

SF₆ 가스중 스페이서가 존재하는 불평등전계하에서의 교류파괴전압 특성

김 정 달
(경남대학교 전기공학과)

송 희 석
(호성중공업(주) 변압기부)

송 원 표
(호성중공업(주) 기술연구소)

AC Breakdown Voltage Characteristics in SF₆ Gas with Spacer Under Non-uniform Field

Kim Jung - Dal
Electrical Engineering Dept.
(KyungNam University)

Song Hee - Suck
Transformer Dept.
(Hyosung Industries Company)

Song Won - Pyo
R & D Dept.

Abstract

In this work, we reviewed AC break-down voltage characteristics in SF₆ Gas with spacer under non-uniform field, using the electrode construction of model spacer and simple protrusion.

We cleared that breakdown voltage and surface flashover strongly depend on the position of spacer's insert.

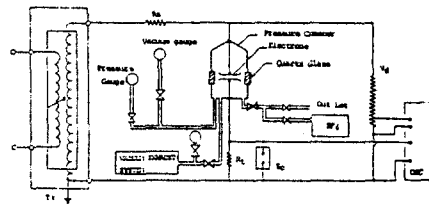
1. 서 론

SF₆ 가스는 우수한 절연특성 및 소화특성으로 인하여, 현재 가스차단기, 가스절연개폐장치 및 가스 변압기등의 초고압전력기기에 절연매질 및 소화매질로서 널리 사용되고 있다. 실제 가스절연개폐장치등에서는 SF₆ 가스를 주절연매질로 사용하고, 도체등 고전위부의 지지 및 가스공간 구획을 목적으로 고체 지지 절연물 즉, 스페이서를 같이 사용하고 있다. 따라서 SF₆ 가스 공간중에 스페이서가 존재하는 복합 유전체의 절연파괴특성에 대한 지식은 매우 중요하며, SF₆ 가스 단독 또는 스페이서와의 복합유전체에 대한 절연파괴특성 연구는 지금까지 많이 이루어져 왔다. 특히 근래에는 기기의 신뢰성 향상을 위하여, 기기의 절연내력을 크게 저하시킬 수 있는 금속 입자의 혼입을 방지하는데 주력하고 있으며, 금속 입자가 절연파괴특성에 미치는 영향에 관한 연구도 많이 진행되고 있다. 본고에서는 SF₆ 가스중 스페이서 근방에 금속 입자가 존재하는 경우를 모의하여, 가스 압력별, 스페이서 형태별로 교류파괴전압특성을 연구 검토한 결과를 보고한다.

2. 실험장치 및 실험방법

2.1 실험장치

본 실험에 사용된 장치의 회로 및 전경을 그림 1. 에 보인다. 고전압 교류원장치는 일본 Pulse 사 제품(AC 최대100kVrms, 30mA)을 이용했으며, 전원전압의 측정에는 고전압분압기(2000:1,50kVrms)와 제어반의 전압계를 사용하였으며, 실험중 전원전압의 파형 및 전류펄스를 관찰하기 위해서 디지털 스토래지 오실로스코프(Tektronix Model)를 사용하였다. 실험용 압력용기는 스테인레스강제 원통용기로서, 크기는 내경 ϕ 230mm, 높이 270mm 인데, 내부를 점검할 수 있는 아크릴 관측창을 전후 중앙에 2개 설치하였으며, 전압인가용 고압봉상이 상단에 설치되어 있다. 진공배기장치는 10⁻⁴torr까지 배기 가능하며, 진공도 측정용 진공계로는 수은 Manometer를 사용했다.



(a) 실험장치 회로



(b) 실험장치 전경
그림 1. 실험장치

2.2 시료 및 전극

실험에 사용한 모델 스페이서는 플렉시글라스(비유전율3.6)로 만들었으며, 그림2에 실험에 사용한 모델스페이서의 형상을 보인다. 이들 스페이서는 가공후 사포(#2000)로 연마하고, 알코올로 세정한 후 건조조에 넣어서 충분히 건조시킨후 실험에 사용하였다.

그림3에 실험시의 전극조립도 및 돌기전극의 형상을 보이는데, 돌기전극은 높이2mm, 선단부곡률반경0.3mm 정도의 것을 하부 집지축 평판전극에 고정시켰다.

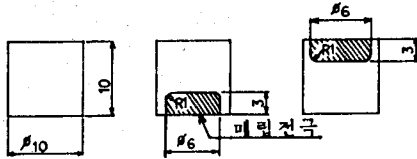


그림 2. 모델스페이서의 형상

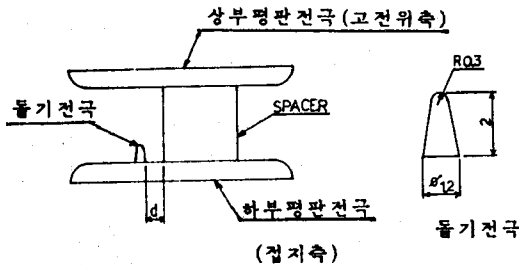


그림 3. 전극의 형상

2.3 실험방법

그림 3과 같이 전극과 시료를 조립하여, 스페이서와 돌기전극간 거리를 0~3mm로 변화시키고, 가스압력 1~4bar 범위내에서 스페이서 형상별 교류파괴 전압특성 및 방전경로를 검토하였다. 인가전압은 교류60Hz이며, 전압상승은 0.5kV/s의 속도로 상승시켰으며, 5회 반복실험의 평균치로서 파괴전압을 구했다. 또 실험의 재현성을 위하여 각 실험간 시간간격은 3분으로 하였으며, 절연파괴가 스페이서 연면을 통하여 일어난 경우에는 스페이서를 교체하여 실험을 진행했다. 실험중 방전경로는 정지카메라를 사용하여 관찰했으며, 전류펄스는 오실로스코프로 관측하였다. 또 실험결과와 검토 및 비교를 위해서 스페이서는 없고 돌기전극만 있는 경우에 대해서도 교류파괴전압특성을 측정하였다.

3. 실험결과

3.1 A형 스페이서의 교류파괴전압특성

그림4는 평판전극 갭 10mm에서 스페이서가 없는 경우와 A형 스페이서가 존재할 때의 교류파괴전압 특성이다. 침대 평판전극에서 SF₆ 교류파괴전압(FOV) 특성을 보면, 가스압력 4~5bar 부근에서 임계압력 특성이 나타나는데, 본 실험과 같이 평판전극중 돌기전극이 존재하면 임계가스압력이 3bar 부근의 낮은 쪽으로 이동한다는 것을 알았다.

A형 스페이서에서 돌기전극이 스페이서에 붙어 있는 경우, 즉 d=0에서 FOV는 가스압력 2bar까지는 직선적으로 급상승하고 3bar까지는 거의 일정하다가, 3bar 이상에서는 다시 급상승하는 특성을 보인다. d=1.5mm의 경우 FOV는 가스압력 1.5bar까지는 큰폭으로 상승하고, 1.5~3bar 범위에서는 상승폭이 감소하다가 3bar 이상에서 다시 크게 상승하는 특성을 보였다. d=3mm의 경우 FOV는 d=1.5mm의 경우와 거의 동일한 경향을 보이며, 다소 높은 파괴전압을 보였다.

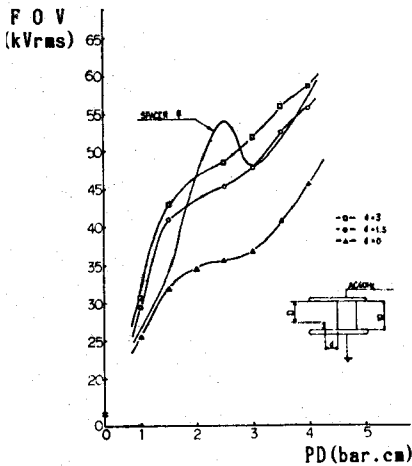


그림4. A형 스페이서의 교류파괴전압특성

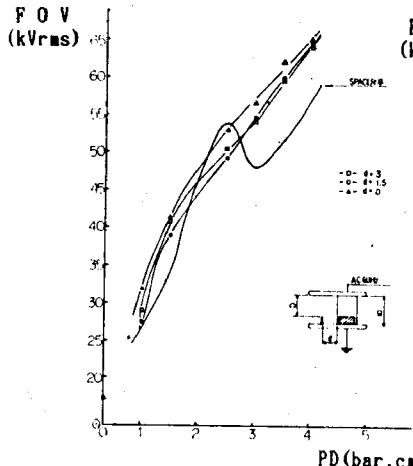


그림5. B형 스페이서의 교류파괴전압특성

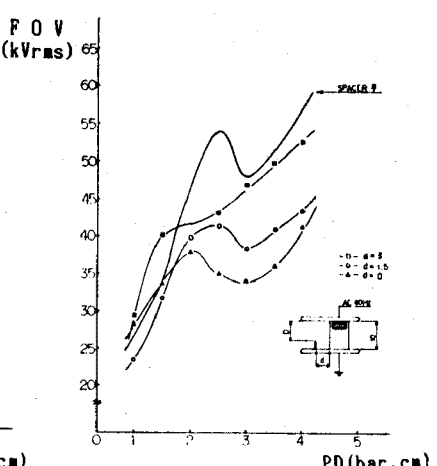


그림6. C형 스페이서의 교류파괴전압특성

A형스페이스의 경우, 스페이스의 존재로 인하여 임계 가스압력과 같은 특성이 분명하게 나타나지 않았으며, 돌기전극만 있는 경우보다는 더 낮은 가스압력에서 그 특성이 보였다.

$d=0\text{mm}$ 경우의 FOV가 $d=1.5, 3\text{mm}$ 경우보다 특히 낮은 것은 돌기전극 선단에서의 전자발생과 스페이스 접촉면과의 미소갭부분(Triple Junction)에서 전자발생이 용이하고, 이들 발생전자가 미소갭부분의 가스분자와 스페이스 연면의 이온등과 충돌하여 스트리머 코모나로 쉽게 진전되기 때문인 것으로 사료된다.

A형 스페이스의 경우, d 가 커질수록 스페이스의 효과는 줄고 스페이스연면 심략전압이 상승한다는 것을 알았다.

3.3 B형 스페이스에서의 교류파괴전압특성

그림 5는 B형 스페이스에서의 교류파괴전압특성인데, 이 경우에는 임계가스압력의 특성이 거의 나타나지 않았으며, 돌기전극과 스페이스간 거리 $d = 0$ 인 경우가, $d=1.5, 3\text{mm}$ 인 경우보다 FOV가 높은 특성을 보였다. 또 B형스페이스는 돌기전극만 있는 경우보다 높은 FOV를 보였으며, 특히 이 현상은 가스압력 3bar 이상에서 매우 현저함을 나타냈다. 이것은 돌기전극의 선단부 전계가 매프전극에 의해 크게 완화되며, 이 완화되는 비율은 d 가 커질수록 감소되기 때문에 $d = 0$ 에서의 FOV가 가장 높은값을 보인 것으로 생각된다.

3.4 C형 스페이스에서의 교류파괴전압특성

매프전극이 고전위부측에 설치된 C형 스페이스의 교류파괴전압특성을 그림6에 보인다. C형 스페이스 경우에는 그림6에서 알 수 있듯이 임계가스압력 특성이 잘 나타나고 있으며 임계가스압력도 돌기전극만 있는 경우와 비슷한 값을 보였다. FOV는 전가스압력범위에서 돌기전극만 있는 경우보다 낮은 값을 보였으며, d 에 관계없이 FOV의 영향은 거의 동일하게 나타났다. 이와같은 현상은 고전위측의 매프전극으로 인하여 접지측의 돌기전극선단과 돌기전극과 스페이스간의 미소갭에서의 전계집중이 더욱 심화되었기 때문이며, 스페이스의 영향이 크게 나타난 결과라고 생각된다.

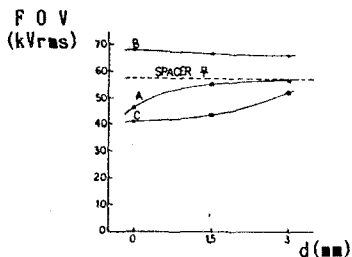


그림 7. 스페이스별 FOV의 비교 ($P_{SF6} = 4\text{bar}$)

3.4 스페이스별 FOV의 비교

그림 7은 SF_6 가스압력 4bar에서, 스페이스별 FOV를 거리 d 에 대하여 비교한 것으로, d 의 증가에 따라 B형은 다소 감소하며, A형과 C형은 크게 증가하였다.

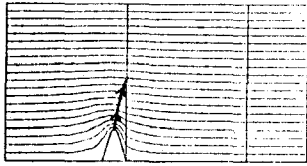
그림의 점선은 스페이스가 없고, 돌기전극만 있는 경우의 FOV값(57KVrms)인데, B형의 FOV는 이 값을 상회하며, A형, C형의 FOV는 이 값보다 낮다. 그러나 $d=3\text{mm}$ 이상에서는 A형, B형, C형의 FOV는 모두 57KVrms에 근접해가는 경향을 보이고 있어, d 가 어느거리를 벗어나면 FOV에 미치는 스페이스 효과가 거의 나타나지 않는다는 것을 알았다.

4. 실험결과의 검토

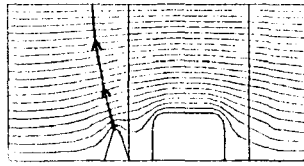
- 1) 돌기전극만 있는 경우와 비교할 때, A형스페이스의 경우 임계가스압력이 낮은 압력으로 이동한 것은 스페이스효과에 의한 것이며, B형 스페이스의 경우 임계가스압력특성이 잘 나타나지 않았던 것은 접지측의 매프전극이 돌기전극 선단전계를 크게 완화시켰기 때문이다. 또 C형 스페이스의 경우 임계가스압력이 거의 동일한 특성을 갖는 것은 고전위측의 매프전극으로 인하여, 불평등 전계가 더욱 심화되었기 때문인 것으로 생각된다.
- 2) 스페이스별 구분없이 가스압력 1.5bar까지는 FOV가 급상승하였는데, 이것은 스페이스 효과보다 SF_6 가스의 물리·화학적 성질이 크게 작용한 것으로 생각된다.
- 3) A형과 C형스페이스에서 $d=0$ 인 경우 FOV가 특별히 감소된 원인과 B형 스페이스에서 3bar 이상 범위의 FOV가 돌기전극만의 경우보다 높아지는 원인을 분석하기 위하여, 속도칭 3차원으로 전계계산을 실시하였으며, 그 결과로부터 방전경로를 예측하고 실험중 관측한 결과와 비교검토하였다.

그림8,9,10은 각각 A,B,C형 스페이스에서의 전계분포도이며, 그림중의 화살표 방향이 예측되는 방전경로이다.

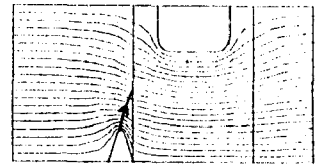
그림8에서 A형 스페이스의 경우, $d=0$ 에서는 스페이스와 돌기전극 사이의 미소갭부분에서 부분방전에 의해 발생하는 전자 및 이온이 스페이스 표면에 부착되고, 돌기전극 선단의 강한 전계에 의해 반드시 연면을 경유하여 절연파괴가 일어나며, d 가 커지면 가스중으로 이동할 것으로 예측된다. 그림 9에서 B형 스페이스의 경우 매프전극이 돌기전극 선단부의 전계를 완화시킬 뿐만 아니라, 돌기전극과 스페이스간의 미소갭에서의 부분방전도 억제시켜, 돌기전극의 위치에 관계없이 스페이스 연면을 경유하지 않고, 가스중으로 방전이 일어난다고 예측된다.



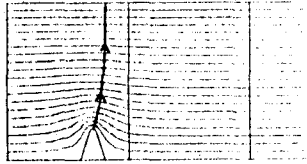
(a) d = 0mm



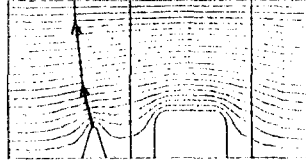
(a) d = 0mm



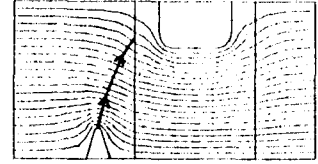
(a) d = 0mm



(b) d = 2mm



(b) d = 2mm



(b) d = 2mm

그림 8. A형 스페이서의 전계분포도

그림 9. B형 스페이서의 전계분포도

그림 10. C형 스페이서의 전계분포도

그림 10에서, C형 스페이서의 경우, 고전위에 위치한 매프전극으로 인하여 돌기전극 선단부의 전계는 더욱 집중되고, 돌기전극과 스페이서간의 미스갭에서의 전자방출도 심화되어 돌기전극의 위치에 관계없이 방전경로는 스페이서 연면을 경유하는 것으로 예측된다.

그림 11은 스페이서별 돌기전극 선단부의 전계강도 계산치를 비교한 것이다.

사진 1은 SF₆ 가스압력 1.5 bar에서 스페이서 형태별로 돌기전극의 위치를 변화시키면서 방전경로를 관찰한 것이다. 상기 전계계산의 결과로부터 예측한 방전경로와 잘 일치하고 있다.

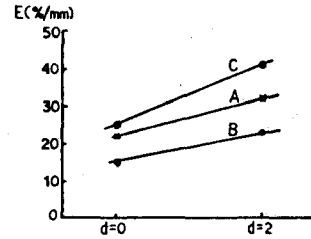


그림 11. 돌기전극 선단부의 전계강도 비교



d = 0mm



d = 2mm

(a) A형 스페이서



d = 0mm



d = 2mm

(b) B형 스페이서



d = 0mm



d = 2mm

(c) C형 스페이서

사진 1. 스페이서별 방전경로의 관측사진(P=1.5 bar)

5. 결 론

SF₆ 가스중 스페이서 근방에 금속 입자가 존재하는 것을 모의하여 교류과피전압특성에 대해서 연구 검토하였다. 또 전계계산결과를 이용하여 방전경로를 예측하였으며, 관측사진과 비교한 결과 잘 일치한다는 것을 알았다. 스페이서 근방에 금속 입자가 존재하는 경우, 스페이서 내부에 적절한 매프전극을 설치함에 따라 스페이서 연면의 심략을 방지할 수 있으며, 절연내력도 크게 상승시킬 수 있음을 알았다. 본 실험결과는 가스절연개폐장치등의 전력기기설계에 활용함으로써 기기의 신뢰성 향상에 크게 기여할 것으로 기대된다.

6. 참고문헌

- 1) E. ERMEL, Test Electrodes for assessing the electric strength of insulating gases, *Electra*, No.113
- 2) M. Craig Miller, Surface Flashover of Insulators, *IEEE Trans. on EI* Vol.24, No.5 1989
- 3) 仲西達一郎, 不平等電界中 SF₆ 가 스 중의 支持絶緣物の 洩面放電, *日本電學論誌* 56-761, 1982
- 4) J. M. Meek & J. D. Craggs, Electrical Break down of Gases, pp 428-432 1977