

동축원통 전극내 금속이물의 부상 및 하강전압 특성

이재걸*, 이곤*, 진상범*, 박현수*, 조국희, 김경화**, 곽희로*

* 송실대학교, 전기연구소, ** 홍성기능대

The Lift-off and Fall-down Characteristics due to Particles in Coaxial Electrode

Jae Gul Lee*, Kon Lee*, Sang Bum Jin*, Hyun Su Park*, Kook Hee Cho, Kyong Hwa Kim,**, Hee-Ro Kwak*
 * Soongsil Univ., KERI, ** Hong Sung Univ.

Abstract - This paper describes the insulation characteristics of GIS by the free conducting particles under alternating voltage. The particles of the GIS can cause decrease in breakdown voltages. Various materials and sizes of free conducting particles were used to study the lift-off and fall-down characteristics. The measured lift-off voltage for copper particle agreed with the calculated one.

GIS를 모의한 동축원통 전극구조내 금속이물의 부상 및 하강 실험용 GIS 모의 챔버를 제작하였으며, 고압발생장치, 실험용 모의 가스챔버, 및 모의 동축원통전극으로 구성하였다. 전극간의 간격은 마이크로미터를 이용하여 10~35[mm]까지 조정이 가능하도록 설계하였으며, 본 연구에서는 전극간격을 15[mm]로 고정하여 실험하였다. 전극내에서 금속이물 부상을 관찰하기 위하여 챔버 외부 원통을 아크릴로 제작하였으며, 전압 인가선, 접지선 및 가스주입구 등을 취부하고 완전히 밀폐시켰다.

1. 서론

산업사회의 발달과 문화생활이 향상됨에 따라 제어·변환이 간편하고 장거리 전송의 고효율성을 지니는 전기에너지의 수요가 급증하고 있다. 이런 전력수요에 부응하기 위해 전력전송 전압이 격상하고 있는 추세이며, 전력설비의 대용량·고전압화는 물론 소형화와 옥내화가 불가피하다. 그러므로 운전 및 보수간의 간편화, 계통운용의 신뢰성과 안정성의 확보가 요구되어 고효율적 운전 특성이 매우 우수한 SF₆ 가스를 절연재료로 사용하는 가스절연개폐장치의 사용이 늘어나고 있다.

GIS는 높은 절연내력을 가지는 SF₆ 가스로 금속용기에 밀폐시킨 밀집되고 안전한 고신뢰성 기기이다. 통상의 운전상태에서는 부분방전이 발생하지 않는 충분한 전계강도로 설계되어 있으나, GIS의 제작, 운반, 현장조립, 가스주입시에 도전성 이물질 등이 발생할 수 있다. 특히 GIS 내의 금속이물은 전계의 영향으로 기립, 부상(lift-off), 비행(hovering) 및 왕복비행(crossing)하거나, 절연 스페이스에 부착 또는 돌기의 형태로 탱크 내면에 부착되어 절연성능을 저하시키기 때문에, GIS의 절연파괴를 유발하는 원인이 되고 있다.[1]

본 연구에서는 교류전압을 인가하였을 때 GIS 내부에 존재할 가능성이 큰 금속이물에 대한 부상 및 하강 특성을 분석하였다. 또한 금속이물의 부상을 해석하기 위해 이론적인 부상전계 값과 실험으로 측정된 부상전계를 비교·분석하고, 금속이물의 길이와 직경이 부상전압에 미치는 영향을 연구하였다. 또한 SF₆ 가스 압력을 변화시켜 부상 및 하강전압을 측정하여 이를 비교하였다.

2. 실험장치 및 방법

본 연구에서 GIS내 금속이물의 영향을 분석하기 위하여,

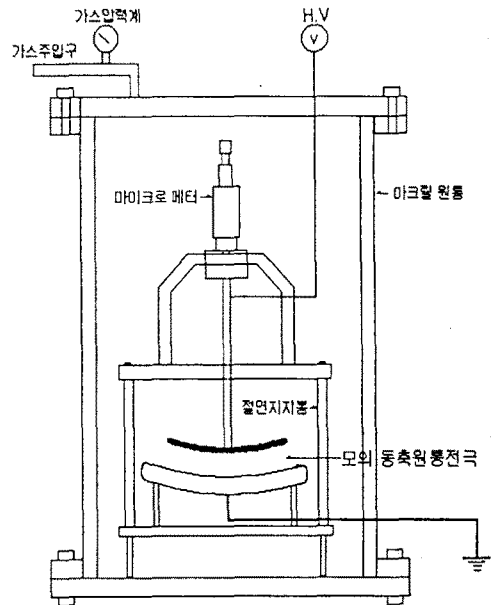


그림 1 모의 GIS 챔버
 Fig. 1 Modelled GIS Chamber

그림 1에 실험에 사용된 모의 동축원통전극 내장 아크릴 가스 챔버를 나타내었다. 모의 동축원통전극의 전극간 거리는 15[mm]로 고정하였으며, 실험에 사용된 금속이물은 선형 금속이물로 구리, 철, 알루미늄이며, 직경 및 길이를 변화시켰다. 금속이물의 부상 및 하강에 대한 압력의 영향을 알아보기 위

해 가스압력을 0.5~2[bar]까지 0.5[bar]간격으로 조절하면서 실험을 하였다.

3. 실험결과 및 고찰

GIS내 금속이물의 존재시 인가전압에 의한 금속이물의 부상은 절연파괴를 유발할 수 있으므로 부상전압은 사전에 파악되어야 한다. 도전성 금속이물이 GIS 내에 자유로이 놓여있는 경우, AC전압 인가시 금속이물의 부상전계식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.[2]

$$E_m = \sqrt{\frac{\rho r k}{\epsilon_0}}, \text{ 또는 } E_{rms} = \sqrt{\frac{\rho r k}{2\epsilon_0}} \quad (1)$$

식 (1)에서 금속이물의 부상은 인가한 AC 전압의 주파수와 금속이물의 길이에는 무관하고, 금속이물의 밀도와 직경의 함수임을 알 수 있다.

그림 2는 SF₆ 가스압력이 2[bar]일 때, 선형 구리 금속이물의 길이와 직경에 따른 부상전압을 나타낸 것이다. 그림에 나타난 바와 같이 금속이물의 직경이 증가함에 따라서 부상전압이 증가하나, 길이가 증가함에 따라서는 약간의 편차가 있으나 부상전압은 거의 일정하게 나타났다. 금속이물의 직경이 커짐에 따라 부상전압의 커지는 것은 식 (1)의 부상전계식과 일치하고 있음을 보여주고 있다.

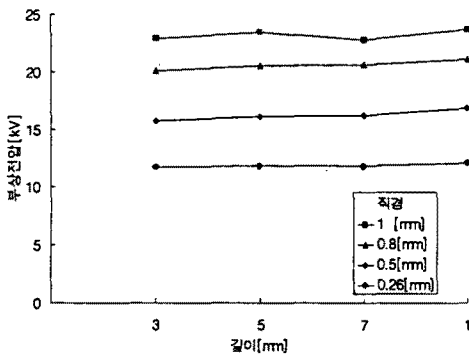


그림 2 금속이물(Cu)의 길이와 직경에 따른 부상전압
Fig. 2 Lift-off voltage to length and diameter of particles(Cu)

금속이물의 길이에 따라 부상전압이 일정하게 나타난 것은, 부상을 지배하는 정전기력과 중력의 상관관계에서 알 수 있다. 즉 금속이물의 길이가 커지면 중량이 길이에 비례하여 증가하나, 축적 전하량도 길이에 비례하여 증가하여 정전기력이 커지므로 부상전압이 거의 일정하게 나타난다. 측정값에서 나타나는 오차는 금속이물과 전극사이의 점도와 영상전하 및 실험조건에 따른 측정오차로 생각된다.

그림 3은 직경에 따른 부상전압의 측정값과 계산값을 비교하여 나타낸 것이다. 금속이물은 길이 10[mm]인 선형구리를 사용하였으며 SF₆ 가스의 압력은 2[bar]로 하였다. 그림에 나타난 바와 같이 직경이 커짐에 따라 부상전압은 커지며, 계산값과 측정값이 거의 일치하였다. 약간의 오차는 금속이물과 전극사이의 점도와 영상전하 및 실험조건에 따른 측정오차 때문

이다.

표 1에는 금속이물의 종류(Cu, Al, Fe)와 압력에 따른 부상전압을 측정하여 나타내었다. 금속이물의 길이는 7[mm]이고, 직경은 구리와 알루미늄이 1.0[mm], 철이 0.95[mm]이며, 전극간격은 15[mm]이다.

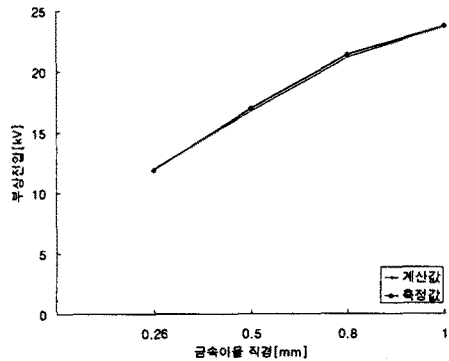


그림 3 금속이물(Cu)의 직경에 따른 부상전압의 계산값과 측정값
Fig. 3 The calculated and measured value of lift-off voltage to particle(Cu) diameter

시험을 10회 이상 측정한 결과를 평균하여 나타내었다. 금속이물의 밀도가 알루미늄이 2.699×10³[Kg/m³], 철은 7.874×10³[Kg/m³], 구리는 8.96×10³[Kg/m³]이므로 금속이물의 밀도가 클수록 더 큰 부상전압이 필요함을 알 수 있다. 또한 SF₆ 가스압력에 따른 금속이물의 부상전압은 거의 일정하게 나타났으며, 이는 식(1)에 보인 바와 같이 부상전압은 재질과는 밀접한 관계가 있으나 가스압과는 무관하기 때문이다.

표 1 금속이물의 재질과 SF₆ 가스압력에 따른 부상전압
Table 1 Lift-off voltage to the particle materials and SF₆ gas pressure

		단위[kV]		
가스압 [bar]	재질	알루미늄(Al)	철(Fe)	구리(Cu)
	1		13.1	21.2
1.5		12.9	20.8	22.9
2		12.5	20.7	22.8

표 2는 구리와 알루미늄의 부상전압과 하강전압을 요약한 것이다. 선형 금속이물의 직경은 0.8[mm], 길이 7[mm]이며, 가스압력을 변화시키면서 부상전압과 하강전압을 측정하였으며, 전극간격은 15[mm]이다. 표에서와 같이 알루미늄과 구리의 하강전압/부상전압의 비율은 재질에 따라 약 10[%]의 차이가 나타났다. 금속이물이 전계에 의해 부상하면 등전위면에 수직으로 왕복운동을 하게되므로, 금속이물의 양단에 전하가 집중되어 전계의 영향을 크게 받게 된다. 그러므로 부상이후 전압을 부상전압 이하로 낮추어도 금속이물은 일정전압까지 기립상태로 유지하게 된다.

표 2 압력별 부상전압과 하강전압 (Cu,Al)

Table 2 Lift-off voltage and fall-down voltage to the pressure (Cu,Al)

전압 [kV] 가스압 [bar]	부상전압(V_f)		하강전압(V_f)		V_f/V_i (실험치)	
	Cu	Al	Cu	Al	Cu	Al
1	20.4	11.8	9.4	6.0	0.46	0.51
1.5	20.5	11.9	9.5	6.8	0.46	0.57
2	20.7	12.2	9.5	7.2	0.46	0.59

또한 직경은 같고 길이는 10[mm]인 선형 구리 금속이 물로 실험한 결과, 부상전압은 1.5[bar]에서 20.5 [kV]로 거의 일정하게 나타났으나 하강전압은 7[kV]로 측정되어 하강/부상 전압비는 약 34[%]로 계산되었다. 이는 금속 이물의 길이가 길어질수록 전극과의 간격이 좁아지므로 전계의 영향이 증가하여, 보다 낮은 전압에서 하강이 이루어지기 때문이다. 따라서, 직경이 같고 길이가 길어지면 부상전압은 길이에는 큰 영향을 받지 않고 단지 하강 전압이 약간 낮아지는 것을 알 수 있었다.

4. 결론

GIS 내부에 금속이물이 존재할 때, 금속이물의 부상 및 하강특성의 연구 결과는 다음과 같다.

1. 금속이물의 부상전압은 금속이물의 직경이 증가함에 따라서 부상전압이 증가하나, 길이가 증가함에 따라서는 약간의 편차가 있으나 부상전압은 거의 일정하게 나타났다.
2. 금속이물 부상전계의 계산값과 측정값은 거의 일치하나, 측정값이 계산값보다 약간 높게 나타났으며, 오차는 금속이물과 전극사이의 점도와 영상전하 및 실험조건에 따른 측정오차로 생각된다.
3. GIS내 금속이물 재질의 밀도가 높을수록 부상전계는 크게 나타났으며, 가스압력에 따라서는 거의 일정하게 나타났다.
4. 부상한 금속이물은 부상 이전보다 강한 전계의 영향을 받기 때문에 하강은 부상전압보다 낮은 전압에서 이루어지며, 하강전압은 금속이물의 길이가 증가할수록 약간 감소한다.

참고문헌

- [1] Alan H. Cookson et. al, "Particle - Initiated Breakdown between Coaxial Electrodes in Compressed SF₆", IEEE Transactions on Power Apparatus and systems, Vol. PAS-93, No. 3, pp. 343~349, 1973.
- [2] E. Steinger, "The Breakdown. Behavior of SF₆ under DC, AC and Impulse Voltage Stress." E. T. Z-A, Vol. 86, pp. 583-590, 1965.
- [3] T. Hattori at. al, "A Study on Effects of Conducting Particles in SF₆ Gas and Test Methods for GIS", IEEE Transactions on Power

Delivery, Vol. 3, No. 1, 1988.

- [4] Alan H. Cookson at. al, "Particle-Initiated Breakdown between coaxial Electrodes in Compressed SF₆", IEEE Transactions on Power Apparatus and aasystem, Vol. PAS-91, No. 3, pp. 343~349, 1973.