GIS용 외장형 광대역 극초단파 부분방전 센서의 구조에 따른 특성 비교

황철민, 구자윤, *박기준, *구선근, *윤진열, **이영상
한양대학교, *전력연구원, **(주)피에스디테크

Comparison of the characteristics related to the structure of external-type UHF UWB PD sensors for GIS

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

Abstract - 가스절연 개폐장치(GIS)용 극초단파 부분방전 측정장치에 다양하게 사용 할 수 있는 외장형 부분방전 (PD) 센서를 제작하였다. Fat-dipole, 대수주기(log-periodic), spiral 및 log-spiral 형 패치안테나를 이용한 외장형 PD 센서의 주파수 특성과 검출감도를 기본 Dipole형 센서와 비교하였다. 제작된 센서는 170 kV 단상 GIS의 스페이서에 장착하여 5 pC PD에 대한 각 센서의 주파수 특성과 감도를 측정 하였다.

1. 서 론

SF_6 가스절연 개폐장치(Gas- insulated switch gear, GIS)는 우수한 절연내력, 차단성능과 신뢰성이 높은 전력설비로서 고장 발생시 그 파급효과에 의한 경제적 손실이 매우 큰 것으로 보고되고 있다. 최근 이러한 고장을 사전에 방지하기위한 수단의 하나로서 GIS 내부에서 발생되는 극초단파 (Ultra-high frequency, UHF) 대역의 부분방전신호를 측정할 수 있는 센서를 GIS 내부 또는 외부에 장착하여 상태를 감시할 수 있는 기술에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.[1, 2] 국내외 연구결과에 따르면 다양한 형태의 내·외장 UHF PD센서가 개발되어 부분적으로 실용화 되고 있으며, 특히 외장형의 경우, GIS의 스페이서(barrier)를 통해 전달되는 UHF PD 신호를 스페이서 외부에 설치된 안테나형 센서를 통해 감지하는 형태이다 [3-5].

본 논문에서는 .외장형 안테나 센서의 구조에 따른 PD 검출 특성을 비교 분석하기 위하여 국내 변전소에 운전 중인 170 kV 급 GIS에 적용 가능한 5가지 형태의 센서들을 설계 제작하였다: Dipole type, 변형된 Fat-dipole type, Log-periodic type, 광대역 안테나 소자인 Spiral, Log-spiral type 등등.[6] 특성 비교를 위하여, 상용 3차원 EM simulator를 이용한 센서들의 반사손실(Return Loss, RL) 계산결과와 제작된 센서에서 측정한 결과를 비교 하였다. 또한 실 규모170 kV GIS 의 스페이서에 제작된 센서들을 장착하여 IEC 60270에 의한 5 pC 의 PD에 대한 주파수 특성과 첨두전력(검출감도)을 비교하였다.

2. 본 론

2.1 외장형 UHF 부분방전(PD) 센서

외장형 UHF PD센서는 스페이서 외부에 설치되어 GIS 내부 결함에 의해 발생되는 PD 신호를 감지하는 안테나형 센서로서, 노출에 의한 외부잡음 영향을 최소화하기 위하여 외관은 금속으로 차폐되어 있다. 그림1은 외장형 센서의 기본적인 구조이며, 센서의 특성을 좌우하는 설계요소들은 그림 1에서와 같이 패치안테나의 구조와 스페이서와 안테나 사이의 거리(H), 패치 안테나를 고정시키기 위한 내부 절연체의 비유전율(er) 등이다.

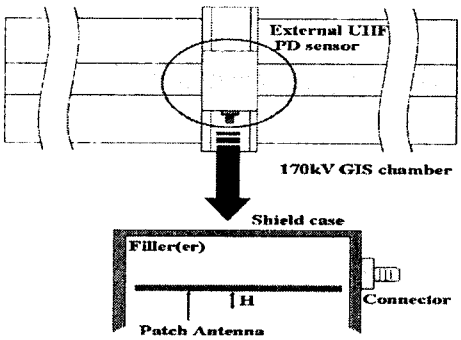


그림 1. 외장형 UHF PD센서의 구조.

가장 기본적인 안테나 구조인 dipole 안테나의 특성에 대한 변형된 다른 구조의 특성을 서로 비교 하였다. 비교 대상으로 변형된 Fat-Dipole (W=L), 광대역 안테나 소자로 널리 이용되고 있는 Log-Periodic, Spiral, Log-Spiral 안테나를 선정하였다 (그림 2). [6]. 각 안테나 소자들은 금속 케이스와 안테나에서 형성되는 자기장의 coupling이 최소화 되고 검출감도를 높이도록 배치하였다.

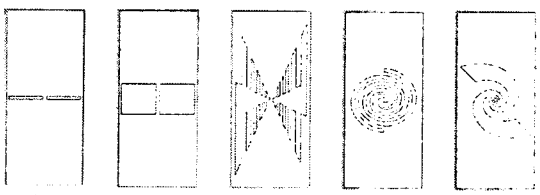


그림 2. 각 안테나 소자들의 구조 (a) Dipole, (b) Fat-dipole, (c) Log-periodic, (d) Spiral, (e) Log-spiral.

2.2 각 센서의 반사손실 비교

반사손실(Return loss, RL)은 정재파비(Voltage standing wave ratio, VSWR)와 함께 안테나의 성능을 평가하는 중요한 요소로서 외장형 센서의 RL은 전산모사 또는 측정시 센서의 성능을 가늠 할 수 있는 주요 특성이다. 하지만 외장형 센서는 외관이 금속으로 차폐되어 있으므로, 일반적인 안테나의 자유공간 특성과는 다르다. 효율적인 설계와 검증을 위해 고주파 전자기장

해석프로그램을 이용하여 구한 RL 값과[7], 실제 제작된 센서들에서 측정한 RL값을 비교하였다. 기본적인 dipole 안테나의 전산모사에 의한 자유공간과 금속외함이 있는 상태에서의 특성 차이는 그림 3과 같다. 금속외함이 존재 할 때에는 내부 절연체의 유전율(er = 3.3)의 의해 공진점이 1 GHz 정도 낮은 대역으로 이동하였으며, 외함과의 결합에 의해 ~1.2 GHz에서 또 다른 공진 특성이 나타났다.

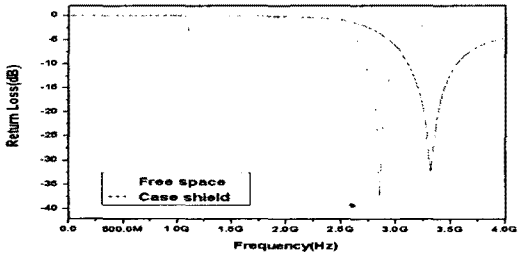
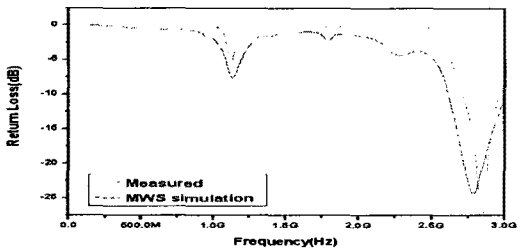
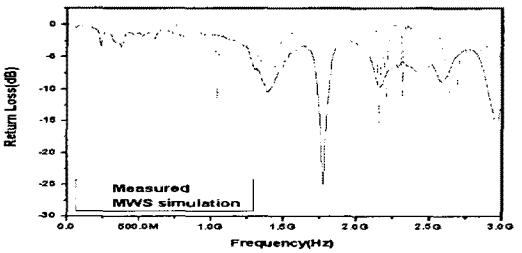


그림 3. Free space와 Case shield 상태에 따른 Dipole 안테나의 RL비교 (전산모사).

그림 4(a), (b)는 와함이 있는 dipole 안테나와 log-periodic 안테나형 센서의 RL 계산값과 network analyzer(S332B, Anritsu)를 이용한 실제 측정값을 비교한 결과이다. 그림 4 (a)의 dipole 구조의 경우, 계산된 RL과 실제 제작된 RL의 공진 특성이 거의 일치하고 있으며, (b)의 log-Periodic 구조의 경우, 공진 특성은 유사하나, 오차가 뚜렷하게 나타난 원인은 subantenna들과 와함 간의 결합 및 simulation model과 실제 안테나에서 RL 측정시의 급전 구조가 다르기 때문으로 생각된다.



(a) Dipole.



(b) Log-Periodic.

그림 4. 안테나 구조에 따른 센서의 RL 계산치 와 측정치 비교.

2.3 PD 검출감도측정 실험 장치

앞에서 제작된 외장형 UHF PD센서의 감도를 측정하기 위하여 그림 5와 같이 측정 회로를 구성하였으며, 5 pC 의 PD를 발생시키기 위하여 알루미늄 볼을 이용한 부분방전 발생장치(rolling ball type PD cell)를 제작하였다. 안정된 PD 발생을 위하여 PD cell에 교류전압(PD free, 100 kV, Haefley) 을 인가하면서 약 5 pC의 방전을 IEC 60270형 부분방전 검출기 (DDX8003, Hipotronics)로 확인하였다. PD cell 은 길이 약 6 m의 단일 도체형 170 kV GIS 챔버 한쪽 끝의 바닥 중앙에 설치하였고, 부분방전 신호를 검출하기 위한 외장형 센서는 근처의 스페이서에 설치하였다.

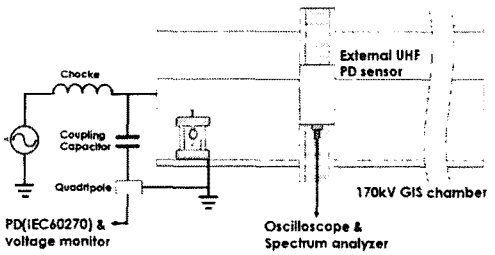
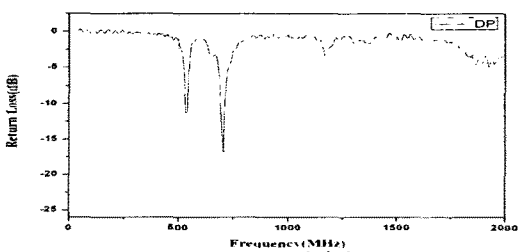


그림 5. 외장형 UHF PD 센서의 검출감도 측정을 위한 실험 장치 구성도.

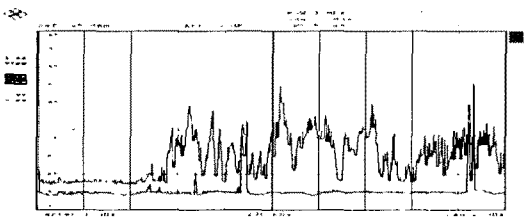
2.4 각 센서의 출력 측정 비

그림 6, 7은 스페이서에 센서가 설치된 상태에서 센서의 RL과 5 pC PD 신호에 대한 상기 센서들의 검출 주파수 특성 및 출력파형을 측정한 결과 이다. 그림 6(a), 7(a) 결과와 그림 4(a), (b)의 결과와 비교하면, 공진점이 스페이서 절연체(에폭시)의 유전율에 의해 전체적으로 500 MHz 정도 낮은 대역으로 이동됨을 볼 수 있다. 그에 상응하는 550 MHz 부근에서 그림 6 (a)의 두 개의 공진은 측정시 급전선과 외함 또는 안테나와의 결합에 의한 것으로 판단된다.

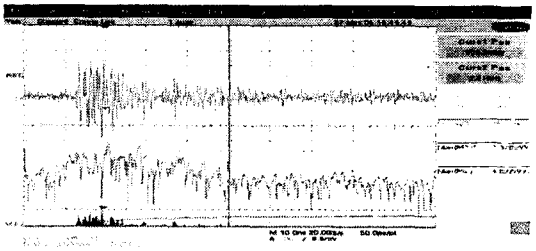
각 센서에서 검출된 PD신호의 주파수 특성은 스펙트럼 분석기(Rohde & Schwarz, FSP7)를 이용하여 측정하였다. 주파수 특성 그림 6(b) 와 7(b)의 두개의 스펙트럼 중 아래쪽 스펙트럼은 전압이 인가되지 않은 상태에서의 주변 잡음이다. 그림과 같이 500 - 2000 MHz 대역에서 PD 신호를 검출 할 수 있으며, 센서의 반사손실과 유사한 주파수 응답특성이 확인할 수 있었다.



(a) Dipole 구조 센서의 RL.

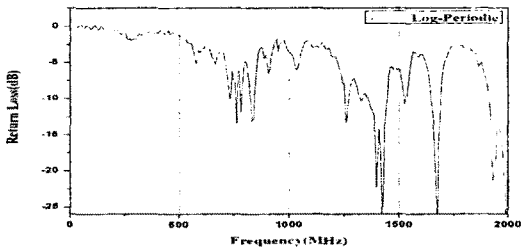


(b) 5 pC PD신호에 대한 센서의 주파수 스펙트럼.

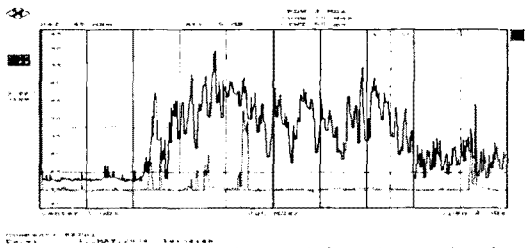


(c) 5pC PD신호에 대한 센서의 출력 파형.

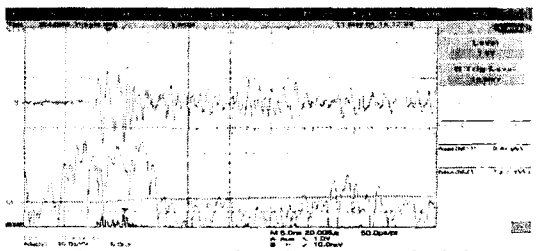
그림 6. GIS 설치된 상태에서의 Dipole 구조 센서의 RL 및 5pC PD신호에 대한 출력 측정.



(a) Log-periodic 구조 센서의 RL



(b) 5 pC PD신호에 대한 센서의 주파수 스펙트럼.



(c) 5 pC PD신호에 대한 센서의 출력 파형.

그림 7. GIS 설치된 상태에서의 Log-Periodic 구조 센서의 RL 및 5 pC PD신호에 대한 출력 측정.

센서의 출력은 오실로스코프(TDS-7404, BW : 4 GHZ, 20Gs/s, Tektronix)를 이용하여 측정하였다. 그림 6(c), 7(c)는 각 센서의 시간영역에서 측정된 파형과 이 파형을 FFT 하여 주파수 영역에서 표시하였고 아울러 측정신호의 파워 계산치 (그림에서 표시M1)와 에너지 (그림에서 표시 M3)도 표시하는 등 4개의 파형을 동시에 보이고 있다. 각 센서의 첨두전력과 기본 dipole 대비 상대 이득을 표 1에 요약하였다. Fat-dipole과 log-periodic 구조의 센서는 기본 dipole 형 대비 약 4 배 높은 출력 값을 내었다.

표 1. 5 pC PD 에 대한 각 센서의 첨두전력(Peak Power) 비교.

	Dipole	Fat Dipole	Log Periodic	Spiral	Log Spiral
dBm	-28.9	-22.6	-22.2	-27.2	-29.6
μW	1.3	5.5	6.0	1.9	1.1
상대이득 (dB)	0	6.3	6.7	1.7	-0.7

3. 결 론

본 논문에서는 170 kV GIS에 적용 가능한 외장형 UHF PD 센서를 설계하였으며, 기본적인 안테나 소자인 dipole 과 대비된 변형된 형태인 fat-dipole, 대수주기(log-periodic), 광대역 안테나 소자인 spiral과 log-spiral 안테나가 적용된 센서의 특성과 검출감도를 비교하였다. 상용화된 3차원 EM simulator를 이용하여 계산한 결과와 실제 측정된 센서의 반사손실을 비교하였으며, 유사한 결과를 보임을 확인하였다.

스펙트럼 분석기를 이용한 센서의 주파수 특성 측정 결과 센서의 반사손실과 유사한 주파수 분포 특성을 보였다. 센서의 첨두전력(peak power)도 RL 측정 결과와 비슷한 결과를 보였다. 이를 통해 센서의 반사손실과 센서의 주파수 특성, 센서의 출력전력과의 연관성을 알 수 있었다. 향후 다양한 안테나 소자들을 접목하여 스페이서에 설치된 상태의 센서에 대한 전산모사를 통해 UHF PD 센서의 검출대역과 출력(감도)을 최적화 할 수 있을 것으로 생각 된다.

감사의 글

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

[참 고 문 헌]

[1] R. Kurrer, K. Feser, "The Application of Ultra High Frequency Partial Discharge Measurements to Gas Insulated Substation" IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 13, No. 3, July 1998.

[2] 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.

[3] 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.

[4] 박기준, 구선근, 윤진열, "가스절연개폐장치(GIS)용 극초단파(UHF) 부분방전 센서의 감도 측정", 대한전기학회 전기재료 연구회 춘계학술대회 논문집 pp17 20, 2004. 5.

[5] 황철민, 구자윤, 이영상, 윤진열, "Gas Insulated Switchgear(GIS) 내부 부분방전 측정을 위한 Barrier coupler type UHF센서 개발에 관한 연구", 대한전기학회 하계학술대회 논문집 C권, p1897 1899, 2003. 7.

[6] Warren L. Stutzman, Gary A. Thiele, "Antenna Theory and Design" 2000.

[7] Micro Wave Studio V5.0, Computer Simulation Technology, 2004.