

GIS 내부의 도체이물질에 의한 불평등 전계 해석

박경수 · 김진 · 이희복 · 고영호
 전북대학교 전자정보공학부

Analysis of unequal electric field by metal particle in GIS

Kyoung-Su Park · Jin Kim · Hee-Bock Lee · Young-Ho Ko
 Division of Electronic and Information, Chonbuk National University

Abstract - In compared with air insulated switchgear, GIS has a high efficiency and confidence So the transformer substation can be reduced the size to 1/10. Insulation method using SF₆ gas has a very excellent insulation characteristics for high pressure equipment but has a characteristics that insulation heredity is changed for internal unequal electric field. So analysis of electromagnetic field in GIS is very important basic data for structure design and trouble diagnosis process. In compared with established method, SNM in this paper observes variation of the electromagnetic field with real time and get result very similar to measurement. In order to know the variation of electromagnetic field distribution for transient response for time and position, variations are observed when the spacer is bonded and metal particles are moving fast.

간회로방법을 이용하였다. 공간회로방법은 맥스웰 방정식을 차분화한 시간영역 수치해석 방법으로, 여기서 해석하려고 하는 GIS와 같이 과도현상이 특히 중요한 부분에 유용한 수치해석 방법이다. 시간에 대한 과도현상과 위치에 전자계 분포의 변화를 알기 위해 도체 이물질을 고정시킨 상태에서 분석하고, 스페이스에 부착시킨 다음의 변화를 본다음, 도체 이물질을 빠르게 이동시키면서 그 변화를 관찰한다.

1. 서 론

2. 공간회로방법을 이용한 결과와 실측치와의 비교

GIS(Gas Insulated Switchgear)가 이용된 변전소는 종래의 대기절연방식의 변전소에 비하여 크기를 1/10로 줄일 수 있을 만큼 효율적이며 높은 신뢰성을 가진다. SF₆가스에 의한 절연방식은 고압의 절연장비에 매우 우수한 절연 특성을 가지지만 내부의 불평등 전계에 의하여 절연내력이 변화하는 특징을 가지고 있다. 따라서, GIS내부의 전자계의 분석은 GIS의 형상 설계 및 고장 진단 과정에 매우 중요한 기초자료이다. 기존의 방법에 비하여 본 논문에서 사용하고 있는 공간회로방법은 GIS 내부의 전자계의 변화를 실시간적으로 관찰할 수 있으며 실측치와도 매우 유사한 결과를 얻을 수 있다.

본 수치해석법이 실제의 GIS에 충분히 적용가능함을 알기 위해 실측한 데이터와 비교하면 그림 1과 같다. 참고문헌 [2]의 실측치와 본 논문에서 수치해석한 데이터는 거의 일치하고 있다. 따라서 실시간적으로 변화하는 GIS 내부에서 일어나는 변화를 관찰하는데 충분히 적용 가능하다.

사고가 발생하기 전의 GIS 내부의 전자계는 사용하는 주파수가 60Hz이므로 이에 맞추어 정현적으로 변화하게 된다. 하지만 사고가 발생하여 부분방전펄스(Partial Discharge Pulse : PD pulse)가 발생하는 순간은 수 ns에 불과하므로 사고가 발생하려는 순간을 시뮬레이션 할 때 GIS 모델의 첫단과 끝단의 전위차는 거의 없다고 볼 수 있으므로 이때의 GIS의 내부는 정전계의 상태라고 가정할 수 있다.

따라서 step like pulse를 입력하면 도체이물질이 동작하고 있는 실제의 GIS 내부의 상태를 시뮬레이션 할 수 있다.

그림 1의 그래프는 GIS가 정상적으로 가동중일때의 GIS내부의 전계의 변화를 시간에 대하여 나타낸 것이다. 입력단의 경우 스페이스에 의한 반사현상을 볼수 있으며 출력단의 경우 초기의 rise time인 0.5ns에 비하여 대략 2ns정도로 rise time이 늘어났음을 볼 수 있다.

GIS의 가장 큰 고장 원인은 내부의 도체 이물질(Metal Particle)로 알려져 있다. GIS 내부의 내부도체와 외부도체 사이는 주파수 60Hz에 따라 변화하는 전위차가 존재하기 때문에 내부의 도체이물질은 내부도체와 반대로 대전되게 된다. 이 때 발생한 내부도체와 도체 이물질의 인력에 의한 힘이 중력에 의한 힘보다 커지게 되면 내부도체에서 외부도체로 빠르게 이동하면서 부분방전(Partial Discharge)을 일으키게 된다. 또한 스페이스에 이물질이 붙어 있게되면 스페이스에 다른 부분보다 큰 불평등 전계를 가하게 되는데, 이때, 유전체로 된 스페이스의 절연 내력이 감소하여 역시 부분방전을 일으키게 된다.

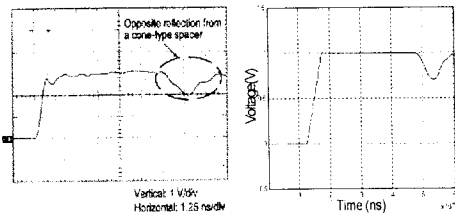


그림 1 Step like pulse 입력측 파형 (A-A)
 (a) 실측치(참고문헌[2]) (b) 시뮬레이션

Fig. 1 Step like wave input waveform

본 논문에서는 GIS의 내부의 전자계 해석을 위하여 공

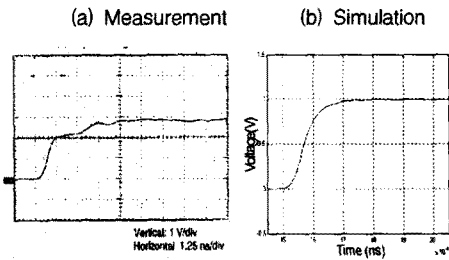


그림 2 Step like wave 출력측 파형(B-B')

(a) 실측(참고문헌[2]) (b) 시뮬레이션

Fig. 2 Gaussian pulse output waveform

(a) Measurement (b) Simulation

3. 도체이물질이 고정되었을때의 불평등전계

GIS내부에 도체 이물질이 존재하게 되면 GIS가 가동될 때 내부도체와 외부도체의 전위차에 의해 도체 이물질이 대전되게 된다. 이때, 외부도체의 바닥에 있던 도체 이물질은 중력보다 더 큰 전자기장이 가해지면 외부도체에서 내부도체로 빠른 속도로 올라가 내부도체에 충격을 주면서 절연 파괴에 이르게 된다.

3.1 도체 이물질의 대전특성

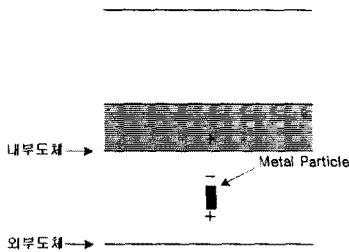


그림 2 대전된 도체 이물질

Fig. 2 Charged Metal Particle

GIS의 내부에 도체 이물질이 있으면 그림2와 같이 내부도체와 가까운곳은 내부도체와 반대방향으로 외부도체와 가까운 곳은 내부도체와 같은 극성으로 대전되게 된다. 즉, 도체 이물질의 주위에는 불평등 전계가 만들어 지게 된다. 이때 도체 이물질은 GIS의 축방향으로는 같은 극성을 띄므로 전계의 크기가 큰 변화가 없으므로 불평등전계는 축방향의 도체 이물질의 크기보다는 내부 도체방향으로의 크기에 크게 영향을 받게 된다.

도체 이물질에 의한 불평등 전계는 도체 이물질 가까운 곳에서 강하고 거리에 따라 급격하게 작아진다. 또, 도체 이물질이 정지되어 있을때는 주위에 부분방전펄스를 발생시키지는 않는다.

3.2 정지된 도체 이물질이 위치에 따른 전계분포

도체 이물질의 위치에 따른 불평등전계의 크기를 알아보기 위해 그림 3과 같이 도체 이물질의 위치를 옮겨가면서 전계의 크기를 보면 그림 4와 같다.

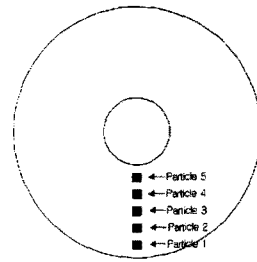
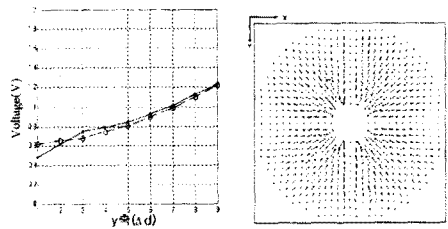


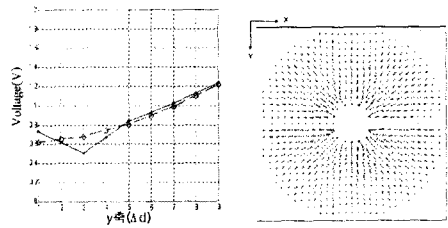
그림 3 도체 이물질의 위치

Fig. 3 The position of metal particle

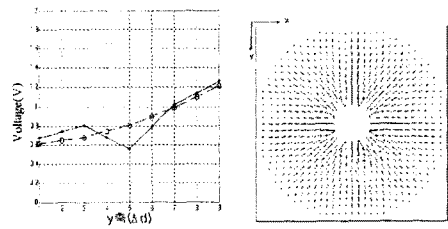
도체 이물질의 위치에 따른 불평등전계의 크기를 보면 외부도체에서 내부도체로 갈수록 불평등전계의 크기가 더 커짐을 알 수 있다. 즉, 도체 이물질이 내부도체로 갈수록 불평등전계가 더 커지게 된다.



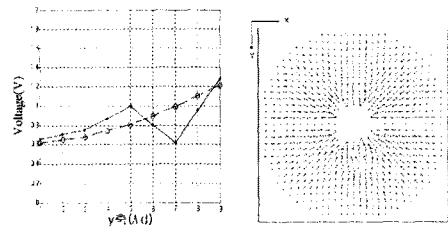
(a) Particle1 위치



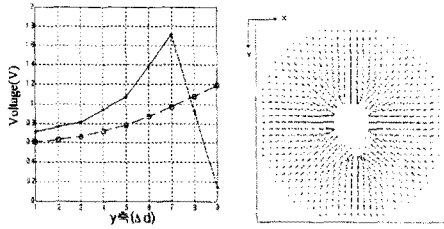
(b) Particle2 위치



(c) Particle3 위치

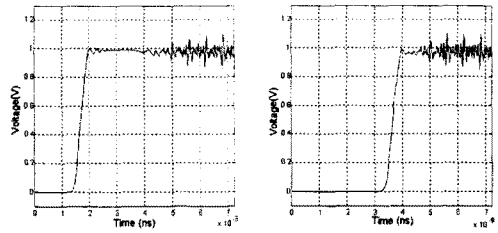


(d) Particle4 위치



(e) Particle5 위치

그림 4 도체이물질 주위의 전계분포
Fig. 4 Electric distribution of metal particle



(a) 입력측 (b) 출력측

그림 7 입출력 부분에서의 파형변화
Fig. 7 Wave variation of input and output part
(a) input (b) output

시간에 따라 변화하는 입력단과 출력단의 나타낸 입력단의 모습은 그림 7과 같다. 그림에서 볼 수 있듯이 도체가 이동하면서 입력단과 출력단에 부분방전 펄스가 발생한다.

4. 결론

GIS내에 금속이물질이 존재할 때 GIS내부에서 전자계가 어떻게 변화하는가를 공간회로방법을 이용해 실시간적으로 보았다. 금속이물질은 외부도체에서 내부도체로 갈수록 도체이물질 주위에 강한 불평등 전계를 준다. 움직이는 도체 이물질은 주위에 부분방전 펄스를 만든다. 또한 움직이는 도체 주위에는 다른 곳보다 큰 불평등전계를 만드는데 이것은 SF₆가스의 절연내력에 변화를 주어 절연파괴에 이르게 하는 원인이 될 수 있다.

(참고 문헌)

- [1] M.D.Judd, O.Farish, B.F.Hampton, "The Excitation of UHF Signals by Partial Discharges in GIS", IEEE Trans. dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 3, No. 2, April 1996.
- [2] K. Mizuno, A.Ogawa, K.Nojima, "Investigation of PD Pulse propagation characteristics in GIS," IEEE Trans. Power Systems, Vol. 12, No2, pp. 1022-1030, May 1997.
- [3] N. Yoshida and I. Fukai "Transient Analysis of a Stripline Having a Corner in Three-Dimensional Space," IEEE Trans. MTT., Vol. MTT-32, No. 5, pp.491-498, May 1984.
- [4] Kane S. Yee, "Numerical Solution of Initial boundary Value Problems Involving Maxwell's Equations in Isotropic Media," IEEE Trans. AP., pp.302-307, May 1966.
- [5] Wolfgang J.R., Hoefler, "The Transmission-line Matrix Method - Theory and Application," IEEE Trans. MTT., vol. MTT-33, No. 10, Oct 1985
- [6] Y. H. Ko, N. Yosida, I. Fukai, "Three-Dimensional Analysis of a Cylindrical Waveguide Converter for Circular Polarization by the Spatial Network Method," IEEE trans MTT., Vol. 38, No. 7, pp.912-918, JULY 1990.
- [7] Hiroshi Imagawa, Kunio Emoto, "Simplified Simulation Method for Partial Discharge Phenomena in GIS," IEEE proceedings of the 1999 IEEE Transmission and Distribution Conference-volume 2, 534-540, 1999.

3.3 움직이는 도체 이물질이 위치에 따른 전계분포

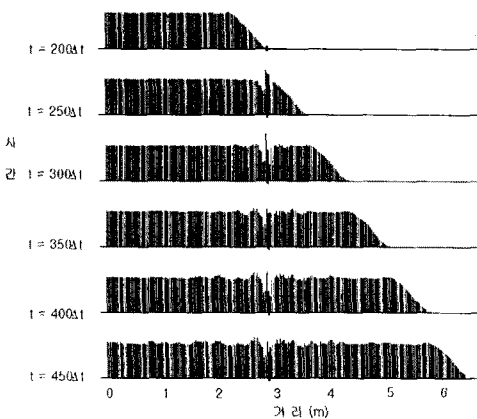


그림 5 도체이물질을 이동시킬때의 시간변화
Fig. 5 Time variation of moving metal particle

그림5는 그림 2의 도체이물질을 particle1에서 particle5까지 50 Δd/Δt의 속도로 오르락 내리락 하면서 생기는 변화를 나타낸 것이다. 도체에 의하여 그 부근에 큰 불평등전계가 발생하고 있으며 양단으로 부분방전 펄스가 발생하고 있다.

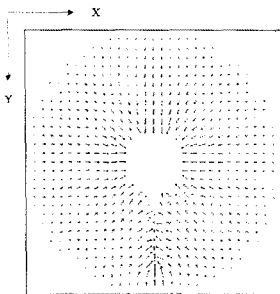


그림 6 도체 이물질 부근의 전계분포
Fig. 6 Electric distribution around metal particle

그림 6은 xy평면상의 전계의 분포를 표시한 것으로 도체 이물질이 움직이는 부분에서 화살표로 나타내는 전계가 도체를 따라 이동하고 있음을 볼 수 있다. 이와같이 도체의 이동에 의해 부분방전 펄스가 발생한다.