

모의 GIS내 금속이물의 거동특성

(Motion Characteristic of Particle in Model GIS)

김경화* · 이재걸** · 곽희로***

(Kyung-Hwa Kim · Jae-Gul Lee · Hee-Ro Kwak)

요 약

본 논문에서는 교류전압 인가시 모의 GIS내에 존재하는 금속이물의 거동현상에 대해 연구하였다. 평행평판 전극을 내장한 가스챔버를 설계·제작하고, 전극내 선형 및 구형의 금속이물에 대해 부상전압을 계산 및 측정하였다. 또한 각각의 금속이물에 대전되는 전하량을 계산하였다. 고속카메라를 이용하여 금속이물의 종류 및 인가전압에 따른 거동양상과 부상시간, 부상높이 등의 거동특성을 분석하였다.

전계인가시 금속이물의 대전 전하량은 금속이물의 크기에 따라 증가하며, 부상전압은 선형 및 구형 금속이물의 직경에 큰 영향을 받는 것으로 나타났다. 금속이물의 부상이후 부상전압 부근의 전압에서의 선형 금속이물은 기립 후 전극과 거의 수직인 상태로 상하 왕복운동을 하며, 거의 수직상태로 움직이는 거동 형태를 나타내었다. 절연과괴전압에 가까운 전압에서의 금속이물은 부상 중에 수회 수직회전을 반복하며, 장시간 부유하였다.

Abstract

This paper describes the motion characteristics of a particle in GIS under AC voltage. To measure the motion characteristics of the particle, a model gas chamber and parallel plain electrodes were designed and manufactured. Lift-off voltages of wire and spherical particles on the electrode were calculated and measured, and electric charge was calculated. By using a high speed camera, the motion characteristics of various particles with applied voltages, such as motion pattern, lift-off time, lift-off height, were analyzed. The lift-off voltages were greatly affected by diameters of wire and spherical particles. At voltage around lift-off voltage, the stand-up particle in vertical state moved up and down between electrodes and the height of the lift-off particle was low. At voltage around breakdown voltage, the particle repeated vertical rotation a few times while they were being lifted off, and then, they were floating between the electrodes.

1. 서 론

산업사회의 발달 및 도시기능의 고도화 등으로 전 송전압이 격상하고 있는 추세이며, 전력설비의 대응

량·고전압 화는 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]-[3]. 그러나 SF₆가스 절연기기는 SF₆가스를 금속 용기에 밀폐시킨 매우 콤팩트한 기기이기 때문에 초 고압 GIS변전소의 경우 크기가 종래의 약 1/20까지

*정 회 원 : 홍성기능대 전기과 교수

** 정 회 원 : 숭실대학교 공과대학 전기공학과 교수

*** 정 회 원 : 숭실대학교 대학원 전기공학과 박사과정

접수일자 : 1999년 9월 28일

축소됨으로써 설계전계치가 증가하여 미소결함이 존재할 경우 부분방전 및 절연파괴에 까지 이르게 된다. 그러므로 GIS의 제작, 설치 또는 동작중의 기계적 마모 등으로 인하여 금속이물이 발생하면, GIS의 절연내력이 감소하여 사고가 발생하게 된다[4]-[6].

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 GIS내에서 자유롭게 전극간 왕복운동을 하며, GIS의 구조나 크기, 인가전압에 따라 그 거동양상이 다르게 나타난다. 이러한 자유 도전성 금속이물은 큰 전계왜곡을 일으키고 이에 따라 금속이물 주변에서 전리작용을 야기한다. 또한 전극내에서 대전된 금속이물의 발달에서 미소한 방전이 발생하고 결국에는 전극간에 절연파괴가 일어난다. 따라서 GIS의 설계 및 안정적인 운전을 위해서는 SF₆가스의 절연파괴를 유발하는 금속이물의 부상 및 거동특성을 정확히 파악하는 것은 매우 중요하다[7-11].

본 논문에서는 고전계내에서 자유도전성 금속이물의 부상 및 거동특성을 연구하였다. 평행평판 전극구조 내의 선형 및 구형의 도전성 금속이물을 대상으로 교류전압을 인가하였을 경우 금속이물의 부상전압 및 대전 전하량을 계산하였다. 또한 다양한 크기의 선형 및 구형 도전성 금속이물을 혼입하여 부상전압을 측정하였으며, 고속카메라를 이용하여 부상시간, 부상높이 등의 거동특성을 분석하였다.

2. 실험장치

2.1 장치구성

본 논문에서 구성한 실험장치는 고전압 발생 및 측정장치, 평행평판 전극내장 실험용 모의 가스챔버, 고속카메라, 제어·저장 및 분석장치로 구성되어 있다. 그림 1에 금속이물의 거동분석을 위한 실험장치의 개략적인 구성을 나타내었다.

고전압 발생장치로부터 공급되는 전압은 고전압 측정장치로 측정하여 정확한 인가전압의 크기를 알 수 있다. 고압 발생부에서 가스챔버까지의 연결은 전선이나 접속부의 예리한 부분에서 부분방전이 발생할 수 있으므로 직경 15[mm]의 동관을 완만하게 구부려 접속하였다. 고속카메라는 평행평판 전극 정면에 수평으로 1.5[m]거리에 설치하여, 금속이물의 거동을 관찰하였다.

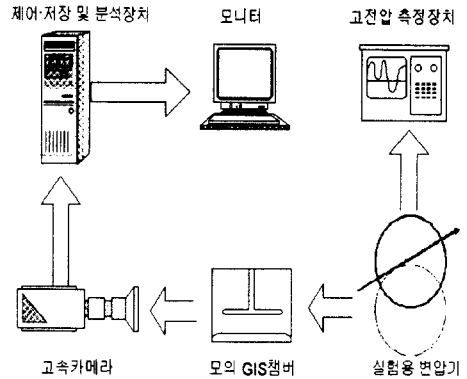


그림 1. 실험장치의 개략도
Fig. 1. Schematic diagram of experimental device

2.2 모의 가스챔버

모의 GIS 가스챔버는 내부에 존재하는 금속이물의 거동양상을 관찰할 수 있도록 그림 2와 같이 내부가 보이는 아크릴을 사용하여 챔버를 제작하였으며, 가스주입구, 압력계, 전압인가선 및 집지선을 취부하였다. 챔버는 가스압 3[bar]까지 견딜 수 있도록 제작하였다. 평판전극은 원형으로 제작하였으며, 상부전극은 직경 80[mm], 하부전극은 직경 100[mm], 전극간격은 최대 70[mm]까지 조절할 수 있도록 제작하였다. 또한, 전극의 모서리 부분은 반경 5[mm]의 근사 로고우스키 전극의 형태로 제작하여, 전계의 왜형을 최대한 감소시켰다.

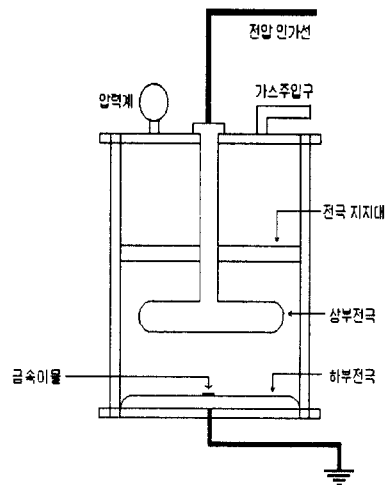


그림 2. 모의 GIS 가스챔버
Fig. 2. Model GIS gas chamber

2.3 고속카메라

전극간 금속이물의 거동양상을 분석하기 위해 고속 카메라를 이용하여 금속이물의 운동을 촬영하였다. 금속이물의 거동은 매우 빠른 속도로 이동하기 때문에 최고 1091[Frame/s]의 고속도 촬영이 가능한 고속카메라를 사용하였다.

본 실험에서 사용된 고속카메라는 SpeedCam+ 디지털 고속 카메라 시스템으로, 시스템의 구성은 그림 3과 같다.

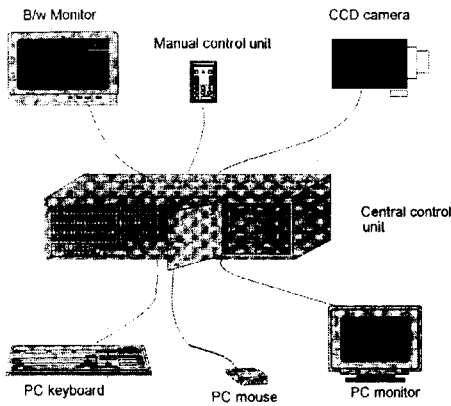


그림 3. 고속 카메라 시스템 구성도
Fig. 3. System configuration of high speed camera

SpeedCam+ 디지털 고속 카메라 시스템은 CCD 카메라, 수동제어 Unit, 모니터, 키보드 등이 Central control unit에 연결되어진다. SpeedCam+ 디지털 고속 카메라 시스템은 빠른 연속동작을 Digital solid state loop memory에 저장한다. 저장된 영상신호는 PC 모니터를 통해 필요한 만큼의 속도로 재생시키는 것은 물론 저장된 영상신호를 Central control unit상의 프로그램으로 분석할 수 있다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 금속이물의 대전 전하량 및 부상전압

그림 4에 선형 금속이물의 길이와 직경에 따른 대전 전하량을 나타내었다. 그림에서의 각 점들은 실험에 사용된 금속이물 반경에서의 측정값들을 나타내고 있다.

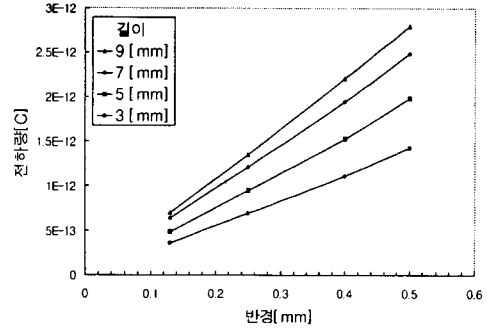


그림 4. 선형 금속이물의 대전 전하량
Fig. 4. Electric charge quantity of linear metallic particle

그림 4의 선형 금속이물에 대전되는 전하량은 표 1에 나타난 전하량 계산식에 의해 계산된 값으로 길이와 직경의 증가에 따라 전하량이 증가하는 것을 볼 수 있다. 그림에서 계산된 전하량은 각각의 금속이물의 직경에 따른 부상전압에서 대전되는 전하량을 나타낸 것이다.

표 1. 금속이물의 전하량과 부상전계
Table 1. Charge quantity and lift-off electrical field of metallic particle

금속이물의 형태	전하량 [Q]	부상전계[E]
구형	$2\pi^3 \epsilon_0 r^2 E/3$	$0.49(\rho g r / \epsilon_0)^{1/2}$
선형 (부운 상태)	$2\pi \epsilon_0 r l E$	$[r g \rho / (2\epsilon_0)]^{1/2}$
선형 (기립 상태)	$\frac{\pi \epsilon_0 l^2 E}{[\ln(2l/r) - 1]}$	$\left[\frac{\ln(2l/r) - 1}{r^2 \rho / (\epsilon_0 k (\ln(l/r) - 0.5))} \right]$

여기서,

g : 중력가속도 (98 m/s²)

ϵ_0 : 자유공간의 유전율(8.854×10⁻¹²F/m)

r : 구형 또는 선형 금속이물의 반경

l : 선형 금속이물의 길이

E : 국부전계

ρ : 밀도

선형 구리 금속이물의 길이와 직경에 따라 측정된 부상전압 값을 그림 5에 나타내었다. 그림 5는 SF6 가스압력이 2[bar]이고 전극간격이 15[mm] 일 때, 직경이 0.26, 0.5, 0.8, 1.0[mm]인 금속이물의 길이에 따

른 부상전압의 계산치와 측정치이다. 계산치는 각각의 직경에 대해, 표 1의 계산식에 의한 값이다. 그림에 나타난 바와 같이 금속이물의 직경이 증가함에 따라 부상전압이 증가하고, 길이가 증가함에 따라서는 약간의 편차는 있으나 부상전압은 거의 일정하게 나타났다. 측정치가 계산치보다 약간 높게 나타났으나, 이는 점성력의 무시 및 측정시의 오차에 의한 것으로 생각된다.

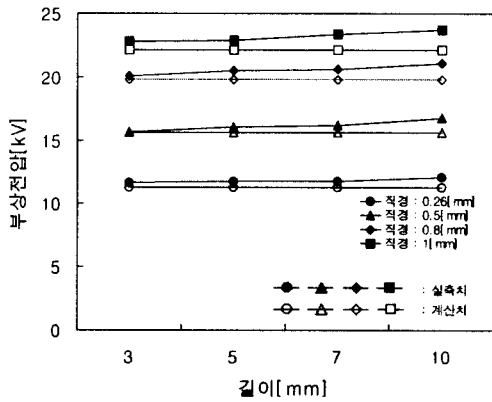


그림 5. SF₆ 가스중에서 선형 금속이물(구리)의 길이와 직경에 따른 부상전압
Fig. 5. Lift off voltages with length and diameter of linear metallic particle (Cu) in SF₆ gas

길이와 직경의 변화가 부상전압에 미치는 영향을 고찰하면, 금속이물의 부상은 금속이물에 미치는 정전력과 중력의 두 가지 힘에 의해 발생하는데, 금속이물에 미치는 정전력은 인가전압에 의해 금속이물에 대전되는 전하량과 관계가 있고, 중력은 질량과 관계가 있다. 금속이물의 부상시 대전 전하량은 그림 4에서와 같이 금속이물의 직경과 길이에 비례하여 증가하는 반면, 금속이물의 질량은 직경의 제곱 및 길이에 비례하므로 부상전계는 금속이물의 길이에는 영향을 받지 않고 직경이 커질수록 증가한다.

즉, 부상은 중력과 정전력의 관계에서 이루어지는데, 직경이 증가할수록 중력의 영향이 커지기 때문에 더 높은 인가전압을 필요로 한다는 것을 의미한다.

그림 6은 구형 금속이물의 반경에 따른 부상시 대전 전하량의 변화를 나타낸 것이다. 구형 금속이물의 경우도 선형 금속이물의 경우와 같이 크기가 커짐에 따라 금속이물에 대전되는 전하량도 증가하는 것을 알 수 있다.

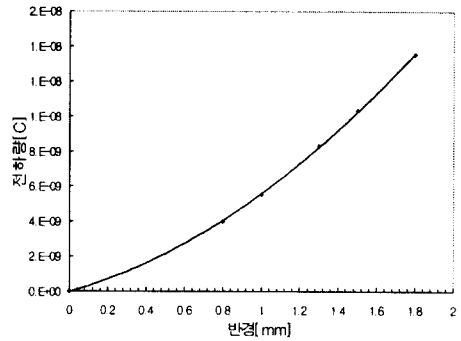


그림 6. 구형 금속이물의 반경에 따른 대전 전하량
Fig. 6. Electric charge quantity with radius of spherical metallic particle

그림 7은 전극간격이 15[mm]일 경우, 구형 금속이물(철)의 직경에 따른 부상전압의 계산치와 실험치를 나타낸 것이다.

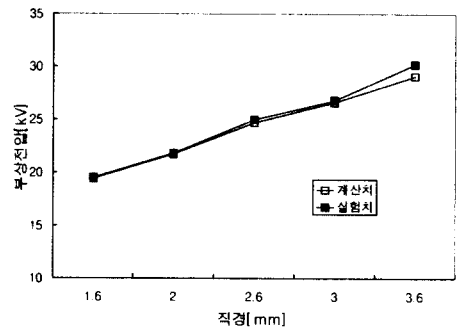


그림 7. SF₆ 가스중에서 구형 금속이물(철)의 직경에 따른 부상전압
Fig. 7. Lift off voltages with diameter of spherical metallic particle (Fe) in SF₆ gas

금속이물의 부상시 대전 전하량은 그림 6에서와 같이 금속이물 직경의 제곱에 비례하여 증가하는 반면, 금속이물의 질량은 직경의 3제곱에 비례하여 증가하므로 부상전계는 직경이 커질수록 증가한다. 즉 구형 금속이물은 직경이 커질수록 질량이 직경의 3제곱으로 증가하여 중력의 영향이 더 크므로, 직경에 따라 부상전압의 현저한 차이를 보인다. 실험치는 10회의 실험결과를 평균한 값으로, 계산치와의 차이는 계산식에서 무시된 점성력등의 요인으로 생각된다.

3.2 금속이물의 거동특성

GIS내부에 혼입된 다양한 형태의 금속이물은 인가전압의 크기에 의해 불규칙적인 운동을 한다. 균일 전계에 놓여 있는 도전성 금속이물은 일정전압에서 부상을 시작하고, 전압이 상승되면 금속이물은 전극간에서 반동운동을 하는 데 그 상승 높이는 인가전압에 의해 결정된다. 그림 8은 고속카메라를 이용하여 선형 금속이물의 거동위치를 Plotting 한 것으로, 촬영된 데이터는 운동해석 프로그램을 이용하여 각 Frame에서 금속이물의 위치를 측정하여 그래프로 나타내었다. 전극 간격이 15[mm]일 경우, 직경 0.5[mm], 길이 5[mm]인 선형 구리 금속이물은 약 16.5[kV]에서 부상하였으며, 그림 8은 인가전압 18.5[kV]에서 동일 크기의 금속이물의 거동위치를 약 2.1[ms]간격으로 Plotting한 곡선이다. 이것은 금속이물의 하단의 운동궤적을 나타낸 것이다.

그림 8에 나타난 바와같이 약 180[ms](약 11.4[cycle]) 동안 금속이물은 대략 8회 부상하였으며, 부상전압 이상의 높은 전압을 인가하였기 때문에 첫 번째 부상시간과 높이가 크게 나타났다.

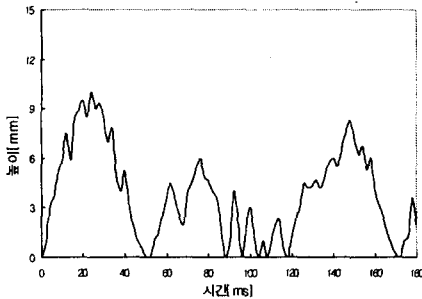


그림 8. 선형 금속이물(구리)의 부상 : 인가전압 18.5 [kV], 금속이물 직경 0.5 (mm), 길이 5 (mm)

Fig. 8. Lift off of linear metallic particle (Cu) : applied voltage 18.5 [kV], particle diameter 0.5 (mm), length 5 (mm)

최대 부상높이는 약 10[mm]로 상부전극에 도달하였으며, 이때 금속이물은 인가전압 주파수의 영향으로 가스 중에서 요동하면서 부유하는 것을 관찰할 수 있었다. 금속이물의 부상은 인가전압과 밀접한 관계가 있기 때문에 임계부상전압에서는 선형금속이물의 경우, 단지 기립하는 정도로 부상높이가 낮으나, 임계치 이상의 높은 전압에서는 부상즉시 정전력과 관성에 의해 회전하는 것을 볼 수 있었다.

그림 9는 구형 금속이물의 거동을 나타낸 것으로 전극간격이 15[mm]일 경우, 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 3회 부상하였다. 즉 질량이 작기 때문에 직경 2.6[mm]인 경우의 인가전압 27[kV]보다 낮은 전압인 18[kV]를 인가하였음에도 불구하고 일단 부상을 하게되면, 직경 2.6[mm]인 금속이물보다 오랫동안 부상을 유지하며, 부상 높이 또한 보다 높게 나타났다.

직경 2.6[mm]의 금속이물은 180[ms]동안 약 5회 부상하였으며, 두 번째 부상에서는 전극간에서 약 30[ms]동안 6~8[mm] 높이에서 부유하였다.

구형 금속이물의 거동은 선형 금속이물에 비해 주로 단조로운 상하왕복운동만을 반복하였다.

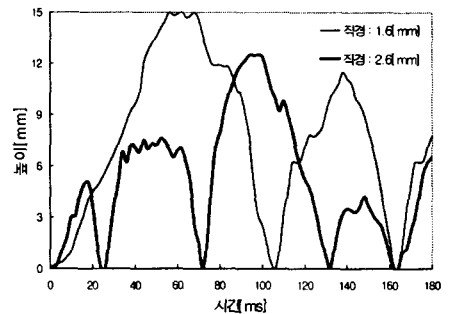
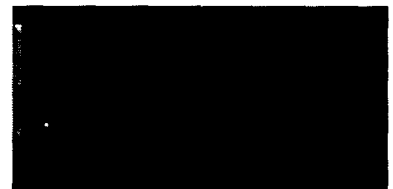


그림 9. 구형 금속이물(철)의 부상 : 인가전압 18 [kV] (직경 1.6 (mm)), 27 [kV] (직경 2.6 (mm))

Fig. 9. Lift off of spherical metallic particle (Fe) : applied voltage 18 [kV] (diameter 1.6 (mm)), 27 [kV] (diameter 2.6 (mm))

사진 1은 전압 18.5[kV]인가시, 직경이 0.5[mm]이고 길이가 5[mm]인 선형금속이물(구리)의 기립과정을 관측하여 나타낸 것이다.



(a) 누워있는 상태



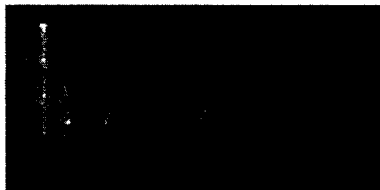
(b) 약 4.2[ms] 후



(c) 약 8.5[ms] 후



(d) 약 14.8[ms] 후



(e) 약 19[ms] 후



(f) 약 23.2[ms]후 (기립)

사 진 1. 금속이물의 기립

Photo 1. Standing up of metallic particle

선형 금속이물의 인가전압에 따른 거동양상은 그림 10과 그림 11에 나타내었다. 그림 10과 그림 11은 직

경 0.3[mm], 길이 5[mm]의 철제 선형 금속이물에 17[kV]와 35[kV]의 전압을 각각 인가하였을 때의 거동특성이다.

그림 10에서 알 수 있는바와 같이 직경 0.3[mm], 길이 5[mm]인 금속이물은 한쪽 끝(상단)의 부상개시 후 약 10[ms]의 시간이 경과한 후에 금속이물의 다른 끝(하단)이 전극 면으로부터 부상하였다. 금속이물은 상하운동을 하였으며 가장 높이 부상한 것은 약 95[ms] 경과 후 상단 끝이 약 8.2[mm]였다.

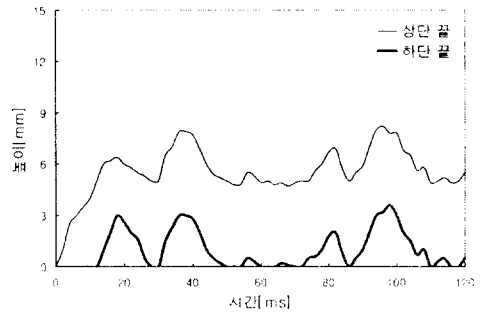


그림 10. 선형 금속이물의 거동 (철, 직경 0.3 [mm], 길이 5 [mm], 인가전압 17 [kV])

Fig. 10. Motion of linear metallic particle (Fe, diameter 0.3 [mm], length 5 [mm], applied voltage 17 [kV])

금속이물은 기립 후 전극과 거의 수직인 상태로 상하 왕복운동을 하고 있음을 보이고 있으며, 낮은 전압 하에서의 거동형태로서 120[ms]동안 부상높이가 낮고, 금속이물이 거의 수직상태로 움직이는 거동 형태를 보여주고 있다. 이와 같이 낮은 전압에서 금속이물은 부상 및 부유 중에 거의 수직상태를 유지하거나 약간의 좌우 진동현상을 나타낸다.

그림 11의 인가전압 35[kV]에서는 한쪽 끝이 부상하여 기립까지 약 10[ms]의 시간이 경과하였다. 인가전압 35[kV]와 같은 높은 전압에서는, 금속이물은 강한 정전력과 한쪽 끝의 부상과정의 관성에 의해 다른 쪽 끝의 부상 이후 곧바로 수직 회전하면서 약 60[ms] 만에 상부전극에 도달하였다. 금속이물이 상부전극에 도달하여 대전전하를 방전한 후, 다시 전기 및 중력의 영향과 상부전극과의 충돌시의 반동에 의해 하강시 회전하는 것을 볼 수 있었다.

이와 같이 선형 금속이물은 인가전압의 영향으로

이러한 금속이물의 다양한 운동형태를 모형화 한 것이다. 같은 조건에서 부상전압의 임계치에 가까운 낮은 전압을 인가하였을 경우에는 금속이물의 거동은 전극면에 수직방향으로 기립한 상태에서 상하왕복운동을 하며, 부상전압보다 약간 높은 전압(약 17[kV] 이상)을 인가하면, 부상하면서 금속이물이 그림 12의 (a), (b)와 같은 형태로 회전하였다. 그러나 그림 11과 같이 파괴전압에 가까운 높은 전압(약 35[kV])을 인가하면, 그림 12의 (c)와 같이 금속이물은 부상중에 수회 수직회전을 반복하며, 장시간 부유하였다. 약 38[kV]의 파괴전압부근에서는 금속이물이 전극간에서 회전하면서, 약 200[ms]이상을 부유하기도 하였다.

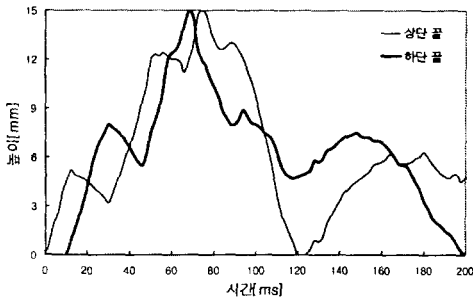
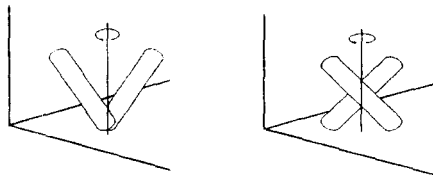
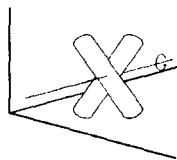


그림 11. 선형 금속이물의 거동 (철, 직경 0.3 (mm), 길이 5 (mm), 인가전압 35 (kV))

Fig. 11. Motion of linear metallic particle (Fe, diameter 0.3 [mm], length 5 [mm], applied voltage 35 [kV])



(a) 원뿔형 회전상태 (b) 원통형 회전상태



(c) 수직회전 상태

그림 12. 선형 금속이물의 운동 패턴
Fig. 12. Motion pattern of linear metallic particle

4. 결론

GIS내 금속이물 혼입시의 부상전압, 부상시의 대전 전하량에 대한 분석과 전계에 의한 다양한 금속이물의 거동특성에 대한 연구 결과는 다음과 같다.

1) 선형 금속이물은 직경의 변화에 의해 부상전압이 큰 영향을 받았다. 이는 직경 변화의 경우에는 질량의 증가비율이 대전 전하량의 증가 비율보다 크기 때문에 선형 금속이물의 부상전압은 직경에 의해 크게 좌우된다. 그러나 길이의 변화에 의해 부상전압은 거의 영향을 받지 않았는데, 이는 금속이물의 길이가 커지면 질량이 길이에 비례하여 증가하나, 대전 전하량도 길이에 비례하여 증가하므로 부상전압은 거의 일정하게 된다.

2) 구형 및 선형 금속이물의 부상전압은 계산치와 실험치가 거의 일치하였다.

3) 선형금속이물(직경 0.5[mm], 길이 5[mm])의 부상전압 16.5[kV]보다 약 12[%]증가한 18.5[kV]의 인가전압에서 180[ms]동안 금속이물은 약 8회 부상하였으며, 구형 금속이물은 직경이 2.6[mm]인 경우 인가전압 27[kV]에서 180[ms]동안 5회 부상한 반면, 직경이 1.6[mm]인 경우는 18[kV]에서 3회 부상하고 부유시간도 직경이 2.6[mm]인 경우보다 길었다. 즉 선형 금속이물과 구형 금속이물은 인가전압의 영향으로 전극사이에서 운동하였으며, 금속이물의 운동은 질량이 작을수록 부상시간이 길게 나타났다.

4) 낮은 전압에서의 선형 금속이물은 전극과 수직방향으로 기립한 상태로 상하왕복운동을 한 반면, 높은 전압에서의 선형 금속이물의 운동은 전극간에서 활발한 회전운동을 하며, 상하 좌우로 이동하였고, 장시간 전극간을 부유하였다.

참고 문헌

- (1) N. Izeki and S. Obara, "Characteristics of Sulfurhexafluoride and Some Considerations of Its Application Problems", Fuji Denki Gihou, Vol. 42, No. 3, pp. 241-251, 1969.
- (2) 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.
- (3) Technical Committee on the Maintenance Standard of SF6 Gas Insulated Equipments, "The Maintenance Standard of SF6 Gas Insulated Equipment", Denki Kyodo Kenkyu, Vol.

33, No. 4, 1977.

[4] 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.

[5] 이재걸, 광희로 외 5인, "SF6가스내 금속이물의 전계에 의한 거동 및 미소방전", 대한전기학회 추계학술대회 논문집, pp. 898-900, 1998.

[6] 광희로, 조국희, 권동진, "GIS 가스 챔버내에서 파티클 부상 특성", 대한전기학회 하계 학술대회 논문집, pp. 1850-1852, 1997. 7.

[7] 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.

[8] Technical Committee on the Maintenance Standard of SF6 Gas Insulated Equipments, "The Maintenance Standard of SF6 Gas Insulated Equipment", Denki Kyodo Kenkyu, Vol. 33, No. 4, 1977. (in Japanese)

[9] T. Hattori, "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.

[10] Alan H. Cookson, "Particle-Initiated Breakdown between Coaxial Electrodes in Compressed SF6", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. 3, PAS-93, No. 3, pp. 343-349, 1973.

[11] S. Tominaga, H. Kuwahara, K. Hirooka and T. Yoshioka, "SF6 Gas Insulated Analysis Technique and Its Application for Evaluation of Internal Conditions in SF6 Gas Equipment", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-100, No. 9, pp. 4196-4206, 1981.

◇ 저자소개 ◇

김 경 화 (金庚和)

1958년 7월 27일생. 1985년 숭실대 전기공학과 졸, 1991년 연세대 대학원 졸(석사), 1997년 숭실대 대학원 박사과정 수료, 현재 홍성기능대 전기과 교수.

이 재 걸 (李在杰)

1974년 12월 5일생, 1999년 숭실대 공대 전기공학과 졸(석사), 현재 동 대학원 전기공학과 박사과정.

광 희 로 (郭熙魯)

1942년 3월 1일생. 1967년 서울공대 전기공학과 졸. 1978년 호주 New South Wales 대학원 전기공학과 졸(석사). 1986년 중앙대 대학원 전기공학과 졸(박사). 1986년 M.I.T Visting Scientist. 현재 숭실대 공대 전기공학과 교수. 당 학회 부회장.