

GIS 립 스페이스의 가상스트리머 진전에 따른 전계해석 및 절연특성

류성식, 최영찬, 이창용, 곽희로^U
 현대중공업 기전연구소, 송실대학교^O

Electric Field Analysis with Imaginary Streamer Process and Insulation Characteristics on the Ribbed Spacer for GIS

Sung-Sic Ryu, Young-Chan Choi, Chang-Ryong Lee, Hee-Ro Kwak^U
 HEMRI, Hyundai Heavy Industries CO., LTD., ^OSoongsil University

Abstract - The effect of ribbed spacers having metallic particle attached to the post-type spacer on dielectric breakdown phenomena has been investigated using electric field analysis for imaginary streamer process and a breakdown experiment. It was described that the electric field analysis and the dielectric breakdown test were performed on the case that the particle was attached to the various position of the ribbed spacer having various shapes.

As a result, the breakdown voltage of the spacer with two ribs was highest, and it was varied by the length and the thickness of the rib. Especially, in case of the rib with round edge, the breakdown voltage was higher than that with rectangular edge, which complied with the result through the field analysis.

1. 서 론

GIS 절연파괴 사고의 주원인으로 작용하는 금속성 파티클(particle)은 GIS의 제작, 조립, 설치, 운전 과정에서 혼입의 완전 방지가 불가능한 실정에 있다. GIS 외함내에 존재하는 금속성 파티클은 전계에 의한 정전력, 중력, 가스내의 점성저항 등의 상호영향 하에 놓이게 된다. 전계가 증가되어 파티클에 작용하는 정전력이 중력과 점성저항의 힘보다 커지게 되면 파티클은 기립 또는 부상하게 되고, 더욱 전계가 커지게 되면 공간 중을 비행하여 전극간을 교락하거나 비행도중 스페이스에 부착하여 절연파괴 사고의 확률을 증가시키게 된다. 이렇게 GIS 내부에 금속성 파티클이 존재하게 되면 절연파괴 확률이 증가하게 되며, 특히 스페이스에 금속성 파티클이 부착될 경우에 사고확률이 가장 커지게 된다 [1-2].

이에 따라, 금속성 파티클이 스페이스에 부착시 절연파괴가 발생하는 것을 개선하기 위하여 특히 포스트 스페이스에 적용할 수 있는 립-스페이스(ribbed spacer)가 제안되어 여러 연구자들에 의해서 연구되어 왔지만 절연파괴 기구에 대한 연구는 아직 미미한 실정이다 [3-4].

따라서 본 논문에서는 다양한 모양의 립-스페이스의 여러 위치에 금속성 파티클이 부착된 상태를 모의하여 각각에 대한 전계해석을 통하여 스페이스에서의 립의 효과를 분석하였다. 또한 스페이스에 부착된 파티클의 위치와 립의 길이 및 폭의 변화가 절연파괴특성에 미치는 영향을 확인하기 위하여 실험을 통하여 절연파괴전압을 측정하였으며, 이를 비교·검토하였다.

2. 본 론

2.1 전계해석

전계해석을 위하여 그림 1과 같이 원통형 구조를 가지고 있는 두 가지 형태의 립-스페이스를 모델링하였다. 스페이스 및 전극 등의 재료 등은 Maxwell 프로그램이 자체적으로 제공하는 여러 가지 물질상수 중에서 본 해석에 적당한 것들을 선택하여 전계해석을 수행하였다.

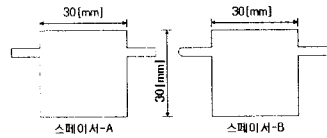


그림 1. 전계해석에 이용된 립-스페이스

일반적으로 파티클 등이 스페이스에 부착하게 되면 파티클에 의한 국부적인 전계집중으로 부분방전이 유발되어 스트리머가 발생할 수 있다. 이러한 스트리머는 스페이스와 립의 연면을 따라 진행하게 되므로 스페이스 및 립의 연면과 그 주위에서의 전계분포가 스트리머의 진행에 중요한 영향을 미치게 된다.

그림 2는 파티클이 립의 상단에 부착된 스페이스-A의 립의 길이에 따른 전위분포도 및 전계분포도이다.

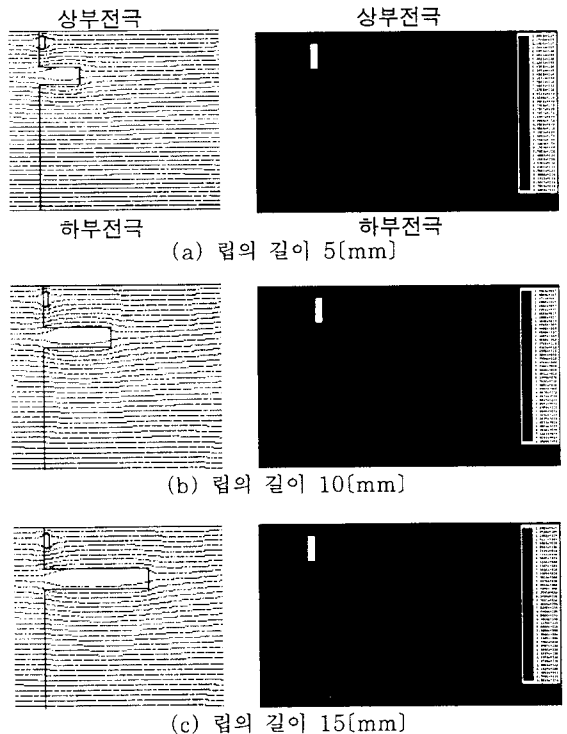


그림 2. 스페이스-A의 립의 길이에 따른 전계해석

그림에서 왼쪽이 전위분포도이며, 오른쪽은 립 부분을 좀더 확대한 경우의 전계분포도이다. 그림에서 볼 수 있는 바와 같이 립 연면에서 전계분포가 가장 완만한 것을 알 수 있으며, 립의 길이가 증가할수록 립 연면에서 전계가 완화되는 영역이 증가하는 것을 알 수 있다.

그림 3은 스페이스-A에서 파티클이 립-스페이스의 상단에 부착되었을 경우의 3차원 전계해석 결과이다. 그림에서 보는 바와 같이 파티클의 양쪽 끝단에 전계가 집중되고 립은 스페이스의 몸통보다 상대적으로 전계집중이 완만하며, 특히 립의 중간부분에서 전계집중이 가장 낮게 분포하는 것을 볼 수 있다. 따라서 스페이스에 립의 형상을 만들어 줌으로써 스페이스에서의 방전거리를 증가시키고 더불어 립 자체가 스페이스의 연면을 따라 진행하게 되는 스트리머의 진전을 억제하는 역할을 하게 되며, 앞에서 언급한 바와 같이 립의 길이가 길어질수록 이러한 효과는 더욱 커질 수 있음을 추정할 수 있다.

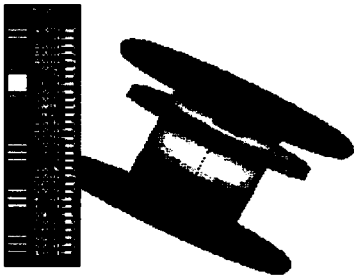


그림 3. 스페이스-A의 3차원 전계분포도

그림 4는 스페이스-A와 스페이스-B에서 전극으로부터 가상스트리머(imaginary streamer)가 발생하여 진행한다고 가정했을 때의 전위분포도이다. 그림 4 (a)를 보면 스페이스-A와 B 모두 가상스트리머가 립의 시작단까지 진행할 경우 스트리머 앞단에서 전위가 강하게 집중되는 것을 볼 수 있다. 그러나 그림 4 (b)와 같이 가상스트리머가 립의 중간부분에 도달하게 되면 전위분포가 상당히 완만해지는 것을 볼 수 있다. 반면에 그림 4 (c)와 같이 가상스트리머가 립의 끝단에 도달하게 되면 그림 4 (b)의 경우보다는 상대적으로 전위분포가 약간 높아지지만, 이 경우 립의 끝단을 라운드 처리한 스페이스-B가 스페이스-A보다는 립의 끝단에서의 전위분포가 상대적으로 완만한 것을 볼 수 있다.

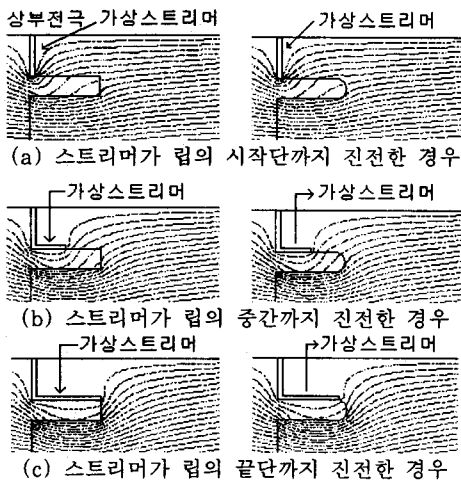


그림 4. 스페이스-A와 스페이스-B의 가상스트리머 진전에 대한 전위분포도

그림 5는 립의 두께에 따른 효과를 분석하기 위하여 그림 4의 스페이스-A에서 립의 두께를 1/4로 축소하여 가상스트리머의 진전에 따른 전위분포도를 구한 것이다. 그림 4와 비교해 보면 립이 얇아질 경우, 립이 두꺼운 경우보다는 가상스트리머가 진전되는 곳을 따라 립 주위에서의 전위가 아주 밀하게 분포되며, 특히 가상스트리머가 립의 끝단에 도달하였을 경우의 그림 5 (c)를 보면 전위분포가 아주 조밀해짐을 볼 수 있다. 따라서 립이 얇은 경우 보다는 립의 두께가 두꺼운 경우가 전계집중이 완화되어 파괴전압이 상승하리라고 추정할 수 있다.



(a) 시작단까지 진전 경우



(b) 중간까지 진전 경우 (c) 끝단까지 진전 경우

그림 5. 스페이스-A의 가상스트리머 진전에 대한 전계해석

2.2 실험 결과

립-스페이스에서 파티클의 위치에 따른 파괴전압을 측정하기 위하여 그림 6과 같이 각 스페이스의 상단(i), 중단(ii), 하단(iii)에 직경 0.58(mm), 길이 2(mm)의 구리 파티클을 부착하였다. 립-스페이스(B, C, D)의 립의 두께는 각각 3(mm)이며, 립의 길이는 각각 10(mm)로 동일하게 하였다.

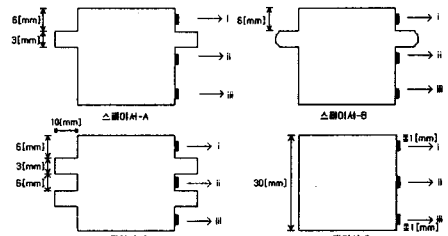


그림 6. 스페이스 종류별 파티클의 부착위치

그림 7은 그림 6의 립-스페이스에 대한 파괴전압 실험 결과이다. 결과에서 나타난 바와 같이, 립이 없는 스페이스-D보다는 립의 형상을 가지고 있는 스페이스들에서 파괴전압이 전체적으로 증가한 것을 볼 수 있다.

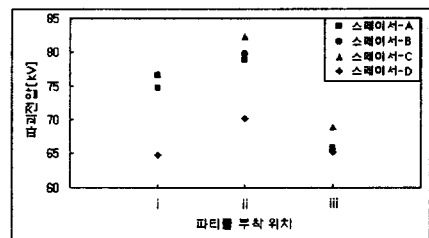
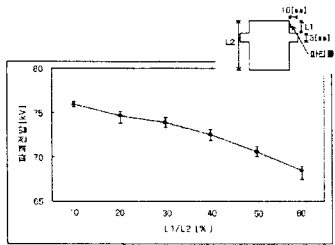


그림 7. 파티클 위치별 각 스페이스의 파괴전압

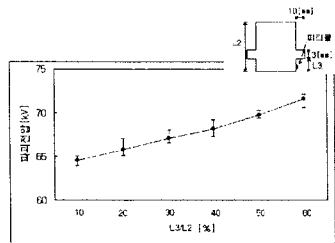
파티클이 스페이스의 상단에 부착되어 있는 경우 스페이스-A는 스페이스-D에 비하여 파괴전압이 약 15(%)

정도 증가하였으며, 스페이서-B와 스페이서-C의 경우에는 약 18 [%] 정도까지 증가하였다. 파티클이 스페이서의 중앙에 위치할 경우 스페이서-A와 B의 파괴전압은 약 15[%] 정도 증가하였으며, 파괴전압이 가장 높게 나타난 스페이서-C에서는 약 18.5[%] 정도 증가하였다. 반면에 파티클이 스페이서의 하단에 부착된 경우 스페이서-A, B, D에서의 파괴전압의 차이는 거의 없었으며, 스페이서-C에서의 파괴전압만이 약 4.5[%] 증가하였다.

그림 8은 각각 스페이서-A형의 립-스페이서 상단과 하단에서 1[mm] 떨어진 곳에 파티클을 부착한 상태로 립의 위치를 변화시켜가면서 실험을 한 결과이다. L1은 스페이서 상단에서부터 립까지의 거리이며, L3은 스페이서 하단에서 립까지의 거리를 나타낸다. 파티클을 상단에 부착한 경우에는 립이 스페이서의 상단에 위치할수록 파괴전압이 높게 나타났으며, 파티클을 하단에 부착한 경우에도 립이 상단에 위치할수록 파괴전압이 높게 나타났다. 따라서 립이 하나인 경우의 스페이서에서는 파티클의 부착위치와 관계없이 립이 전극과 가까운 위치에 있을수록 파티클의 영향이 최소가 됨을 알 수가 있다.



(a) 상단에 부착된 파티클의 경우



(b) 하단에 부착된 파티클의 경우

그림 8. 스페이서-A의 립의 위치에 따른 파괴전압

그림 9는 스페이서-A형에서 립의 길이 변화에 따른 파괴전압 실험결과이다.

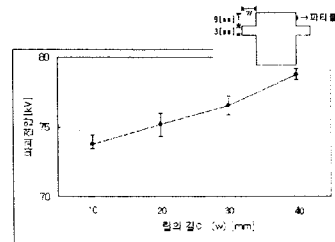


그림 9. 스페이서-A의 립의 길이변화에 따른 파괴전압

결과에서 볼 수 있듯이, 립의 길이가 증가할수록 파괴전압이 점차 증가함을 알 수 있다. 이것은 전계해석 결과와 일치하는 것으로 전계의 집중이 상대적으로 완만한 립의 길이가 길어지면서 스트리머의 진전이 방해받게 되고 또한 방전거리가 늘어나기 때문이다.

그림 10은 스페이서-C에서 립 사이의 거리와 립의 두께에 따른 파괴전압 실험결과이다. 립의 길이는 각각

10[mm]이며, 립의 두께는 각각 3[mm]와 6[mm]인 스페이서 두 가지를 사용하였다. 실험결과를 살펴보면 각각의 파괴전압은 립사이의 거리가 증가할수록 감소하는 경향을 보였으며, 립의 두께가 6[mm]로 두꺼운 스페이서의 경우가 립의 두께가 3[mm]로 얇은 스페이서보다 전체적으로 파괴전압이 높게 나타났다.

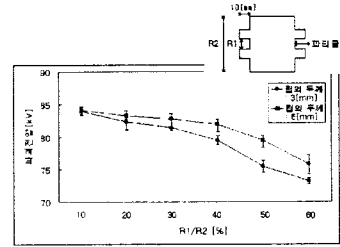


그림 10. 스페이서-C의 립 사이의 거리와 립의 두께에 따른 파괴전압

3. 결 론

본 논문에서는 스페이서에 금속성 파티클이 부착되었을 때 일어날 수 있는 절연파괴를 최대한 억제할 수 있는 한가지 방법인 립-스페이서에 대한 전계해석 및 절연 파괴 실험을 행하여 다음의 결론을 얻을 수 있었다.

1. 전계해석의 결과, 립 부분에서 전계집중이 완화됨을 알 수 있었으며, 파괴전압 실험 결과 립-스페이서를 사용함으로써 금속성 파티클이 스페이서에 부착될 경우 립이 없는 스페이서보다 파괴전압이 높게 나타났다.
2. 립이 2개인 스페이서에 파티클이 부착되었을 경우의 파괴전압, 특히 파티클이 두 개의 립사이에 부착되었을 경우의 파괴전압이 립이 한 개이거나 없는 스페이서에 파티클이 부착된 경우보다 높게 나타났다.
3. 립의 끝단을 라운드 처리함으로써 파괴전압을 더욱 상승시킬 수 있음을 전계해석과 실험을 통하여 알 수 있었다.
4. 립이 하나 있는 스페이서의 경우, 파티클의 부착위치에 관계없이 립이 하단에 위치할수록 파괴전압이 감소하는 경향을 나타내었다.
5. 립이 두 개 있는 스페이서의 경우, 립 사이의 거리가 멀어질수록 파괴전압이 점차 감소하는 경향을 보였다.
6. 립의 두께에 따른 파괴전압은 립의 두께가 두꺼운 경우가 립의 두께가 얇은 경우보다 전체적으로 높게 나타났다.
7. 립이 하나 있는 스페이서에서 립의 길이를 증가시킬수록 파괴전압이 증가하였다.

(참 고 문 헌)

- (1) 권동진 외, 변전설비 진단기술 개발 연구(최종보고서), 전력연구원, pp. 69-108, 1998
- (2) 윤덕량 외, GIS 무정전 점검기법 연구(최종보고서), 한국전기안전공사, pp. 1-131, 1996
- (3) Fumihiko Endo et al, "Enhancement of Insulation Reliability of GIS", Japan-Korea Symposium on ED and HVE, pp. 5-10, 1997
- (4) Tokio Yamagiwa et al, "Particle-initiated Breakdown Characteristics on a Ribbed Spacer Surface for SF₆ Gas Insulated Switchgear", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 3, No. 3, 1988
- (5) B. Nageshwar Rao et al, "Electric Field Computation Studies for a Fixed Particle on the Spacer as related to GIS", IEEE International Symposium on electrical Insulation, pp. 677-680, 1998