

공간회로방법을 이용한 GIS내의 움직이는 도체이물질에 대한 전자계 해석

임영환*, 박경수**, 최영환*, 최성열*, 고영호*
 *전북대학교 전자정보공학부 ** (주)호성 중공업PG 기술연구소

Analysis of Electromagnetic Field by moving metal particle in GIS using SNM

Y.L.Lim, K.S.Park, Y.L.Choi, C.Y.Choi, Y.H.Ko

Division of Electronic and Information, Chonbuk National University, Hyosung Corporation

Abstract - In compared with air insulated switchgear, GIS has a high efficiency and confidence. Insulation method using SF₆ gas has a very excellent insulation characteristics for high voltage 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 metal particles are moving fast.

해석은 이루어지지 못하고 있다. GIS내의 도체이물질의 거동은 도체이물질의 형태, 부상 전계의 크기, 외함과의 접촉력, 충돌하는 부분의 형상 등에 영향을 받으므로 여러 가지 파라미터를 고려하여 대단히 복잡한 계산을 하여야 한다. 본 논문은 도체이물질의 거동에 의하여 변화하는 전자계를 해석하기 위한 것으로 도체이물질의 이동 경로를 임의적으로 주었을 때 발생하는 전자계의 변화를 봄으로써 이동하는 도체이물질에 의한 불평등전계를 해석하고, 도체이물질에 의해 일어나는 전자계의 변화가 안테나 센서에 의해 어떻게 나올것인지를 예측하였다. 본 논문에서는 GIS의 내부의 전자계 해석을 위하여 공간회로방법을 이용하였다. 공간회로방법은 맥스웰 방정식을 차분화한 시간영역 수치해석 방법으로, 여기서 해석하려고 하는 GIS와 같이 과도현상이 특히 중요한 부분에 유용한 수치해석 방법이다. 이미 GIS에서의 부분방전 펄스 전파특성에 대하여 공간회로방법을 이용해 시뮬레이션을 하였고 실제값과 거의 비슷한 결과를 얻을 수 있었다. [10]

1. 서 론

절연 소호 매체로 SF₆를 사용하는 GIS는 높은 절연내력을 가지므로 소형화가 가능하고 높은 신뢰도와 환경조화, 보수유지의 편리성등 다양한 장점을 가지고 있다. SF₆가스에 의한 절연방식은 고압의 절연장비에 매우 우수한 절연 특성을 가지지만 내부의 불평등전계에 의하여 절연내력이 변화하는 특징을 가지고 있다. 전기적 부상기체인 SF₆가스 중의 방전은 기본적으로는 전극간에 걸리는 전계에 의해 가속되는 전자의 증배량에 의존한다. 따라서, GIS내부의 전자계의 분석은 GIS의 형상 설계 및 고장 진단 과정에 매우 중요한 기초자료이다.

GIS의 가장 큰 고장 원인은 내부의 도체이물질(Metal Particle)로 알려져 있다. GIS의 도체(Conductor)와 외함(Enclosure) 사이는 주파수 60Hz에 따라 변화하는 전위차가 존재하기 때문에 내부의 도체이물질은 도체와 반대로 대전되게 된다. 이 때 발생한 도체와 도체이물질의 인력에 의한 힘이 중력에 의한 힘보다 커지게 되면 도체에서 외함으로 빠르게 이동하면서 부분방전(Partial Discharge)을 일으키게 된다. 또한 스페이서에 도체이물질이 붙어 있게되면 스페이서에 다른 부분보다 큰 불평등전계를 가하게 되는데, 이때, 유전체로 된 스페이서의 절연 내력이 감소하여 역시 부분방전을 일으키게 된다.

GIS내의 도체이물질에 대한 거동해석에 대한 많은 연구가 이루어지고 있지만 움직이는 도체이물질에 의한 불평등전계와 같이 이동하는 도체이물질에 대한 3차원 전자계

2. 도체이물질의 대전특성

GIS내부에 도체이물질이 존재하게 되면 GIS가 가동될 때 도체와 외함의 전위차에 의해 도체이물질이 대전되게 된다. 이때, 외함의 바닥에 있던 도체이물질은 중력보다 더 큰 전자계가 가해지면 외함에서 도체로 빠른 속도로 올라가 도체에 충격을 주면서 절연 파괴에 이르게 된다. GIS의 내부에 도체이물질이 있으면 그림1과 같이 도체와 가까운 곳은 도체와 반대방향으로 외함과 가까운 곳은 도체와 같은 극성으로 대전되게 되어 도체이물질의 주위에는 불평등전계가 만들어지게 된다. 이때 도체이물질은 GIS의 축방향으로는 같은 극성을 띄므로 전계의 크기가 큰 변화가 없으므로 불평등전계는 축방향의 도체이물질의 크기보다는 내부 도체방향으로의 크기에 크게 영향을 받게 된다.

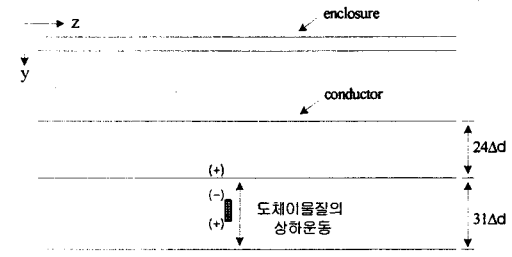


그림 1 대전된 도체이물질의 운동
 Fig. 1 The motion of charged metal particle

3. 움직이는 도체이물질에 의한 불평등전계

이동하는 도체이물질에 의한 전자계의 변화를 보기 위해 그림 1과 같이 도체이물질을 외함의 밑부분에서 중앙의 도체까지 $0.14d/\Delta t$ 의 속도로 상하운동 시켰다. 이때 적용한 GIS 모델의 크기는 내경이 434mm, 외경이 120mm이다.

그림 2은 도체이물질이 있는 xy평면상의 전자계분포이다. 도체이물질이 상승하면서 도체이물질 뒤에는 복잡한 전계의 산란현상이 일어나고 특히, 도체 근처에서 전계 분포가 크게 변화하였다.

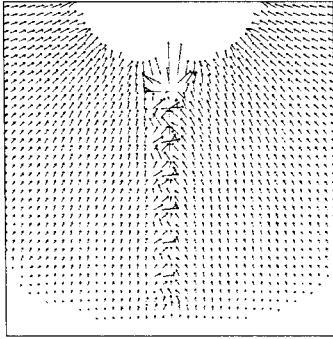


그림 2 도체이물질의 운동
Fig. 2 Moving metal particle

그림 3는 도체이물질이 있는 y방향의 경로에서의 전계 분포로 좌측은 GIS의 윗부분이고 우측은 도체이물질이 이동하는 GIS의 아랫부분이다. 도체이물질이 없는 윗부분과 아랫부분이 대조적인 결과를 가지고 있다. 즉, 윗부분은 도체이물질이 없으므로 균일한 전자계의 분포를 가지지만 아랫부분은 도체이물질의 이동하는 경로에서 전자계의 분포가 불규칙으로 변화하고 있다.

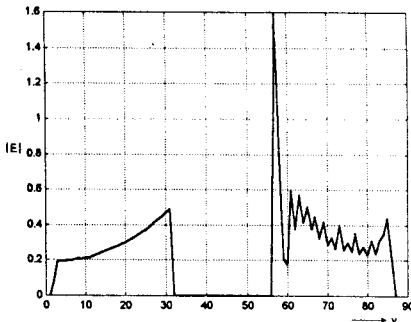
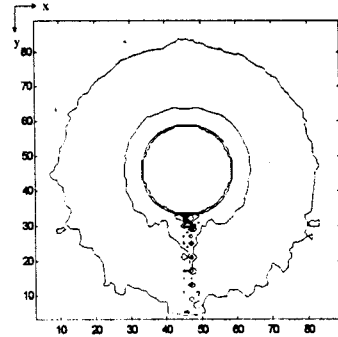


그림 3 움직이는 도체이물질 경로의 전계의 크기
Fig. 3 Electric field intensity at path of moving metal particle

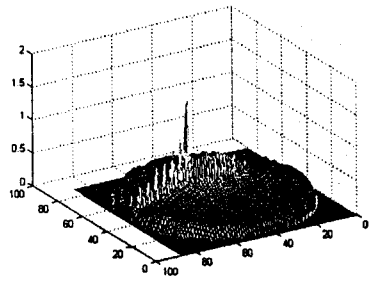
그림 3과 같이 도체에 근접한 지점의 값은 최대 1.5966으로, 반대편의 같은 위치의 값 0.4866보다 대략 3.3배만큼의 전자계 상승이 있음을 알 수 있다. 여기서 특이할 사항은 도체를 중심으로 인접한 두 점의 값의 차이를 보면 1.4223으로 다른 부분에서 비교적 완만하게 변화한 것과 비교할 때 훨씬 큰 불평등전계를 가지게 됨을 알 수 있다.

그림 4의 (a)와 (b)는 도체이물질에 의한 전자계의 변

화를 2차원 contour와 3차원 mesh로 표현한 것으로 전자계의 변화가 도체이물질의 이동경로를 따라 불규칙하게 큰 폭으로 변하고 있음을 잘 보여주고 있다.



(a) contour



(b) mesh

그림 4 불평등전계
Fig. 4 Unequal electric field

4. 도체이물질에 의한 출력단의 전계변화

움직이는 도체이물질에 의해 발생된 불평등전계에 의하여 그림 5과 같은 전계의 변화가 일어나게 되면, 이것은 펄스의 형태를 가지면서 GIS내부를 전파하게 된다. 이 펄스는 GIS내부에서 거의 감쇠없이 진행하므로 충분히 떨어져 있는 곳에 있는 안테나 센서에 의해 검출이 가능하다.

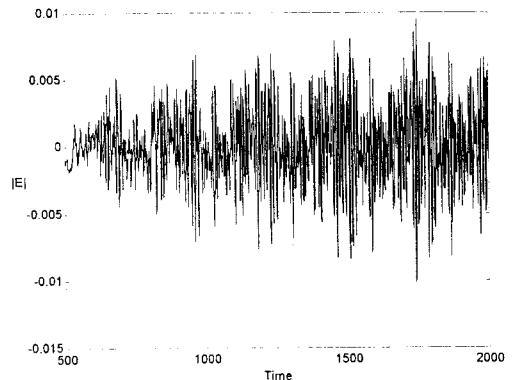


그림 5 전계의 시간변화
Fig. 5 Time variation of electric field

그림 6는 그림 5의 파형에 대한 주파수 분석 결과이다.

움직이는 도체이물질에 의해 발생하는 펄스의 주파수 특성은 860MHz를 중심으로 분포하고 있음을 알 수 있다. 참고문헌 [8][9]에서 실측한 움직이는 도체이물질의 주파수 분석결과와 유사하다.

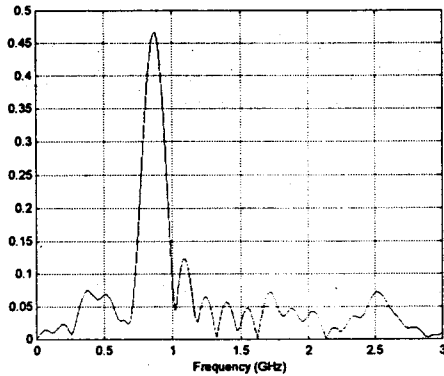


그림 6 주파수 특성
Fig. 6 Frequency property

본 논문은 움직이는 도체이물질을 해석함에 있어 도체는 완전도체를 기준으로 하였고, 도체이물질의 크기는 5mm로 하였다. GIS 내부는 매우 복잡한 구조를 이루며 수많은 잡음에 노출되어 있기 때문에 시뮬레이션 결과와 실측치와의 구체적인 비교가 어려웠다. 하지만, 일반적으로 도체이물질에 의해 발생하는 주파수 특성을 만족하였고, 뚜렷한 불평등전계의 특성을 관찰할 수 있었다.

5. 결론

GIS내에 움직이는 도체이물질이 존재할 때 GIS내부에서 전자계가 어떻게 변화하는가를 공간회로방법을 이용해 시뮬레이션 하였다. 도체이물질은 외함에서 도체로 갈수록 주위에 더 큰 불평등전계를 주는데 이동경로상의 전자계가 불규칙하게 커짐으로 해서 그 경로를 따라 절연파괴가 일어날 가능성이 훨씬 커짐을 알 수 있었다. 움직이는 도체이물질에 의한 전계는 상승하면서 도체에 인접할 때 가장 큰 불평등 전계를 주며 이후 하강할 때에는 중심부분의 전계의 크기를 비약적으로 상승시킨다. 움직이는 도체이물질에 의해 발생된 전자계의 변화는 펄스의 형태를 띄며 GIS내를 전파하게 되는데 이것은 UHF 안테나 센서에 의해 검출이 가능하다. 이 검출된 신호를 예측하고 주파수 특성을 비교함으로써 실제의 데이터와 유사한 주파수 특성을 얻을 수 있었다.

공간회로방법을 이용하면 기존의 해석법에 비하여 간단하게 3차원에서 이동하는 도체이물질에 대한 전자계의 변화를 예측할 수 있다. 여러 가지 매질의 도체이물질과 다양한 경로에 대한 전자계의 변화를 컴퓨터 시뮬레이션에 의해 예측할 수 있다면 UHF법에 필요한 데이터를 얻는데 매우 유용할 것이다.

본 논문의 모든 데이터는 공간회로방법을 이용해 C/C++을 이용해 코딩하여 얻었으며 수행속도와 메모리의 문제를 극복하기 위해 전북대학교 슈퍼컴퓨터를 이용하였다.

참 고 문 헌

- [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.. Hoefer, "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.
- [8] R.Feger, K.Feser, C.Neumann, V.Rees, "Non-Conventional UHF sensors for PD measurements on GIS of different designs", *IEEE PowerCon 2000 Conference, Perth, Australia*, Dec. 4-7, 2000, 1395-1400
- [9] W.buesch, H.P.Dambach, T.Aschwanden, M.Haessig, P.Hadorn, T.Heizmann, "Application of Partial Discharge Diagnostics in GIS at on-site commissioning tests", *CIGRE 15-104 1998 Session, Paris*
- [10] 고영호, "공간회로방법을 이용한 GIS내부의 펄스 전파특성해석", *대한전기학회 논문지 제50권 제1호*, 1월, 2001.