

가스절연기에서 외장형 PD 센서를 이용한 부분방전 검출

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

Detection of Partial Discharge in SF₆ Gas-insulated Switchgear
 Using External UHF PD sensors

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

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

개발완료하여 362kV 및 170kV GIS용 센서를 중심으로 결과를 보고하고자 한다.

1. 서 론

안정된 전력공급을 위해 보급이 확대되고 있는, 우수한 절연성을 가진 가스절연기기의 신뢰성에 대한 요구가 점차 증가하고 있다. 제작사로서는 제작과 조립시 내부이상 없이도 공정상 세심한 주의를 기울이고 있으나, 만일의 상황에 의한 불시의 사고를 미연에 방지하기 위해 진단기술의 개발을 진행하고 있다. 그러나, 그림 1과 같은 부분방전 발생원인이 되는 결합이 존재하는 경우 사고에 다다를 수 있는 것으로 알려져 있다.

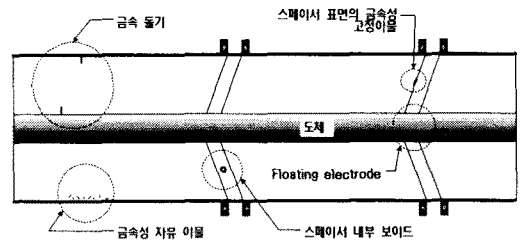


그림 1. GIS에서의 부분방전 발생원

지금까지의 연구에 의하면 현재 사용되고 있는 GCB, GIS, GIL 등의 기기의 절연이상의 전조현상으로 대표적인 것이 부분방전의 발생이기 때문에 GIS의 절연이상 진단에는 부분방전을 검출하는 것이 유효하다고 알려져 왔다. 가스절연기기의 금속 외함의 내부에서 발생한 부분방전은 소리, 빛, 전자파 등으로 전파되기 때문에 이 신호들을 어떻게 유효하게 검출해 낼 수 있는 지가 부분방전 진단의 주요한 요소가 되는 것이다.

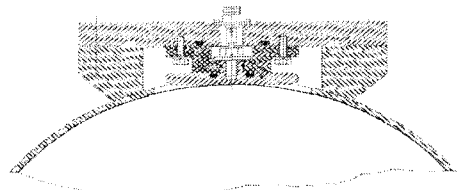


그림 2. 내장형 UHF PD 센서의 단면

가스절연기기의 주 절연물로 이용되는 고압의 육불화황 (SF₆) 가스하에서 발생한 부분방전신호는 넓은 주파수 대역에 걸쳐 발생하는 것으로 알려져 있다. 반면에 현장이나 기기 내부의 노이즈는 상대적으로 낮은 주파수 대역에서 발생하는 것으로 알려져 있어서 300MHz에서 3GHz까지의 UHF 대역에서 1GHz이상의 bandwidth로 부분방전을 측정한다면 변전소와 같이 노이즈가 많은 장소에서도 미소한 방전신호를 좋은 신호대 잡음비로 검출해 낼 수 있는 것으로 알려져 있다.

2. 실험 결과 및 고찰

2.1 외장형 UHF PD 센서

기기의 부분방전을 검출해 내는 UHF 센서로는 외함의 플런지에 설치되어 내부 전계 및 내부 SF₆ 가스와 접촉되는 내장형과, 기 설치되어 있는 기기에 적용할 수 있도록 외부에 노출되어 있는 절연물에 탈부착이 가능한 외장형으로 크게 분류된다. 센서의 감도와 주파수 응답 특성은 기기의 진단기술에도 큰 영향을 미치기 때문에 가스절연기기의 제조업체에서 활발한 연구 활동을 진행해 왔다. 현대중공업에서는 내장형 센서는 영국 DMS사와의 기술제휴에 의해 개발하여 97년도부터 말레이시아 TNB 변전소를 시작으로 현장에 적용하여 왔으며, 최근에는 신태백 800kV s/s의 GIS에도 설치, 남품한 바가 있다 (그림 2 참조). 그러나 최근까지 외장형 센서는 개발 또는 적용한 바가 없었으나, 당사 제품의 신뢰성 향상과 센서에 대한 한전의 감도 강화호를에 대응하기 위해 2003년말부터 개발을 진행하여 각 전압등급별 센서를

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

외장형 안테나는 외부 스페이스의 주형구에 설치되기 때문에 주형구의 크기에 의해 사이즈가 제한되며, 주변의 기계적, 환경적 영향을 제거하기 위해 금속 케이스에 삽입되어야 한다. 안테나의 특성은 케이스 내의 cavity의 사이즈에 따라서 변화하며, 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 나타낸 센서는 당사 GIS 모델 주형구의 크기에 최적화된 감도를 나타내도록 설계되었으며 볼트로 외함에 고정되도록 하였고, 신호의 인출은 N-type 커넥터로 연결되도록 되어 있다.

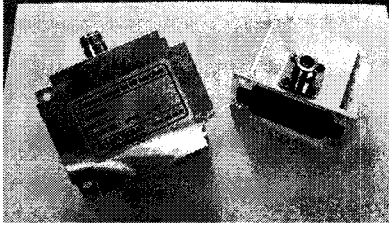


그림 3. 외장형 센서의 외관.

표 1. 외장형 UHF PD센서 사양

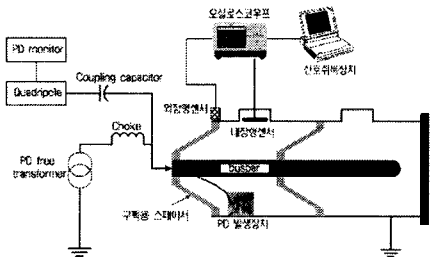
사 항	내 용
Output Power	10pC에서 -25dBm이상
Bandwidth	1 GHz이상 (500-1500MHz)
안테나	Patch-type monopole
Connector	N-type

2.2 외장형 UHF PD센서의 특성 측정

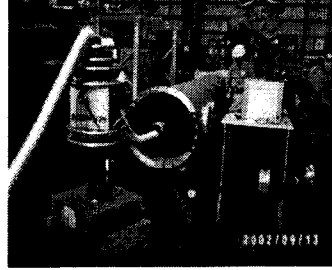
2.2.1 시험장치

그림 4에 본 연구에서 사용한 전원장치와 테스트 챔버의 개략도를 나타내었다. 전원은 150kV까지 인가가 가능한 PD-free transformer를 사용하였으며, 부분방전발생시 발생량을 살펴보기 위해 Robinson사의 PD 모니터를 사용하였다. 부분방전의 발생은 그림 5와 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.

외장형 센서는 스페이서의 주형구 metal block을 제거하고 설치하였으며, 주변에 설치된 감도를 알고 있는 내장형 센서와의 비교시험을 실시하였다. 본 연구에서 사용한 내장형 센서는 500~1500MHz의 주파수 범위에서 영국 NGC 기준에 의한 effective height가 2mm이상이며, 0 to peak로 측정된 감도는 -13dBm (10pC기준)이었다. 인가한 전압은 약 10kV일때 발생하는 방전량이 거의 일정함을 확인하였다.



(a)



(b)

그림 4. 시험장치: (a) Schematic diagram, (b) 시험전경.

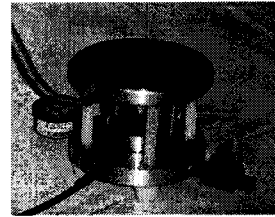


그림 5. 부분방전 발생용 셀

2.2.2 방전셀에 의한 PD 신호 검출

그림 6은 그림 4와 같은 장치를 이용하여 20pC정도의 방전을 발생시켰을 때 방전원으로부터 약 7m정도 이격된 스페이서에 설치된 외장형 센서로부터 측정된 PD 신호이다. 측정현장 및 측정기기의 노이즈 레벨 (BGN 레벨)은 -60dB이하로 측정되었다.

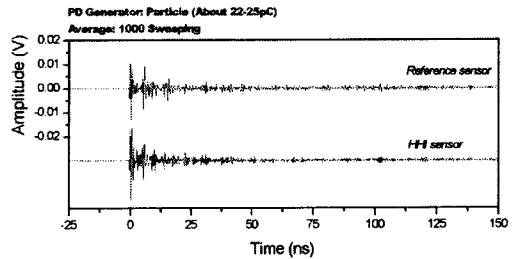


그림 6. 외장형 센서로 측정된 UHF PD 신호.

기준에 사용하던 상용 UHF 센서와의 감도를 비교하기 위하여 모의 방전셀을 이용하여 동시에 측정된 PD 신호를 살펴보면, 개발 센서는 500~1500MHz영역의 주파수에서 적용이 가능한 것으로 판명되었다 (그림 7). 그림에서 낮은 주파수 영역에서는 다소 감도가 낮으나 0.8GHz이상의 주파수 대역에서는 감도가 더 우수한 것으로 측정되었다.

그리고, 그림 8은 스페이서 내부의 설드링을 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.

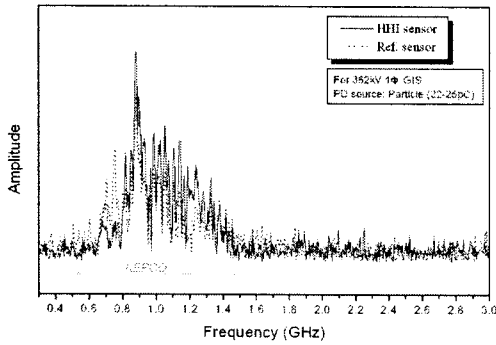


그림 7. 센서감도비교.

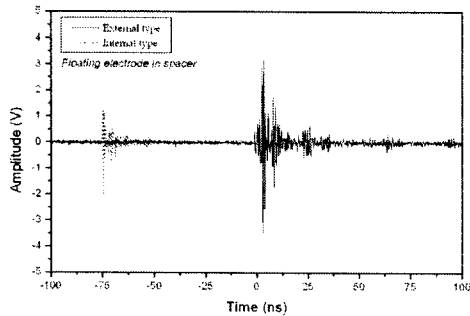


그림 8. 스페이스 내부 플로팅전극 모의결합에 의한 UHF PD 취득신호.

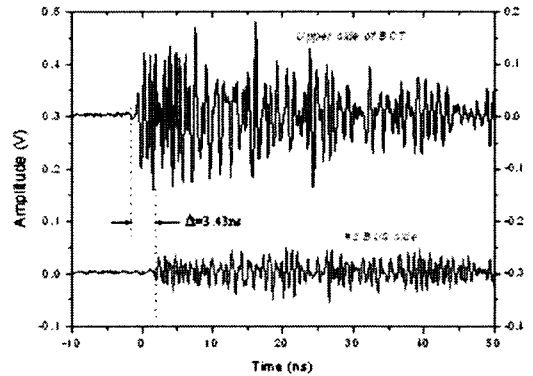
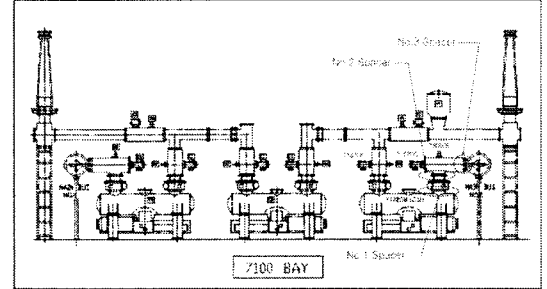


그림 9. UHF PD 신호취득에 의한 결합위치 표정(예).

2.3 실 계통에서 PD 측정과 결합검출

앞절에서 언급한 바와 같이 제조사에서는 제작이나 조립시 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 개발되리라고 여겨진다.

그림 9는 당사에서 개발한 두 개의 외장형 센서를 인접한 스페이스에 부착하여 방전신호를 취득한 결과를 나타내고 있다. 기존의 연구에 의하면 GIL에서 진행되는 전자기파는 빛과 거의 동등한 속도 (97~100%)로 진행하는 것으로 알려져 있으므로 두 개의 센서에 도착하는 전자기파의 경로차를 이용하여 거리를 계산해서, 가스절연기기의 구조와 관련하여 검토하면 결합의 위치를 추정하는 것이 가능하다.

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 것

으로 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] 구선근, 박기준, 윤진열, "GIS 부분방전 검출용 내장형 UHF의 특성조사", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp. 1840-1842, 2000.
- [4] T. Kato and F. Endo, Trans. IEEJ, Vol. 119-B, p. 458, 1999.
- [5] 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.