

UHF 부분방전 신호를 이용한 전력용 변압기 내부의 부분방전 위치 추정

주형준, 구선근, 한기선, 박기준, 윤진열
한국전력공사 전력연구원

Localization of partial discharge in power transformer by detecting UHF PD signal

Hyung-Jun Ju, Seun-Gun Goo, Ki-Sun Han, Kijun Park, Jin Yul Yoon
Korea Electric Power Research Institute, Korea Electric Power Corporation, Daejeon, 304-380

Abstract - In this paper two kinds of techniques were compared for localization of PD(partial discharge) in power transformer and more useful method was suggested. Both of them, the time of arrival and the energy content method, were tested in 154kV single phase experimental transformer using UHF signal measurement. The former was using the difference of arrival time of recorded signals from four UHF sensors, the latter was based on the energy content in frequency spectra of signals detected at all sensors.

1. 서론

GIS(Gas Insulated Switchgear, 가스절연개폐장치)의 예방진단 기법으로 오랫동안 연구되어왔던 극초단파(Ultra High Frequency, UHF) 대역의 전자기파를 이용한 부분방전 측정기술을 전력용 변압기 분야에 적용코자하는 시도들이 세계적으로 몇몇 그룹에서 진행되고 있다[1-3]. 그러나 변압기에서는 방전위치를 추정하는 기술이 GIS에 비해 미흡한 실정이다[4-6]. 따라서 본 논문에서는 154kV 단상변압기에 UHF 센서를 설치하여 방전시 발생하는 전자기파 부분방전신호를 측정하여 각 센서별 도착 시간 차이를 측정하고, 센서별 주파수 분포를 분석하여 방전원의 위치를 추정함으로써 전력용 변압기에서도 UHF 대역에서 전자기파 부분방전 신호를 이용하여 방전위치를 추정할 수 있음을 보이고자 하였다.

2. 본론

UHF 부분방전 신호를 측정하여 위치를 추정하는 기법으로 몇 가지 방법이 연구되고 있는데, 본 논문에서는 실험을 통해 변압기에 설치된 UHF PD 센서에서 측정된 데이터로 결함위치를 찾아내는 두 방법을 비교하였다. 첫 번째 방법은 동시에 측정된 3개 이상의 센서에서 측정된 신호의 도착시간으로부터 방전원의 위치를 계산하는 방식이고, 두 번째는 각 센서에서 측정된 부분방전 신호의 주파수별 에너지 감쇠로부터 방전원의 위치를 산정하는 방법이다.

2.1 시간영역에서 신호의 도착시간차를 이용한 위치추정

부분방전원의 위치(x, y, z)를 계산하기 위해 다음의 데이터로부터 부분방전의 위치를 추정한다.

- I) 각 센서의 위치의 좌표(x_i, y_i, z_i)
- II) 전파 속도 (propagation velocity: V_a = 3x10⁸ m/s)
- III) 각 센서에서 감지된 신호의 도착시간차 (Δt_i)

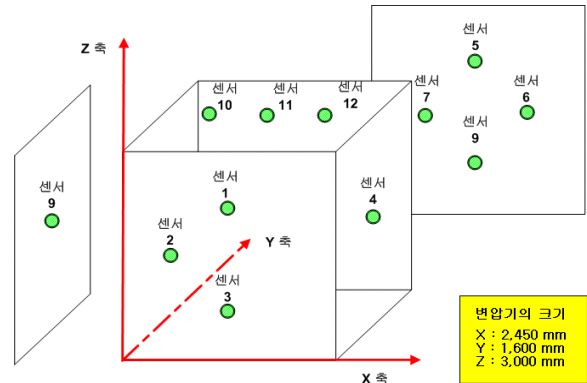
공기로 채워진 변압기내부의 부분방전원에서 발생한 전자파 신호는 빛의 속도(V_a)로 방전원에서 제일 가까운 첫 번째 센서에 T라는 시간에도달한다. 이때 모든 센서의 신호가 동시에 측정되어 저장되며, 각 센서에서 측정된 신호의 도착시간을 t1, t2, t3, t4라 하면 도착시간의 차는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \Delta t_{11} &= t1 - T = T - T = 0 \\ \Delta t_{12} &= t2 - T \\ \Delta t_{13} &= t3 - T \\ \Delta t_{14} &= t4 - T \end{aligned} \tag{1}$$

이고, 일반적으로 Δt_i = t_i - T 이다. (i=1,2,3,4) (2)

트리거된 시간 T, 센서간 도착시간차이 Δt_i, 공기 중에서 전파 속도 V_a, 각 센서의 좌표를 이용하여 다음의 방정식으로부터 부분방전원의 위치(x, y, z)를 계산한다.

$$\begin{aligned} (x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 + (z - z_1)^2 &= (V_a \cdot T)^2 \\ (x - x_2)^2 + (y - y_2)^2 + (z - z_2)^2 &= (V_a \cdot (T + \Delta t_{12}))^2 \\ (x - x_3)^2 + (y - y_3)^2 + (z - z_3)^2 &= (V_a \cdot (T + \Delta t_{13}))^2 \\ (x - x_4)^2 + (y - y_4)^2 + (z - z_4)^2 &= (V_a \cdot (T + \Delta t_{14}))^2 \end{aligned} \tag{3}$$



〈그림 1〉 변압기 외벽의 UHF 부분방전 센서의 위치.

2.2 주파수영역에서 신호의 감쇠율을 이용한 위치추정

에너지 감쇠율로 방전위치를 추정하기 위해 주파수분석기(Spectrum Analyze)를 사용하였다. 측정된 주파수 분포 데이터를 이용하여 측정된 펄스의 에너지를 계산함으로써 방전원로부터 센서 사이의 거리를 계산한다. 작은 크기의 방전원에서 방사된 전자기파의 전력의 크기는 점광원에서 방사된 형태이므로 거리의 제곱에 반비례하여 감쇠한다. 변압기 내의 다른 구조물에 의한 추가적인 감쇠가 없다고 가정하면 방전원에서 센서사이의 거리는 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$R = \sqrt{\frac{P_{radiated}}{P_{received}}} \times \frac{1}{2\sqrt{\pi}} \tag{4}$$

3. 실험방법

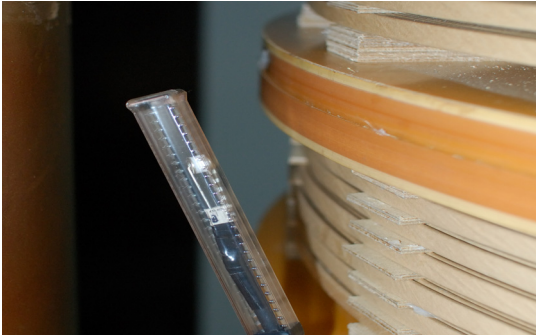
부분방전원의 위치를 추정하기 위하여 변압기 철심은 모형으로, 권선은 실제권선과 모형권선을 함께 설치하여 표준 154 kV 15/20MVA 변압기를 그림 2와같이 제작하였다. 제작된 변압기의 외벽에는 UHF 센서 12개를 장착하여 실험하였다. 변압기내 부분방전에 의해 발생하는 전자파 신호의 파형을 측정하기 위해 변압기 내부에 방전검 (BBS 75, citel 75V)을 그림 3과 같이 설치하고 임펄스 발생기(Impulse noise generator, INS-410)의 전압을 인가하여 방전을 발생시켰다.

3.1 시간영역에서의 위치추정 실험방법

방전에 의한 전자기파는 변압기 외벽에 설치된 12개의 센서에서 검출되어 고속 오실로스코프(50GS/s, 12.5 GHz, DPO71254, Tektronix)를 이용하여 각 센서의 전자파 방전신호의 파형을 측정하고 저장하였다. 측정된 방전신호의 파형으로부터 각 센서에 도착시간을 산출하였다.



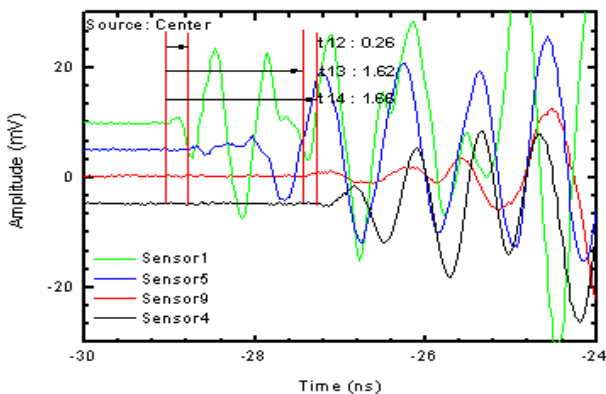
〈그림 2〉 제작된 실험용 변압기와 측정 장치.



〈그림 3〉 한쪽 권선에 설치된 방전검.

3.2 시간영역에서의 위치추정 결과

12개의 센서 중 1, 4, 5, 9번 센서의 측정 신호로 위치를 추정하였다. 그림 4에서 가장 먼저 도착된 1번 센서를 기준으로 각 센서의 시간차는 각각 0.26, 1.62, 1.66 ns 이다. 측정에 사용된 각 센서는 (1225, 0, 2250), (1225, 1600, 2250), (0, 800, 1500), (2450, 800, 1500) 위치에 설치되어 있었다. 그러므로 공기 중 전파속도 $V_a = 3 \times 10^8 m/s$ 일 때 방전원의 위치를 계산하면 (1225, 797.6, 998.3) 이었다. 실제 방전원의 위치 (1250, 800, 1500)와의 오차는 x, y, z 방향으로 각각 25 mm, 0.4 mm, 501.7 mm 이고 거리로 환산하면 50.2cm 이다. 이 오차는 변압기 내부에 권선과 철심 등의 구조물에 의한 반사와 회절 등에 의한 효과를 고려하지 않고 최단 거리일 경우로 한정하여 위치를 계산하였기 때문이라 생각 된다. 따라서 정확한 위치 추정을 위해서는 내부 구조물에 의한 효과를 고려할 필요가 있다.

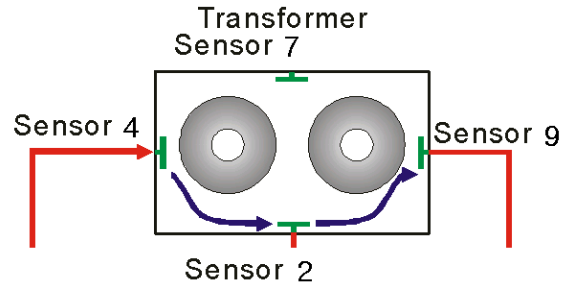


〈그림 4〉 측정된 센서별 도달시간차

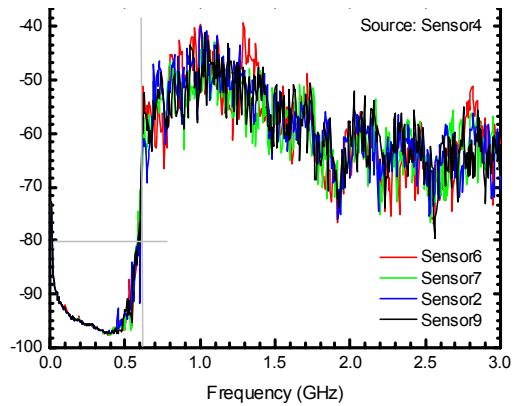
3.3 에너지 감쇠를 이용한 위치추정

전파하는 부분방전 신호의 에너지감쇠를 이용한 위치추정을 하기 위해 그림5와 같이 망분석기(FSP7, Rohde&Schwarz)를 이용하여 변압기 외벽의 센서4에 신호를 주입하고 가까운 거리의 센서6과 먼 거리의 7, 2, 9번 센서에서 주파수별 에너지 감쇠를 측정하였다. 거리가 다른 각 센서에서 측정된 신호의 크기는 큰차이를 보이지 않아서 감쇠효과를 쉽게 구분하기 어렵다(그림 6). 이는 변압기 내부가 급속도로 밀폐되어 신호가 감쇠되지 않는 공진기로 동작하기 때문으로 추정된다. 따라서 154 kV 단상

변압기와 같이 비교적 작은 형태의 구조에서는 전자기파의 에너지 감쇠로부터 방전위치를 추정하는 것은 곤란함을 알 수 있었다.



〈그림 5〉에너지감쇠를 이용한 위치추정 실험방법.



〈그림 6〉 각 센서에서 측정된 주파수분포.

4. 결 론

UHF신호를 이용하여 변압기내 방전원의 위치추정을 위하여 신호 도달 시간차를 이용한 방법과 전파거리에 따른 에너지의 감쇠를 이용한 방법으로 실험하였다. 시간차를 이용한 결과 실제의 방전위치와 50cm 오차를 나타내었다. 이 차이는 변압기 내부의 권선과 철심 등의 구조를 고려하지 않고 신호가 직선으로 전파된다는 가정에 기인한 것이다. 거리에 따른 에너지 감쇠를 이용한 결과 변압기가 공진기로 동작하여 에너지 감쇠가 일어나지 않아 위치추정이 불가능 하였다. 그러므로 전자기파 신호의 도달 시간차를 이용한 부분방전 위치 검출이 전력용 변압기 내부의 결합 위치추정에 적합한 것으로 판단된다.

차후 변압기내 부분방전 위치 검출기술을 적용하기 위해서는 다양한 위치의 방전과 내부 구조물을 고려한 실험이 요구되며 오차를 저감할 수 있는 다양한 계산 방법의 연구가 필요하다.

[참고 문헌]

- [1] S. Meijer, E. Gulski, J. J. Smith, & H. F. Reijnders, "Sensitivity Check for UHF PD Detection on Power Transformer", 2004 IEEE International Symposium on Electrical Insulation, Indianapolis, 19-22 Sep., 2004
- [2] C. R. Li, W. Wang, Z. G. Tang & Y. S. Din, "PD Pattern Recognition in Transformer by Using UHF Technology", 2004 IEEE International Symposium on Electrical Insulation, Indianapolis, 19-22 Sep., 2004
- [3] R. A. Jongen, P. Morshuis, S. Meijer & J. Smit, "Identification of partial discharge defects in transformer oil," in Proc. Of 2005 annual reportconference on electrical insulation and dielectric phenomena, pp. 565.
- [4] M. Wang, A. J. Vandermaar, and K. D. Srivastava, "Review of condition assessment of power transformers in service," IEEE Elect. Insul. Mag., vol. 18, no. 6, pp. 12-25, Nov./Dec. 2002
- [5] M. D. Judd, J. S. Pearson, O. Farish, T. Breckenridge, and B. M. Pryor, "Power transformer monitoring using UHF sensors: Installation and testing," in Conf. Record of the 2000 IEEE Int. Symp. on Elect. Insul. Anaheim, pp. 373-376. 2000