가스는 87%의 절연성능을 가지며 부극성의 파괴전압이 정극성에 비해 상당히 높았다.



〈그림 5〉 AC시험 결과

그림 5는 도체이물 파괴시험 결과(AC)를 나타낸 것이다. 직경 변화에 대한 절연 특성의 변화가 거의 없으며 AC 내전압 특성은 가스 압력에 따라 심한 변화를 가진다. 절연파괴전압의 예외적인 특성은 SF6가 전기적 부성기체에서만 나타나는 독특한 현상이다. 특정압력에서 절연파괴전압의 최대치가 나타나며 일정 압력 이후에는 일정하게 유지된다. 이러한 현상의 원인은 코로나 안정화 효과에 의한 것으로 공간전하형성에 의한 전계 완화에서 기인한다.[3]



〈그림 6〉 금속 이물의 기립 시험

그림 6은 금속 이물의 기립 시험을 한 챔버 및 내부를 나타낸 것이다. 도장 전 후의 이물 존재시 기립 및 부상 조건을 알기 위해서 진행하였으며 시험결과 도장 전을 기준으로 도장 후가 1.3배정도 부상전압이 상승하였다. 기립은 가스의 종류나 압력에는 상관이 없으며 Particle의 길이에도 무관 하였다. 이물의 부상의 원리는 전류에 의한 전자기력에 의한 현상으로 기인한 것이다. 다만 내부 도장시 금속이물은 부상하기가 힘든 것으로 판단된다.

3. 결 론

본 연구는 초고압 Class의 친환경 제품을 개발하기 위한 기초단계로서 이물 존재시 혼합가스의 절연설계 기준을 만들기 위해서 진행한 연구이다. 이물을 적용한 시험은 사람에 따라 환경조건에 의해 결과 값의 차이가 날 수 있다. 이러한 시험오차를 줄이는 방법은 동일한 시험환경을 만드는 것이 필수사항이다. 도체 이물 부착시 AC의 경우 코로나 안정화 효과로 인하여 가스압력의 높아질수록 파괴전압이 낮아지는 현상을 고려해야 할 것이며 추후 50% 혼합가스 적용한 제품을 개발 할 경우에는 필수적으로 확인할 부분이라 사료된다. 챔버 내의 Particle의 영향에 대한 절연특성연구를 통해 친환경 전력기기 개발에 필요한 혼합가스 특성 기초 DATA로 활용 할 수 있을 것으로 사료된다.

〈참 고 문 헌〉

- [1] 정동훈, "SF6/N2 혼합가스에 대한 절연특성 연구", 대한전기학회 춘계학술대회논문집, 2011
- [2] 정동훈, "혼합가스 절연특성연구", 친환경전력기기연구회, 2010
- [3] L. G. Christophorou et al., "SF6/N2 Mixtures", Trans. of IEEE, Vol. 2 No5, pp. 952-1003, 1995