

GIS 스페이스의 에폭시 주입구 장착형 UHF PD 센서의 성능 비교

황철민, 김영노, 이영상, '곽주식, '박기준
(주)피에스디테크, 전력연구원

A comparison of the characteristics of External type UHF partial discharge sensor for metal covered barriers in GIS

Chul-min Hwang, Young-no Kim, Young-sang Lee, 'Joosik Kwak, 'Kijun Park
PSD Tech, 'Korea Electric Power Research Institute

Abstract - We present detailed studies of externally applicable UHF PD sensors for a metal covered epoxy barrier with a small opening of epoxy injection-hole. The sensors were attached at the surface of injection hole of a metal covered epoxy barrier. 3-Dimensional electro-magnetic simulations were performed to analyze electric-field distribution of the GIS and epoxy barrier with injection hole. Sensor structures were designed and analyzed using the 3-D EM simulator then fabricated for experimental verification. Sensor performance was measured in terms of spectral response and detected peak power. Real scale GIS and epoxy barriers were used to test and measure various aspect of performance of the sensors.

GIS 모선 정중앙에서 1m 거리에 개방형 스페이스와 폐쇄형 스페이스를 위치시켰으며, 모선 정중앙에서 100A 의 Current source (Gaussian pulse, $t_r=300ps$) 를 그림 1과 같이 인가하였다. Simulation model의 기준평면은 Z-X 평면이며, Y축을 진행방향으로 3-D 평면을 구성한다.

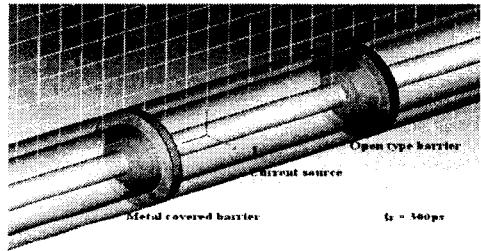


그림 1. GIS Field simulation model

1. 서 론

SF₆ 가스절연개폐장치(Gas-insulated switchgear, GIS)는 우수한 절연내력, 차단성능과 신뢰성이 높은 전력설비이나 고장발생시 파급효과에 의한 경제적 손실이 매우 크다. 최근 이러한 고장을 사전에 예방하기 위한 수단 하나로서 GIS 내부에서 발생하는 극초단파(Ultra-high frequency, UHF) 대역의 부분방전(Partial Discharge, PD) 신호를 측정할 수 있는 센서를 GIS 내부 또는 외부에 장착하여 상태를 감시할 수 있는 기술에 대한 연구와 적용이 활발히 진행되고 있다[1]. 국내외 연구 결과에 따르면 다양한 형태의 내·외장형 UHF PD 센서가 개발되어 부분적으로 상용화 되고 있다. 특히 스페이스 형태에 따라 적용되는 외장형 센서의 구조 및 특성이 다르기 때문에 이에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다[2-4].

그림2 (a)-(c)는 1.2GHz에서 전자기파 성분 중 E-field 진행 방향(화살표방향)을 보여준다. GIS는 Coaxial Waveguide로 작용을 하므로, GIS 내부에서 전자기파의 E-field 성분은 그림2(a)와 같이 진행방향(Y-axis)에 대해 수직으로 전파된다. GIS 내부를 전파하는 전자기파는 매질이 다른 물질(barrier)을 만나 반사되거나, 투과 또는 스페이스를 통해 공기중으로 전파된다. 그림2(b), (c)는 개방형과 폐쇄형 스페이스를 통해 공기 중으로 전파되는 전자기파의 E-field의 방향을 보여준다. 스페이스를 통해 외부로 복사된 전자기파의 E-field 성분은 파의 진행방향(Y-axis)과 같은 방향(±)으로 진행하며, 그 방향에서 가장 큰 Electric-field intensity를 갖는다.

본 논문에서는 폐쇄형 스페이스의 에폭시 주입구에 적용 가능한 외장형 센서를 제작하였다. 3-D EM simulator를 이용하여 GIS 내부 결합에 의한 전자파 발생시 스페이스의 에폭시 주입구로 복사되는 전자기파의 E-field 분포특성을 분석하였으며, 실규모 GIS mock-up에서 E-field의 분포특성을 측정하였다.

에폭시 주입구로 복사되는 전자기파의 E-field의 방향(polarization)을 이용하여 여러 가지 형태의 센서를 3-D EM simulator로 설계, 분석하여 제작하였다. 제작된 센서들은 실규모 GIS 스페이스의 에폭시 주입구에 장착하여 5pC의 PD 신호에 대한 각 센서의 성능을 비교하였다.

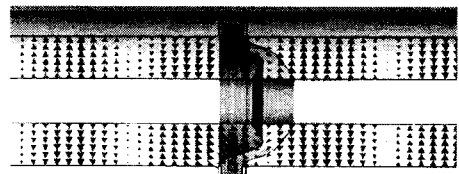


그림 2(a). GIS 내부의 E-field 분포 특성

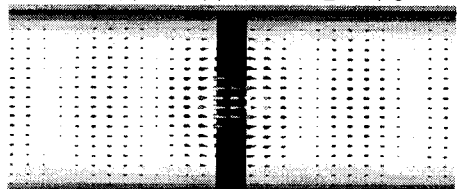


그림 2(b). 개방형 스페이스 외부의 E-field 분포 특성

2. 본 론

2.1 GIS 스페이스의 Electric-field 분포 특성

2.1.1 GIS의 UHF Electric-field simulation

GIS 내부 결합에 의해 발생된 PD 신호의 E-field 분포 특성을 3-D EM simulator를 이용하여 전산모사 하였다. 362kV

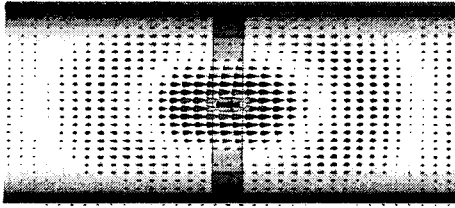


그림 2(c). 폐쇄형 스페이스 외부의 E-field 분포 특성

2.1.2 GIS의 Electric-field measurement

Barrier를 통해 공기 중으로 복사되는 전자기파 E-field의 진행방향을 확인하기 위하여, 그림 3과 같은 실험 장치를 구성하였다. 362kV mock-up GIS에 PD source를 인가한 후 planner monopole antenna를 폐쇄형 스페이스의 에폭시 주입구에 설치한 후 안테나 방향에 따른 전자파 스펙트럼을 측정하였다.

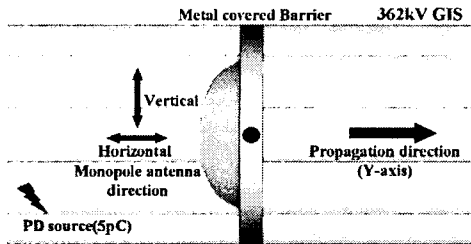


그림 3. E-field 측정 구성도

Planner monopole antenna의 E-field의 방향(polarization)은 안테나 길이 방향으로 E-field가 크게 움직이는 elliptical polarization을 갖는다. Antenna가 진행방향에 대해 수직으로 위치하게 되면 전자기파의 E-field 방향과 antenna의 polarization은 서로 수직이 되어 antenna로 전송된 신호의 세기는 줄어들게 된다. 반면, antenna의 polarization과 전자기파의 E-field 방향이 서로 같으면, antenna는 전파된 거의 모든 신호를 수신할 수 있다. 그림 4는 antenna의 방향에 따라 수신된 전자기파의 주파수 스펙트럼이다. 그림 4에서 solid line은 antenna가 전자기파의 진행방향에 대해 수평일 때, dot line은 수직일 때 측정된 스펙트럼이다.

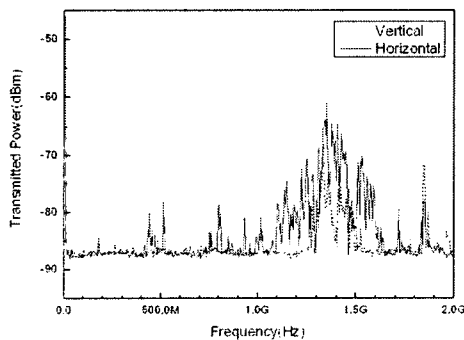


그림 4. monopole antenna 위치에 따른 주파수 분포 특성 비교

그림 4로부터, antenna의 방향이 전자기파의 진행방향에 대해 수평일 경우가 수직인 경우보다 더 광범위한 주파수 스펙트럼과 높은 power를 갖는다. 이는 antenna의 polarization과 복사된 신호의 E-field의 방향이 서로 같아야 검출된 신호가 더 크며, 보다 광범위한 주파수 대역에서 신호를 검출할 수 있음을 의미한다.

2.2 에폭시 주입구형 외장형 UHF PD 센서

폐쇄형 스페이스의 에폭시 주입구에 설치되는 외장형 UHF PD 센서를 그림 5와 같이 제작하였다. 센서의 외관은 외부 noise의 영향을 최소화하기 위하여 금속으로 차폐하였다. 센서와 스페이스의 접촉면을 통해 들어오는 외부 noise를 최소화하기 위하여 센서의 크기는 에폭시 주입구에 맞도록 설계되었다.

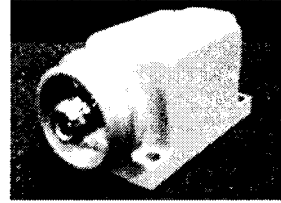


그림 5. 에폭시 주입구형 외장형 UHF PD 센서

센서의 내부에는 planner antenna가 내장되며, planner의 크기는 48mm×36mm×1.6mm(FR4, $\epsilon_r=4.4$)이다. Planner antenna는 에폭시 주입구로부터 복사되는 전자기파의 E-field 방향과 동일한 방향으로 elliptical polarization을 갖도록 Dipole type으로 설계 하였다. 내장되는 planner antenna의 크기가 작기 때문에 기본적인 dipole antenna로는 광범위한 측정주파수 대역(500MHz-1500MHz)을 검출하기가 어렵다. 따라서, 기본적인 planner dipole antenna를 변형하여 초광대역 특성을 갖도록 변형된 dipole antenna를 설계하여 센서에 장착하였다.

2.3 실험 setup

제작된 센서의 특성과 PD 검출 감도를 측정하기 위하여 그림 6과 같이 실험 장치를 구성하였다. 5pC의 PD를 발생시키기 위하여 알루미늄 볼을 이용한 부분방전 발생장치(rolling ball type PD cell)를 이용하였다. 안정된 PD 발생을 위하여 PD cell에 약 10kV의 교류전압을 인가하면서 IEC60270형 부분방전 검출기(DDX8003, Hipotronics)를 이용하여 3-5pC 크기의 방전을 확인하였다. PD cell은 그림 6과 같이 길이 약 6m의 단일 도체형 362kV GIS 챔버 한쪽 끝의 바닥 중앙에 설치하였고, 부분방전 신호를 검출하기 위한 UHF PD sensor는 근처 스페이스에 설치하였다.

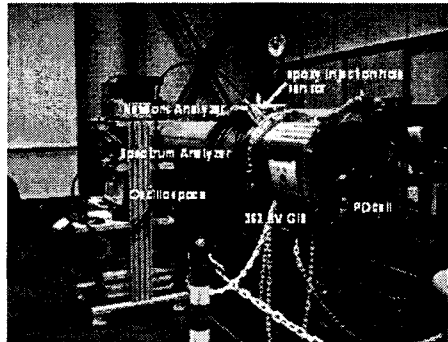


그림 6. 실험실 setup

2.4 측정 결과 및 성능 비교

제작된 센서들의 Return Loss(RL, S11)는 센서가 설치된 상태에서 Network Analyzer(S332B, Anritsu)를 이용하여 측정하였고, 결과는 그림 7과 같다. 그림 7은 reference dipole antenna와 modified dipole antenna가 내장된 센서의 RL을 비교한 결과이며, dipole(black, dot line)은 1.2GHz 부터 response를 갖는 반면, modified dipole antenna(red, solid line)는 500MHz에서부터 response를 갖는다. 이는 modified dipole antenna가 reference dipole에 비해 더 광범위한 주파수 대역

에서 신호를 검출할 수 있음을 의미한다.

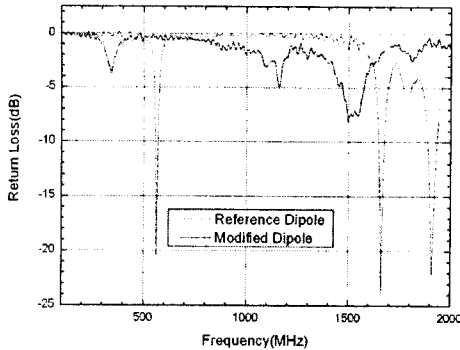


그림 7. UHF PD 센서의 RL 측정 비교

그림 8과 9는 ~5pC PD 신호에 대한 센서들의 검출 주파수 특성 및 peak power 출력파형을 측정된 결과이다. 센서에서 검출된 PD 신호의 주파수 특성은 Spectrum Analyzer(FSP7, Rohde & Schwarz)를 이용하여 측정하였으며, peak power를 구하기 위하여 센서의 출력은 oscilloscope(TDS-7404, BW=4GHz, 20GS/s, Tektronix)를 이용하여 측정하였다.

그림 8에서 Reference dipole sensor는 1GHz에서부터 신호가 검출되는 반면, Modified dipole sensor는 500MHz에서부터 신호가 검출되었다. 검출주파수 대역(500MHz ~ 1500MHz)에서 센서간의 Transmitted power를 비교하기 위하여, Spectrum Analyzer의 Integrated Bandwidth Method를 이용하여 각 센서의 Channel Power를 계산하였으며, 그림 9에서 각 센서의 Peak Power를 계산하여 Reference dipole sensor 대비 상대 이득을 표 1에 요약하였다.

측정 결과 Modified dipole sensor가 Reference dipole sensor에 비해 13dB 이상의 높은 출력을 가짐을 확인하였다.

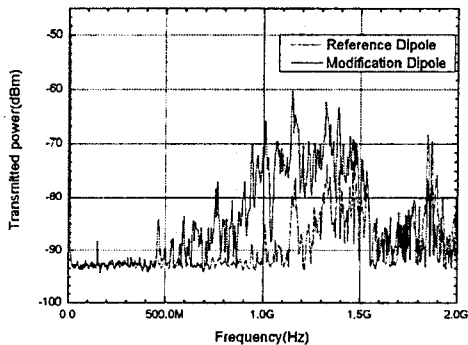


그림 8. ~5pC PD 신호에 대한 센서의 주파수 분포특성 비교

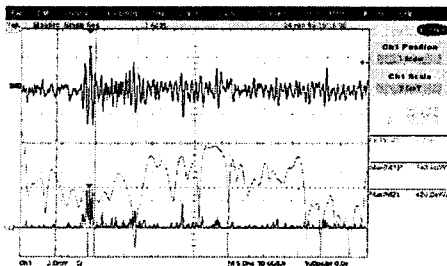


그림 9(a). ~5pC PD 신호에 대한 Reference dipole 센서의 Peak Power 측정

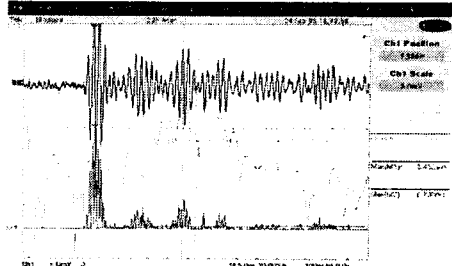


그림 9(b). ~5pC PD 신호에 대한 Modified dipole 센서의 Peak Power 측정

Table 1 : 5pC PD 신호에 대한 Channel power와 Peak power

| Sensor type | Channel Power (dBm) | Peak Power | | Gain (dB) |
|------------------|---------------------|------------|-------|-----------|
| | | (μ W) | (dBm) | |
| Reference Dipole | -56 | 0.17 | -37.7 | 0 |
| Modified Dipole | -44 | 3.62 | -24.4 | 13.3 |

3. 결론

본 논문에서는 362kV 폐쇄형 스페이스의 에폭시 주입구에 적용 가능한 외장형 센서를 설계-제작하였다.

3-D EM simulator를 이용하여 GIS 내부 결함발생시 스페이스로부터 공기 중으로 복사되는 전자기파의 Electric field 분포특성을 분석하였으며, simulation한 결과와 실제 monopole antenna로 측정된 결과를 비교하여 전자기파의 진행방향과 동일한 방향으로 E-field가 형성될 때 가장 강한 Electric-field intensity를 가짐을 확인하였다.

센서 내부에 장착되는 planner antenna는 스페이스의 에폭시 주입구로부터 복사되는 전자기파의 E-field 방향과 동일한 방향으로 타원편파(elliptical polarization)를 갖도록 Dipole type으로 설계 하였으며, 보다 광범위한 측정 주파수 대역을 갖기 위해 reference dipole type을 변형하여 설계-제작하였고, 제작된 센서의 RL은 500 ~ 2000MHz 주파수 대역에서 응답 특성을 가지며, 5pC PD 신호에 대한 센서의 주파수 분포 또한 같은 특성을 보였다. 또한 센서의 출력을 측정하여 peak power를 계산한 결과 비교대상인 Reference dipole type sensor에 비해 13dB 높은 출력을 내었다. 본 논문에서 개발된 362kV 에폭시 주입구형 외장형 UHF PD 센서는 ~5pC PD 신호를 검출할 수 있는 충분한 감도와 대역폭을 가짐을 확인하였다.

감사의 글

본 연구는 부분적으로 산업자원부 전력산업 연구개발 사업 지원에 의해 수행된 연구 결과로 이에 감사드립니다.

[참고 문헌]

- [1] M.D. Judd, O. Farish, B.F. Hampton, "The Excitation of UHF PD signals by Partial Discharges in GIS", IEEE trans. on DEI., vol. 3, No. 2, pp 213-228, 1996
- [2] M.D. Judd, O. Farish, B.F. Hampton, "Broadband couplers for UHF detection of partial discharge in gas -insulated substations", IEE proc.-Sci. Meas. Technol., vol. 142, No. 3, pp 237-243, 1995
- [3] S. Meijer, E. Gulski and J. J Smit, "Pattern analysis of partial discharges in SF6 GIS", IEEE trans. on DEI., vol. 5, No. 6, pp. 830-842-228, 1998
- [4] J. S. Pearson, et al, " Partial Discharge Diagnostics for Gas-Insulated Substations", IEEE Trans. On DieI. And EI Ins., Vol. 2, No. 5, 1995, pp. 893-90
- [5] Micro Wave Studio V5.0, Coumputer Simulation Technology,2004.