

고압권선에서 발생하는 부분방전에 의한 초음파 신호 검출

권 동진⁰ · 박 회로^{**} · 정 상진^{*} · 김 한상^{**} · 송 일근^{**} · 김 경화^{**}

* : 전력연구원 ** : 송실대학교

Detection of Ultrasonic Signals by PD at the High Voltage Winding

Dong-Jin Kweon⁰ · Hee-Ro Kwak^{**} · Sang-Jin Chung^{*} · Han-Sang Kim^{**} · Il-Keun Song^{**} · Kyoung-Wha Kim^{**}

* : KEPRI ** : Soongsil University

Abstract

This paper describes a diagnosis of power transformers by on-line detection of ultrasonic signals. Partial discharge in power transformer generates ultrasonic signals. The trend of the ultrasonic signal number can be measured when partial discharge is generated in HV Winding. The trend of the ultrasonic signal number could easily be distinguished by taking moving average. The insulation failure due to partial discharge in transformers can be predicted based on the trend analysis of the number of ultrasonic signals caused by partial discharge.

1. 서론

전력설비의 신뢰성은 전력공급의 안정화와 신뢰성면에서 매우 중요한 사항이다. 특히 대용량 전력용 변압기는 전력의 안정공급에 관련된 매우 중요한 설비의 하나로서 그 기능이나 성능을 충분히 확보하여야 하므로 사고를 예방하기 위한 보수관리 및 절연진단의 필요성이 증가하고 있다.^[1] 전력설비의 예방진단은 기기내부의 이상정황을 외부에서 간단한 측정방법으로 초기에 정확히 발견할 수 있어야 하며, 많은 기기를 대상으로 온라인 측정이 가능하여야 한다. 초음파를 이용한 예방진단은 변압기의 운전상태에서도 절연이상을 검출할 수 있으므로 변압기의 초기고장을 조기에 발견하여 사고를 미연에 방지할 수 있으며, 변압기의 운전에 미치는 영향을 최소한으로 억제할 수 있다. 또한 이상발생부의 위치표정이 가능하므로 이상부위의 수리를 용이하게 할 수 있으며 수리비와 수리시간을 최소화할 수 있는 유효한 방법이다. 그러나 운전상태에서의 진단은 측정방법 및 파라메타가 제한되고 진단에 유효한 데이터의 종류가 한정되어 측정값의 신뢰성이 낮아진다. 지금까지 초음파를 이용한 변압기의 진단에 관한 연구는 실험실 상태에서 모의 변압기에 대한 연구가 대부분이며, 변압기를 예방진단하기 위한 초음파 신호 측정 시스템의 현장적용에는 뚜렷한 실적을 제시하지 못하고 있는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 실 변압기에 전압을 인가하여 정상인 변압기에서의 초음파

신호 수와 부분방전이 발생할 가능성이 많은 고압권선에 침전극을 설치하여 부분방전이 발생할 경우의 초음파 신호 수의 변화경향을 측정하여 초음파 신호 측정 시스템을 현장에 적용할 경우에 발생하는 문제점에 대하여 연구하였다. 또한 부분방전의 진전상황을 명확하게 파악하고 부분방전의 진전에 따른 경고신호의 기준을 위하여 부분방전에 의한 초음파 신호 수의 이동평균에 관하여 고찰하였다.

2. 실험장치 및 실험방법

본 연구에서 구성한 실험장치는 고전압 발생장치 및 부분방전 검출기, 변압기, 초음파 탐촉자 및 측정장치, 초음파 펄스 수 및 관련정보를 수집하여 분석하게 될 자료처리부 및 컴퓨터로 나눌 수 있으며, 그림 1에 실험장치의 구성을 나타내었다.

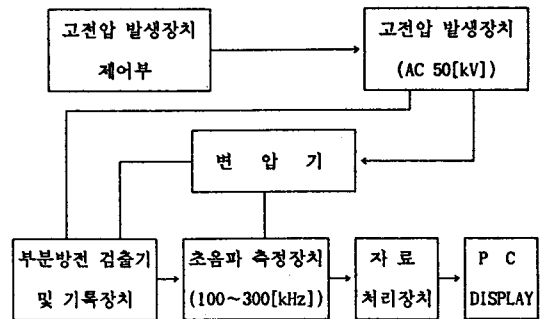


Fig. 1 Schematic diagram of the experimental apparatus

변압기는 단상 50(kVA)(13,200/230(V)) 직철심형을 사용하였으며, 전력용 변압기와 같은 형태를 모의하기 위하여 외함은 650×650×800(mm)로 제작하였다. 변압기의 내부구조는 철심의 높이 420(mm), 폭 160(mm), 길이 340(mm)이며, 권선은 높이 300(mm), 직경 300(mm)이다.

그림 2는 초음파 탐촉자의 설치위치 및 부분방전 발생점을 나타낸 평면도로서 AS₁은 부분방전 발생점과 마주 보게 설치하였으며, AS₂는 AS₁의 하단에 240(mm)의 거리를 두고 설치하였다. 이때 AS₂는 부분방전 발생점으로부터 초음파가 전달될 경우에 변압기 권선을

거치는 경로가 된다. 또한 AS₃은 변압기의 철심을 장벽으로 하는 부분방전 발생점의 측면에 설치하였으며, AS₄는 부분방전 발생점에서 빈압기 권선과 철심의 반대방향에 설치하였다. AS₅는 초음파 신호의 경로에 빈압기의 권선과 철심이 존재하도록 부분방전 발생점에서 대각선 방향에 설치하였다. AS₁에서 AS₅까지의 초음파 탐촉자의 부착 위치는 다음과 같다.

AS₁: 350×650×500 AS₂: 350×650×260 AS₃: 0×300×260
 AS₄: 350×0×260 AS₅: 650×150×490

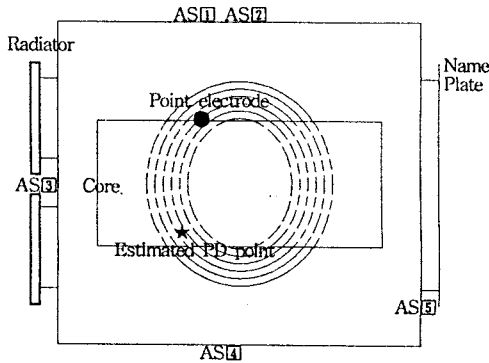


Fig. 2 Positions of the partial discharge and ultrasonic detectors

3. 실험결과 및 고찰

빈압기 내에서 부분방전이 발생할 경우, 빈압기 외함에 설치한 초음파 탐촉자에서 측정되는 초음파 신호는 빈압기 내부의 구조물에 의해 신호가 감쇄될 수 있다. 또한 초음파 탐촉자에 도달하는 초음파 신호의 경로에 의한 잔향 및 간섭의 영향 등으로 초음파 신호는 파형의 앞부분이 크게 감쇄되거나 파형의 뒷부분은 감쇄되지 않을 수 있다.^[2] 따라서 부분방전에 의하여 발생하는 기준레벨 이상의 초음파 신호 수를 계수하여 초음파 신호 수의 시간적인 변화상태로 빈압기 내부에서 발생하는 부분방전의 진전상태를 진단하기^[3] 위해서는 빈압기 구조물이 존재하는 경우에도 빈압기 외함의 각 부분에 설치한 초음파 탐촉자에서 탐지하는 초음파 신호 수의 변화경향이 부분방전의 진전과 일정한 관계를 유지하여야 할 것이다.

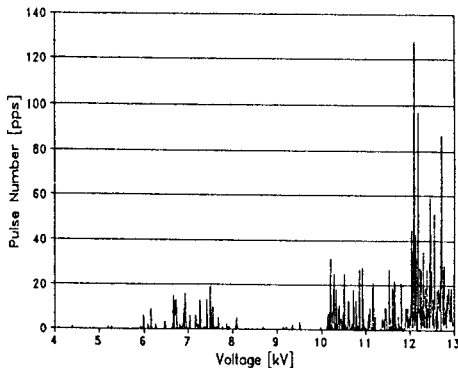


Fig. 3 Ultrasonic signal numbers detected at the AS₃ in the normal transformer

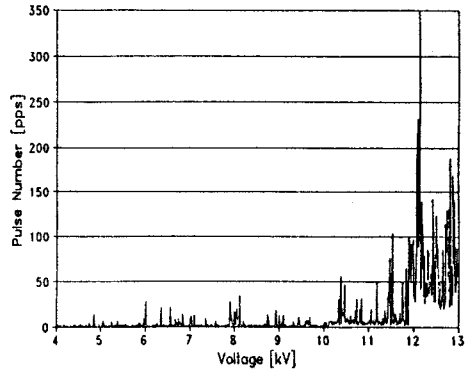


Fig. 4 Ultrasonic signal numbers detected at the AS₄ in the normal transformer

그림 3과 그림 4는 빈압기의 고압권선에 정격전압인 13[kV]까지 전압을 인가하였을 경우, 전압의 증가에 따른 AS₃과 AS₄에서 측정된 초음파 신호 수의 변화경향을 나타낸 것이다. 이때 각 채널의 기준준위는 0.29[V]로 일정하게 설정하였다. 빈압기에 인가되는 전압을 증가시키에 따라 인가전압 10[kV]에서 초음파 신호가 지속적으로 측정되기 시작하였으며, 12[kV]에서는 AS₄에서 약 350[pps]의 초음파 신호 수가 측정되었다.

초음파 탐촉자의 부착위치에 따른 초음파 신호는 AS₄에서 가장 많이 측정되었으며, 그 다음으로 AS₃에서 많은 초음파 신호가 측정되었다. 그러나 AS₁, AS₂ 및 AS₅에서는 거의 측정되지 않았다. 따라서 AS₄에서 가장 가까운 부분에서 부분방전이 발생하였을 가능성이 높고, AS₃에서도 작지만 초음파 신호가 측정된 것은 초음파 신호의 전달경로에 빈압기의 철심이 있기 때문으로 사료된다. 이와 같이 정상인 빈압기에서도 정격전압의 부근에서는 초음파가 발생하고 있음을 알 수 있다. 따라서 본 논문에서 사용한 빈압기를 장시간 사용할 경우에는 AS₃과 AS₄에서 가까운 그림 2의 ★ 부분에서 부분방전이 증가되어 절연파괴에 도달할 가능성이 있음을 알 수 있다.

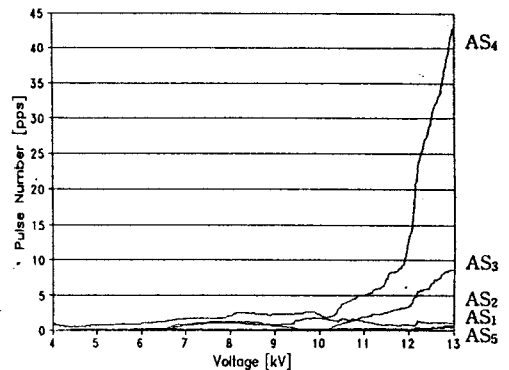


Fig. 5 Trend of the ultrasonic signal numbers in the normal transformer

그림 3과 그림 4에서는 빈압기에 인가되는 전압이 증가함에 따라 부분방전에 의한 초음파 신호 수의 동요가 상당히 심함을 볼 수 있다. 이와 같은 초음파 신호 수의 동요는 경고신호의 발생을 위한 기

준치의 실정을 상당히 어렵게 할 것이다. 따라서 본 논문에서는 초음파 신호 수의 경향을 확실하게 구별하기 위하여 데이터의 진전상태를 이동평균(moving average)하였다. 일반적인 이동평균은 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$y(n) = \frac{1}{M_1 + M_2 + 1} \sum_{k=-M_1}^{M_2} x(n-k)$$

$$= \frac{1}{M_1 + M_2 + 1} (x(n+M_1) + x(n+M_1-1) + \dots + x(n) + x(n-1) + \dots + x(n-M_2))$$

이것은 원 신호에서 n번째 데이터 앞, 뒤로 M_1+M_2+1 개의 데이터를 평균하여 n번째에 나타낸 것이다. 그림 5는 전압의 증가에 따른 초음파 신호 수의 경향을 주기(period) 200으로 이동평균하여 나타낸 것으로 그림 3 및 그림 4에 비하여 초음파 신호 수의 진전경향을 구별하기 용이함을 알 수 있다.

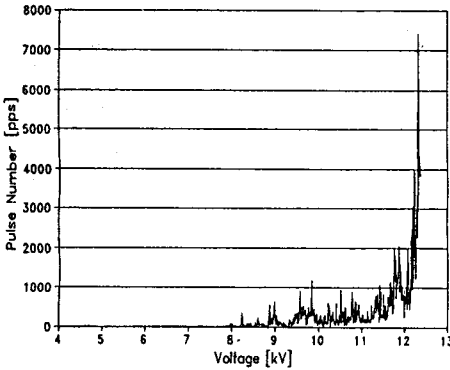


Fig. 6 Ultrasonic signal numbers detected at the AS₁ with point electrode installation

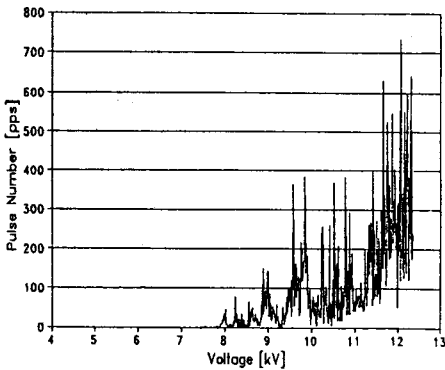


Fig. 7 Ultrasonic signal numbers detected at the AS₄ with point electrode installation

그림 6과 그림 7은 부분방전을 임의로 발생시켰을 경우, 인가전압의 증가에 따른 AS₁과 AS₄의 초음파 탐촉자에서 측정된 초음파 신호 수의 경향을 나타낸 것이다. 이때 부분방전의 발생위치는 부분방전이 발생할 가능성이 높은 고압권선과 철심사이를 모의하기 위하여 고압권선에 침전극을 부착하여 변압기 철심과 8[mm] 간격으로 설치

하였다. 고압권선에 인가하는 전압을 증가시켰을 경우, 초음파 신호 수의 변화경향은 약 8[kV]에서부터 증가하기 시작하여 12[kV] 이상에서는 부분방전의 발생점과 가장 가까운 위치에 설치된 AS₁의 초음파 탐촉자에서 약 7,500[pps]의 초음파 신호 수가 측정되었다. 또한 초음파 신호가 변압기의 권선을 거쳐 도달하게 되는 AS₂에서의 초음파 신호 수는 약 750[pps] 정도까지 계수되었다. 변압기의 철심을 장벽으로 하는 AS₃과 반대방향에 설치된 AS₄ 및 대각선방향에 설치한 AS₅에서는 200[pps] 이하의 초음파 신호 수가 측정되었다.

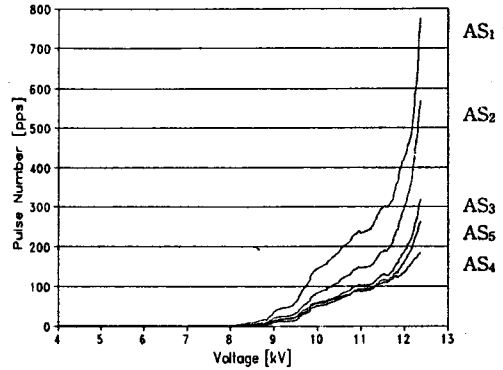


Fig. 8 Trend of the ultrasonic signal numbers with point electrode installation

그림 8은 전압의 증가에 따른 초음파 신호 수의 경향을 주기 200으로 이동평균하여 나타낸 것으로 그림 6 및 그림 7에 비하여 초음파 신호 수의 진전경향을 구별하기 용이함을 알 수 있다.

4. 결론

실 변압기에 전압을 인가하여 정상인 변압기에서의 초음파 신호 수와 부분방전이 발생할 가능성이 많은 고압권선에 침전극을 설치하여 부분방전이 발생할 경우의 초음파 신호 수의 변화경향을 측정하여 초음파 신호 측정 시스템을 운전중인 변압기의 예방보전 시스템으로 적용 가능함을 확인하였다. 또한 초음파 신호 수를 이동평균함으로써 부분방전의 진전상태를 명확하게 파악할 수 있었다.

참고 문헌

- [1] L. Istvan, et. al., "Field study of sound radiation by power transformers," IEEE. PAS, Vol. 100, No. 7, pp.3513~3524, 1981.
- [2] 박 회로·권 동진 등, "초음파 센서를 이용한 변압기 예방진단 기술 연구," 한국조명·전기설비학회지, Vol. 8, No. 2, pp.46~53, 1994.
- [3] 권 동진, "초음파 분석에 의한 전력용 변압기 예방진단 연구," 박사학위논문, pp.75~90, 1995.