

# 모의 부분방전 시험에 의한 O.T. 절연열화 판정기준 설정 방안

## Determination Method of O.T. Aging Level by Model Partial Discharge Test

진 상 빔<sup>0</sup>  
권 동 진  
곽 희 로  
정 용 기  
조 국 희

승 실 대 학 교  
전 력 연 구 원  
승 실 대 학 교  
승 실 대 학 교  
한국전기연구소

### ABSTRACT

This paper describes a diagnosis of transformer by ultrasonic signal due to partial discharge. The ultrasonic signal can be measured when partial discharge is generated in a real transformer. The trend of partial discharge in transformer was estimated by counting the number of ultrasonic signals until insulation paper in the point-to-plane electrode is destroyed. The number of ultrasonic signals is closely related to the number of the electrical signals by partial discharge. The trend of the ultrasonic signal number could easily be distinguished by taking moving average.

### 1. 서 론

변압기의 예방진단법 중에서 부분방전에 의해 발생하는 초음파 신호를 검출하는 방법은 초음파 탐촉자를 변압기의 외함에 부착하기 때문에 측정이 간편하며 변압기의 운전에 미치는 영향을 최소한으로 억제할 수 있으므로 운전 중인 변압기에도 용이하게 적용될 수 있다.<sup>1)</sup> 따라서 초음파 신호를 이용한 변압기의 진단은 변압기의 절연이상을 조기에 검출할 수 있으므로 사고를 미연에 방지할 수 있고 변압기의 운전 중에도 진단장치의 점검이 가능하다는 장점이 있다.<sup>2)</sup> 그러나 변압기 내에서 부분방전이 발생할 경우, 변압기 구조물에 의한 초음파 신호의 감쇄로 인하여 측정감도가 저하될 수 있다. 따라서 변압

기 내부에서 발생하는 부분방전의 진전상태를 진단하기 위해서는 초음파 신호 파형의 절대적인 크기보다는 기준레벨 이상의 초음파 신호 수를 계수하여 시간적인 변화 경향을 파악하여야 한다.<sup>3)</sup> 본 논문에서는 변압기의 사고시까지의 열화과정을 모의하기 위하여 변압기 내에 침-평판 전극을 설치하고 침-평판전극 사이에 두께 1[mm]의 절연지를 삽입하여 절연지에서 부분방전이 진전되어 파괴에 도달할 때까지 측정된 초음파 신호 수의 시간적인 변화상태로 변압기 내부 부분방전의 변화상태를 추정하여 초음파 신호 측정 시스템을 현장에 적용할 경우에 발생할 문제점에 관하여 고찰하였다.

### 2. 실험장치 및 실험방법

본 논문에서 구성한 실험장치는 고전압 발생장치 및 부분방전 검출기, 변압기, 침-평판전극, 초음파 탐촉자 및 측정장치, 자료처리부로 구성되어 있다. 초음파 신호 측정 시스템은 부분방전에 의해 발생하는 초음파 신호를 탐지하기 위하여 전치 증폭기(이득:40[dB]) 및 필터(주파수 대역:100[kHz]~300[kHz]), 주 증폭기(이득:8[dB]~26[dB]), 자료 수집을 위한 디지털 처리부와 응용 프로그램부로 구성하였다.<sup>4)</sup> 또한 초음파 신호 측정 시스템은 장치의 확장성을 고려하여 다채널의 초음파 신호 처리 및 초음파 신호 계수부를 설치하였으며, 검출된 초음파 신호들은 A/D 변환기에 의해 이산 신호화하였다. 변압기는 단상 50[kVA](13,200/230[V]) 적철심형을 사용하였다. 초음파 신호 측정 시스템의 신호처리도는 그림 1과 같다.

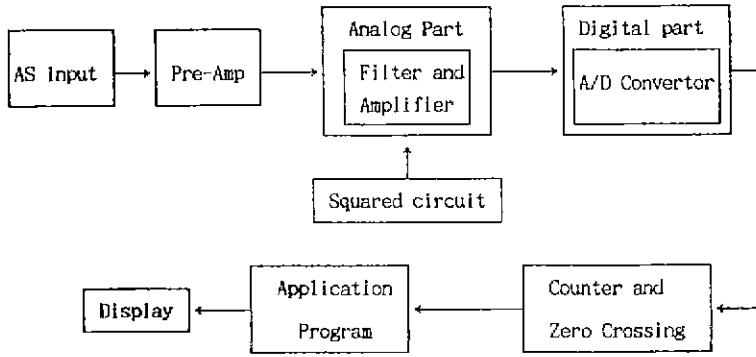


Fig. 1 Schematic diagram for ultrasonic signal processing

### 3. 실험결과 및 고찰

변압기 내부의 부분방전에 의하여 발생하는 초음파 신호 수를 계수하여 초음파 신호 수의 시간적인 변화상태로 부분방전의 진전상태를 추정하기 위해서는 부분방전의 진전상태와 기준레벨 이상의 초음파 신호 수의 변화상태가 일치하여야 한다. 만약 변압기 구조물의 영향으로 인하여 초음파 파형이 감쇄되거나 변형되어 부분방전의 진전상태와 기준레벨 이상의 초음파 신호 수의 변화상태가 일치하지 않는다면 초음파 신호는 변압기의 진단 데이터로써 유용하지 않을 것이다.

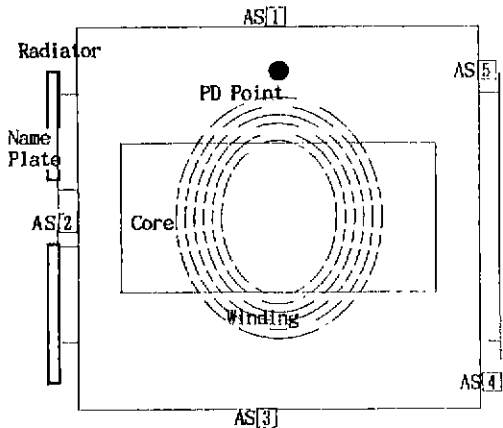


Fig. 2 The positions of the PD and ultrasonic detector

그림 2는 변압기 내에서 부분방전이 진전되어 절연 파괴에 도달하는 과정을 모의할 경우 변압기 외함에서 측정되는 초음파 신호 수의 경향을 파악하기 위하

여 초음파 탐촉자와 침-평판전극의 설치위치를 나타낸 평면도이다.

이때 AS<sub>1</sub>에서 AS<sub>5</sub>까지의 초음파 탐촉자의 부착위치와 부분방전의 발생위치는 다음과 같다.

- AS<sub>1</sub> : 350×650×260      AS<sub>2</sub> : 0×300×260
- AS<sub>3</sub> : 350×0×260      AS<sub>4</sub> : 650×150×490
- AS<sub>5</sub> : 650×570×260      PD point : 350×570×260

그림 2에서 AS<sub>1</sub>은 부분방전 발생위치와 마주 보게 설치하였으며, AS<sub>2</sub>는 변압기 철심을 장벽으로 하는 면에 설치하였다. 또한 AS<sub>3</sub>는 변압기의 권선과 철심을 장벽으로 하는 부분방전 발생위치의 반대방향에 설치하였으며, AS<sub>4</sub>는 부분방전 발생위치에서 변압기 권선과 철심의 대각선 방향에 설치하였다. 또한 AS<sub>5</sub>는 부분방전 발생점에서부터 초음파 신호가 도달하는 경로에 변압기 구조물이 존재하지 않는 위치에 설치하였으며, 거리는 AS<sub>1</sub>에 비하여 멀도록 설치하여 거리에 따른 초음파 신호 수의 변화경향을 파악할 수 있도록 하였다. 전압은 부싱을 통하여 침전극에 인가 되도록 하였으며 평판전극은 부싱을 통하여 접지하였다. 전기신호는 부분방전 측정장치의 전기적인 방전신호를 초음파 측정장치에 연결하여 펄스 수를 계수하였다. 초음파 및 전기신호 수를 계수하기 위한 기준레벨은 0.29[V]로 일정하게 설정하였다.

그림 3은 AS<sub>1</sub>에서 측정된 초음파 신호 수의 시간에 따른 변화경향을 나타낸 것이다. 침-평판전극에 전압을 7[kV]로 일정하게 인가하였을 경우, 침-평판전극

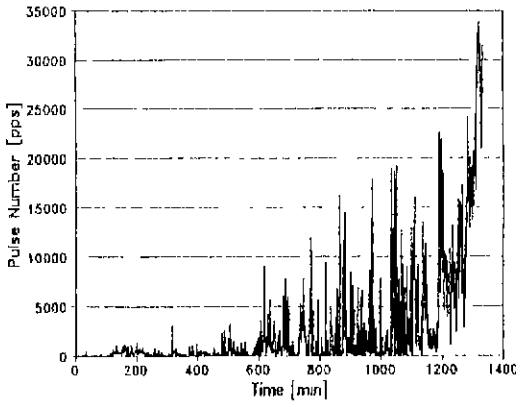


Fig. 3 Trend of the ultrasonic number detected at the AS<sub>1</sub> with partial discharge growth

으로부터 가까이 설치된 AS<sub>1</sub>, AS<sub>2</sub>, AS<sub>5</sub>에서 초음파 신호의 수가 계수되기 시작하였으며, 전압을 인가하고 약 100분 후부터 초음파 신호 및 전기신호 수가 증가 되었으며 약 22시간(1,336분) 후에 절연파괴가 발생하였다. 절연지가 관통 파괴되기까지 변압기 외함에 설치된 초음파 탐측자에서의 최대 펄스 수는 AS<sub>1</sub>은 33,897[pps], AS<sub>2</sub>는 26,946[pps], AS<sub>5</sub>는 29,834[pps]까지 나타났다.

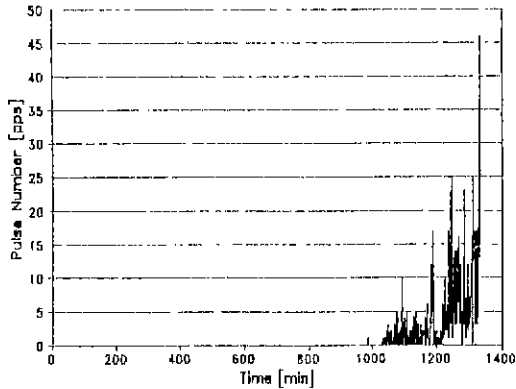


Fig. 4 Trend of the ultrasonic number detected at the AS<sub>3</sub> with partial discharge growth

그림 4는 AS<sub>3</sub>에서 측정된 부분방전의 진전에 따른 초음파 신호 수의 변화경향을 나타내었다. 초음파 탐측자 AS<sub>3</sub>는 초음파 신호의 전달경로에 변압기 구조물이 존재하므로 기준레벨 이상의 초음파 신호 수는 최대 약 50[pps] 정도만이 계수되었다.

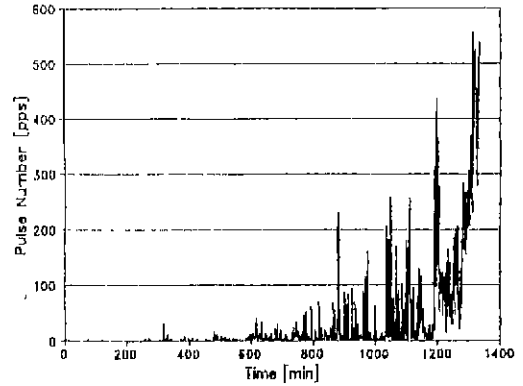


Fig. 5 Trend of the ES number with partial discharge growth

그림 5는 부분방전 측정장치의 전기적인 방전신호를 초음파 측정장치에 연결하여 펄스 수를 계수한 전기신호 수의 변화경향이다. 전기신호 수는 최대 약 600[pps]까지 계수되었으며 부분방전의 진전에 따른 전기신호 수의 변화경향은 초음파 신호 수의 변화경향과 상당히 일치하는 것을 볼 수 있다. 따라서 초음파 신호 수의 변화경향만으로도 부분방전의 변화경향을 추정할 수 있을 것이다.

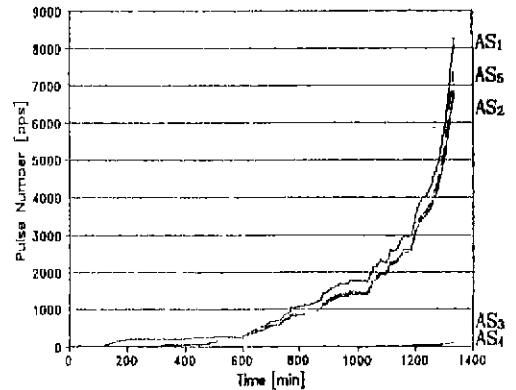


Fig. 6 Trend of the ultrasonic number with partial discharge growth

그림 3, 그림 4 및 그림 5는 부분방전의 진전에 따라 초음파 신호 수 및 전기신호 수의 경향은 증가되나 상당히 동요가 심함을 볼 수 있다. 이와같은 현상은 초음파를 이용한 변압기의 진단에서 경고신호의 기준치 설정을 어렵게 할 것이다. 따라서 본 논문에서는 초음파 및 전기 신호 수의 경향을 확실히 구별하기 위하여 데이터의 진전상태를 이동평균(moving average)하였다.

그림 6은 변압기 외함에 설치된 각 초음파 탐촉자에서 측정된 초음파 신호 수의 시간에 따른 변화경향을 주기 350으로 이동평균하여 나타낸 것으로, 부분방전의 진전에 따라 초음파 신호 수는 증가하여 약 600분 후에는 급격히 증가하는 것을 나타내었다. 이때 초음파 펄스 수의 경향은 크기가 AS<sub>1</sub>, AS<sub>2</sub>, AS<sub>3</sub>, AS<sub>4</sub>의 순으로 나타났다. 이와 같이 변압기 내부에서 발생하는 부분방전의 크기가 변화될 경우에 변압기의 구조물이 존재하는 경우에도 변압기 외함의 각 부분에서 측정된 초음파 신호 수의 변화상태는 유사한 경향을 나타내는 것을 알 수 있다.

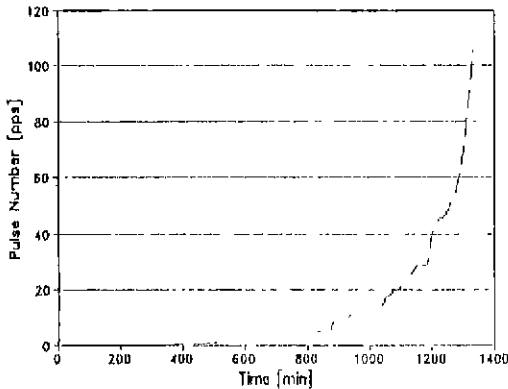


Fig. 7 Trend of the ES number with partial discharge growth

그림 7은 부분방전의 진전에 따른 전기적인 방전펄스 수의 변화경향을 주기 350으로 이동평균하여 나타낸 것이다. 부분방전의 진전에 따른 전기신호 수의 변화경향은 초음파 신호 수의 변화경향과 상당히 일치하는 것을 알 수 있다. 따라서 변압기의 구조물이 있을 경우에도 기준레벨 이상의 초음파 신호 수의 시간적 변화상태를 분석함으로써 변압기 내부 부분방전의 변화상태를 추정하는 것이 가능하며, 초음파 신호 수를 이동평균함으로써 부분방전의 진전에 따른 초음파 신호 수의 변화경향을 파악하기가 더욱 용이하였다.

#### 4. 결 론

본 논문에서 변압기 내부에서 발생하는 부분방전의 진전상태를 파악하기 위하여 침-평판 전극 사이에 절연지를 삽입하고 일정 전압에서 절연지가 부분방전에 의

해 일화되어 관통될 때까지 전압을 인가한 후 기준레벨 이상의 초음파 신호 수를 계수한 결과는 다음과 같다.

변압기의 구조물이 존재할 경우에도 부분방전의 진전에 따른 초음파 신호 수와 전기신호 수의 경향은 유사하게 나타났으며, 변압기의 구조물이 있을 경우에도 초음파 신호 수의 시간적 변화상태를 분석함으로써 변압기 내부 부분방전의 변화상태 추정이 가능하며, 초음파 신호 수를 이동평균함으로써 절연열화정도 판정 기준 제시가 용이함을 알 수 있다.

#### 참고문헌

- [1] 久保義昭 外, "變壓器部分放電自動監視裝置の開発とフィールド試験," 電氣學會誌, Vol. 26, No. 3, pp.10~18, 1982.
- [2] E. Howells and E. T. Norton, "Detection of Partial Discharge in Transformer Using Acoustic Emission Techniques," IEEE Trans. PAS, Vol. 97, No. 5, pp.1538~1549, 1978
- [3] 榑 東震, "超音波 傾向分析에 의한 電力用 變壓器의 豫防診斷에 關한 研究", 충실대 박사학위논문, pp.2~3, 8~9, 1995
- [4] 郭 熙魯·榑 東震 등, "초음파 센서를 이용한 변압기 예방진단 기술 연구," 한국조명·전기설비학회지, Vol. 8, No. 2, pp.46~53, 1994.