

SF₆가스내 금속이물의 전계에 의한 거동 및 미소방전

이재걸^{*}, 이 곤^{*}, 이강수^{*}, 김영찬^{*}, 박희로^{*}, 김두석^{**}, 박중신^{*}
^{*} 송실대학교, ^{**} 호원대학교, 한전연수원

Micro-discharge and Motion of Conducting Particles under AC Voltage in SF₆ Gas

Jae Gul Lee^{*}, Kon Lee^{*}, Kang Su Lee^{*}, Young Chan Kim^{*}, Hee-Ro Kwak^{*}, Du-Suk Kim,^{**}
 Joung Shin Park
^{*} Soongsil Univ., ^{**} Howon Univ. KCEI

Abstract - This paper describes the motion characteristics and micro-discharge of the free conducting particles between plain electrodes under alternating voltage. The particles move between both electrodes due to electrostatic force by applied AC voltage. Various types and sizes of free conducting particles were used to study the motion and micro-discharge characteristics. The micro-discharge and breakdown were observed during the particle motion.

1. 서론

현대는 전기에너지의 수요증가로 전력전송전압의 격상과 전력설비의 대용량·고전압화가 가속되고 있다. 또한 전력설비의 소형화와 육내화가 불가피하므로, 운전 및 보수의 간편화, 계통운용의 신뢰성과 안정성의 확보가 요구되어 고효율적 운전 특성이 매우 우수한 SF₆ 가스를 절연체재료로 사용하는 가스절연개폐장치의 사용이 늘어나고 있다⁽¹⁾.

GIS는 높은 절연내력을 가지는 SF₆ 가스를 금속용기에 밀폐시킨 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 왕복운동(crossing)하거나, 절연 스페이스에 부착 또는 돌기의 형태로 탱크 내면에 부착되어 절연성능을 저하시키기 때문에, GIS의 절연파괴를 유발하는 원인이 되고 있다⁽²⁾⁽³⁾.

이러한 자유 도전성 금속이물은 돌기와 같은 고정된 이물과는 달리 인가전계의 영향으로 시스템 내에서 자유롭게 전극간 왕복운동을 한다. 또한 높은 전계왜곡을 일으키고 이에 따라 금속이물 주변에서 전기작용을 야기하며, 결국은 절연파괴를 유발한다⁽⁴⁾.

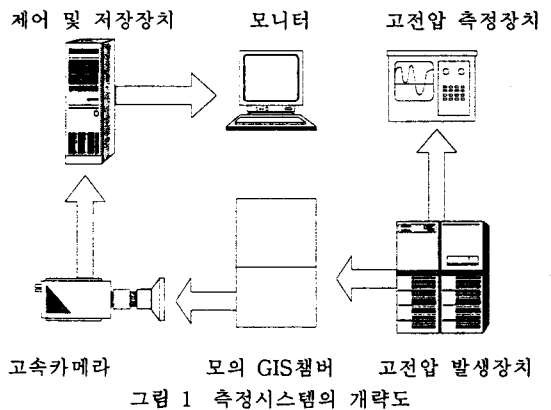
본 논문은 고전계내에서 자유도전성 금속이물의 거동 및 미소방전현상에 대해 연구하였다. 평행평판 전극구조 내의 선형의 도전성 금속이물을 대상으로 교류전압을 인가하였을 경우의 금속이물의 거동을 고속카메라를 이용

하여 관찰하였으며, 거동중의 미소방전 현상과 미소방전 후 발생하는 절연파괴 과정에 대해 연구하였다.

2 실험장치 및 방법

본 연구에서 평행평판 전극내의 금속이물의 거동 및 미소방전현상을 관찰하기 위한 실험장치는 그림 1과 같이 고압발생장치, 평행평판 전극내장 실험용 모의 가스 챔버, 그리고 고속카메라 시스템 등으로 구성하였다. 가스챔버는 전계에 의한 금속이물의 재질에 따른 거동특성을 실험하기위해 내부를 관찰할수 있도록 아크릴을 이용하여 원통형으로 제작하였다. 그리고 전압인가선, 접지선 및 가스주입구등을 취부하고 완전밀폐를 하였다.

내부의 전극은 전계에 의한 금속이물의 거동을 조사하기 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.



고속 카메라는 모의 GIS내에서의 금속이물의 거동을 관찰하기위해 평판-평판전극 정면에 수평으로 1.5(m)거리에 설치하여, 금속이물의 거동을 관찰하였다.

SF₆가스압력 2(bar), 전극간격 15(mm)에서 직경 0.3(mm), 길이 5(mm)의 선형 철 금속이물에 대해 인가전압의 크기에 따른 거동특성을 파악하였다. 금속이물의 실제적인 거동양상은 고속카메라를 사용하여 촬영하였다. 고속카메라의 프레임 속도는 480(Frame/s)를 사용하였으며, 파괴시험시에는 760(Frame/s)를 사용하였다. 또한 고속카메라로부터 얻은 데이터는 운동해석 프로그램인 "ANALYZE"를 이용하여 각 Frame에서의 금속이물의 위치를 시간과 이동거리의 그래프로 나타내었다.

3 실험결과 및 고찰

3.1 인가전압에 따른 금속이물의 거동

그림 2와 그림 3에 선형 금속이물의 인가전압에 따른 거동양상의 차이를 나타내었다. 그림 2와 그림 3은 직경 0.3(mm), 길이 5(mm)의 철제 선형 금속이물이 혼입된 평행평판전극에 각각 17[kV],와 35[kV]의 전압을 인가하였을 때의 거동특성이다.

그림 2에서 알 수 있는 바와 같이 직경 0.3(mm), 길이 5(mm)인 금속이물은 한쪽 끝의 부상개시 후 약 10[ms]의 시간이 경과 한 후에 금속이물의 다른 끝이 전극면으로부터 부상하였다. 그 후 금속이물은 상하운동을 하였으며, 가장 높이 부상한 것은 약 95[ms]경과후 약 8.2[mm]였다. 금속이물은 부상후 거의 전극과 수직인 상태로 상하 왕복운동을 하고 있음을 알 수 있으며, 인가전압이 17[kV]와 같이 낮은 전압하에서의 거동형태로서 120[ms]동안 부상높이가 낮고, 빠른 상하운동을 보여주고 있다.

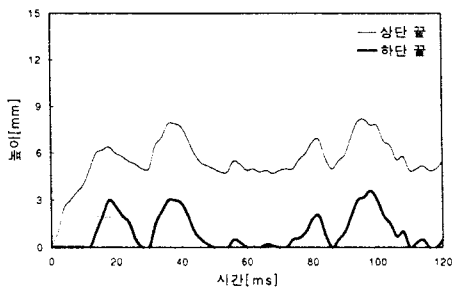


그림 2 선형 금속이물(철)의 거동 : 인가전압 17[kV]

그림 3의 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 수직회전하면서 약 60[ms]만에 상부전극에 도달하였다. 금속이물이 상부전극에 도달하여 대전전하를 방전한 후, 다시 전계 및 중력의 영향과 상부전극과의 충돌시의 반동에 의해 하강시 회전하는 것을 볼 수 있었다. 그리하여 약 120[ms]동안 부유상태를 유지하였다.

같은 조건에서 부상전압의 임계치에 가까운 낮은 전압을 인가 하였을 경우에는 금속이물의 거동은 전극면에

수직방향으로 기립한 상태에서 상하왕복운동을 하며, 부상전압보다 약간 높은 전압을 인가하면, 부상시 한쪽 또는 양쪽 끝이 좌우로 진동하거나 회전하면서 상하로 운동하는 것을 관찰할 수 있었다.

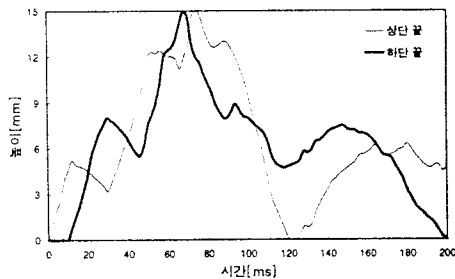


그림 3 선형 금속이물(철)의 거동 : 인가전압 35[kV]

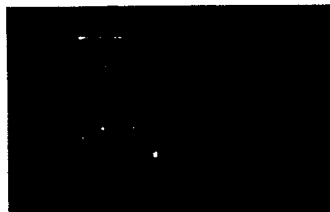
그러나 그림 3과 같이 파괴전압에 가까운 높은 전압을 인가하면, 금속이물은 부상중에 수 회 수직회전을 반복하며, 장시간 부유하였다. 약 38[kV]의 파괴전압부근에서는 금속이물이 전극간에서 회전하면서, 약 200 [ms]이상 부유하기도 하였다.

3.2 금속이물의 거동중 미소방전

그림 4는 25[kV]의 전압 인가시 길이 7[mm], 직경 0.6[mm]의 선형 금속이물의 운동중 미소방전의 발생시의 사진으로 480[Frame/s]속도로 촬영하였다. 그림 4.(a)는 부상개시 이후 약 110[ms]후의 하강과정에서의 미소방전현상이며, 그림 4.(b)는 부상개시 이후 약 160[ms]경과후의 하강과정에서의 미소방전현상이다. 그림 4의 (b)는 (a)보다 전극에 더욱 근접하여 미소방전이 발생되었기 때문에, (b)의 미소방전현상이 (a)보다 더 크게 나타남을 알 수 있다.



(a) 부상개시 약 110[ms] 후



(b) 부상개시 약 160[ms] 후

그림 4 금속이물의 운동중 미소방전 : 인가전압 25[kV]

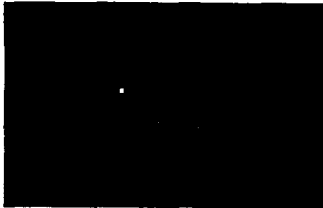
그림과 같이 금속이물이 전극에 접근하면 축적된 전하를 금속이물의 양 끝단에서 미소방전을 발생함으로써 금속이물과 전극간의 미소갭 주위의 SF₆가스를 열화시키고, 이때의 충격파에 의해 국부적인 가스밀도의 저하를 유발하여, 궁극적으로는 SF₆가스의 절연파괴를 일으키기도 한다.

즉, 대전된 금속이물이 전계에 의해 운동중에 반대극성으로 대전된 전극으로부터 미소갭의 섬락조건이 만족되면, 미소방전이 발생한다. 이런 미소방전은 즉시 금속이물과 전극간을 단락시키고 미소갭은 방전발생즉시 금속이물의 전위를 전극전압까지 유도시킨다. 이는 금속이물이 전극면위의 날카로운 돌기역할을 하게되고, 이로인해 결국에는 절연파괴가 발생하기도 한다. 또한 미소방전은 근접한 전극면과의 사이에서만 발생하는 것이 아니라 반대쪽 끝단에서도 빛을 발산하며 발생하기도 한다.

3.3 금속이물에 의한 SF₆가스의 절연파괴

그림 5는 38[kV]의 전압인가시 길이 7[mm], 직경 0.6[mm]의 선형 철 금속이물에 의한 SF₆가스의 절연파괴과정으로, 미소방전의 발생 이후 절연파괴까지의 과정을 760 [Frame/s]의 속도로 촬영한 사진이다. 그림 5.(a)는 절연파괴 직전에 금속이물의 상단부에 미소방전이 발생한 것이며, 그림 5.(b)는 절연파괴시의 사진이다. 절연파괴현상은 약 5.2[ms]동안 지속되었으며, 절연파괴이후의 미소방전현상은 그림 5.(c)와 같다.

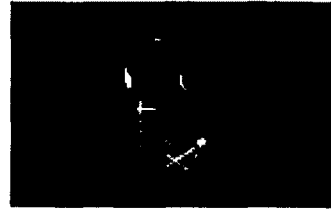
그림에서 금속이물은 전극위에 기립한 상태이므로 상단에서만 미소방전이 발생하였으며, 전체적인 전극구조가 침-평판전극으로 구성되어 절연파괴가 발생되었다.



(a) 절연파괴 약 1.3[ms] 전



(b) 절연파괴 발생



(c) 절연파괴 약 5.2[ms] 후
그림 5 금속이물에 의한 절연파괴 과정

4 결론

본 논문에서는 SF₆가스내 금속이물의 인가전압에 따른 거동특성과 거동중의 미소방전현상 대한 연구결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 낮은 전압에서의 선형 금속이물은 전극과 수직방향으로 기립한 상태로 상하왕복운동을 하였다. 높은 전압에서의 선형 금속이물의 운동은 전극간에서 활발한 회전운동을 하며, 상하 좌우로 이동하였고, 장시간 전극간을 부유하였다.
2. 금속이물은 거동중 전극에 접근하면 양끝단에서 미소 방전이 발생하였다. 이와같은 거동중의 미소갭사이의 방전으로 인해 금속이물이 순간적으로 전극전위로 도달하여 절연파괴에 도달한다.

참고문헌

- [1] 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.
- [2] Ming, "Influence of Conducting Particles on the SF₆ Gas Gap Breakdown and Spacer Flashover in GIS", Doctoral Thesis, Chalmers Univ. of Tecnol., Göteborg, 1987.
- [3] 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.
- [4] Alan H. Cookson, "Effect of Conducting Particles on AC Corona and Breakdown in Compressed SF₆", IEEE Transaction on Power Apparatus and Systems, Vol. 4, PAS-91, pp. 1329-1338, 1972