GIS 스페이서의 전계해석 시뮬레이션 및 파괴전압 특성 개선

류성식*, 박재도, 곽희로
숭실대학교

Electric Field Analysis Simulation and Improvement of Breakdown Characteristics on the GIS Spacer

Sung-Sic Ryu, Jae-Do Park, Hee-Ro Kwak
Soongsil University

Abstract - This paper describes the particle -initiated breakdown characteristics of various spacers, which have a ribbed surface, in the presence of a metallic particle. The particle was attached on the surface of each spacer. The breakdown voltages were measured by changing the length and thickness of the rib. Also the electrical field analyses were performed.

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

금속성 파티클이 스페이서에 부착시 절연파괴가 발생하는 것을 개선하기 위하여 립-스페이서(ribbed spacer)가 제안되어 여러 연구자들에 의해서 연구되어왔다.[1,2] 립-스페이서에서의 파괴전압특성이나 방전형태는 파티클의 부착위치와 전극형상, 그리고 립의 형태 등에 의존한다. 실제 GIS의 전극은 매우 긴 원통형의 도체이며, GIS내의 파티클도 스페이서의 여러 위치에 부착될 수 있다. 그러나 기존의 연구에서는 립-스페이서의 직경보다 작은 전극을 사용하여 실제 GIS의 구조와 상이한 조건에서 실험을 시행하였고, 파티클의 부착위치도 특정 부위에만 국한되었으며, 전계해석 시뮬레이션을 통한 분석이 충분히 이루어지지 않았다.

따라서 본 논문에서는 실제의 GIS 전극에 가깝게 직경이 충분히 큰 전극을 사용하였으며, 립-스페이서의 여러 위치에 금속성 파티클을 부착하고 립의 위치, 길이, 두께 등의 변화에 따른 파괴전압특성을 분석하였다. 실험에 앞서 전계 시뮬레이션을 통하여 립-스페이서에서 여러 조건에 따른 립의 효과를 분석하였으며, 실험을 통하여 이에 대한 절연파괴전압을 측정하여 전계해석의 결과와 비교·검토함으로써 립-스페이서에서의 전반적인 특성을 밝히고, 기존에 제안된 립-스페이서보다 파괴전압을 더욱 향상시킬 수 있는 형상을 제시하고자 하였다.

2. 실험장치 및 방법

스페이서에 파티클이 부착되었을 때의 절연파괴특성을 살펴보기 위하여 그림 1과 같은 4가지 형태의 원통형 스페이서를 제작하였으며, 편의상 형태에 따라 A, B, C, D의 네 가지로 분류하였다. 각각의 스페이서는 아크릴로 제작하였으며 립을 제외한 각 스페이서의 지름 및 높이는 각각 30[mm]로 하였다.

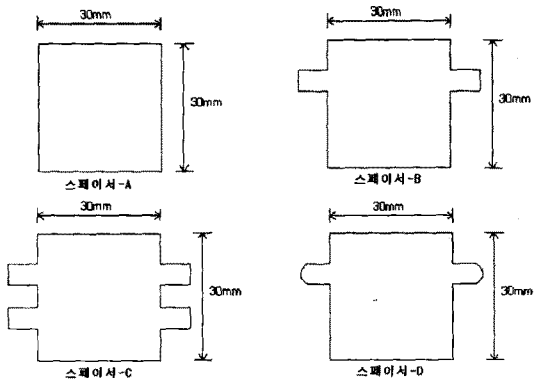


그림 1. 각 스페이서 형상

상부전극은 지름 150[mm], 두께 10[mm]의 원형 평판전극이다. 파티클은 직경 0.57[mm], 길이 2[mm]의 동으로써 파티클이 부착된 스페이서를 전극사이에 삽입시켰으며, 각 실험에서 파티클은 위치별로 하나씩만 부착시켰다. 인가전압으로 교류전압을 가하였으며, 챔버내에는 SF_6-N_2 가스를 1:9의 비율로 혼합한 가스를 충진하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 전계해석

Ansoft사의 Maxwell 프로그램을 사용하여 각 스페이서에서 여러 경우에 대한 전계해석을 하였다.
그림 2는 스페이서-B에서 파티클이 립-스페이서의 상단에 부착되었을 경우의 3차원 전계해석 결과이다.

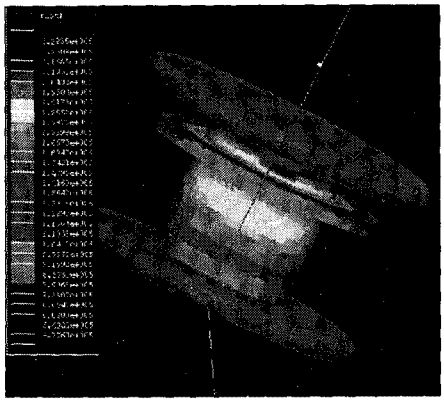
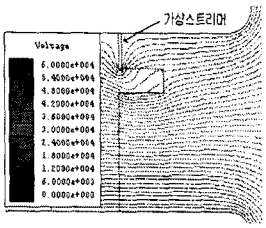


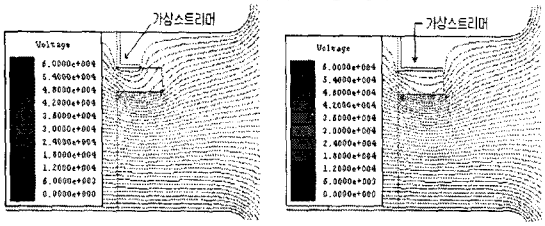
그림 2 스페이서-B의 전계분포도

그림에서 보는 바와 같이 파티클의 양쪽 끝단에 전계가 집중되며 립은 스페이서의 몸통보다 상대적으로 전계집중이 완만하여 특히 립의 중간부분에서의 전계값이 가장 낮은 것을 볼 수 있다. 따라서 스페이서에 립의 형상을 만들어 줌으로써 스페이서에서의 방전거리를 증가시킴과 더불어 립 자체가 스페이서의 연면을 따라 진행하게 되는 스트리머의 진전을 억제하는 역할을 하게 되며, 립의 길이가 길어질수록 이러한 효과는 더욱 커질 수 있음을 추정할 수 있다.

그림 3은 스페이서-B형에서 전극으로부터 가상스트리머(imaginary streamer)가 발생하여 각각 립의 시작단과 립의 중간부분, 그리고 립의 끝단까지 진행하였다고 가정했을 때의 전위분포도이다.



(a) 시작단까지 진전 경우

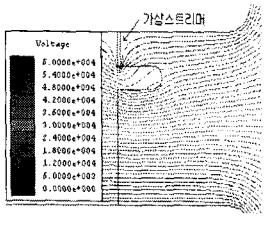


(b) 중간까지 진전 경우 (c) 끝단까지 진전 경우

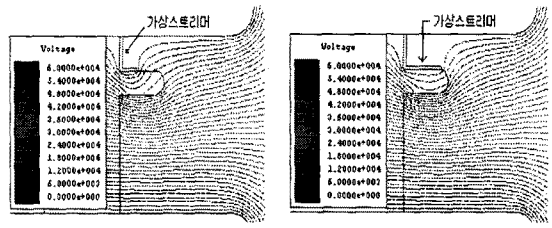
그림 3 스페이서-B의 가상스트리머 진전에 대한 전위분포도

그림 3을 보면 그림 3 (a)와 같이 가상스트리머가 립의 시작단에 도달하였을 경우 전위분포가 상당히 밀한 것을 볼 수 있다. 그러나 그림 3 (b)와 같이 가상스트리머가 립의 중간부분에 도달하게 되면 전위분포가 상당히 완만해지는 것을 볼 수 있다. 이것은 그림 2의 3차원 전계분포도에서 보인 바와 같이 립의 중간부분의 전계분포가 가장 완만하기 때문이다. 그림 3 (c)와 같이 가상스트리머가 립의 끝단에 도달하게 되면 가상스트리머가 립의 중간부분까지 도달하였을 때보다는 상대적으로 전위분포가 약간 밀해지는 것을 볼 수 있다.

그림 4와 같이 립의 끝단을 라운드 처리한 스페이서-D의 경우는 가상스트리머가 립의 시작단과 중간부분까지 진행하였을 경우의 전위분포는 그림 3 (a), (b)와 같은 경향을 보이지만 가상스트리머가 립의 끝단에 도달하였을 경우의 전위분포가 그림 3 (c)의 경우보다는 상당히 완만한 것을 볼 수 있다. 따라서 립의 끝단을 라운드 처리함으로써 전계집중을 더욱 개선할 수 있음을 알 수 있다.



(a) 시작단까지 진전 경우



(b) 중간까지 진전 경우 (c) 끝단까지 진전 경우

그림 4 스페이서-D의 가상스트리머 진전에 대한 전위분포도

3.2 파괴전압 실험결과

립-스페이서에서 파티클의 위치에 따른 파괴전압을 측정하기 위하여 그림 5와 같이 각 스페이서의 상단(i), 중단(ii), 하단(iii)에 파티클을 부착하였다. 립-스페이서(B, C, D)의 립의 두께는 각각 3[mm]이며, 립의 길이는 각각10[mm]로 동일하게 하였다. 파티클은 상단에 부착하는 경우에는 전극으로부터 1[mm]의 거리에 취부하였으며, 하단에 부착하는 경우에도 밑 전극으로부터 1[mm]의 거리에 취부하였다.

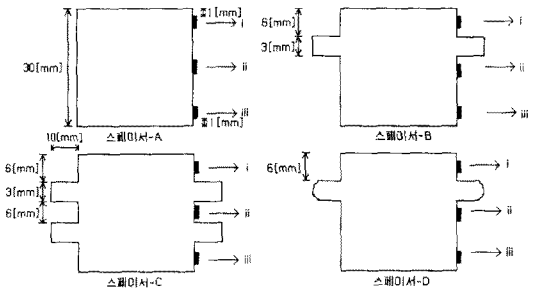


그림 5 스페이서 종류별 파티클의 부착위치

그림 6은 그림 5의 립-스페이서에 대한 파괴전압 실험결과이다. 파티클이 스페이서의 상단에 부착되어 있을 때는 스페이서-C와 스페이서-D의 경우에서 파괴전압이 가장 높게 나타났으며, 파티클이 스페이서의 중앙에 위치할 때는 스페이서-C의 경우 값이 가장 높게 나타났다.

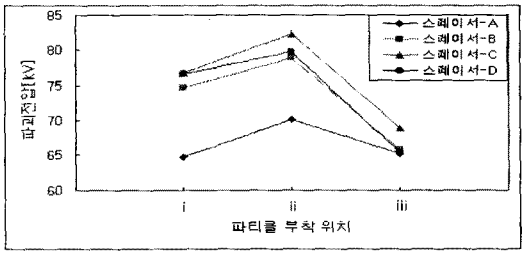
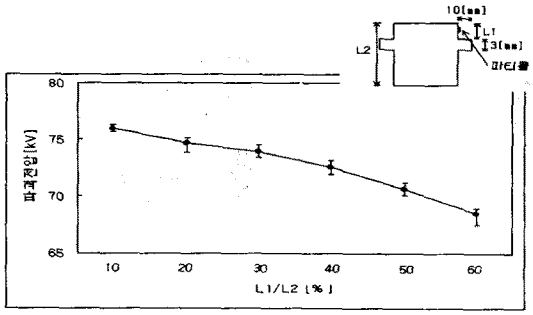


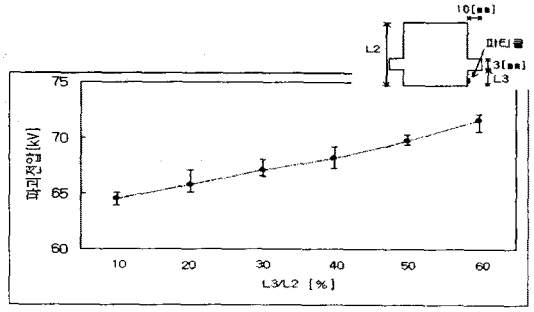
그림 6 파티클 위치별 각 스페이서에서의 절연파괴전압

다음은 립의 위치, 길이 및 두께 변화에 따른 파괴전압실험 결과이다.

그림 7은 각각 스페이서-B형의 립-스페이서 상단에서 1[mm] 떨어진 곳에 파티클을 부착한 상태와 하단에서 1[mm] 떨어진 곳에 파티클을 부착한 상태에서 립의 위치를 변화시켜가면서 실험을 수행하였다.



(a) 상단에 부착된 파티클의 경우



(b) 하단에 부착된 파티클의 경우

그림 7 스페이서-B의 립의 위치에 따른 파괴전압

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.

그림 8은 스페이서-B형에서 립의 길이 변화에 따른 파괴전압 실험결과이다. 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 방해를 받게 되고 또한 방전거리가 늘어나기 때문이다.

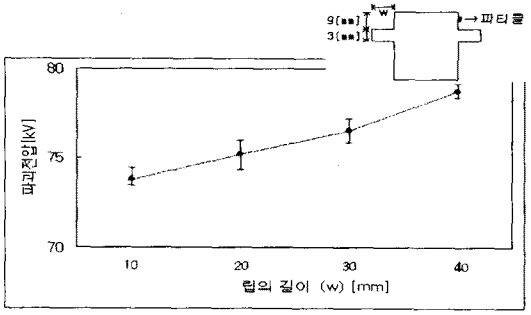


그림 8 스페이서-B의 립의 길이 변화에 따른 파괴전압

그림 9는 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. 그림에서 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.

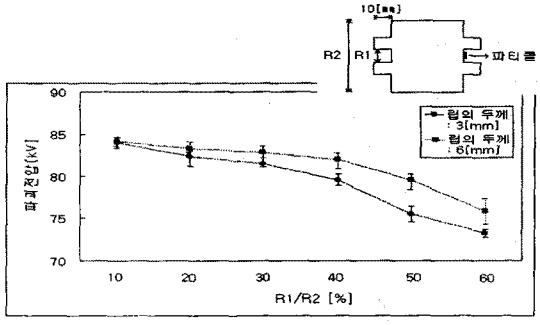


그림 9 스페이서-C의 립사이의 거리와 립의 두께에 따른 파괴전압

4. 결 론

본 논문에서는 스페이서에 금속성 파티클이 부착되었을 때 일어날 수 있는 절연파괴를 최대한 억제할 수 있는 한가지 방법인 립-스페이서에 대한 전계해석 및 절연파괴 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 높았다.
2. 립이 2개인 경우의 스페이서에서의 파괴전압, 특히 중앙부에서의 파괴전압이 립이 한 개이거나 없는 스페이서보다 높았다.
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 스페이서 립의 길이를 증가시킬수록 파괴전압이 증가하였다.

[참 고 문 헌]

[1] Fumihiro Endo et al, "Enhancement of Insulation Reliability of GIS", Japan-Korea Symposium on ED and HVE, pp. 5-10, 1997

[2] Tokio Yamagiwa et al, "Particle-initiated Breakdown Characteristics on a Ribbed Spacer Surface for SF_6 Gas Insulated Switchgear", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 3, No. 3, 1988

[3] 류성식, 곽희로 외, "GIS 립-스페이서의 형상에 대한 전계해석 및 파괴전압특성", 대한전기학회 방전 및 고전압연구회 춘계학술발표대회 논문집, pp. 107-109, 2000

[4] 류성식, 곽희로 외, "개선된 GIS 스페이서의 전계해석 및 파괴전압 특성", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, C권, pp. 1921-1923, 2000