

GIS용 폐쇄형 스페이스의 에폭시 주입구용 UHF 부분방전 센서의 특성비교

황철민, 구자운, 이영상, 박기준
 한양대학교, (주)피에스디테크, 전력연구원

Performance of comparison of external-type UHF PD sensors
 for epoxy injection hole of barriers in GIS

Chul-min Hwang, Ja-yoon Koo, Young-sang Lee, Kijun Park
 SMDT Lab., Dept. of Electrical Engineering, Hanyang Univ, PSD Tech, Korea Electric Power Research Institute

Abstract - GIS의 금속으로 차폐된 폐쇄형 스페이스(barrier)의 에폭시 주입구를 통해 방사되는 극초단파 부분방전 신호를 검출할 수 있는 외장형 UHF PD 센서를 제작하였다. 센서에 내장되는 패치안테나는 모노폴(monopole)과 다이폴(dipole) 형태로 설계하여 고주파 전자기장 해석 툴을 이용하여 각각의 특성을 계산하고 분석하였다. 제작된 센서는 362 kV GIS의 차폐형 스페이스의 에폭시 주입구에 장착하고 각 센서의 PD 검출 감도와 주파수 특성을 측정하고 비교하였다.

를 감지하기 위한 안테나가 내장되어 절연체로 채워진다. 센서의 설계요소는 그림 1에서와 같이 패치안테나의 구조, 에폭시 주입구와 패치안테나 사이의 거리(H), 패치 안테나를 고정시키기 위한 내부 절연체의 비유전율(ϵ_r) 등이다.

1. 서 론

SF₆ 가스절연 개폐장치(Gas-insulated switch gear, GIS)는 우수한 절연내력, 차단능력과 신뢰성이 높은 전력설비이나 고장 발생시 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]. 국내의 연구 결과에 따르면 다양한 형태의 내·외장형 UHF PD 센서가 개발되어 부분적으로 실용화 되고 있다. 특히 스페이스 형태에 따라 적용되는 외장형 센서의 특성 및 형태가 다르기 때문에 이에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다 [2-4].

본 논문에서는 금속으로 차폐된 스페이스의 에폭시 주입구에 적용 가능한 외장형 센서를 제작하였다. 에폭시 주입구용 센서에 적용된 안테나의 구조에 따른 PD검출 특성을 비교 분석하기 위하여 국내 변전소에 운전 중인 362 kV 급 GIS에 사용된 금속실드가 있는 스페이스에 장착 할 수 있는 8가지 종류의 센서를 설계하고 제작하였다. Monopole 형태의 센서들은 diamond, tapered-diamond, fractal, fractal-diamond 구조로 설계하고, dipole 형태는 fat-dipole, four-square, log-periodic, log-spiral 구조로 설계하였다. 상용 3차원 EM simulator를 이용하여 센서의 반사손실(Return loss, RL) 특성을 분석하였다. 제작된 센서는 실 규모 362 kV GIS 스페이스의 에폭시 주입구에 장착하여 IEC-60270에 의한 5 pC PD에 대한 주파수 특성과 침투전력(peak power)을 측정하고 비교하였다.

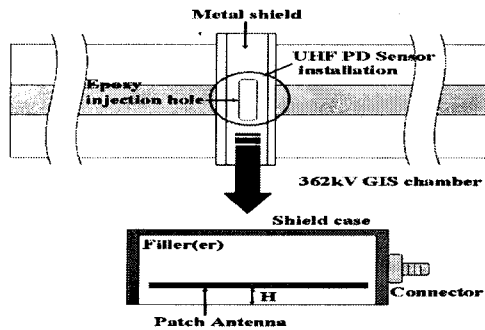


그림 1. 에폭시 주입구용 UHF PD센서의 구조

에폭시 주입구형 센서에 내장되는 패치안테나는 크기가 매우 작으므로 수 GHz대의 높은 주파수에서 RL 특성을 나타낸다[4]. 기존의 외장형 센서에 적용했던 dipole 형태의 구조에 덧붙여, 같은 크기에서 특성주파수 대역을 낮출 수 있는 구조를 갖는 monopole 형태의 패치안테나 4종을 설계-제작하였다 (그림 2,3).

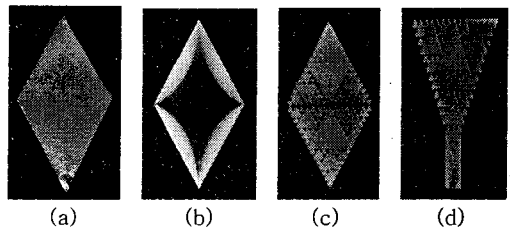


그림 2. Monopole형 패치안테나: (a) Diamond, (b) Tapered diamond, (c) Fractal diamond, (d) Fractal

2. 본 론

2.1 에폭시 주입구용 UHF 부분방전(PD) 센서

에폭시 주입구용 UHF PD 센서는 외관이 금속으로 차폐된 스페이스 표면의 좁은 면적의 에폭시 주입구에 설치된다. 외부잡음 영향을 최소화하기 위하여 센서의 외관은 금속으로 제작하였다. 센서 내부에는 PD 신호

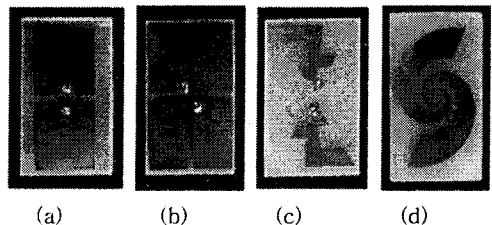


그림 3. Dipole형 패치안테나: (a) Fat-dipole, (b) four-square, (c) Log-periodic, (d) Log-spiral

2.2 각 센서의 반사손실(Return Loss, RL) 비교

에폭시 주입구형 센서에 장착되는 패치안테나는 센서의 금속 케이스와의 결합과 내부 절연체의 비유전율에 의해 RL이 변화하게 된다. 이러한 RL 변화 특성을 분석하기 위하여 고주파 전자기장 해석프로그램을 이용하여 패치안테나와 이것이 내장된 센서의 RL을 계산하여 비교하였다[5]. 그림 4는 에폭시 주입구형 센서에 내장되는 패치안테나 중 Fat-dipole 구조의 RL 변화 예를 보여준다. 자유공간상의 패치안테나는 센서에 내장된 후, 케이스와의 자기장 결합과 절연체의 비유전율($\epsilon_r = 3.3$)에 의해 1 - 2 GHz 주파수 대역에서 RL이 매우 향상되었다. 그림 5는 각 패치안테나들이 내장된 센서의 RL을 측정하여 비교한 결과이며, dipole 형태의 패치안테나가 내장된 센서들이 측정 주파수 대역(500 - 1500 MHz)에서 더 우수한 RL을 가짐을 확인하였다.

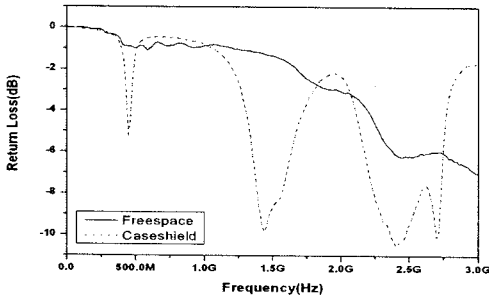
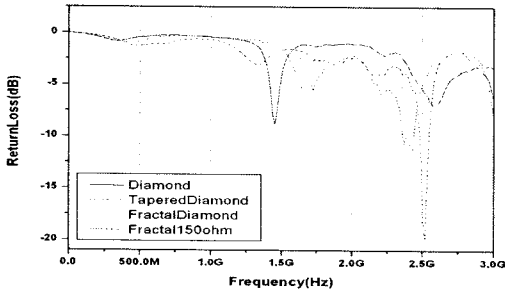
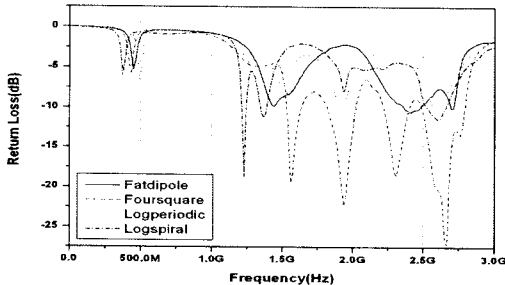


그림 4. Fat-dipole형 패치안테나의 RL 변화



(a) Monopole형 센서의 RL



(b) Dipole형 센서의 RL

그림 5. 각 패치안테나가 내장된 센서의 RL

그림 6은 스페이스의 주입구에 제작한 센서가 설치된 상태에서 dipole 형태 센서들의 RL을 Network

Analyzer(S332B, Anritsu)를 이용하여 측정된 결과이다. 센서가 스페이스에 설치된 후에는 에폭시 주입구를 이루는 금속과의 결합으로 공진대역에서 많은 리플(ripple)이 발생했으며, 주입구의 에폭시 절연체로 인하여 공진점은 그림 5(b)에 비해 50 - 100 MHz 정도 낮은 대역으로 이동하였다.

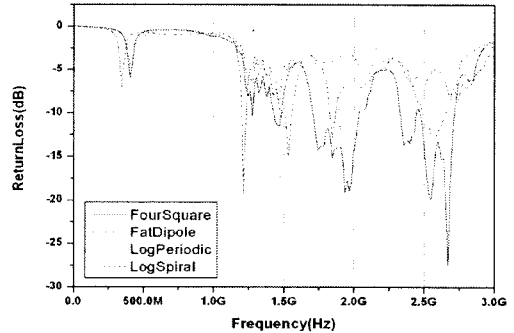


그림 6. GIS에 설치된 상태에서 dipole형 센서의 RL

2.3 PD 검출 특성 측정

앞에서 제작된 에폭시 주입구용 센서의 PD 검출 감도를 측정하기 위하여 그림 7과 같이 실험 장치를 구성하였다. 5 pC의 PD를 발생시키기 위하여 알루미늄 볼을 이용한 부분방전 발생장치(rolling ball type PD cell)을 이용하였다. 안정된 PD 발생을 위하여 PD cell에 약 10 kV의 교류전압을 인가하면서 IEC60270형 부분방전 검출기(DDX8003, Hipotronics)를 이용하여 3-5 pC 크기의 방전을 확인하였다. PD cell은 그림 7과 같이 길이 약 6 m의 단일 도체형 362 kV GIS 챔버 한쪽 끝의 바닥 중앙에 설치하였고, 부분방전 신호를 검출하기 위한 에폭시 주입구용 센서는 근처의 스페이스에 설치하였다.

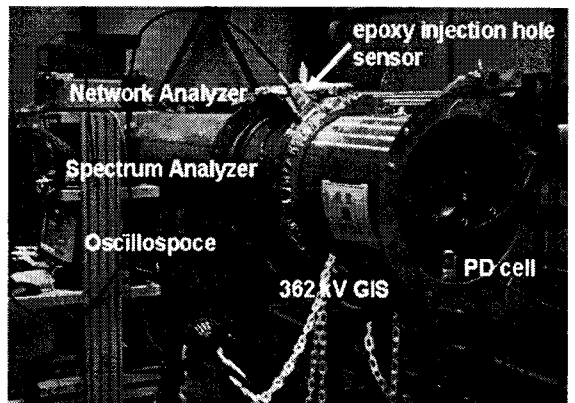
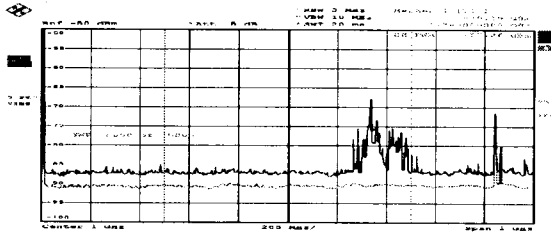


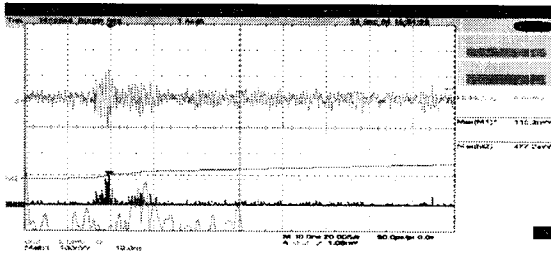
그림 7. 에폭시 주입구용 PD 센서의 검출감도 측정을 위한 실험 장치 구성도

그림 8과 9는 5 pC PD 신호에 대한 monopole과 dipole 형태의 센서들 중 diamond형과 fat-dipole 형태의 패치안테나가 내장된 센서의 검출 주파수 특성과 출력파형을 측정된 결과이다. 각 센서에서 검출된 PD 신호의 주파수 특성은 스펙트럼 분석기(FSP7, Rohde & Schwarz)를 이용하여 측정하였다. 그림 8(a)와 그림 9(a)와 같이 500 - 2000 MHz 대역에서 PD 신호를 검출할 수 있었으며, 센서의 RL과 유사한 주파수 응답특성을 확인할 수 있었다.

첨두전력 (Peak power)을 구하기 위하여 센서의 출력은 오실로스코프(TDS-7404, BW = 4 GHz, 20GS/s, Tektronix)를 이용하여 측정하였으며, 각 센서의 채널파워(channel power)와 첨두전력(peak power) 그리고 기본적인 monopole 형태의 diamond 구조 센서 대비 상대이득을 표 1에 요약하였다. Dipole 형태의 센서는 monopole 형태의 센서보다 약 10-12 dB 이상의 높은 출력 값을 내었으며, 그 중 Fat-dipole과 log-periodic 구조의 센서가 다른 센서에 비해 더 높은 출력 값을 내었다.

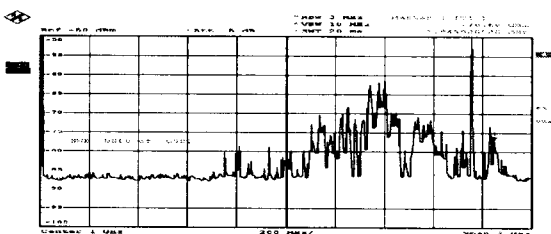


(a) 5 pC PD신호에 대한 센서의 주파수 스펙트럼.

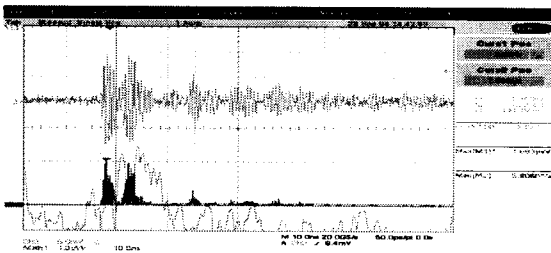


(b) 5 pC PD신호에 대한 센서의 출력 파형.

그림 8. GIS 설치된 상태에서의 Diamond 구조 센서의 RL 및 5 pC PD신호에 대한 출력 측정



(a) 5 pC PD신호에 대한 센서의 주파수 스펙트럼.



(b) 5 pC PD신호에 대한 센서의 출력 파형.

그림 9. GIS 설치된 상태에서의 Fat-dipole 구조 센서의 RL 및 5 pC PD신호에 대한 출력 측정

표 1. 5 pC PD 에 대한 각 센서의 채널 파워 (Channel Power)와 첨두전력(Peak Power)

종 류	Channel Power (dBm)	첨두전력 (Peak Power)		상대이득 (dB)	
		(μ W)	(dBm)		
Dipole	Fat dipole	-46.00	1.69	-27.7	11.5
	Four square	-50.00	1.34	-28.7	10.5
	Log periodic	-49.52	1.62	-27.9	11.3
	Log spiral	-49.35	1.54	-28.2	11
Monopole	Fractal diamond	-59.77	0.08	-41.0	-1.8
	Tapered diamond	-60.68	0.03	-45.2	-6
	Fractal	-57.86	0.12	-39.2	0
	Diamond	-50.66	0.12	-39.2	0

3. 결 론

본 논문에서는 금속으로 차폐된 폐쇄형 스페이스의 예 폭시 주입구에 적용 가능한 외장형 UHF PD 센서를 설계-제작하였으며, monopole 과 dipole 형태의 패치 안테나가 적용된 센서의 특성과 검출감도를 비교하였다. 상용화된 3차원 EM simulator를 이용하여 패치안테나의 반사손실 변화를 패치안테나 자체만 있을 경우와 스페이스에 센서가 설치될 경우를 계산하여 변화를 예측할 수 있었다. 스펙트럼 분석기를 이용한 센서의 주파수 특성 측정 결과 센서의 RL과 유사한 주파수 응답 특성을 보였으며, 센서의 채널파워(channel power) 및 첨두전력(peak power)도 RL 측정시의 결과와 비슷한 경향을 보였다.

개방형 스페이스에 적용되었던 외장형 센서의 구조와 마찬가지로, dipole 구조의 센서들이 monopole 구조의 센서들보다 PD 측정시 높은 출력특성을 보였으며 제작된 센서들이 5 pC 크기의 PD 신호를 검출 할 수 있는 충분한 감도를 지니고 있음을 확인하였다.

감사의 글

본 연구는 부분적으로 산업자원부 전력산업 연구개발 사업 및 한양대학교 전자재료 및 부품연구센터의 지원에 의해 수행된 연구 결과로 이에 감사드립니다.

[참 고 문 헌]

- [1] Nicholas de Kock, Branko Coric and Ralf Pietsch, "UHF PD Detection in Gas-Insulated Switchgear-Suitability and Sensitivity of the UHF Method in Comparison with the IEC270 Method" IEEE Electrical Insulation Magazine.
- [2] J. S. Pearson, et al, "Partial Discharge Diagnostics for Gas-Insulated Substations", IEEE Trans. on Diel. and El Ins., Vol. 2, No. 5, 1995, pp. 893-905.
- [3] 박기준, 구선근, 윤진열, "가스절연개폐장치(GIS)용 극초단파(UHF) 부분방전 센서의 감도 측정", 대한전기학회 전기 재료 연구회 춘계학술대회 논문집 pp17-20, 2004. 5.
- [4] 황철민, 구자운, 박기준, 윤진열, 구선근, 이영상 "GIS용 외장형 광대역 극초단파 부분방전 센서의 구조에 따른 특성 비교", 대한전기학회 하계학술대회 논문집 C권, p1769-1771, 2004. 7.
- [5] Micro Wave Studio V5.0, Computer Simulation Technology, 2004.