

3차원 전자기장 모사를 이용한 가스절연개폐장치(GIS) 내장형 극초단파 부분방전 센서의 특성 평가

박기준, 구선근, 윤진열, 이영상*, 최길수*
 전력연구원 전력계통연구실, *(주)PSD Tech 연구소

Analysis of internal-type ultra-high frequency partial discharge sensor for gas-insulated switch gear (GIS) using 3-D electromagnetic simulator

Kijun Park, Sun-geun Goo, Jin-yul Yoon, Young-sang Lee*, Gil-soo Choi*
 Power System Laboratory, Korea Electric Power Research Institute and *PSD Tech.

Abstract - 154 kV급 가스절연개폐장치(GIS)용 dp 장착할 수 있는 내장형 극초단파 (UHF) 부분방전 (PD) 센서의 고주파 특성을 전산모사 하였다. UHF PD 센서는 일종의 광대역 안테나이므로 3차원 전자기장 해석도구를 활용하여 주파수 또는 시간 영역에서 고주파특성을 해석하였다. 센서의 구조를 결정하는 센서장착용 구멍과 센서의 크기를 변수로 조절하면서 내장형 UHF PD 센서의 특성을 해석 하였다. 센서가 장착되는 구멍의 크기와 센서의 구조변화에 따라 반사손실이 변화하였으며 GIS의 전파 mode의 영향을 받는다.

센서를 전산모사 하였다. 국내변전소에서 많이 사용되는 170 kV GIS의 중심도체 지름은 약 100 mm 이고 외함의 안쪽 지름은 300 mm 이다. 따라서 센서가 장착될 구멍의 직경은 외함의 크기인 300 mm 보다 적게 설계 하여야 한다. 이와 같은 규격을 갖는 동축전송선의 첫번째와 두번째 mode의 차단주파수는 각각 478 MHz 와 906 MHz 이다.

내장형 UHF PD 센서의 고주파 특성을 조사하기 위하여 0 - 3 GHz 대역에서 반사손실 (Return loss, RL)을 계산 하였다. 해석에는 3차원 FDTD 또는 MOM 방법이 적용된 상용 전산모사 도구를 이용하였으며 계산하는 최고 주파수에서의 단위 파장당 mesh 갯수가 30개 이상이 되도록 하였다. 전산모사를 위한 3차원 모델의 단면은 그림 1 과 같으며, 모델의 전체 부피는 약 1000 x 350 x 450 mm³ 이고 이때의 전체 mesh 숫자는 약 3백만개 정도이다. 수백만개 정도의 mesh cell 개수는 최근 발전된 컴퓨터 환경에서 충분히 계산될 수 있는 크기이며, 이의 계산에는 수시간 정도의 시간이 소요된다.

1. 서 론

가스절연개폐장치(Gas-insulated switchgear, GIS)의 이상진단 도구로서 최근 극초단파 (Ultra-high frequench, UHF) 부분방전(Partial discharge, PD) 센서가 다양한 GIS 에 적용되고 있다 [1]. UHF PD 센서는 일종의 광대역 안테나이므로 GIS에 장착된 센서의 고주파 특성은 발전된 3차원 전자기장 해석도구를 활용하여 주파수 또는 시간 영역에서 해석이 가능하다. 그러나 PD 센서는 GIS에 고정되어 사용되므로 보통 안테나를 해석 할 때와 같이 자유공간에서 해석한 센서로서의 특성을 알기 어렵다. 본 논문에서는 finite difference time domain (FDTD) 또는 methode of moment (MOM)방법을 이용한 3차원 고주파 전자기장 해석 도구를 이용하여 UHF PD 센서의 고주파 특성을 해석 하였다 [2-4]. 고주파 전자기장 해석 도구를 활용하므로 센서 설계에 드는 시간과 비용을 크게 줄일 수 있을 것으로 기대된다. 국내에서 가장 많이 사용되는 154 kV 급 GIS의 구조를 바탕으로 하여 내장형 PD 센서의 특성을 계산 하였다. 특히 센서가 장착되는 구멍의 지름과 높이에 의한 효과를 먼저 해석하여 적당한 크기의 센서 장착용 구멍을 결정하였으며 이어 센서의 주요 모양을 변화하며 반사손실을 계산 하였다.

2.2 센서장착용 구멍 크기에 대한 특성

154 kV 급 GIS의 외함에 센서를 장착 할 수 있도록 센서 장착용 구멍을 뚫어서 이 구멍에 맞도록 그림 1과 같이 센서를 장착하였다. 구멍의 지름(D)과 높이(H)를 변수로 하여 센서의 반사손실을 계산하였다. H 와 D 의 의존성만을 구하기 위하여 센서로서 간단한 monopole 안테나를 장착하고 H 또는 D의 크기를 변화하며 RL을 계산하였다.

그림 2는 센서 장착용 구멍의 지름을, D = 100, 140, 180, 220, 260 mm 로 변화하며 계산한 monopole의 500 - 2000 MHz 의 RL 특성이다. 직경이 약 220 mm 일때 1.1 GHz 부근에서 RL 특성이 좋음을 알 수 있다.

2. 본 론

2.1 154 kV GIS 용 내장형 UHF PD 센서

내장형 UHF PD 센서는 신호를 감지하는 센서판과 센서판의 효율을 높이기 위한 접지판, 그리고 센서판을 접지판에 고정시키기 위한 절연체로 구성되어 있다. 이들 구성요소들의 크기, 위치 및 재질에 따라 센서의 특성이 변화한다. 따라서 센서를 설계할 때는 대상 주파수 대역을 미리 선정하고 이 대역에서 최대의 성능을 가질 수 있도록 각 구성요소들의 최적화가 필요하다. 아울러 센서가 장착되는 구멍에 대한 고려도 필요하다. 특히 내장형 센서는 GIS의 고장 요소로 작용하여서는 않되며, 수명도 GIS의 수명보다 길어야 하므로 사용되는 재료와 제작방법에 대한 충분한 검토가 이루어져야 한다. 내장형 UHF PD 센서의 특성을 해석하기 위하여 국내 GIS 변전소에서 많이 볼 수 있는 170 kV 단상 GIS를 모델로 하여 여기에 장착될 수 있는 내장형 PD

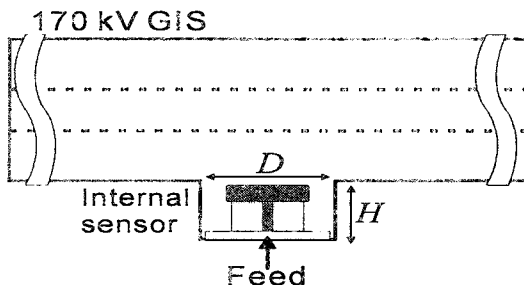


그림 1. Cross sectional view of the model used on 3D calculation. An internal type UHF PD sensor was attached on sensor port of the 170 kV GIS. Volume of the model was about 1000 x 350 x 450 mm³.

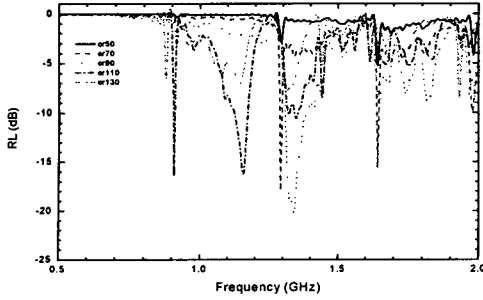


그림 2. Return loss spectrum of monopole at the sensor port for different port diameters, $D = 100, 140, 180, 220, 260$ mm.

그림 3 은 센서 장착용 구멍의 높이를 $H = 20, 40, 60, 80, 100$ mm로 변화하여 계산한 monopole의 RL 특성이다. 500 MHz 와 900 MHz 근처에서 RL 이 급격히 증가하는데 이것은 154 kV GIS 첫 번째와 두 번째 mode의 차단 주파수인 496 과 906 MHz 와 일치 한다. GIS에서 전파하는 mode의 숫자가 증가 하면서, 즉 주파수가 높아지면서, 센서와 동축선로인 GIS의 결합이 좋아지므로 RL 이 커짐을 알 수 있다.

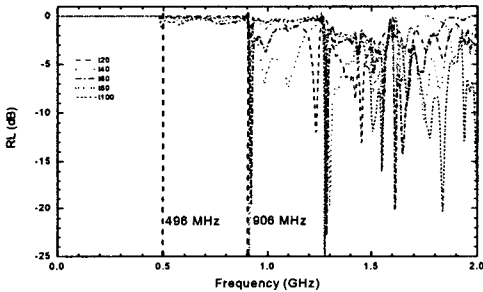


그림 3. Return loss spectrum of monopole at the sensor port for different port height, $H = 20, 40, 60, 80, 100$ mm.

2.3 센서의 크기 변화에 대한 RL 특성

센서의 크기 변화에 대한 특성을 해석하기 위하여 앞서 계산한 센서 장착용 구멍의 크기 변화에 대한 특성을 고려하여 센서 장착용 구멍의 지름은 200 mm 이고 높이는 60 mm 로 고정 하였다. 센서의 feeder 로서 N-type 코넥터 형태를 선택하였으며 특성 impedance 는 50-ohm 으로 하여 센서판과 절연체의 크기를 변화 하여 RL을 계산 하였다. 원판의 지름을 10, 50, 90, 130 mm로 변화 하며 0 - 3 GHz 의 RL을 계산하였다. 그림 4는 센서에 사용된 판의 직경 변화에 대한 RL 특성이다. 원판의 직경이 10 또는 50 mm 일 경우 낮은 주파수에서 RL 이 높았다.

그림 5는 센서판의 지름을 70 mm로 고정하고 지지를 위한 절연체의 직경을 10, 30, 50, 70 mm 로 변화하여 얻은 RL 특성이다. 모든 센서의 RL 특성은 주파수가 0 - 1.1 GHz 사이에서 거의 변화 하지 않으며, 1.2 - 2 GHz 사이의 1.25, 1.5, 2 GHz 근처에서 낮은 RL 값을 보였다. 특히 절연체의 직경이 클수록 RL 피크가 낮은 주파수 쪽으로 이동함을 알 수 있다.

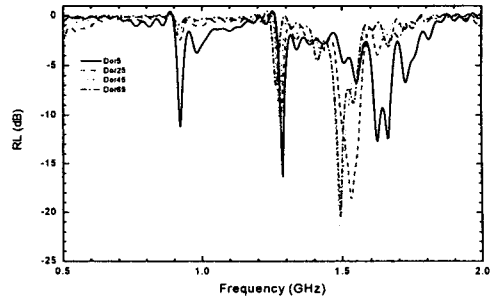


그림 4. Return loss spectrum of the internal sensor for different disk diameters, $d_1 = 10, 50, 90, 130$ mm.

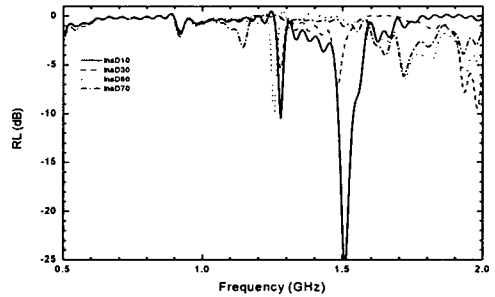


그림 5. Return loss spectrum of the internal sensor for different diameters of the insulator, $d_2 = 10, 30, 50, 70$ mm.

3. 결 론

154 kV 급 GIS에 장착할 수 있는 내장형 UHF PD 센서의 안테나로서의 특성을 3차원 전자기장 해석도구를 이용하여 계산 하였다. 본 논문에서는 자유공간이 아닌 실제 GIS와 여기에 장착된 센서와 유사한 Model을 기반으로 전체 system을 3차원으로 해석을 하였다. 먼저 센서를 장착하기 위한 구멍의 직경과 높이에 의한 효과를 분석하였으며 여기서 선택된 구멍에 센서를 장착하여 센서의 구조를 결정하는 중요한 변수인 판의 직경과 절연체의 크기를 변화하며 반사손실 특성을 계산하였다. 발전된 3차원 전자기장 해석도구를 이용하여, GIS 내장형 UHF PD 센서의 RL 특성을 계산 할 수 있었다. 본 논문에서 제시한 방법을 응용하여 내장형 UHF PD 센서의 설계를 하면, GIS와 다양한 실물 센서 제작에 소요되는 막대한 시간과 경비를 절약 할 수 있다.

[참고 문헌]

- [1] 윤진열, 박기준, 구선근, "GIS 부분발전 검출기술연구 최종 보고서," TR98PJ04.J2002.407, 한국전력연구원, 2002.
- [2] H. F. Lee and W. Chen, *Advances in Microstrip and Printed Antennas*, New York: John Wiley & sons, 1997.
- [3] E. H. Newman and P. Tulyathan, "Analysis of Microstrip Antennas Using Method of Moments," *IEEE Trans. antennas Propagation*, Vol. AP-29, Jan 1981, pp. 47-53.
- [4] IE3D 8.0, Zeland Software Inc., Fremont, CA. USA.