

## 전자기파 부분방전 신호의 권선 투과 특성

주형준<sup>1,a</sup>, 한기선<sup>1</sup>, 윤진열<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 한국전력공사 전력연구원 송배전연구소

### Partial Discharge Electromagnetic Wave Penetration Characteristics Throughout Transformer Winding

Hyung-Jun Ju<sup>1,a</sup>, Ki-Son Han<sup>1</sup>, and Jin-Yul Yoon<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Transmission and Distribution Laboratory, Korea Electric Power Research Institute, Daejeon 305-380, Korea

(Received August 16, 2010; Revised September 14, 2010; Accepted September 20, 2010)

**Abstract:** Frequency domain measurement of propagation loss for ultra high frequency (UHF) partial discharge in the winding of power transformer using a spectrum analyzer and pulse generator is presented. We compared the performance of the method using a network analyzer with and without a winding. Using a network analyzer simplifies the measurement and offers better dynamic range and frequency range. It also provides precise propagation loss within the winding in frequency domain at UHF range. We applied this method to measure UHF propagation loss of transformer mock-up, modeled 154 kV 20 MVA power in KEPCO substation.

**Keywords:** Electromagnetic wave, Propagation characteristics, Transformer winding

#### 1. 서 론

전력수요가 폭발적으로 증가하던 1980~1990년대에 건설된 변전소내의 전력용 변압기가 점차 노후화되어 가고 있으며, 특히 30년 이상 장기 운전 중인 변압기사 증가하고 있어 향후 변압기 고장이 늘어날 것으로 예상된다. 이에 따라 사전에 고장을 감지할 수 있는 기술을 개발하여 고장예방 기술의 획기적인 진전이 필요한 시점이다. 전력용 변압기는 변전소에서 가장 중요한 전력기기로서 변압기 폭발 또는 화재와 같은 중대 고장 발생이 사회적 파급효과가 큰 기기로서 고장예방기술의 획기적인 진전이 필요하다. 전 세계적으로 예방진단기술을 전력용 변압기에 적용하기위하여 연구가 활발히 진행되고 있으며 [1-5], 최근에는 극초단파신호 (ultra high frequency, UHF)를 이용한 부분방전 검출기술이 변

압기 고장예방에 적용되고 있다 [6,7]. 변압기내 부분방전을 UHF법으로 측정하는데 있어 가장 중요한 기술은 방전의 위치를 찾는 방전위치 추정기술이다. 일반적으로 방전을 일으키는 결함의 크기가 매우 작아 개방 점검 시 위치를 발견하는 것을 쉽지 않으며 특히 방전원의 위치가 변압기의 권선 내에 존재하는 경우 신호의 감쇠, 회절 등의 요인으로 방전신호를 이용하여 위치를 추정하는 것이 어려운 실정이다 [8]. 따라서 본 논문에서는 한전에서 실제로 사용 중인 전력용 변압기 154 kV/40 MVA의 변압기 권선을 제작하여 권선내부에 결함이 있는 경우 권선을 투과하는 방전신호의 전파특성을 실험을 통하여 측정하였다. 주파수영역의 전파손실을 측정하기 위하여 스펙트럼 애널리저를 통하여 3 GHz까지의 영역을 측정하였고 권선의 유무에 따른 손실을 비교하였다. 또한 펄스 발생기를 사용하여 부분방전신호를 모의하고 그때 권선을 투과하여 전파되는 부분방전신호의 전파특성을 측정하였다 [9]. 또한

a. Corresponding author; juhjun@kepco.co.kr

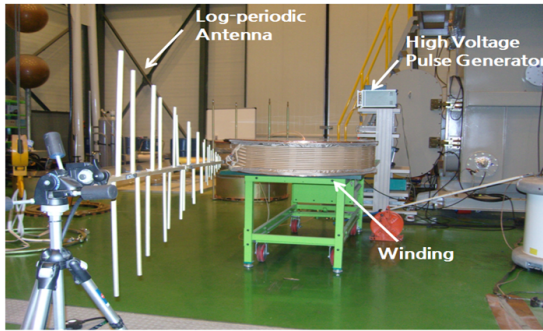


Fig. 1. Measuring propagation characteristic experimental setup.

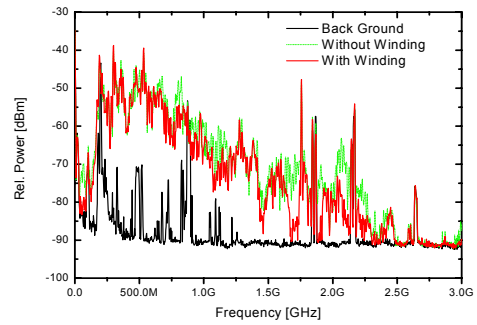


Fig. 3. Vertical polarization properties with mono pole antenna injection.

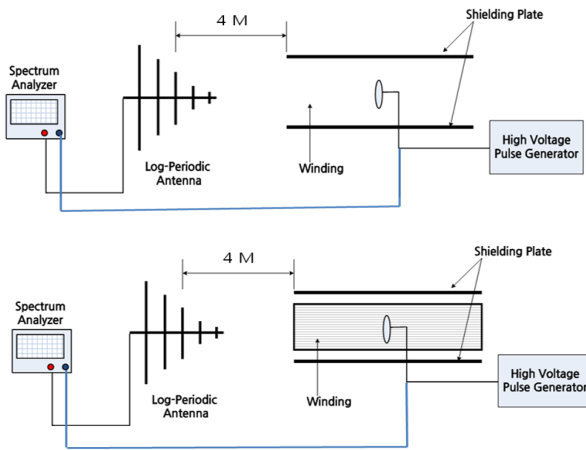


Fig. 2. Experimental setup layout.

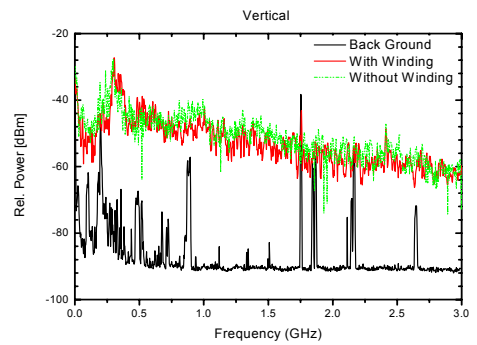


Fig. 4. Vertical polarization properties with spiral antenna injection.

정확한 권선투과 손실을 확인하기 위하여 네크워크 에널라이저를 사용하여 측정하였다.

## 2. 실험 방법

### 2.1 임펄스 발생기를 이용한 실험

UHF 주파수 대역의 변압기 권선을 투과 시 전파 특성을 측정하기 위하여 펄스 발생기와 스펙트럼 에널라이저를 이용하여 실험장치를 구성하였다. 변압기 권선은 실제 한전에서 사용하는 154 kV 20 MVA의 권선을 높이 50 cm로 제작하여 사용하였다. 실험은 변압기 권선 유무에 따라 동일한 방식으로 전파 특성을 측정하였다. 권선 내부에 발생하는 신호는 두 가지 형태 (모노폴, 스파이럴)의 안테나를 이용하여 전파하였고 측정은 대수주기 안테나를 사용하여 4 M의 거리에서 권선을 투과하여 전파된

신호를 측정하였다. 그림 1과 2에 실험장치를 설정을 보여준다. 모노폴형태의 안테나와 스파이럴 안테나를 신호인가에 사용하였고 대수주기안테나를 신호 측정에 사용하였다. 측정된 신호는 스펙트럼 에널라이저 (Rodhe and Schwarz, FSP7/ ZVC, >3 GHz)에 연결하여 분석하였다. 부분방전신호 발생기로는 펄스발생기 (Noiseken. Model INS-410, pw=50 ns, at 400 V)를 사용하여 방전신호를 발생하였으며 측정신호는 스펙트럼 에널라이저와 오실로스코프를 통하여 측정하였다.

권선을 투과하여 전파된 UHF대역의 전파손실을 측정하기위해 대수주기안테나를 4 M를 이격하여 설치하였다. 대수주기안테나는 수평축과 수직축으로 측정하여 편극의 방향에 따른 전파특성을 확인하였다. 펄스발생기는 두 가지 종류의 안테나에 연결하여 권선 내에 설치하였다.

그림 3과 4는 권선유무에 따라 방전신호 안테나가 모노폴과 나선형 안테나인 경우 수직방향으로

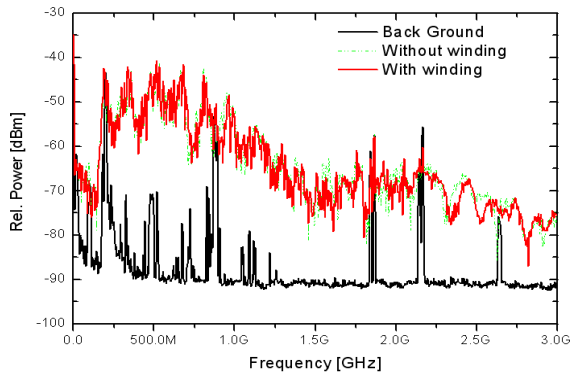


Fig. 5. Horizontal polarization properties with mono pole antenna injection.

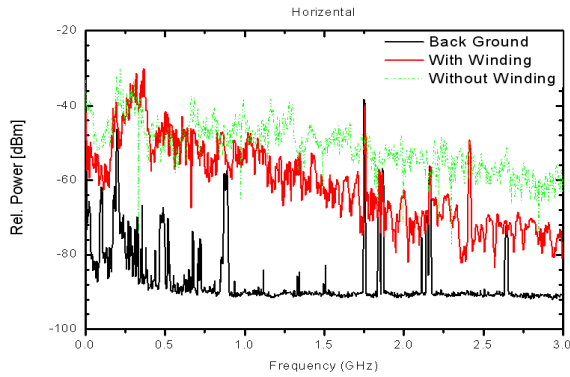


Fig. 6. Horizontal polarization properties with spiral antenna injection.

편파된 방전신호의 주파수 분포를 보여준다. 권선이 존재하는 경우의 전파신호가 권선이 존재하지 않는 경우보다 신호의 강도가 감쇠함을 보여준다. 그림 3의 모노폴안테나를 신호 발생원으로 사용한 경우 1.6 GHz 대역에서 8 dB의 감쇠를 보여주며 2.1 GHz 대역에서 3 dB의 감쇠를 보여준다. 그림 4에서 방전신호 안테나를 스파이럴 안테나를 사용한 경우 1~3 GHz 대역에서 평균 4 dB의 감쇠를 보여준다.

그림 5와 그림 6은 권선유무에 따라 수평방향으로 편파된 방전신호의 주파수 분포를 보여준다. 그림 5의 모노폴안테나를 방전신호원으로 사용한 경우 권선유무에 따라 1~3 GHz 대역에서 평균 4 dB의 감쇠를 보이며 그림 6의 스파이럴 안테나를 방전신호원으로 사용한 경우 1~3 GHz 대역에서 평균 15 dB의 감쇠를 보인다. 수직축으로 편파된 신호가 수직축과 비교하여 더 큰 감쇠를 보인다. 이는 권선의 구조가 수평축으로 적층된 형상을 보임으로

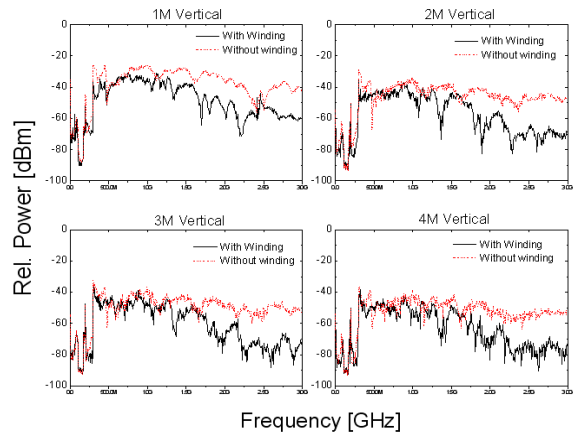


Fig. 7. Vertical polarization properties with spiral antenna injection.

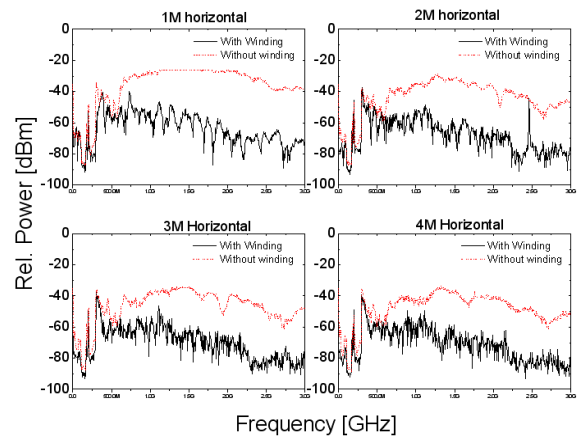


Fig. 8. Horizontal polarization properties with spiral antenna injection.

수직축으로 편파된 신호는 수평축으로 편파된 신호보다 권선의 틈을 통하여 외부로 쉽게 전달됨을 확인할 수 있다.

## 2.2 네트워크 에널라이저를 이용한 실험

권선을 투과하며 감소되는 전파 손실을 주파수대역에서 정확하게 측정하기 위하여 네트워크 에널라이저를 이용하여 전파신호의 손실을 측정하였다. 네트워크 에널라이저의 기기 출력단을 권선내부의 스파이럴 안테나에 연결하고 대수주기 안테나를 통하여 네트워크 에널라이저의 기기 입력으로 연결하였다. 네트워크 에널라이저의 내부 소스는 0 dBm을

사용하였다. 대수주기 안테나는 권선으로부터 이격 거리를 1 M씩 증가시키며 측정하였다. 네트워크 에널라이저의 resolution bandwidth는 10 MHz로 하여 전파손실을 측정하였다. 대수주기안테나를 사용하여 수평편파와 수직편파신호를 UHF 대역에서 측정하였다.

그림 7은 수직으로 편파된 신호를 측정한 결과를 보여준다. 권선으로부터 대수주기안테나의 이격거리가 증가함에 따라 주파수 응답의 크기가 감소한다. 권선을 투과하여 측정된 수직편파 주파수응답은 권선이 없는 경우와 평균 비교하여 1~3 GHz 대역에 10 dB to 20 dB 의 감쇠율을 보인다. 1 GHz 대역에서 10 dB의 감쇠를 보이며 2 GHz 이상의 주파수 대역에서는 더 큰감쇠율을 보인다.

그림 8에서는 수평축으로 편파된 신호의 주파수 응답특성을 보여준다. 권선으로부터 이격거리가 증가함에 따라 감쇠율이 증가한다. 권선을 투과하여 전파된 신호의 주파수응답특성을 권선이 없는 경우와 비교하여 1~3 GHz 대역에서 15~30 dB의 감쇠 특성을 보인다. 수직으로 편파된 신호가 수평으로 편파된 신호와 비교하여 권선을 투과하여 외부로 잘 전달된다. 즉 수직으로 편파된 신호를 권선외부에서 측정하기 쉬우나 수평으로 편파된 신호는 권선외부에서 측정하기 어렵다. 발생한 UHF 대역 신호의 편파 특성은 부분방전 발생시의 방전 전류의 방향에 따라 결정되어진다. 권선내부에서 일어나는 대부분의 방전은 권선대 권선간의 방전임으로 이때 발생하는 신호는 수직으로 편파된 신호임으로 권선외부에서 UHF 신호를 이용하여 내부의 부분방전신호를 측정하는 것이 가능하다. 따라서 권선 내부의 부분방전 신호는 UHF 검출기술을 이용하여 쉽게 측정할 수 있다.

### 3. 결과 및 고찰

임펄스 발생기로 모의된 부분방전 전자기파 신호를 권선내 설치된 모노폴 안테나로 전파한 경우 권선의 유무에 따라 1~3 GHz 대역에서 수직편파 신호는 평균 8 dB 감쇠하고 수평편파신호는 평균 4 dB 감쇠한다. 나선형 안테나로 전자기파 신호를 전파하는 경우 권선의 유무에 따라 1~3 GHz 대역에서 수직편파 신호는 평균 3 dB 감쇠하고 수평편파 신호는 평균 15 dB 감쇠한다.

수평축으로 편파된 신호가 수직축과 비교하여 더 큰 감쇠되는 것은 권선의 구조가 수평축으로 적층된 형상임으로 수직축 편파 신호가 수평축 편파 신호보다 권선의 틈을 통하여 외부로 쉽게 전달됨을 확인할 수 있다.

네트워크 에널라이저를 이용하여 권선 유무시 측정한 주파수응답은 수직편파의 경우 권선이 없는 경우와 평균 비교하여 1~3 GHz 대역에 평균 15 dB 감쇠하며 수평편파 신호는 평균 22.5 dB 감쇠한다. 즉 수직편파 신호는 권선외부에서 측정되나 수평편파 신호는 측정하기 어렵다.

### 4. 결론

전력용 변압기 권선을 투과하여 전달되는 UHF대역의 전파특성을 스펙트럼 에널라이저와 펄스발생기, 네트워크 에널라이저를 통하여 주파수대역에서 측정하였다. 수직축과 수평축으로 편파된 부분방전 신호의 권선투과특성을 실험한 결과, 수직축으로 편파된신호가 권선을 쉽게 통과하여 전달됨을 확인하였다. 변압기 권선내의 방전은 권선간의 부분방전이 대부분을 차지함으로 실제의 UHF 대역의 부분방전 측정에 권선외부에서 가능함을 확인하였다. 따라서 UHF 부분방전 측정의 방식이 전력용변압기의 권선내부의 부분방전 측정에 매우 효과적임을 확인하였고, 권선내부의 결함이 있는 경우에 외부에서 결함을 찾아내는데 유용함을 확인하였다. 그러나 수평편파 신호의 경우 권선을 투과하여 외부로 전달되기 어려움으로 UHF신호를 이용하여 권선내부의 결함을 측정할 때 주의가 필요하다.

### REFERENCE

- [1] S.-G. Goo, *Proc. of the 37th KIEE Summer Annual Conference* (KIEE, Busan, Korea, 2010) APP-3.
- [2] K. Raja, F. Devaux, and S. Lelaidier, *IEEE Electr. Insul. Mag.* **18**, 8 (2002).
- [3] G. P. Cleary and M. D. Judd, *14th IEEE Int. Conf. on Dielectr. Liquids* (IEEE, GRAZ, Austria, 2002) p. 341.
- [4] R. A. Jongen, P. Morshuis, S. Meijer, and J. Smit, *Proc. 2005 Annual Report Conference On Electrical Insulation And Dielectric Phenomena* (IEEE,

- Kitakyushu, Japan, 2005) p. 565.
- [5] M. D. Judd, B. M. Pryor, S. C. Kelly, and B. F. Hampton, *IEE Conference on High Voltage Engineering* (BEMC, London, UK, 1999) p. 362.
- [6] W. Guoli, H. Yanpeng, and L. Yan-ming, *Proc. CSEE*, **24**, 115, (2004).
- [7] P. J. Moore, I. E. Portugues, and I. A. Glover, *IEEE Trans. Power Del.* **21**, 528 (2006).
- [8] P. J. Moore, I. E. Portugues, and I. A. Glover, *IEEE Trans. Power Del.* **20**, 2264 (2006).
- [9] L. Junhao, W. Jing, W. Song, and L. Yanming, *High Voltage Apparatus* **42**, 186 (2006).