

SF₆ GIS용 스페이서 표면 파티클에 의한 절연파괴 특성

(The Particle-Initiated Breakdown Characteristics on the Spacer Surface for SF₆ GIS)

김정달* · 이세훈**

(Jung-Dal Kim · Sae-Hun Lee)

요 약

스페이서 표면 파티클에 의한 오염의 영향은 SF₆ GIS의 절연내력을 현저히 감소시킨다. 이와 관련해서 우리는 평행평판전극 구성으로 SF₆ 가스중에서 금속 및 비금속 파티클의 위치 및 형태를 변화시키면서 교류전압에서 섬락전압 특성과 파괴 기구에 대해서 연구했다. 주된 결과는 ① 파티클 위치에 대한 섬락전압 감소의 영향은 갭 중간에서 가장 적고 전극에서 미소간극 분리된 경우의 영향이 가장 크다. ② 섬락전압 감소가 크게 되는 금속 파티클 일수록 FOV 포화 현상은 낮은 압력 영역으로 이동된다. ③ 0.6[mm] 이하의 비금속 파티클은 섬락전압에 그의 영향을 미치지 않는다.

Abstract

The influence due to particle contaminated on spacer surface is remarkable in the decreasing of dielectric strength in SF₆ GIS. In relation with this problem, We studied, AC flash-over voltage characteristics and breakdown mechanism are investigated under metallic and insulating particle initiated condition in SF₆ gas by varying the particle position, particle shape with a plane-plane electrode.

The main results are as follows ① Influence of the flash-over voltage decrease for particle position is lowest in mid gap and is highest in separated small gap on electrode. ② The metallic particle shape which results in the more reduced flash-over voltage, the FOV saturation moved in to the region of low pressure. ③ Insulating particle less than 0.6[mm] are not almost influenced by the flash-over Voltage.

1. 서 론

SF₆ 가스중의 파티클이 절연성능에 미치는 효과에

대한 연구는 국외의 경우 1970년대 초반부터 시작되었으며 특히 GIS(Gas-Insulated Switch gear)에 관련된 파티클의 영향에 관해서는 1980년대 초반부

*정회원 : 경남대학교 전기공학과 교수

접수일자 : 1997. 7. 31

**정회원 : 대원전문대학 전기과 조교수

SF₆ GIS용 스페이스서 표면 파티클에 의한 절연파괴 특성

터 집중적으로 이루어 졌다. 특히 최근 GIS 3상 일괄형화에 따른 변전소의 콤팩트화, 복합화가 추진되면서 신뢰성 향상에 대한 요구가 크게 고조되고 있어, GIS 용기내에 함유되어 있는 파티클이 SF₆ GIS 중 스페이스서의 절연특성에 미치는 효과에 대해 집중적으로 연구되어 지고 있다. 그러나 국내에서는 아직 이 분야에 대한 연구발표는 효성중공업, 전기연구소등에서 다소되고 있으며 본 연구실에서는 86년부터 연구[1, 2] 발표한바있으나 아직 미흡한 실정이다.

이 분야의 학문적 연구는 미국 및 유럽의 경우는 H. Anis[3], J. R. Laghari[4], M. M. Morcos[5], Li Ming[6], 등에 의해 행해졌으며 일본의 경우 原雅則[7], 青柳浩邦[8], 등이었으며, 실용제작사의 연구는 미국의 westing house는 1971년 EPRI보고서 EL-1007[9]을 통해 파티클이 SF₆ 가스중에서의 절연파괴 특성에 미치는 영향을 가스종류(SF₆ 가스 및 혼합기체), 스페이스서의 형상, 파티클의 형상 및 위치, 인가전압의 종류등을 파라메타로 하여 광범위하게 연구 발표 하였다.

또한 일본의 Hitachi, Toshiba등에서도 1980년 후반부터 실규모 GIS 내에서 고체절연물의 표면에 파티클이 부착한 경우에 파티클의 종류와 고체절연물 형상에 따른 절연파괴 특성 연구를 하고 있다.

그러나 지금까지 연구는 초고압 SF₆ GIS, CGIT (Compressed Gas Insulated Transmission Line), GIC(Gas Insulated Cable)와 같은 가스압력 4~6 [bar]의 고압력에 집중되어 있는 실정이다. 최근의 신기술로 실용화 되고 있는 배전계통의 Medium-Voltage SF₆ GIS는 소비자들에게 직접영향을 미친다. 기기의 절연내력에 가장 큰 영향을 미치는 파티클이 기기 내부에 혼입되었을 때 절연파괴 특성에 관한 연구는 매우 절실하다. 본 연구에서는 배전계통 GIS에 주로 사용되어지는 SF₆ 가스압력 1~2 [bar]의 범위에서의 연구를 목적으로 SF₆ 가스압력 0.5[bar]~3.5[bar]로 하고, AC전원에서 금속 및 비금속 파티클이 GIS 내에 혼입되어 스페이스서 연면에 부착되었을 때 섬락전압(surface flash-over voltage : 이하 FOV라함)에 미치는 영향에 대해서

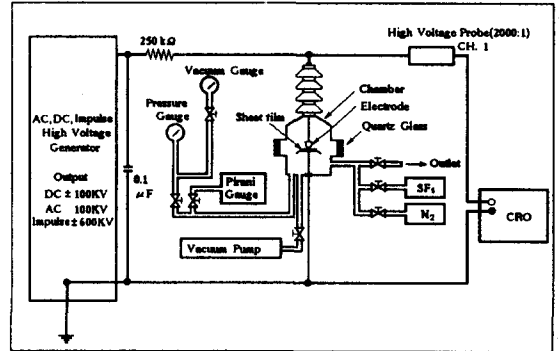


그림 1. 실험장치
Fig. 1. Experimental Set up.

연구 하였다.

2. 실험장치 및 실험방법

본 실험에 사용한 장치는 그림 2.1과 같다.

실험전압원은 AC 100[kV], 5[mA] 이며 전류제한 저항을 거쳐 Chamber 상단 붓싱을 통하여 인가된다. 전압 및 코로나 전류 펄스 관측은 Nicolet PowerPro-610 오실로스코프로 관측되며 진공 Chamber는 10⁻³[torr]까지 배기 가능하며 진공도 측정은 피라니게이지로 측정하였고 가스압력 측정은 Bourdon형 진공압력계를 사용했다.

전극재료는 실제통의 도체 및 차폐는 알루미늄이 많이 사용되지만 본 실험에서는 표면처리, 내구성, 산화 등을 고려하여 스테인레스를 사용하였으며 평판전극은 Bruce형으로 수치제어 선반에서 가공하여 직경 4[cm]로 만들고 전극표면을 沙布(CW1000)로 연마한후 Al₂O₃ 분말로 닦아 표면을 매끈하게 하였고 실험 간극은 10[mm]로 고정시켰다.

스페이스서로 사용된 시료는 plexiglas(PMMA)로 전기적 특성은 비유전율 ε_r=3.6, 체적고유저항 10¹²~10¹⁴[Ω·cm]인 직경 1[cm]의 압출봉을 다이아몬드 컷터로 잘라 沙布(CW 1000)와 Al₂O₃로 연마했으며 마이크로 메타로 측정하여 1±0.01[cm]로 만들었고, 금속 파티클은 원형 및 선형으로 그 형태 및 크기를 변화시켰으며 파티클은 순간접착제를 사

용하여 스페이서 표면 또는 전극면에 부착시켰다.

실험가스 충전방법은 진공배기장치로 10^{-3} (torr) 까지 배기 시킨후 400(torr)까지 실험가스를 충전시킨후 다시배기 시킨다음 시험압력으로 충전했다.

전압상승법은 예상파괴전압의 70(%)까지는 직선상승법으로 하고 그 이후는 1(kV/S)의 계단상승법으로 파괴시까지 상승시켰다. 실험의 재현성을 위하여 다음 실험까지 2분간의 간격을 두었다.

전압측정은 40(kV)까지는 고전압 Probe(2000:1)을 통하여 디지털 전압계와 오실로스코프로 측정하고 그 이상은 제어반의 전압계 후단에 연결한 DVM 으로 측정했다. Data값은 최소 5회 측정의 평균치가 사용되어졌다.

3. 실험결과 및 검토

3.1. 스페이서 효과 및 금속돌기의 영향

그림 3.1은 평등전계 형성 유무, 스페이서 효과, 금속돌기의 영향에대한 기본 파라메타를 얻기위한 것으로 (1)은 전극구성과 SF₆가스의 초기 특성을 알아보기 위해 평행평판 전극구성에서 SF₆가스의 FOV곡선으로 압력증가에 따라 비례적으로 상승되고 완전 평등전계 구성에서의 파괴가 일어나지 않을 상대전계(E/P)의 한계치와 비교하면 압력별 평균 2[kV] 정도 낮으나 평등전계 구성에 가까운 값이라 볼 수 있다.

(2)는 갭내에 청정한 스페이서가 존재하는 경우로 (1)과 (2)를 비교해 보면 스페이서 효과는 약 95(%)로 되어 스페이서의 전극간 접촉상태와 표면상태가 양호함을 알 수 있다. 또한 스페이서가 존재해도 1.5[bar] 압력범위 내에서 FOV는 압력증가에 따라 거의 비례적으로 상승됨을 보여 준다. 이와같은 현상은 SF₆가스중 평등전계 구성에서 청정한 스페이서 구성에서는 코로나 발생이 파괴직전전계에서 발생되므로 코로나의 영향이 배제된 전계에 의한 파괴라 볼 수 있다. 1.5[bar] 이상에서 FOV상승율이 감소됨을 보아 고압력 상태로 됨에 따라 인가전압이 높게 되어 스페이서 연면 누설 방전에 따른 스페이서 효과가 크게 나타나 파괴전압이 낮아지는 것으로 생

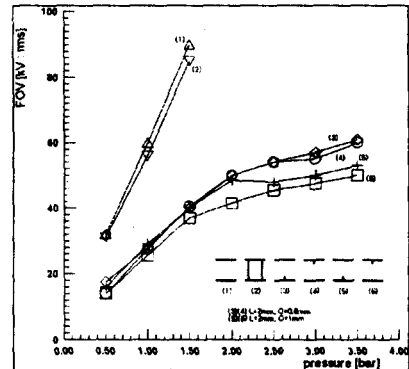


그림 3.1 스페이서 효과와 금속돌기에 의한 FOV곡선
Fig. 3.1 FOV curve by spacer effect and metallic protrusion

각된다.

(3)은 직경 0.6[mm], 길이 2.0[mm]의 금속파티클이 접지측 전극에 직립된 경우로 가스압력이 0.5[bar]~2[bar]까지는 FOV의 상승은 압력이 증가할 수록 거의 직선적으로 되고 2.0[bar]에서 3.5[bar]의 범위의 FOV는 작은 상승을 보여준다.

(4)는 (3)과 동일한 크기의 파티클이 부상하여 고전위측에서 돌기로 작용할 때의 경우로 (3)의 경우와 경향은 같으나 2.0[bar] 이상에서는 압력 증가에 따라 FOV값이 약간의 상승을 보이며 2.5[bar] 부근에서는 수평값을 취하므로 입력 증가에 따른 FOV값의 증가를 기대할 수 없다.

(5)는 직경 1.0[mm], 길이 2.0[mm]의 다소 굵은 금속파티클이 접지측 전극에 직립된 경우로 가스압력이 0.5[bar]~2.0[bar]까지의 경향은 (3)의 경우와 거의 일치하고 2.0[bar]이상, 압력이 높아짐에 따라 FOV감소가 강하게 나타남을 보여 준다.

(6)은 (5)와 동일한 크기의 다소 굵은 금속파티클이 부상하여 고전위측 전극에 직립된 경우로 실험조건중 FOV가 가장 낮지만 1.5[bar]이하의 범위까지는 선형적으로 증가하나 그 이상에서는 압력증가에 따른 파괴전압의 상승효과는 완만함을 나타낸다. 압력 증가에 따라 증가율이 감소하는 경향과 고압력 상태로 됨에 따라 그리고 파티클이 굵어지면 파괴전압 증가율이 작아지는 경향이있고, 대체적인 증가율은 0.

5[bar]~1.5[bar]에서 50[%]~60[%]정도 감소되며, 3.5[bar]에서 최대 75[%]이상 FOV감소가 있었다.

평등전계 중 스페이서의 존재는 스페이서의 효과에 의한 FOV 감소를 초래하고 전극간 금속돌기물의 존재는 부분 전계 불평형으로 파괴전압을 감소시킨다. 특히 압력이 증가함에 따라 평등전계에서는 직선적으로 파괴전압이 상승되지만 금속 파티클이 존재하면 파티클 선단 전계가 더욱 강하게 되고 코로나 발생이 용이하기 때문에 FOV값이 낮아지게 된다.

3.2. 스페이서 표면 금속 파티클이 섬락전압에 미치는 영향

3.2.1. 구형 금속 파티클의 영향

구형파티클의 직경이 1.0[mm], 1.5[mm], 2.0[mm]인 3종류를 각각 스페이서 표면 상부(고전위측)와 중앙, 하부(접지측)에 부착하여 전극에 밀착시킨 경우와 전극에서 각각 1.0[mm] 떨어진 위치에 있을 때 파티클의 직경 및 위치, 압력변화가 FOV에 미치는 영향에 대해서 조사했다.

그림 3.2는 직경 1.0[mm]의 작은 구형입자가 압력을 변화시켰을 때 파티클 위치별 FOV 특성곡선을 나타낸다. (1)은 스페이서만 존재하는 경우의 곡선이고 (2)는 파티클이 스페이서 중앙에 부착된 경우이다. FOV감소는 그림과 같이 저압력에서 보다 고압

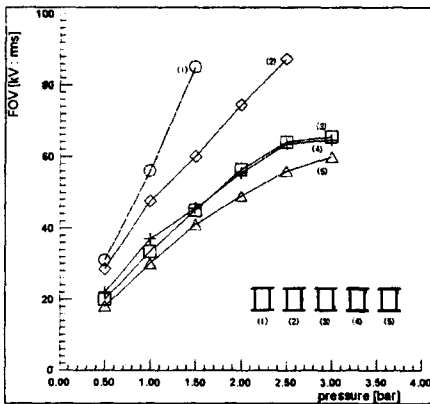


그림 3.2 $\phi=1.0$ [mm] 구형 파티클에 의한 FOV곡선
Fig. 3.2 FOV curve by $\phi=1.0$ [mm] ball type particle

력으로 됨에 따라 매우 커짐을 볼 수 있다. 그러나 대체로 비례적으로 감소되며 파티클 위치중 가장 높은 FOV 값을 나타낸다. 이 경우 파티클이 전계변화는 주지만 직접 코로나 발생은 일으키지 않기 때문이다. (3)은 파티클이 접지측 전극면과 스페이서 표면에 접촉되어 있는 경우이다.

(4)는 파티클이 고전위측 전극면과 스페이서 표면에 접촉되어 있는 경우로 (3), (4)는 매우 유사한 특성을 보여주고 있다. 전극면상에 파티클이 있는 경우 전계강화에 따라 코로나 발생이 왕성하기 때문에 저압력에서의 영향은 적으나 고압력쪽의 영향은 크게 나타난다. (5)는 파티클이 상하 전극면에서 1.0[mm]떨어진 위치에 부착된 경우로 FOV 특성곡선의 경향은 유사하나 전극면에 파티클이 밀착된 경우에 비해 평균 20[%]정도 낮은 값으로 나타났다. 이는 미소갭에서 먼저 방전이 일어나 갭간격이 좁아지는 효과로 나타나기 때문이다. 전체적인 경향으로 볼 때 0.5[bar]에서 30[%]~42[%], 3.0[bar]에서 약 60[%] 범위까지 압력이 증가하면 증가율이 작게 됨을 알 수 있다.

그림 3.3은 파티클 직경이 1.5[mm]로 다소커진 경우의 FOV 특성곡선으로 그림중 (1)과 파티클이 스페이서 중앙에 위치한 (2)의 FOV 감소율과 비교해 보면 압력 0.5[bar]에서 15[%], 1.0[bar]에서 28[%], 1.5[bar]에서 37[%]정도로 파티클이 커짐에 따라 증가율이 감소되나 이 범위에서는 압력 증가에

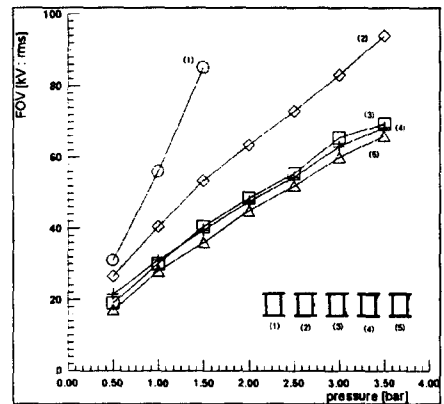


그림 3.3 $\phi=1.5$ [mm] 구형 파티클에 의한 FOV 곡선
Fig. 3.3 FOV curve by $\phi=1.5$ [mm] ball type particle

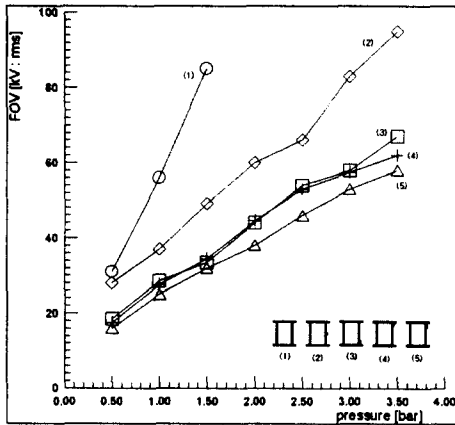


그림 3.4 $\phi=2.0$ (mm) 구형 파티클에 의한 FOV 곡선
Fig. 3.4 FOV curve by $\phi=2.0$ (mm) ball type particle

따라 거의비례적으로 FOV가 증가함을 볼 수 있다. (2)와 (3)을 비교해 보면 전체적으로 압력증가에 따른 FOV가 큰값으로 낮아져 그림과 같이 압력 증가에 따라 FOV증가율이 감소하는 것도 볼 수 있다. (3) (4) (5)의 경우 FOV 특성은 매우 유사하며 0.5(bar)에서 30[%]~45[%], 3.5(bar)에서 약 60[%]~67[%]범위까지 FOV 감소율은 압력이 증가하면 크게 되는 경향을 잘 보여주고 있다.

그림 3.4은 파티클 직경이 2.0(mm)로 큰 구형 파티클이 스페이스 표면에 부착된 경우 압력변화에 따른 FOV 특성곡선이다. (1)의 스페이스 만이 있는 경우와 스페이스 중앙 표면에 파티클이 있는 (2)의 경우를 비교해 보면 그림과 같은 FOV 감소율을 나타내고 있어 압력증가에 따라 FOV 증가율이 작아짐을 보여준다. (1)과 파티클이 접지축전극과 스페이스 표면에 접촉되어 있는 (3)의 경우와 비교해 보면 전 압력범위에서 스페이스 중앙에 금속파티클이 있는 (2)의 경우보다 매우 낮게 되고 특히 그림에서 알 수 있는것과 같이 압력증가에 따라 FOV 증가율이 더욱 낮아짐을 보여준다. (4)의 경우는 파티클이 고전위축전극과 스페이스 표면에 접촉되어 있는 경우로 경향은 (3)의 경우와 아주 유사한 FOV특성을 볼 수 있고 저압력 범위에서는 접지축에, 고압력 범위에서는 고전위축에 파티클이 위치한 경우의 FOV가 다소 낮음을 나타내고 있다. (5)는 고전위축 및 접지축 전극

면에서 1.0(mm)떨어진 스페이스 표면에 파티클이 부착된 경우로 이 경우의 특성도 일치하고 가장 낮은 FOV 특성을 보여준다. (3) (4) (5)의 FOV감소율은 0.5(bar)에서 35[%]~48 [%], 3.5(bar)에서 65[%]~68[%]범위까지 압력이 증가하면 감소율이 크게 되는 경향을 잘 보여주고 있다.

파티클이 스페이스 중앙에 위치할 때는 압력증가에 따라 FOV 감소율은 50[%]이하로 나타나므로 파티클 위치중 가장 영향이 적음을 보여주며 저압력에서는 영향을 더욱 적게 받고 있다. 이러한 현상은 파티클이 전체변화에는 영향을 주나 직접 코로나 발생을 유도하는 돌기로 작용하지는 않기 때문이라 생각된다 파티클이 스페이스 상하부, 즉 고전위 및 접지축 전극과 밀착된 경우의 큰 FOV 감소는 파티클 선단에서 직접 코로나가 발생하므로 전극 간격이 축소되어 영향이 가장 크게 작용하기 때문이며 저압력 하에서 보다 코로나 안정화작용이 적은 고압력하에서 영향이 크게 작용한다.

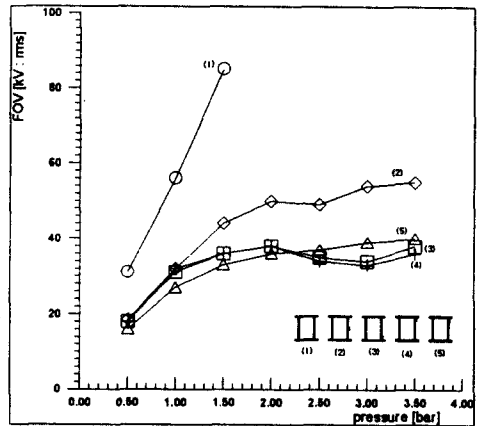


그림 3.5 $\phi=0.6$ (mm) L=2(mm) 선형 파티클에 의한 FOV 곡선
Fig. 3.5 FOV curve by $\phi=0.6$ (mm), L=2(mm) line type particle

3.2.2. 선형 금속파티클의 영향

파티클의 형태가 파괴전압에 미치는 영향을 파악하기 위하여 선형파티클 직경 0.6(mm), 길이 2.0 (mm)와 직경 1.0(mm), 길이 2.0(mm)의 2종류를 선택하여 구형파티클과 비교했다. 길이를 2.0(mm)로 한것은 구형파티클중 가장 큰 것이 직경 2.0(mm)로

높이가 동일하기 때문이다.

그림 3.5는 직경 0.6[mm], 길이 2.0[mm]의 가는 선형 파티클이 스페이서 표면 고전위측 및 중앙, 접지측에 놓여진 경우와 전극면에서 1.0[mm] 떨어진 스페이서 표면에 있는 경우의 압력변화에 따른 FOV 특성곡선이다. 선형파티클은 구형 파티클에 비해 더욱 심한 FOV 감소를 나타내고 있으며 압력 변화에 따른 영향도 더욱 크게 작용함을 알 수 있다. 그림중 (2), (3), (4)를 비교해 보면 1.0[bar]이하의 저압력에서는 파티클 영향은 크게 작용하지만 위치별 영향은 거의 없다. 선형파티클은 스페이서 중앙에 있어도 구형파티클과 달리 압력증가에 따라 비례적으로 상승하지 않고 FOV의 포화현상이 나타나 압력증가에 따른 파괴전압의 비례적 상승효과를 기대할 수 없는 특성을 나타냈다. (3), (4)의 상하부 전극표면과 스페이서에 부착된 경우 1.0[bar]에서부터 큰폭으로 FOV 감소가 일어나 2.0[bar]와 3.0[bar]에서 FOV가 오히려 감소하여 임계압 현상이 작용함을 볼 수 있다. (5)는 상하부 전극에서 1.0[mm] 떨어진 위치에 파티클이 스페이서 표면에 부착된 경우로 2.0[bar]까지는 전극면에 붙어 있는 경우보다 낮은 FOV를 나타낸다. 그러나 그 이상의 압력에서는 (3), (4)의 경우 보다도 다소 높게되는 특이한 현상을 나타낸다. 압력증가에 따른 (3), (4), (5)의 감소율이 0.5[bar]에서 40[%]~48[%], 3.5[bar]에서 80[%]까지 되어 직경 2.0[mm]의 구형파티클 보다도 영향이 크다는 것을 보여준다.

그림 3.6은 직경 1.0[mm], 길이 2.0[mm]의 다소 굵은 선형파티클이 스페이서 표면 고전위측 및 중앙, 접지측에 위치된 경우의 압력별 FOV 특성곡선을 나타낸 것이다. 그림 3.5와 비교해 보면 위치에 관계없이 파티클 직경이 커지면 FOV가 감소되는 것을 볼 수 있고 파티클이 중앙에 위치하는 그림중 (2)의 특성은 0.6[mm]인 경우와 유사하다. (3), (4)는 파티클이 고전위측 및 접지측 전극면과 스페이서 표면에 접촉된 경우로 압력 증가에 따라 FOV 증가율이 크게 낮아지므로 압력증가에 의한 FOV 상승효과를 기대할 수 없음을 알 수 있다. (5)는 파티클이 양 전극면에서 1.0[mm] 떨어져 스페이서에 부착된 경우로

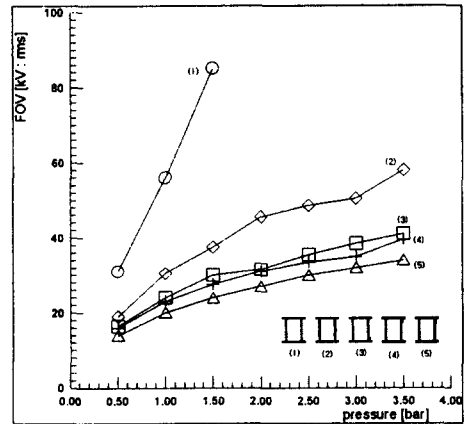


그림 3.6 $\phi=1.0[\text{mm}]$ $L=2[\text{mm}]$ 선형 파티클에 의한 FOV 곡선
 Fig. 3.6 FOV curve by $\phi=1.0[\text{mm}]$, $L=2[\text{mm}]$ line type particle

전 압력범위에서 실험 경우중 가장 낮은 FOV를 나타내고 상하 어디에 위치하나 FOV 값은 동일하였다. 선형파티클은 구형파티클에 비해 고압력하에서 FOV 증가율이 더욱 낮아지는데 이는 선형 파티클은 선단전계가 구형에 비해 매우 강하게 작용되어 코로나 발생이 구형보다 조기에 발생되기 때문이다. 금속파티클이 존재할 때 나타나는 FOV 증가율의 포화현상은 FOV 증가율이 작은 위치 및 형상으로 됨에 따라 저압력 범위로 이동됨을 보여 준다.

3.2.3. 금속세선의 영향

실제 GIS 내부에 존재할 수 있는 금속파티클은 돌기 및 구형으로 된 것보다 긴 세선이나 미세한 금속분말형으로 되기 쉬우므로 이들을 모의하여 금속세선 직경 0.1[mm], 길이 5.0[mm]를 그림 3.7과 같이 구성하여 실험한 결과를 그림 3.8에 나타낸다.

그림 3.8의 (2)의 곡선으로부터 알 수 있는 것과 같이 세선이 스페이서 중앙에 수직으로 존재하는 경우에도 저압력 측에서의 영향은 매우 적으며 압력이 증가함에 따라 FOV가 다소 감소되고 있으나 그 영향은 매우 적다. 그림중 (3)은 파티클이 상하로 45°(각각 2.5[mm])길이로 분리되어 스페이서 중앙에 위치한 경우로 FOV 감소는 (1)과 비교해 볼 때 60[%] 정도로 감소 되었다. 그림중 (4)는 세선이 스페

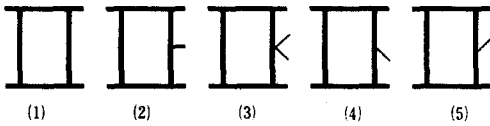


그림 3.7 금속 세션 파티클의 위치와 형상
Fig. 3.7 Position and shape of fine metallic particle.

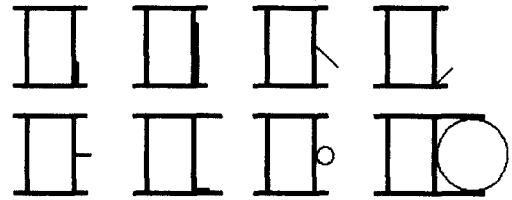


그림 3.9 비금속 파티클의 위치와 형상
Fig. 3.9 Position and shape of insulating particle

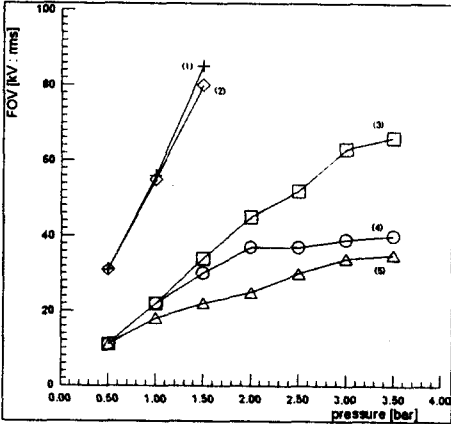


그림 3.8 금속세션에 대한 FOV곡선
Fig. 3.8 FOV curve by fine metallic particle

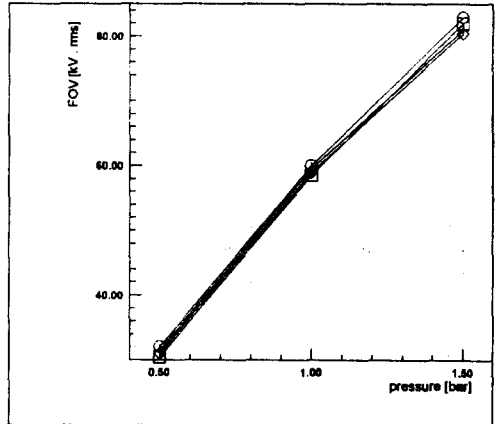


그림 3.10 비금속 파티클에 대한 FOV곡선
Fig. 3.10 FOV curve by insulating particle

이서 중앙에서 면과 45°로 접지축전극을 향하는 경우로 2.0(bar) 이상에서는 압력증가에 따라 FOV 증가를 거의 볼 수 없을 정도로 낮아짐을 보여준다. 그림중 (5)는 세션이 전극과 스페이스 표면이 접촉해서 45° 방향으로 위치된 경우로 전 압력 범위에서 가장 낮은 FOV 값을 나타내므로 갭간 파티클이 전극에 접촉하고 직립한 경우의 영향이 가장 크게 작용한다는 것을 알 수 있다. 금속선형파티클의 길이는 부착 위치에 따라 갭간극이 변화될 수 있고 또한 전계변화를 주며 (5)와 같이 전극면상에 있으면 코로나 발생을 조장시키게 된다. 실제통에서 파티클이 부착하기 쉬운 형은 (3), (4), (5)의 경우로 미세한 선상 금속파티클이 GIS 내에 포함되면 전 압력범위에서 심한 FOV 감소를 초래하고 특히 2.0(bar) 이상의 고압력하에서는 FOV 상승효과를 기대할 수 없다.

3.2.4 비금속 파티클이 파피전압에 미치는 영향

고분자 절연물, 먼지, 머리카라 등 비금속 파티클이 GIS 내부에 혼입된 경우에 FOV에 미치는 영향을 조사하기 위해 PET 0.1~0.6(mm)의 세션을 전

극표면 및 스페이스에 놓여질 수 있는 모든 경우를 모의하여 그림 3.9과 같이 구성해 실험한 결과 그림 3.10과 같이 나타나므로 FOV 감소는 금속파티클에 비해서는 거의 영향이 없는 정도이다. 따라서 가는 비금속 파티클은 직접적으로 FOV를 감소 시키지 않음을 알 수 있다.

3.2.5 결과 검토

금속 파티클을 부착위치, 형태 및 크기별로 압력 증가에 따른 FOV 특성을 연구한 결과 FOV 증가율이 가장 낮게 나타나는 것은 전극 표면에서 미소간격 떨어져 파티클이 존재하는 경우이다. 이러한 현상은 그림 3.11로 설명할 수 있다.

그림에서 스페이스가 존재하는 SF6가스 갭에 파티클이 전극 표면에서 미소간격 떨어진 경우 전자, 이온의 발생과 공간 전하의 형성 및 스페이스 표면에 운집된 하전입자의 관계를 나타낸다.

그림과 같은 구성에서 전계가 강해짐에 따라 먼저

P위치 부분에서 미소방전(micro discharge)이 발생하면 Triatron gap과 같이 작용하여 교락되며 금속파티클 선단이 금속 돌기 전극으로 되어 선단 코로나가 발생하게 된다 따라서 전극간 갭이 파티클 크기와 미소갭의 합 만큼 단축되어 파괴전압을 가장 크게 작용되는 1차적 원인과 미소 갭에서의 방전과 선단 코로나 방전에 의한 다량의 전자 방출에 기인된 스페이스터 표면 전하 및 공간 전계의 변화가 가담하여 가장 낮은 FOV를 나타내는 것으로 사료된다.

파티클이 전극면에 밀착되어 스페이스터에 붙어 있는 경우는 3중접점상에 존재하는 파티클은 코로나

발생을 조장시키므로 중앙위치에 있는 파티클에 비해 FOV가 크게 감소되는 것으로 생각된다.

선형 파티클이 구형파티클에 비해 FOV가 낮은 것은 파티클의 형태가 코로나 발생이 용이하여 전자 방출이 용이하고 또한 전계 왜곡을 크게 만들기 때문이라고 생각된다. 파티클의 크기가 큰것은 전자 방출과 전계 변화에 영향을 미치기 때문에 FOV 감소가 크게 나타나게 된다. 압력이 증가함에 따라 큰 FOV 감소를 크게 나타내는 조건일수록 FOV 감소가 포화 내지는 다소 감소하여 증가되는 현상은 불평등 전계 구성에서 나타나는 임계압현상이 평등전극 구성내에 존재하는 파티클의 불평등전계를 형성하므로 그 현상이 미약하지만 작용한 것으로 사료된다.

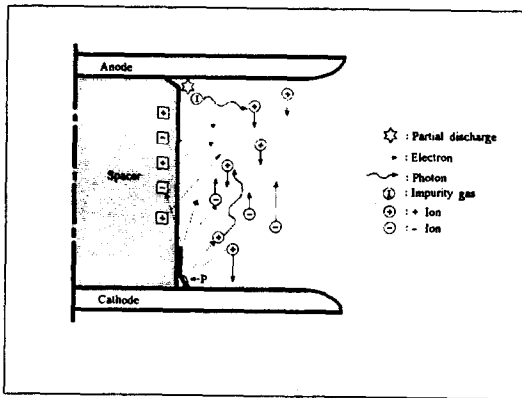


그림 3.11 SF₆가스내에서 스페이스터 표면 파티클의 작용
Fig. 3.11 Illustration of the processes for particle initiated on spacer surface in SF₆ gas.

그림 3.12는 스페이스터가 있고 금속파티클이 하부 전극측에 존재할 때 발생하는 대표적인 교류 corona 펄스를 PC로 그래픽 처리한 것이다.

정 부 반파의 피이크부근에서 코로나가 발생되고 있음을 볼 수 있고 정의 반파에서 부의 반파에서 보다 크게 성장된 코로나를 보여준다. 코로나 개시 전계가 되면 먼저 부의 반파 피크에서 코로나가 발생되고 더욱 전압을 상승시키면 정의 반파 피크부에서 코로나가 발생하며 이후의 성장은 정의 반파에서 강한 성장을 보인다. 파티클이 상하부 전극 측에 존재하면 코로나가 성장하여 파괴를 리더한다

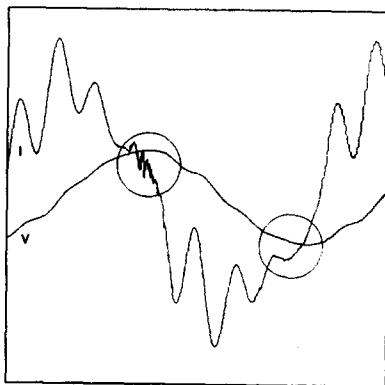


그림 3.12 스페이스터 표면에 파티클이 있을 때 AC코로나 펄스
Fig. 3.12 AC corona pulse of the particle initiated on spacer surface

4. 결 론

평행평판전극을 갭 10[mm]로 고정된 전극구성에서 SF₆가스압력 0.5~3.5[bar]로 변화시켰을 때 교류섬락전압에 미치는 금속돌기의 영향, 스페이스터표면에 부착된 금속 및 비금속파티클의 영향에 대해서 연구 검토한 결과 ① 파티클 사이즈가 크고 입경이 크면 심각한 섬락전압 감소를 초래하며 압력이 높을수록 영향이 크다. ② 파티클위치가 섬락전압에 미치는 영향은 중앙위치가 가장 적고 전극부분에 있는 경우가 영향이 크며 파티클이 전극에서 미소간격 떨어진 경우가 가장 파괴전압이 낮다. ③ 금속파티클 혼입시 섬락전압은 압력이 높을수록 증가율이 낮아

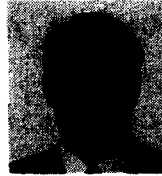
진다. ④ 섬락전압을 크게 감소시키는 파티클 형상 일수록 FOV 포화현상은 저압력 범위로 이동한다.
 ⑤ 0.6[mm] 이하의 가는 비금속파티클은 섬락전압에 거의 영향을 미치지 않는다. SF₆ GIS내에 금속 파티클이 존재하면 섬락전압이 크게 낮아지므로 설치 중 파티클 혼입을 방지해야 하며 파티클 Trapping 장치의 설치가 요망된다.

본 연구는 기초전력공학공동연구소 과제번호 93-05의 "SF₆ GIS용 스페이스 표면에서의 파티클에 의한 절연 파괴 특성연구"에 따른 연구비로 수행되었음.

참 고 문 헌

[1] 김정달, "SF₆ 가스중에서 정부극성 코로나 진전과정" 경남대 공업기술연구소 논문집, 14집 제2호, pp135~146, 1997.
 [2] 김정달, "SF₆ 및 SF₆-N₂ 혼합가스중에서 직류전압에 의한 스페이스 연연 섬락에 관한 연구", 대한전기학회 논문지, 제36권 제11호, pp28~37, 1987.
 [3] H. Anis, M. M. Morcos "Corona Stabilized Breakdown in Particle Contaminated Compressed SF₆ Systems", Gasous Dielectrics, IV, pp. 387~395, 1984.
 [4] J.R.Laghri "A Review of Particles-contaminated Gas Breakdown", IEEE Trans. Vol. EI-16, NO.5, October 1981.
 [5] M. M. Morcos "Particle-initiated Corona and Breakdown in GITL System", IEEE Trans Vol. EI-24, NO. 4, August 1980.
 [6] Li Ming, M.A.S.Leijon "Behavior and Effect of Conducting Spiral Particles under AC Voltage in a Gas Insulated Electrode System", IEEE Trans PD Vol. 3, NO.1, pp. 159~166 January 1988.
 [7] 原雅則 "SF₆ 가스中の金屬粒子汚損直流沿面フラッシュオーバーに對する沿面形狀の影響", T. IEE Japan Vol 110-B, NO.7, 90 昭和58年9月16日
 [8] 青柳浩邦,小林伸光 "GISに混入した金屬異物の舉動解析と絶緣破壊の理論的檢討(交流電壓)", 電學論 B, 108 卷, 4號, pp. 173~179 昭63
 [9] R.E.Wootton, A.H Cooksoon, F.T. Emery "Investigation of HV Particle-Initiated Breakdown in Gas-Insulated Systems" EPRI Report, EL-1007, 1971.

◇ 著 者 紹 介 ◇



김 정 달(金正達)

1947년 1월 6일생. 1970년 영남대 공대 전기공학과 졸업. 1987년 중앙대학교 대학원 졸업(박사). 1995~1996년 미국 South Carolina대 방문교수. 현재 경남대학교 공과대 전기전자공학부 교수.



이 세 훈(李世薰)

1955년 8월 15일생. 1982년 숭실대학교 전기공학과 졸. 1987년 건국대학교 대학원 전자공학과 졸업(석사). 1995년 경남대학교 대학원 전기공학과 박사과정 수료.

현재 대원전문대학 전기과 조교수.