

가스절연 개폐장치의 PD검출용 UHF 대역 외장형 센서 제작 및 감도 특성

이찬용, 홍철용, 최병화, 윤자홍, 남극채, 정재기*
 현대중공업 기계전기연구소, *신제품개발실, ***(주)한빛EDS

Development of External UHF PD Sensor for the Detection of Partial Discharge in SF₆ Gas-insulated Switchgear

Chang R. Lee, C. Y. Hong, B. H. Choi, J. H. Yoon, G. C. Nam and J. G. Jung
 Hyundai Heavy Industries, Co., Ltd. and Hanbit EDS Co.

Abstract - We have developed the external-type PD sensors for detecting of the electromagnetic waves up to ultra high frequency (UHF) bands, propagating in various type of GIS. Sufficiently high sensitivity and accuracy for practical use were achieved for the external PD sensor. The experience at the fields and the criteria for the judgment are also discussed in detail.

1. 서 론

가스절연기기의 주 절연물로 이용되는 고압의 육불화 황 (SF₆) 가스하에서 발생한 부분방전신호는 VHF와 UHF 대역까지 넓은 주파수 대역에 걸쳐 발생하는, 1ns 이하의 아주 짧은 rising time을 가진 전류 펄스로 알려져 있다. 가스절연기기의 내부를 진행하는 전자기파는 감쇄가 낮으며 스페이서나 부싱 축에서 외부로 방출된다. 일반적으로 현상이나 기기 내부의 노이즈는 낮은 주파수 대역에서 발생하는 것으로 알려져 있어서, 300 MHz에서 3GHz까지의 대역에서 1GHz이상의 bandwidth로 부분방전을 측정한다면, 변전소와 같이 노이즈가 많은 장소에서도 미소한 방전신호를 좋은 신호대 잡음비로 검출해 낼 수 있는 것으로 보고된 바가 있다.

기기의 부분방전을 검출해 내는 UHF 센서로는 60-70MHz 대역의 VHF 센서와 전송한 것과 같은 UHF 센서가 사용된 바가 있다. 현재 가장 많이 적용되는 UHF 센서의 출력은 고압의 도체상을 이동하는 전자기 파에 의해 유도되는 전압이다. UHF 센서는 크게, 외함의 플린지에 설치되어 내부 전계 및 내부 SF₆ 가스와의 접촉되는 내장형과, 기 설치되어 있는 기기에 적용할 수 있도록 외부에 노출되어 있는 절연물에 탈부착이 가능한 외장형으로 분류된다. 센서의 감도와 주파수 응답특성은 기기의 진단기술에도 큰 영향을 미치기 때문에 연구소나 학계뿐만 아니라 가스절연기기의 제조업체에서 활발한 연구 활동을 진행해 왔다.

당사에서는 내장형 센서의 경우, 영국 DMS사와의 기술제휴에 의해 개발하여 97년도말부터 말레이시아 TNB 변전소를 시작으로 국내 각종 사이트에 부분적으로 적용하여 왔으며, 최근에는 신대백 800kV s/s의 GIS에도 설치, 납품한 바가 있다. 그러나, 설치된 기기에 적용이 가능한 외장형 센서는 개발 또는 적용된 바가 없었다. 부분방전의 측정은 어느 업체라도 가능하나, 발생원인의 규명과 대처는 메이커가 담당할 수 없는 점을 고려하면 제작사가 진단시스템의 설치와 운용을 담당하는 것이 가장 합리적이며, 세계적인 추세라고 할 수 있다. 따라서 기설 GIS의 진단을 위해 적용이 가능한 센서를 필요로 하며, 제품의 신뢰성 향상과 센서에 대한 한전의 센서감도 강화 분위기에 대응하기 위해 2003년부터 개발을 진행하여 각 전압등급별 센서를 개발 완료하였다. 본 논문에서는 외장형 센서 개발을 위해 수행된 결과중 362kV

및 170kV GIS용 센서를 중심으로 보고하고자 한다.

2. 실험 결과 및 고찰

2.1 외장형 UHF PD 센서

부분방전을 검출하기 위한 안테나의 형상으로는 원판 안테나, dipole 안테나, 반원판 dipole 안테나, 대수주기 안테나, spiral 안테나 등이 적용되고 있는 것으로 알려져 있다. 본 연구에서는 여러 모의시험을 통해 가장 적합한 monopole 안테나 형상을 설계하였다.

외장형 안테나는 외부 스페이서의 주형구에 설치되기 때문에 주형구의 크기에 의해 사이즈가 제한되며, 주변의 기계적, 환경적 영향을 제거하기 위해 금속 케이스에 삽입되어야 한다. 본 연구에서는 직사각형의 도파관을 가정하여 입구가 axb (a>b)의 면적을 가지는 길이 d의 도파관을 가정하면, cavity의 차단파장은

$$\lambda_c = 2a$$

로, 이보다 큰 파장은 반아들일 수가 없다. 따라서 a의 최소 크기는 다음과 같아야 한다.

$$a \geq \frac{\lambda_0}{2\sqrt{\epsilon_r}}$$

안테나의 특성은 케이스 내의 cavity의 사이즈에 따라서 변화하며, 이득은

$$G = 4\pi \frac{A_p}{\lambda^2} e(1 - |\Gamma|^2)$$

으로, 제한된 cavity의 크기로 인해 이득이 크게 감소하는 결과를 얻었다.

당사에서 제작한 362kV 단상 및 3상 일괄형 GIS용 UHF대역 PD 센서의 외관을 그림 3에, 간단한 사양을 표 1에 나타내었다. 그림에 나타난 센서는 당사 GIS 모델 주형구의 크기에 최적화된 감도를 나타내도록 설계되었으며 볼트로 외함에 고정되도록 하였고, 신호의 인출은 N-type 커넥터로 연결되도록 되어 있다.

표 1. 외장형 UHF PD센서 사양

사 항	내 용
Output Power	10pC에서 -25dBm이상
Bandwidth	1 GHz이상 (500-1500MHz)
안테나	Patch-type monopole
Connector	N-type

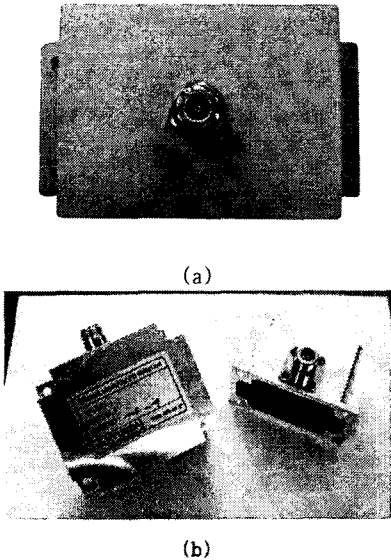


그림 1. 외장형 센서의 외관: (a) 170kV GIS용 센서, (b) 362kV GIS 3상일괄형 및 단상용 센서.

2.2 외장형 UHF PD센서의 특성 측정

2.2.1 시험장치

그림 2에 본 연구에서 사용한 전원장치와 테스트 챔버의 개략도를 나타내었다. 전원은 150kV까지 인가가 가능한 PD-free transformer를 사용하였으며, 부분방전 발생시 발생량을 살펴보기 위해 Robinson사의 PD 모니터를 사용하였다. 부분방전의 발생은 그림 3과 같이 지름 1.5mm정도의 금속 구가 들어 있는 장치를 사용하여 한전기준이 되리라고 여겨지는 약 5pC의 방전을 발생시켰다. 부분방전 발생장치 내부의 SF₆ 가스압력은 3 bar로 하였다. 그리고 인가된 전압은 전원장치에 부착된 voltage divider로부터 입력받았다.

2.2.2 방전셀에 의한 PD 신호 검출

그림 4는 그림 3과 같은 장치를 이용하여 20pC정도의 방전을 발생시켰을 때 방전원으로부터 약 7m정도 이격된 스페이서에 설치된 외장형 센서로부터 측정된 PD 신호이다 (표 2참조). 측정현장 및 측정기기의 노이즈 레벨 (BGN 레벨)은 -60dB이하로 측정되었다. 그림에 나타난 바와 같이 동일한 신호에 대해서 기준 센서보다 더 좋은 감도를 얻을 수 있었다. 그러나, 그림 4와 같은 신호에는 측정에 사용되는 주파수 영역이외의 신호도 포함되어 있으므로 주파수 스펙트럼상에 측정된 결과와 비교하여야 한다.

따라서 서로 다른 결합원에 대해서 그림 4와 같은 측정을 실시하고, FFT 분석을 실시하여 각 주파수 영역별로 기준 센서와 차이가 있는지를 분석하고자 하였다. 그림 5에 나타난 바와 같이, 기존에 사용하던 상용 UHF 센서와의 감도를 비교하기 위하여 모의 방전셀을 이용하여 동시에 측정된 PD 신호를 살펴보면, 거의 유사한 특성을 나타내는 결과를 얻었다. 그러므로, 개발 센서는 500-1500MHz영역의 주파수에서 적용이 가능한 것으로 판명되었다. 그림에서 낮은 주파수 영역에서는 다소 감도가 낮거나 동등하며, 0.8GHz이상의 주파

수 대역에서는 감도가 더 우수한 것으로 측정되었다.

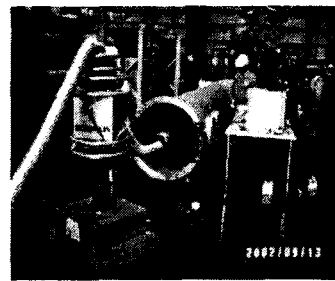
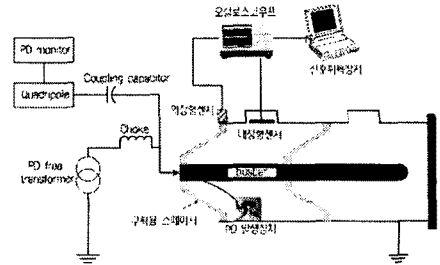


그림 2. 시험장치: (a) Schematic diagram, (b) 시험전경.

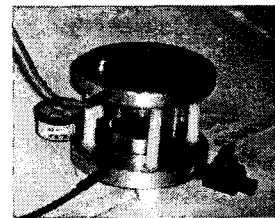


그림 3. 부분방전 발생용 셀

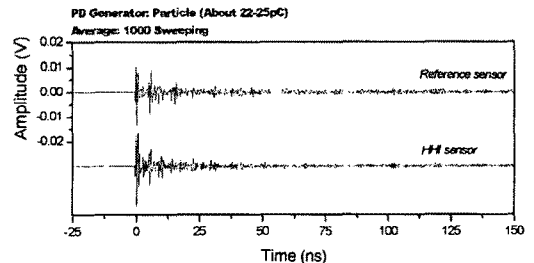


그림 4. 외장형 센서로 측정된 UHF PD 신호.

표 2. 출력비교 (25pC)

	HHI	Reference
출력	15.0 μ W (-18.2dBm)	9.5 μ W (-20.2dBm)

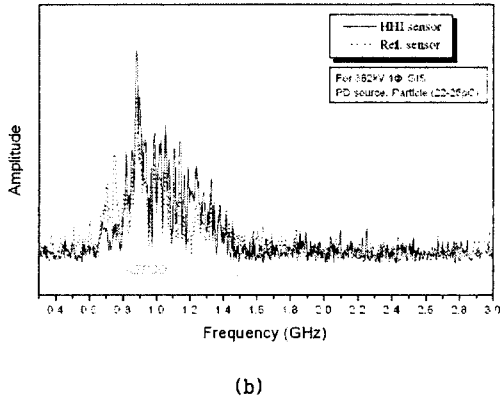
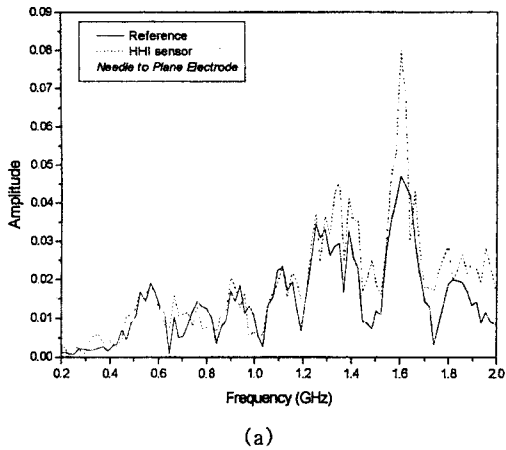


그림 5. 센서감도비교; (a) 침대 평판전극, (b) 자유금속이들.

그리고, 그림 5는 스페이서 내부의 쉴드링을 고의로 플로팅 시킨 후 전압을 인가하여 플로팅 결합에 의한 방전신호를 취득한 예를 나타내고 있다. 그림에서 스페이서 내부의 결합이 있을 시에는 내장형 센서보다 외장형 센서에서 더 큰 신호가 검출되는 것으로 측정되었다.

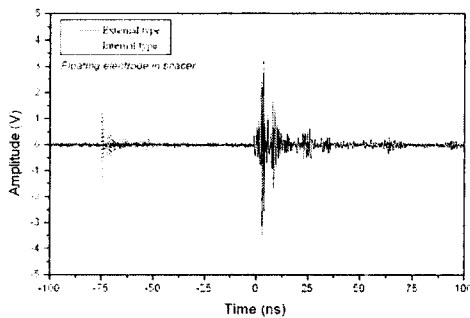


그림 6. 스페이서 내부 플로팅전극 모의결합에 의한 UHF PD 취득신호.

2.3 실 계통에서 PD 측정과 결합검출

앞절에서 언급한 바와 같이 제조사에서는 제작이나 조립 시 결합이 발생하지 않도록 상당한 주의를 기울이고

있으나 절연물의 열화나 검출기술의 한계, 열악한 사용 환경 등에 의해 결합이 발생하기도 한다. 이와 같은 결합을 조기에 검출해 내기 위해 UHF 대역의 PD 측정이 온라인 혹은 온사이트 측정으로 수행되고 있다. 현재의 기술적인 수준으로는 온라인으로 기기를 감시하여 미소한 방전신호를 빠르게 검출하고, 방전신호가 취득되면 온사이트 시험에 의해서 결합의 위치를 표정하는 방법이 주류를 이루고 있다. 하지만 기술 발달의 정도와 제조 메이커의 PD 검출기술 개발 노력에 의해 단시간 내에 PD 발생위치의 온라인 표정기술이 개발되리라 여겨진다.

그림 7은 당사에서 개발한 두 개의 외장형 센서를 인접한 스페이서에 부착하여 방전신호를 취득한 결과를 나타내고 있다. 기존의 연구에 의하면 GIL에서 진행되는 전자기파는 빛과 거의 동등한 속도 (97-100%)로 진행되는 것으로 알려져 있으므로 두 개의 센서에 도착하는 전자파의 경로차를 이용하여 거리를 계산해서, 가스절연기기의 구조와 관련하여 검토하면 결합의 위치를 추정하는 것이 가능하다.

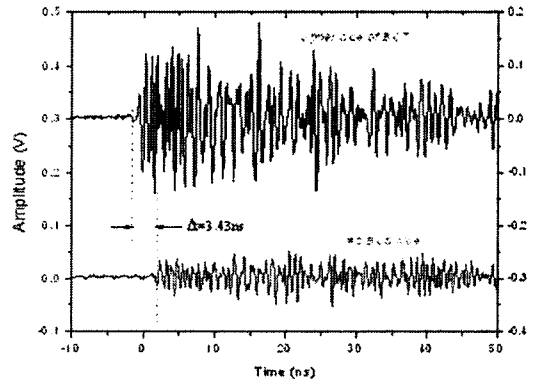


그림 7. UHF PD 신호취득에 의한 결합위치 표정(예).

3. 결 론

본 연구에서는 가스절연기기의 외부에 노출된 절연물에 설치하여 UHF 대역의 부분방전신호를 검출가능한 센서를 개발하여 그 특성을 조사하였다. 센서는 monopole-type의 안테나를 금속 케이스에 내장한 것으로 기존에 사용하던 해외 타사 센서와 동등한 특성을 가지는 것으로 측정되었다. 실험실에서의 모의결합에 의한 PD 시험에서도 내장형 센서와 동등하게 신호를 취득하는 것이 가능하다는 결과를 얻었다. 또한 온사이트 시험을 통하여 결합의 위치 표정에 사용이 가능함을 확인하였다.

[참 고 문 헌]

- [1] M.D. Judd, O. Farish and B.F. Hampton, "The excitation of UHF signals by partial discharges in GIS", IEEE Trans. on DEI, Vol. 3, No. 2, pp. 213-228, 1996.
- [2] H. Imagawa, et al., "Frequency domain discussions on PD signal propagation characteristics in GIS", Trans. IEEJ, Vol. 119 B, p. 1073-1079, 1999.
- [3] T. Kato and F. Endo, Trans. IEEJ, Vol. 119 B, p. 458, 1999.
- [4] K. Masaki, et al., "On site measurement for the development of on-line partial discharge monitoring in GIS", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 19, No.2, 1994.