

Dust Figure를 이용한 스페이서상의 대전전하 분포해석

최재구, 서길수, 김영배, 김익수
한국전기연구소

An Analysis on the Charge Distribution on the Spacer Using Dust Figure

Jae Gu Choi, Kil Soo Seo, Young Bae Kim and Ik Soo Kim
Korea Electrotechnology Research Institute, KERI

Abstract - Unlike AC, DC dielectric characteristics of the spacer are very influenced by the quantity and the distribution of surface charges. A general impression of the distribution of surface charges is obtained if electrostatic powders are sprinkled over the surface. The distribution of surface charge was investigated with dust figures. Mechanism of charge accumulation on the spacer of SF₆ GIS has been studied using various types of model spacers which have different depths. As a result, it was found that charge accumulation was dominantly influenced by the normal component of the electric field and the usage of embedded electrodes was an adequate method to lessen field concentration around the triple junction. The guide of the optimum depth of the spacer was proposed.

1. 서 론

최근, 전원과 수요지의 편재화에 의한 송전거리의 증대, 기설 교류계통의 단락용량 증대 등의 문제가 발생하고 있으며, 이들 문제의 해결에 유효한 수단으로 선진 각국에서 초고압직류(EHVDC) 송전이 검토되고 있다 [1]. 우리나라에서도 해남과 제주간의 직류송전이 개시되고 있는 실정에 있으며, 나아가서 남북통일에 대비한 전력계통의 연계 및 동북아 지역의 전력계통의 연계를 통한 전기 에너지의 상호 경제적인 이용을 위해서 직류 송전 방식의 채용이 불가피하다.

HVDC 송전 시스템에 소요되는 전력기기에는 inverter, converter 외에 모선(bus), 단로기(DS), 접지스위치(ES), spacer, arrester, CT, PT, bushing 등 HVDC GIS용 구성기기와 DC circuit breaker, cable, reactor 등이 있다. 이 중에서 GIS는 압축 SF₆의 우수한 절연내력을 이용함으로써 장치의 축소화, 고효율화, 고밀도화 및 고신뢰성 운전이 가능한 시스템 전력기기이다. 이의 개발을 위해서는 직류절연기술과 직류 차단기술이 대표적으로 소요되는 기술이며, 현재 세계적으로 많은 연구개발이 진행되고 있다.

직류절연기술에서 가장 필요한 것은 대전역제, 이물질 대책, 가스공간 및 절연물의 절연설계기준의 정립 등이다. 절연물의 DC 절연특성은 AC와 달리 절연물의 대전 전하량과 그 분포에 크게 영향을 받으며, 스페이서 연면에서의 대전전하로 말미암아 금준파써지, 뇌써지 또는 역극성 전압인가시 절연파괴전압의 저하를 초래하게 된다.

대전전하 측정법은 dust figure법(전하 도형법) 등 전하의 정전력을 이용하는 방법과 probe법 등 근접 sensor에의 정전유도를 이용하는 방법으로 대별된다. dust figure법은 정확한 정량적인 측정 할 수 없는 단

점이 있으나, 대전의 분포를 간단히 한 번에 파악하는 것이 가능하다[2].

따라서 본 논문에서는 초고압직류 절연기술에 있어서 스페이서상의 대전전하분포를 매립깊이가 다른 전극과 dust figure를 이용하여 검토하였다.

2. 본 론

2.1 실험장치 및 방법

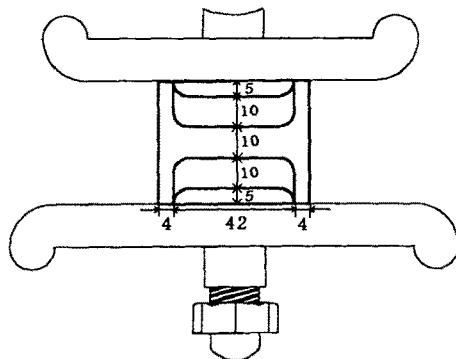


그림 1. 매립전극 및 스페이서의 형상

그림 1은 본 실험에 사용된 매립전극 및 스페이서의 형상을 나타내고 있다. 알루미늄 재질의 매립전극에는 스페이서 단부의 전계집중[3]을 피하고, 매립깊이에 따른 대전분포의 차이를 살펴보기 위하여 각각 0, 5 그리고 15mm씩 3가지로 매립을 하였다. 스페이서도 매립전극과 일치하도록 각각 0, 5 그리고 15mm의 깊이를 가지도록 했다. 실험에 앞서 전극과 스페이서의 사이에 미소캡이 존재하지 않도록 하기 위해서 스페이서의 상·하면을 silver paste로 도포하였으며, 스페이서 표면의 진류전하를 없애기 위해 접지한 알콜 용액속에 스페이서를 담근 후 건조시켰다.

실험은 실규모 362kV GIS 체임버내(SF₆가스 4기 압) 및 대기압 상온에서 수행되었으며, 직류전원은 Haefely사의 고전압발생장치(Code No. 10504, 최대 전압 : DC 400kV)를 사용하였다.

대전전하분포를 파악하기 위해 사용한 분말로는 Canon사의 컬러복사기 토너를 사용하였다. 컬러복사기의 토너는 보통 90~95%의 수지(polyester, styrene/acrylic etc.), 5%의 착색제, 1~3%의 전하제어제(charge control agent, CCA) 그리고 왁스와 같은 기타첨가물로 구성되어 있다. 그 중에서 CCA는 여러 가지의 착색제와 결합하여 + 또는 -의 정전전하를 세기별로 발생하는 것이 가능하기 때문에[4] 컬러복사기의 토너는 대전전하의 분포를 파악하는데 적당하다.

2.2 실험결과

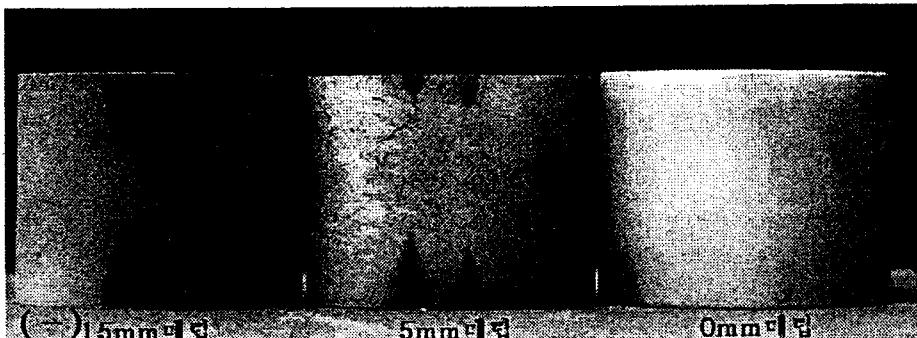


그림 3. 공기중 dust figure(대기압, 24°C, 65% RH에서 40kV인가)

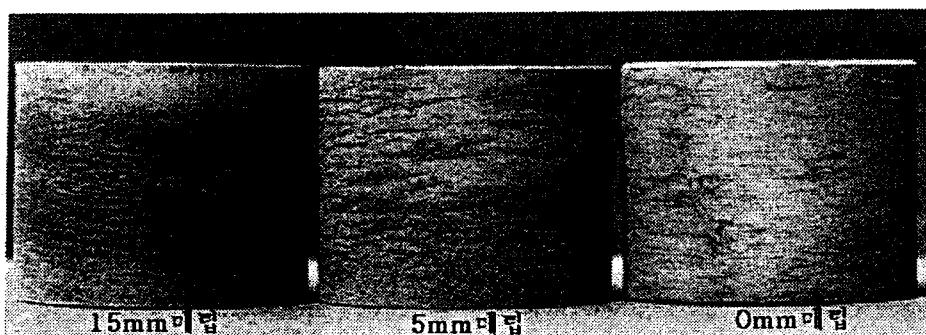


그림 4. SF₆가스중 dust figure(4atm. abs, 200kV인가)

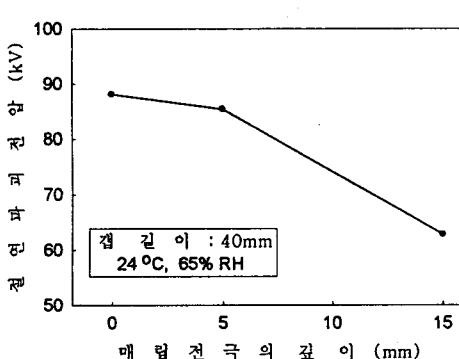


그림 2. 매립깊이에 따른 절연파괴전압
(대기압, 24°C, 65% RH)

그림 2는 그림 1과 같은 전극구조에서 실험적으로 구한 매립깊이에 따른 기중에서의 절연파괴전압치이다. 여기에서 구한 절연파괴전압치를 참고로 하여 기중에서의 대전전압의 값을 40kV로 하였다. SF₆가스 4기압에서 대전전압의 값은 200kV로 하였다. 대전시간은 10분으로 했으며. 대전시간이 길어져도 dust figure의 형상은 크게 다르지 않고 시간에 따라 포화특성을 나타내었다.

그림 3은 공기중에서 40kV 전압을 인가했을 때의 dust figure사진이다. 상부전극에 +전압을 하부전극에 -전압을 인가하였다. 최대 대전밀도를 보인 곳은 스페이서 연면에 대해 법선성분의 최대전계점과 일치하였다. +전극부근의 연면에는 청색의 토너가, -전극부근에는 적색의 토너가 국부적으로 각각 불었다. 이것은 청색의 토너는 +전극 부근의 연면에 대전된 -이온과, 적색의 토너는 -전극부근에 대전된 +이온과 결합한 것을 나타낸다. 그리고 매립깊이가 증가함에 따라 전계강도의 증가를 수반하여 토너의 부착량이 증가하였다.

그림 4는 SF₆가스 4기압에서 200kV를 인가했을 때의 dust figure사진이다. 대전전하는 법선성분 최대전계지점을 중심으로 균일하게 스페이서의 둘레에 분포하였다. 매립깊이가 깊을수록 전계강도의 증가로 인해 대전량이 많은 것을 알 수 있다.

2.3 고찰

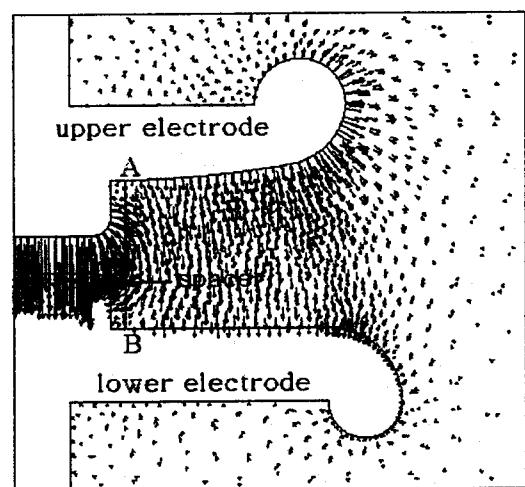


그림 5. 15mm 매립전극의 전계벡터

그림 5는 15mm 매립전극에 대한 전계벡터로서, 이온은 전기력선을 따라 이동한 후 스페이서 연면에 부착되는 것으로 사료된다. 그리고 삼중점(A점과 B점)에서의 전계는 매립전극으로 인해 감소된 것을 알 수 있다.

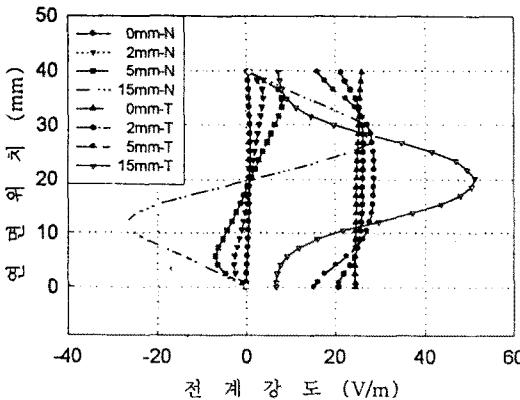


그림 6. 연면위치에 따른 전계의 법선 및 접선성분

그림 6은 그림 5의 A점과 B점 사이 연면상의 전계를 법선성분과 접선성분으로 나누어 나타낸 것이다. 그림에서 N선들은 0, 2, 5, 그리고 15mm의 매립깊이에 따른 전계의 법선성분을, T선은 접선성분을 각각 나타내고 있다. 매립깊이가 15mm인 전극의 경우, 대향하는 매립전극의 거리가 상대적으로 즐기 때문에 강한 전계강도를 보이고 있다. 이 결과, 그림 3 및 4에 보이는 것처럼 15mm매립전극에서 가장 많은 대전량을 나타내었다. 그리고 스페이서 연면상의 대전은 주로 전계의 법선성분에 영향을 받는 것을 알 수 있다. 그림 2로는 삼중점에 기인한 절연파괴전압의 저하에 대해서 매립전극을 설치함으로써의 개선효과를 찾아보기 어렵지만, 그림 6을 통해서 연면위치 0 및 40mm인 삼중점 부근에서의 전계는 매립전극을 설치함으로써 크게 완화되었음을 보여주고 있다. 이상에서 연면에서의 대전을 최소로 하며 삼중점 부근에서의 국부적인 전계집중을 피할 수 있는 매립전극 및 스페이서의 설계가 필요한 것을 알 수 있다. 그림 7은 매립전극의 전계해석 예(등전위면)을 보여주고 있다.

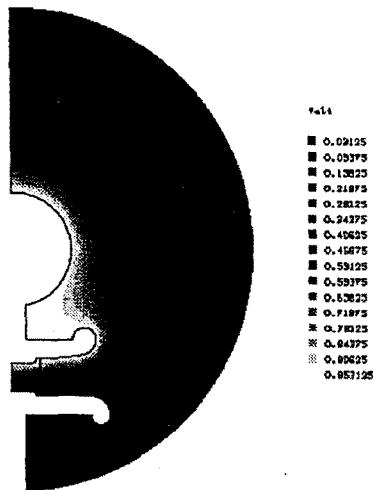


그림 7. 매립전극의 전계해석 예(등전위면)

3. 결 론

초고압 직류절연기술에 있어서 스페이서 연면상의 대전하분포를, 매립깊이가 다른 전극과 dust figure를 이용하여 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 공기중의 절연파괴전압은 매립깊이가 깊을수록 낮았다. 그러나 전계계산을 통해 매립전극을 설치함으로써 삼중점 부근의 전계가 크게 완화되었음을 확인했다.

2) 공기중에서 +전극부근의 연면에는 청색의 토너가, -전극부근에는 적색의 토너가 국부적으로 각각 붙었다. 최대 대전밀도를 보인 곳은 스페이서 연면에 대해 법선성분의 최대전계점과 일치하였다.

3) SF₆가스 4기압하에서 200kV를 인가했을 때의 대전하는 법선성분 최대전계지점은 중심으로 스페이서의 둘레에 균일하게 분포하였다.

4) 전계해석의 결과, 매립전극을 설치함으로써 연면에서의 대전을 최소로 하며 삼중점 부근에서의 국부적인 전계의 집중을 피할 수 있는 것을 알 수 있었다.

보다 정밀한 모델 스페이서를 설계하기 위해서 그리고 정량적인 측정 및 더 상세한 대전기구의 해석을 위해서는 정전프로브를 이용한 연구가 더 수행되어져야 한다고 사료된다. 그래서 저자들은 정전프로브를 이용한 대전기구에 관한 연구를 현재 수행하고 있다.

[참 고 문 헌]

- [1] "우리나라에서의 직류송전에 관한 타당성 조사연구", 한국전기연구소, 244-249, 1987
- [2] F. H. Kreuger, "Industrial High DC Voltage", 35-40, 1992
- [3] Manabu Yoshimura, Hiroyuki Hama, Kiyoshi Inami, Haruhisa Fujii, "Mechanism of Partial Discharge Inception in Surface Flashovers Initiated from Triple Junction in SF₆", T.IEE Japan, Vol. 117-B, No. 6, 830-837, 1997
- [4] Ruediger Baur and Hans-Tobias Macholdt, "Charge Control Agents and Triboelectrically-Adjusted Pigments in Electrophotographic Toner", Journal of Electrostatics, 40&41, 621-626, 1997