

SF₆절연기기내 금속이물의 거동특성

Motion Characteristic of Particle in SF₆ Gas Equipment

이재걸*, 이강수, 고영주, 곽희로, 김경화*, 조국희**, 박하용***
승실대학교, 흥성기능대*, 한국전기연구소**, 삼척산업대***

Jae-Gul Lee*, Kang-Soo Lee, Young-Ju Ko, Hae-Ro Kwak, Kyong-Hwa Kim*, Kook-Hui Cho**, Ha-Young Park***
Soongsil Univ., Hong Sung Univ., KERI**, Sam Chuk Univ.***

1 서론

산업사회의 발달 및 도시기능의 고도화 등으로 제어·변환이 간편하고 장거리 전송의 고효율성을 지니는 전기에너지의 수요가 급증하고 있다. 이런 전력수요에 부응하기 위해 전송전압이 격상하고 있는 추세이며, 전력설비의 대용량·고전압화는 물론 소형화와 옥내화가 불가피하다. 그러므로 운전 및 보수의 간편화, 계통운용의 신뢰성과 안정성의 확보가 요구되어 절연내력과 열적 특성이 매우 우수한 SF₆가스를 절연 소호 매체로 사용하는 가스절연개폐장치(GIS)의 사용이 증가하고 있다^{[1]-[2]}. 그러나 SF₆ 가스 절연기기는 SF₆가스를 금속용기에 밀폐시킨 매우 콤팩트한 기기이기 때문에 초고압 GIS 변전소의 경우 크기가 종래의 약 1/20까지 축소됨으로써 설계전계치가 증가하여 미소결함이 존재할 경우 부분방전 및 절연파괴에 까지 이르게 된다. 그러므로 GIS의 제작 및 동작중의 기계적 마모 등으로 인하여 금속이물이 발생하면, 시스템의 절연내력이 감소하여 사고가 발생하게 된다^[3].

그러므로, GIS의 사고를 유발하는 금속이물에 대한 영향을 파악하는 것은 GIS의 성능향상 및 경제적인 운용에 매우 중요하다. 자유 도전성 금속이물은 돌기와 같은 고정된 이물과는 달리 인가전계의 영향으로 시스템 내에서 자유롭게 전극간 왕복운동을 한다. 이러한 자유 도전성 금속이물은 높은 전계왜곡을 일으키고 이에 따라 금속이물 주변에서 전리작용을 야기하며, 결국은 절연파괴를 유발한다. 따라서 GIS의 설계 및 안정적인 운전을 위해서는 SF₆가스의 절

연파괴를 유발하는 금속이물의 부상 및 거동특성을 파악하는 것은 매우 중요하다^[4].

본 논문은 고전계내에서 자유도전성 금속이물의 부상 및 거동특성을 연구하였다. 평행평판 전극구조 내의 선형의 도전성 금속이물을 대상으로 교류전압을 인가하였을 경우의 금속이물의 위치에 따른 부상전계 및 대전 전하량을 수치적으로 계산하였다. 실제 평행평판 전극 내에 다양한 크기의 선형 및 구형 도전성 금속이물을 혼입하여 부상전계의 측정 및 고속카메라를 이용하여 부상 시간, 부상높이 등의 거동특성을 분석하였다.

2 실험장치 및 방법

본 연구에서 실험장치는 고압발생장치, 평행평판 전극내장 실험용 모의 가스챔버, 그리고 고속카메라로 구성하였다. 가스챔버는 전계에 의한 금속이물의 재질에 따른 거동특성을 실험하기 위해 GIS를 모의하여 내부를 관찰할 수 있도록 아크릴을 이용하여 원통형으로 제작하였다. 그리고 전압인가선, 접지선 및 가스주입구등을 취부하고 완전밀폐를 하였다.

그림 1은 가스챔버내에 설치한 평행평판 전극의 단면도이다. 내부의 전극은 전계에 의한 금속이물의 거동을 분석하기 위해 원형의 평판-평판전극을 사용하였다. 평판전극의 크기는 상부전극의 직경 80[mm], 하부전극의 직경 100[mm], 모서리부의 곡률 반경은 5[mm]로 제작하였다. 전극간격은 최대 7[cm]까지 조절할 수 있도록 제작하였다. 또한, 전극의 모서리 부분은 근사 로고우스키 전극의 형태로 제작하여, 전계의 왜형을 최대한 감소시켰다.

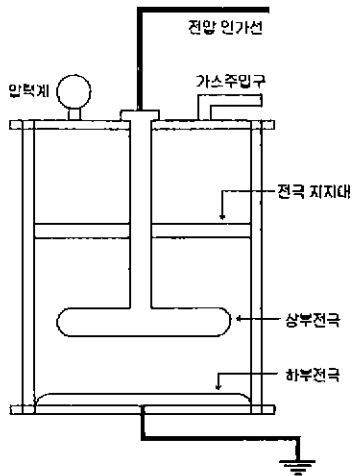


그림 1 평행평판 전극 내장 모의 GIS가스챔버

고속카메라의 프레임 속도는 480[Frame/s]이며, 평판-평판전극 정면에 수평으로 1.5[m]거리에 설치하여, 금속이물의 거동을 관찰하였다.

SF₆가스압력 2[bar], 전극간격 15[mm]에서 선형 및 구형 금속이물의 크기에 따른 부상전압을 측정하였으며, 직경 0.5[mm], 길이[5mm]인 선형의 구리 금속이물과 직경 1.6[mm], 2.6[mm]의 구형의 철 금속이물에 대해 고속카메라를 사용하여 거동형태를 촬영하였다. 촬영된 데이터는 운동해석 프로그램인 "ANALYZE"를 이용하여 각 Frame에서의 금속이물의 위치를 시간과 이동거리의 그래프로 나타내었다.

3 실험결과 및 고찰

3.1 금속이물의 부상전압 및 대전 전하량

선형 구리 금속이물의 길이와 직경에 따라 측정된 부상전압 값을 그림 2에 나타냈다. 금속이물의 부상은 GIS내부에 혼입된 금속이물이 전계의 왜형을 발생시키고, 이에 따라 금속이물에 강한 정전력이 작용하여 이루어진다.

그림 2는 SF₆ 가스압력이 2[bar]이고 전극간격이 15[mm]의 일 때, 직경이 0.26, 0.5, 0.8, 1.0[mm]인 금속이물의 길이에 따른 부상전압의 측정값이다. 그림에 나타난 바와 같이 금속이물의 직경이 증가함에 따라 부상전압이 증가하고,

길이가 증가함에 따라서는 약간의 편차는 있으나 부상전압은 거의 일정하게 나타났다.

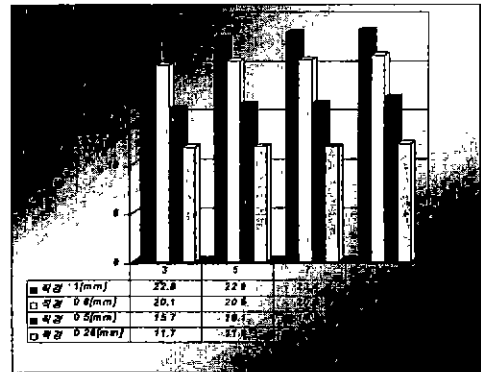


그림 2 SF₆ 가스중에서 선형 금속이물(Cu)의 길이와 직경에 따른 부상전압

금속이물의 길이가 커지면 질량이 길이에 비례하여 증가하나, 대전 전하량도 길이에 비례하여 정전기력이 커지므로 부상전압은 거의 일정하게 나타난다. 그러나 직경 변화의 경우에는 직경의 증가에 따라 대전 전하량도 증가하나, 질량의 증가 비율이 대전 전하량의 증가 비율보다 크기 때문에 선형 금속이물의 부상전압은 직경에 의해 큰 영향을 받는다.

그림 3은 기립한 순간의 선형 금속이물의 길이와 직경에 따른 대전 전하량을 나타내었다. 그림 3에 나타난 금속이물에 대전되는 전하량은 식 1의 금속이물의 형태에 따른 전하량 계산식에 의해 계산된 값으로 길이와 직경의 증가에 따라 전하량이 증가하는 것을 볼 수 있다.

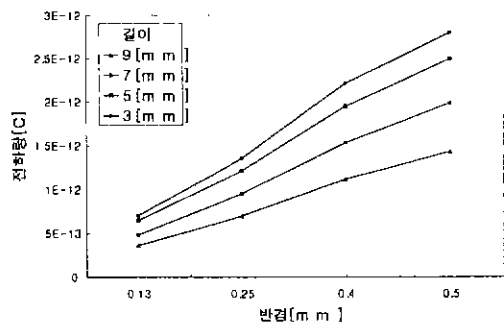


그림 3 기립시 선형 금속이물의 길이 및 직경에 따른 대전 전하량

(선형) $Q = 2\pi\epsilon_0 r l E$ (식 1)

(구형) $Q = 2\pi^3 \epsilon_0 r^2 E / 3$

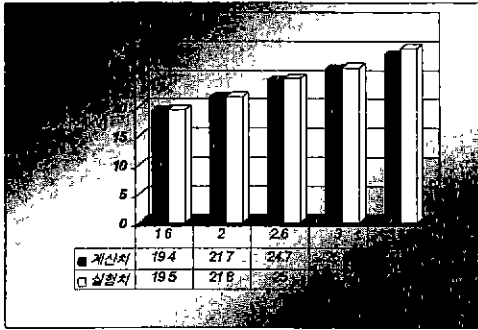


그림 4 SF₆ 가스중에서 구형 금속이물(Fe)의 직경에 따른 부상전압

그림4는 구형 금속이물(Fe)의 직경에 따른 부상전압의 계산치와 실험치를 나타낸 것이다. 구형 금속이물은 직경이 커질수록 질량이 증가하여 중력의 영향이 크므로, 직경에 따라 부상전압의 현저한 차이를 보인다. 실험치는 10회의 실험결과를 평균한 값으로, 계산치와 약간의 차이가 있으나 비슷한 경향을 나타내고 있다. 계산치와 실험치의 편차는 계산식에서 무시된 점성력등의 요인과 실험과정의 측정오차로 생각된다.

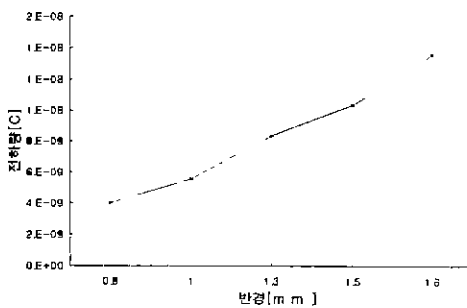


그림 5 구형 금속이물의 직경에 따른 대전 전하량

그림 5는 부상시 구형 금속이물의 직경에 따른 대전 전하량의 변화를 나타낸 것이다. 금속이물의 직경에 따라 전하량이 증가한 것은 직경에 따라 부피가 커지기 때문이다.

3.2 금속이물의 거동분석

그림 6은 고속카메라를 이용하여 촬영된 데이터를 운동해석 프로그램인 "ANALYZE"를 이용하여 각 Frame에서 금속이물의 위치를 측정하여 그래프로 나타낸 것이다.

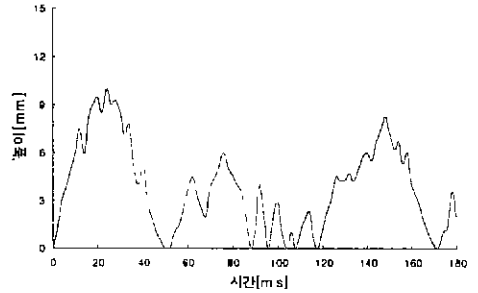


그림 6 선형 금속이물의 부상 (구리)

직경 0.5[mm], 길이 5[mm]인 선형 구리 금속이물은 약 16.5[kV]에서 부상하였으며, 그림 6은 인가전압 18.5[kV]에서 동일 크기의 금속이물의 거동위치를 약 2.1[ms]간격으로 Plotting한 곡선이다.

그림 6의 180[ms](약 11.2[cycle])동안 금속이물은 대략 8회 부상하였으며, 부상전압 보다 큰 전압을 인가하였기 때문에 첫 번째 부상시간과 높이가 크게 나타났다. 최대 부상높이는 약 10[mm]로, 이때 금속이물은 인가전압 주파수의 영향으로 가스중에서 요동하면서 부유하는 것으로 생각된다.

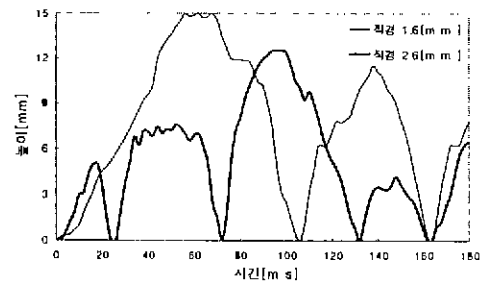


그림 7 구형 금속이물의 부상 (철)

그림 7은 구형 금속이물의 거동을 나타낸 것으로 직경 1.6[mm]와 2.6[mm]의 구형 철 금속이물에 대한 거동양상이다. 직경 1.6[mm]

인 금속이물에는 18[kV], 직경 2.6[mm]의 금속이물에는 27[kV]의 전압을 인가하였다. 직경 1.6[mm]인 금속이물은 첫 번째 부상에서 상부전극에까지 도달하여 상부전극주위에서 약 20[ms]동안 부유하였으며, 전체 180[ms]동안 약 3회의 부상을 하였다. 즉 질량이 작기 때문에 일단 부상을 하게되면 직경 2.6[mm]인 금속이물보다 오래동안 부상을 유지하며, 부상 높이 또한 보다 높게 나타난다. 직경 2.6[mm]의 금속이물은 180[ms]동안 약 5회의 부상을 하였으며, 두 번째 부상에서는 최대 높이에서 오래동안(약 30[ms]) 전극간에서 부유하였다.

4 결론

본 논문에서는 SF₆가스내 금속이물의 종류에 따른 부상전압, 부상시의 대전 전하량에 대한 분석과 거동특성에 대한 연구결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 선형 금속이물의 부상전압은 길이의 변화에 의해서는 영향을 받지 않으나 직경의 변화에 의해서는 큰 영향을 받는다. 이는 금속이물의 길이가 커지면 질량이 길이에 비례하여 증가하나, 대전 전하량도 길이에 비례하여 증가하므로 부상전압은 거의 일정하게 된다. 그러나 직경 변화의 경우에는 질량의 증가비율이 대전 전하량의 증가 비율보다 크기 때문에 선형 금속이물의 부상전압은 직경에 의해 크게 좌우된다.
2. 구형 금속이물의 부상전압은 계산치와 실험치가 거의 일치하였으며, 직경이 커질수록 부상전압은 증가하였다.
3. 선형 금속이물과 구형 금속이물은 인가 전압의 영향으로 전극간을 상하로 운동하였다. 금속이물의 운동은 질량이 작을수록 부유시간이 길게 나타났으며, 부상 높이도 높게 나타났다.

참고문헌

- [1] B. Wahlström, W. Lord, K. Petterson and R. Alvinson, "Experiences and Considerations Regarding Erection Testing and Operation Availability of GIS in Sweden", CIGRE, Paris, Paper No. 23-07, 1988.
- [2] K. Kaminaga, M. Koshiishi, T. Hayashi, M. Matsuki, T. Hara and N. Sugiyama, "Development of Compact 500kV 8000A Gas Insulated Transmission Line-dirt Control during Field Jointing and Method for Detecting Conductive Particles", IEEE Trans. Power Del., vol. PWRD-2, pp. 961-968, 1989.
- [3] A.H. Cookson, P.C. Balin and H.C. Doepken, "Recent Research in the United States on the Effect of Particle Contamination Reducing the Breakdown Voltage in Compressed Gas-Insulated Systems. CIGRE, 15-09, 1976.
- [4] Ming, "Influence of Conducting Particles on the SF₆ Gas Gap Breakdown and Spacer Flashover in GIS", Doctoral Thesis, Chalmers Univ. of Tecnol., Göteborg, 1987.