

SF₆ 가스중의 불평등전계에 있어서 이온류장 모델

이형호*, 김익수
한국전기연구소 고전압 연구실

Model of Ion Flow Field under Nonuniform Field in SF₆ Gas

Lee Hyeong - Ho*, Kim Ik - Soo
Korea Electrotechnology Research Institute

Abstract

The effect of an insulator inserted along the axis of a rod-to-plane gap on an ion flow field in SF₆ gas is investigated experimentally in the pressure region where a proceeding corona discharge exists. Without the insulator, the calculated electric field on the plane electrode agrees fairly well with the measured one. With the insulator, the ion flow field characteristics may be attributed to the change in the electric field distribution by the accumulated charge, the increase in the ratio of the dielectric strength in gas gap to that along the insulator surface with the gas pressure, and the thermal diffusion of ions near the insulator.

반구상의 두께 1mm의 텅스텐 봉이다. 전계계측에 사용한 bias probe부착 평판전극은 Tassicker의 제안을 근거로 하여 필자등이 제작하였다. 그 구조는 stainless제의 평판 전극상에 직경 2.8mm의 구멍을 만들고, 거기에 직경 2mm의 stainless제의 probe 전극을 배치하였다.

시험에 사용된 가스는 SF₆로써 실험용적 500mm × 800mm의 시험 탱크에 필요한 절대 가스압력 P(atm)까지 주입하고, 정극성의 직류 전압을 인가하여 실험을 하였다.

평판전극 표면의 전계강도(Ep)의 분포는 그림1에 나타낸 바와 같이 평판전극을 X방향으로 0-30mm의 범위에서 이동시켜, 봉전극에 대한 probe 위치를 변화시켜 측정하였다. bias 전압(Vb)와 probe 전류(Ip)에 의해서 Ep를 구하는 방법은 문헌(1)과 같다. 본 연구에는 bias 전압을 -500V에서 +500V까지 상승시켰다.

1. 서론

SF₆ 가스는 절연 기체로서 여러가지의 우수한 성능을 가지고 있기 때문에 가스절연 기기의 매체로써 널리 사용되고 있다. 그러나 실용의 SF₆ 가스절연 기기에 있어서는 그 전극구성이 불평등전계가 되고, 또 전극표면의 거칠음, 혼입 금속입자 및 지지절연물의 설치에 동반되는 전계 집중이 나타나고, SF₆ 가스의 절연내력이 이것들의 전계 집중에 민감히 영향을 받는 결점이 있다. 이와 같은 결점을 극복하기 위한 연구가 여러 관점에서 행해져 왔다.

그런데 평등전계 중의 파괴조건으로써는 전자상태 - 스트리머 전환을 고려하면 실용상 문제는 없다. 이것에 대하여, 금속입자 오손상태와 같은 불평등전계중의 절연파괴특성은 코로나 개시전압(Vc)과 파괴전압(VBD)이 일치하는 임계기압(Pc) 이하에 있어서 VBD보다도 훨씬 낮은 전압에서 발생하는 코로나방전에 의한 가스의 분해, 스페이스 열화등의 가능성도 고려할 수 있다.

이러한 문제와 관련하여 코로나방전에 의해서 형성되는 이온류장의 특성을 해명할 목적으로서, 갭중의 전계와 절연물 연면의 부하전하에 주목하여 불평등전계 중의 이온류장과 절연파괴특성을 조사했다.

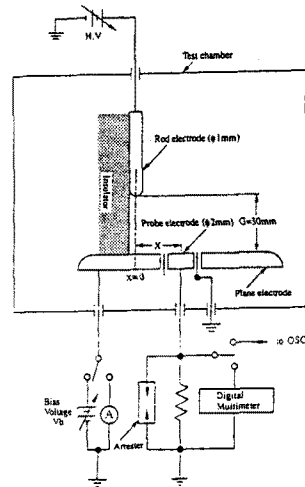


그림 1 전극계

2. 실험장치 및 방법

전극구성은 그림1과 같이 갭장(G) 30mm의 봉-평판 전극으로서 연면과 입자의 영향을 조사하기 위하여 평판 전극에 수직이고 봉전극과 평행하게 절연물 연면을 설치하였다. 봉전극은 특별히 언급하지 않는 한, 선단

3. 실험결과 및 고찰

이온류장을 특징지우는 parameter로서는 전계, 전류, 전하밀도등을 들수 있으나, 이것들의 諸量을 이론과 계측의 양면으로부터 추정하는 시도가 각소에서 행해지고 있다. 본 연구는 절연파괴특성에 직접 영향을 미치는 parameter로서, 연면이 없는 경우에는 갭중의 전계강도에, 또 연면이 있는

경우에는 집중의 전계와 절연물 연면의 부하전하에 주목하여, 실험적 검토를 하였다.

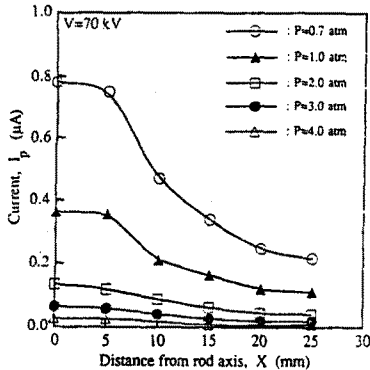
1) 평판전극상의 전류, 전계분포 특성

1)-1 절연물 연면이 없는 경우

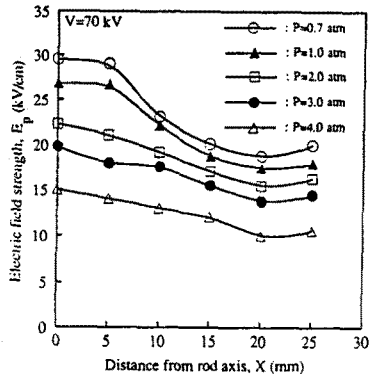
P/C에는 코로나 방전전압 영역이 비교적 넓기 때문에, 코로나 개시전압으로부터 파괴전압 부근까지 인가전압(Vapp)을 상승하고, 이 가스압 영역에서 전류, 전계를 측정하였다. 그림2(a),(b)는 P를 parameter로써 Ip 및 Ep의 측정예를 나타낸다. P가 변화하여도 그것들의 분포는 변하지 않는다.

그림3은 각각의 실험조건에 대하여 still camera로써 촬영한 봉전극에서의 코로나발생 형상을 나타낸다. 연면이 존재하지 않는 경우에는 그림3에 나타낸 바와 같이 코로나방전은 축대칭으로 발생하고 있고, 이 때문에 Ep 및 Ip의 분포는 X=0에서 최대치를 나타내고 있는 것으로 생각된다.

그림4는 집중에서 최대 전계 probe 위치, 즉 X=0mm인 봉전극 축상에 있어서, Ep의 측정치와 전계계산법에 의한 계산치를 P와 Vapp를 parameter로써 나타낸다. Ep는 코로나 개시후 Vapp를 상승시켜 가면 거의 직선적으로 급격히 증대하고 있다. 전반적으로는 측정치는 계산치와 잘 일치하고 있으나, Vapp에 따라서는 그것들의 오차가 큰 경우가 있다. 이것은 정극성 이온류장의 경우, Ip는 약 18uA order로써 맥동하고, 인가전압을 증가하면 긴 수지상의 코로나를 동반하는 불안정한 방전전류가 출현하기 때문이다.

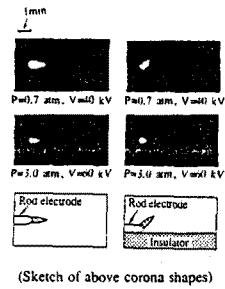


(a) 전류



(b) 전계

그림 2 봉-평판전극상의 전류, 전계 분포



(Sketch of above corona shapes)

그림 3 봉전극에서의 코로나형상

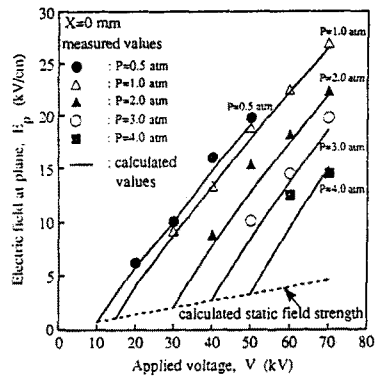
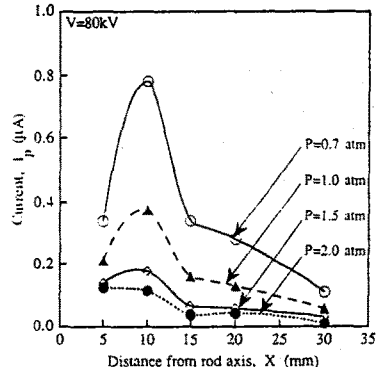


그림 4 인가전압 변화시의 평판전극 표면의 분포

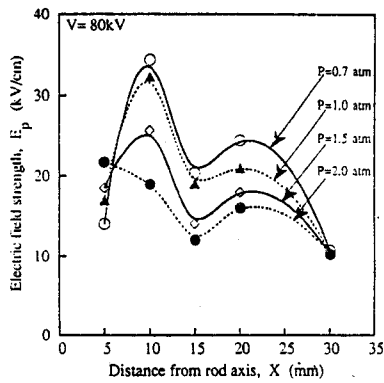
1)-2 절연물 연면이 있는 경우

그림6(a)는 연면이 있는 봉 - 평판전극에 있어서 X에 대한 Ip의 분포를 나타내나, Ip는 P<2.0atm의 경우, X=10mm로써, P>2.0atm의 경우 X=5mm에서 최대치를 나타내고, P가 클수록 절연물 연면 부근에서의 전류의 상대치가 크게됨을 알 수 있다. 이온류장의 전류분포는 이온원으로부터의 이온이 전기력선을 따라서 나아간다고 추정할 수 있다.

따라서 이온류원인 코로나방전이 봉전극의 어느 부분에 출현할까가 평판상의 이온전류 분포에 밀접히 관계하게 된다. 그림3(b)의 실험결과에 의하면 P가 적을 때는 코로나가 상방으로 향하여 나타나는 것에 대하여, P가 크게 되면 코로나가 연면방향으로 향하여 나타나게 된다. 이와 같은 P에 의한 코로나 발생점의 변화는, 다음 절에서 고찰하지만, 이것이 그림5(a)의 전류분포를 가져오게 하였다.



(a) 전류



(b) 전계

그림 5 연면이 있는 경우의 전류, 전계 분포

또 그림5(b)에 나타난 E_p 도 P 가 크게되면 상대적으로 연면 근방($X=0$ 의 부근)의 전계가 크게되어 있다. 연면이 존재할 경우의 평판상의 전계는, (인가 전계) + (공간전하 전계) + (연면부착 전계)로 되어 있으나, P 가 크게 되면 연면상의 전하에 의한 전계가 연면 근방의 전계를 상승시키기 때문에 그림5(b)와 같은 특성이 되었다고 생각할 수 있다.

2) 공간전하와 전계분포의 관계에 대한 고찰

2)-1 연면이 없는 실험등전계의 경우

그림6은 봉 - 평판 전극계에 있어서 인가전압에 대한 봉전극 축상의 전계의 계산치를 일례로 나타낸다. 공간전하를 포함하는 이온류장의 전계를 계산할 때 사용하는 방정식계는 Poisson식, 전류연속식, 전류밀도식이 있고, 본 연구에도 이것들을 풀기 위하여 정상 이온류장에서 Deutsch의 가정을 사용하여, 봉전극 축상의 전기력선에 따라서 1차원 근사에서 계산을 하였다.

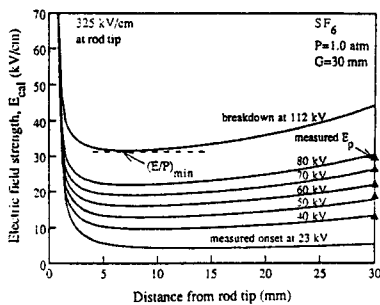


그림 6 봉-평판 전극축상의 전계분포

코로나개시 이후의 전압상승에 따라, 갭중의 전계강도는 서서히 증대하고, 준평등 전계분포에 가깝게 되고 있음을 알 수 있다. VBD-P특성곡선으로부터, $PkPc$, $r=1mm$ 의 경우, 절연파괴시에 있어서 계산한 전계의 최저치 $(E/P)_{min}$ 은 30-40kV/cm.atm의 일정하다. 따라서 코로나 공간전하가 존재하는 실험등 전계중의 절연파괴는 갭중의 최저전계치가 방전 진전조건에 필요한 임계치를 넘었을 경우에 발생한다고 생각되고, 이 현상은 Parish등의 결과와 잘 일치하고 있다.

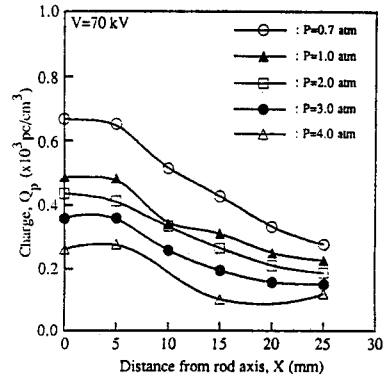
그림6의 Δ 는 금회의 bias probe법에 의한 측정치이고,

인가전압이 낮은 글로우 코로나방전이 비교적 안정히 나타나는 전압 영역의 측정치는 계산치와 잘 맞고 있다. 인가전압이 높아지면 필라멘트적인 스트리머 코로나가 출현하고, 전류파형이 불규칙하게 되고, 따라서 E_p 의 측정이 곤란하였다.

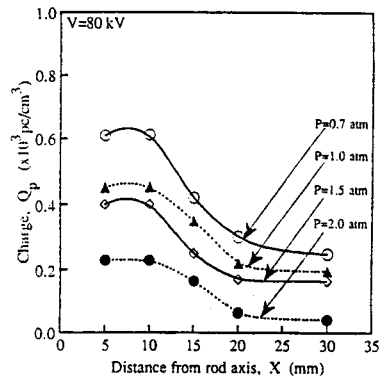
그림7은 그림2의 I_p 및 E_p 특성으로부터 다음식을 이용하여 구한 평판전극 근방의 전하밀도(Q_p) 분포이다.

$$Q_p = J.P/k.E_p$$

단, J : 전하 밀도, k : SF_6 가스의 정이온 이동도 ($0.73cm^2/Vs$)이며, 전류밀도는 $X=0$ 에서 X 의 증대와 함께 완만하게 감소하고 있다. 그림2와 그림7(a)로부터 연면이 없는 경우의 방전과 이온류장을 모델화하여 그리면 그림8과 같이 된다.



(a) 봉-평판전극



(b) 연면이 있는 경우

그림 7 평판전극 근방의 전하밀도 분포

2)-2 연면이 존재하는 실험등전계의 경우

연면이 있는 경우의 전하 밀도(Q_p)분포는 그림7(b)와 같으나, 이것을 연면이 없는 경우와 비교하면 X 의 전 영역에 걸쳐서 Q_p 가 작아지게 되나, 분포형상 그것 자체에는 큰 차이가 없다.

그림8(b)에 나타낸 바와 같이 봉전극에서 출발한 전하가 전기력선을 따라서 평판전극을 향한다고 가정하면, $X=0$ 근방에는 봉전극으로부터의 전기력선 (단, 연면상에 Trap된 정전하로부터의 전기력선이 있다)이 없기 때문에, 이 영역에는 전하의 유입이 없어야 하나, 그림7(a)의 전류분포는 이것을 지지하고 있으나, 동시에 이 영역의 전계가 그림7(b)와 같이 저하하기 때문에, 전하밀도는 큰 값을 나타내는 결과가 되어 있다. 이와 같이 본래

전극으로부터의 전기력선이 없는 영역에 전하가 침입하여 공간전하를 형성한 것은 정이온의 확산효과가 작용했기 때문이다. 따라서 연면이 있는 경우의 방전 및 이온류장의 모델은 그림8(b)와 같이 된다고 생각할 수 있다.

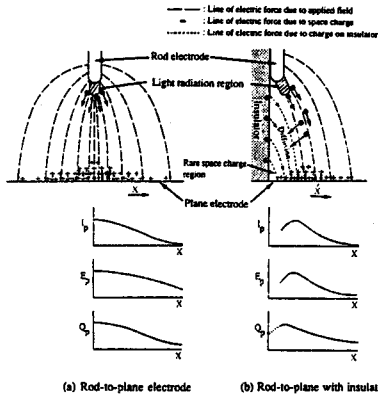


그림 8 불평등 전극계의 방전과 이온류장의 모델

4. 결론

코로나방전에 의해서 형성되는 이온류장의 특성을 해명하기 위하여, 봉 - 평판 전극계를 이용하여, 갭 중의 전계와 절연물 연면의 부락전하에 주목하여, 이온류장과 절연파괴특성을 조사하였다.

- 1) 절연물 연면이 없는 봉 - 평판 전극계의 절연파괴 특성은 봉전극 선단의 반경에 의해서 현저히 변화하고, 또 코로나방전을 경유하는 절연파괴는, 갭 중앙의 최저전계치가 방전 진전조건을 만족시켰을 때 발생하고, 그 값은 30-40KV/cm.atm이다.
- 2) 연면이 존재하는 봉 - 평판 전극계의 경우, 평판 전극상의 전류분포는 이온류원인 봉전극에서의 발광 영역의 방향에 밀접히 관계하고 있다. 또, 전계분포는 (a)인가전계, (b)공간전하전계, (c)연면부락전하에 의한 전계에 관련하고, P가 낮을 때에는 주로 (a)와 (b)의 효과에 의해서, P가 크게 되면 (c)의 효과에 의해서 그 분포특성이 바뀐다.

Reference

- [1] 기체 절연에서 혼합 가스의 응용 전문위원회 : 일본전기기술보고(II부), 제248호 (1987)
- [2] 이형호등 : 일본전기학회 논문지, 제10호, B권, p568 (1990)
- [3] M. Hara 등 : IEEE. Trans. on EI, Vol.26, p156 (1991)
- [4] H. H. H. Lee 등 : 3rd ICPADM, p529 (1991)