

시험용 변압기 내 부분방전의 초음파 검출에 관한 연구

곽 회로, 권 동진, 진 상범^o, 전 상준, 정 용기, 송 일근
승실대학교 전기공학과

Detection of Acoustic signals by PD in Test Transformer

Hee-Ro Kwak, Dong-Jin Kwcon, Sang-Bum Chin^o, Sang-Jun Jeon, Young-Ki Chung, Il-keun Song
Dept. of Electrical Engineering, Soong Sil University

ABSTRACT

This paper describes the detection of the ultrasonic signals reduced by barrier in test transformer. The ultrasonic signals are generated by partial discharges which cause the insulation failure of transformer. The ultrasonic signals are reduced by barrier. But it was shown that the reduced ultrasonic signals can be measured as the location of the ultrasonic signal detectors is selected properly.

1. 서 론

전력용 변압기의 예방진단법 중에서 부분방전에 의해 발생하는 초음파 신호를 검출하는 방법은 현장에서 전기적 노이즈의 영향을 거의 받지 않기 때문에 운전중인 변압기에도 비교적 용이하게 적용될 수 있다.^[1] 또한 초음파 신호를 이용한 변압기의 진단은 변압기의 진원 이상을 조기에 검출할 수 있으므로 사고를 미연에 방지할 수 있고 초음파 탐촉자를 변압기의 외함에 부착하기 때문에 측정이 간편하며 변압기의 운전 중에도 진단장치의 점검이 가능하다는 장점이 있다.^[2-3] 그러나 부분방전이 권선의 내부에서 발생할 경우에는 변압기 구조물에 의한 초음파 신호의 감쇄로 인하여 측정값도가 저하된다. 따라서 현장에 적용하기 위한 전 단계로써 실험 변압기 구조물의 영향으로 인한 초음파 신호의 감쇄특성을 명확히 파악하여야 할 것이다.

본 논문에서는 실험 변압기 내부에서 부분방전에 의해 발생하는 초음파와 유사한 초음파 신호를 발생시킬 수 있는 초음파 발생장치를 이용하여 부분방전이 발생할 가능성이 많은 권선의 표면이나 권선과 철심 사이에서 초음파 신호를 발생시켰다. 그리고 발생한 초음파를 변압기 외함에서 측정, 분석함으로써 초음파 신호 측정 시스템을 실험 변압기에 적용할 경우에 발생하는 문제점에 대하여 연구하였다.

2. 실험장치 및 실험방법

초음파 신호를 발생시키고 검출 및 분석하기 위한 실험장치는 시험용 변압기, 초음파 발생장치(압전 진동자), 초음파 탐촉자 및 측정장치로 구성되어진다. 그림 1에 초음파 신호 측정장치의 개략도를 나타내었다.

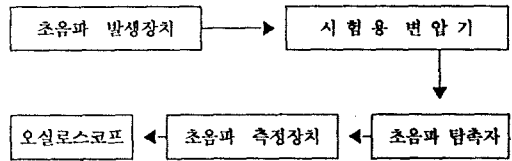


그림 1 초음파 측정장치의 개략도

Fig. 1 Schematic diagram of the ultrasonic signal measurement system

초음파 신호를 검출하기 위하여 전치 증폭기(이득 : 40[dB]), 필터(주파수 대역 : 100[kHz]~300[kHz]), 주 증폭기(이득 : 8[dB]~26[dB])로 초음파 측정장치를 구성하였다.^[4]

초음파 발생장치는 압전진동자(PZT-5A)의 압전 역효과를 이용하여 부분방전시 발생하는 초음파와 유사한 초음파를 발생시켰다.

시험용 변압기는 단상 50(kVA)(13,200/230[V]) 직철심형 변압기를 사용하였으며, 전력용 변압기와 같은 형태를 모의하기 위하여 (650×650×800)[mm]의 외함을 제작하였다. 시험용 변압기의 철심은 높이 420[mm], 폭 160[mm], 길이 340[mm]이며, 권선은 높이 300[mm], 직경 300[mm]의 외철형이다.

3. 실험결과 및 고찰

일반적으로 변압기내에서의 부분방전 발생부는 통상 유침자로 둘러 싸여 있고, 부분방전에 의한 초음파는 초음파 탐촉자까지 신호가 전송되는 동안 권선과 절연체 및 철심 등에서 감쇄되므로 초음파 신호를 검출하여 변압기의 부분방전을 진단하기 위해서는 변압기 구조물에 의한 초음파의 감쇄특성에 대하여 고려할 필요가 있다. 본 논문에서는 시험용 변압기 내에 초음파 발생장치를 설치하고 변압기 구조물이 존재하지 않을 경우와

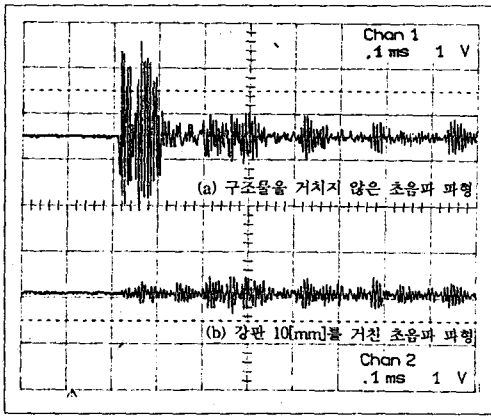


그림 2 변압기 구조물에 의해 변형된 초음파 신호
 Fig. 2 The ultrasonic signal interfered with material of transformer

프레스보드, 강판(steel) 등의 변압기 구조물이 존재할 경우를 상호 비교하였다. 그림 2는 변압기 구조물이 없을 경우와 변압기 구조물로 10[mm] 두께의 강판이 있을 경우의 초음파 신호를 측정할 것이다. 이때 초음파 발생장치와 초음파 탐촉자간의 간격은 150[mm]이다. 변압기 구조물이 있을 경우 초음파 파형의 앞부분은 크게 감소되었으나 파형의 뒷부분은 간섭의 영향으로 인하여 앞부분에서의 감소에 비하여 적게 감소됨을 볼 수 있다.

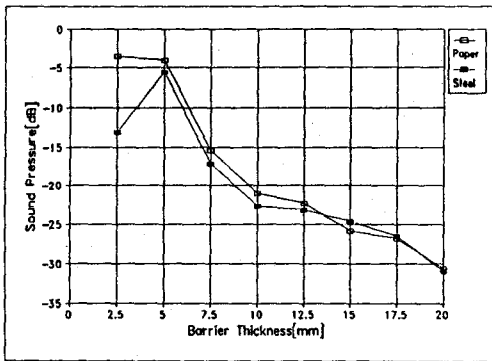


그림 3 변압기 구조물에 의한 음압의 감소
 Fig. 3 Attenuation of the sound pressure by materials of transformer

그림 3은 변압기 구조물에 의한 음압의 감소를 고찰하기 위하여 프레스보드와 강판의 두께를 2.5[mm]에서 20[mm]까지 변화시키면서 초음파 신호를 측정할 것이다. 변압기 구조물에 의해 초음파 신호는 프레스보드의 경우에는 약 $72.5e^{-0.225}$ [dB/cm] 정도 감소하였으며, 강판의 경우에는 약 $73.8e^{-0.205}$ [dB/cm] 정도로 감소하였다. 또한 구리 및 규소강판은 강판의 경우와 거의 동일한 감소를 나타내었으며, 절연지의 경우는 프레스보드와 거의 동일한 감소를 나타내었다.

권선의 표면에서 부분방진이 발생한 경우를 모의하기 위하여 그림 4의 AG₁(Acoustic Generator)과 같이 시험용 변압기에 초음파 발생장치를 (320×125×160)[mm]의 위치에 설치하고 AS₁에

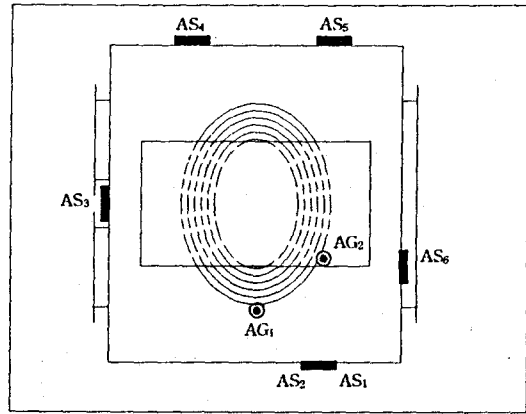


그림 4 초음파 탐촉자 및 압전진동자의 설치위치
 Fig. 4 The position of the ultrasonic detector on the wall and transducer

서 AS₆까지 6개의 초음파 탐촉자를 부착하였다. 이때 초음파 탐촉자 AS₁은 초음파 발생장치의 설치위치와 같은 높이로 마주 보게 하였으며, AS₂는 방향 및 거리에 따른 초음파 신호의 변화를 측정하기 위하여 AS₁과 높이를 다르게 하여 AS₁의 360 [mm]상부에 설치하였다. 또한 변압기 구조물의 영향을 검토하기 위하여 AS₃은 철심이 있는 변압기의 측면에 부착하였고, AS₄, AS₅는 시험용 변압기의 철심 및 권선을 변압기 구조물로 하여 초음파 발생원과 반대방향에 설치함으로써 초음파 신호가 변압기 구조물을 관통하였을 때의 감소 정도를 관찰할 수 있도록 설치하였다. 이때 초음파 발생원으로 사용한 압전진동자는 권선에 최대한 밀착시켜 부분방진이 변압기 권선의 표면에서 일어난 것과 같은 효과를 주도록 하였다. 초음파 탐촉자 AS₁에서 AS₆까지의 설치위치는 다음과 같다.

- AS₁ : 430 × 0 × 160 [mm]
- AS₂ : 430 × 0 × 520 [mm]
- AS₃ : 0 × 320 × 160 [mm]
- AS₄ : 220 × 650 × 160 [mm]
- AS₅ : 410 × 650 × 160 [mm]
- AS₆ : 650 × 180 × 160 [mm]

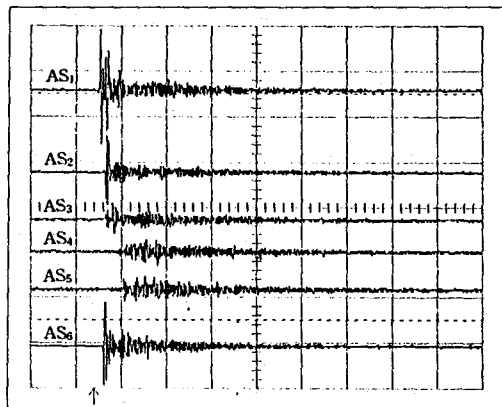


그림 5 권선의 표면에서 발생한 초음파의 측정 파형
 Fig. 5 The detection waveforms of the ultrasonic generated on the surface of the winding

그림 5는 권선의 표면에서 초음파를 발생시켰을 경우, AS₁에서 AS₆까지의 초음파 탐촉자에서 검출된 초음파 신호를 나타낸 것이다. 이때 초음파 발생장치에 인가한 펄스의 주기는 16[ms], 펄스 폭은 21.3[μs], 펄스 크기는 3.10[V]로 하였다. AS₁에서 AS₆까지의 초음파 탐촉자에서 측정된 초음파 신호의 크기는 표 1과 같다.

표 1 권선의 표면에서 발생한 초음파신호의 크기 측정결과
Table 1 The detection results of ultrasonic signal magnitude generated on the surface of the winding

	크기 [V _{p-p}]
AS ₁	5.09
AS ₂	3.15
AS ₃	1.50
AS ₄	0.65
AS ₅	1.09
AS ₆	3.64

AS₁, AS₂ 및 AS₆은 초음파 신호 진폭경로상에 구조물이 존재하지 않으므로 초음파 신호의 측정이 용이하였으며, AS₂와 AS₆은 AS₁에 비하여 크기가 각각 4.17[dB]과 2.91[dB]정도 감소되어 나타났다. 또한 AS₃과 AS₄는 시험용 변압기의 권선 및 철심의 두께가 300[mm]이므로 변압기 구조물의 영향으로 초음파 파형의 파두부분이 AS₁에 비하여 각각 10.61[dB]과 17.87[dB]정도 감소되어 나타났다.

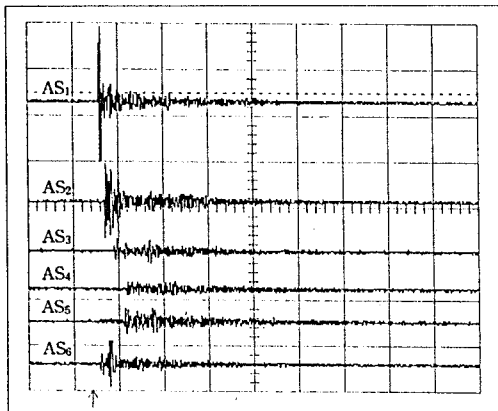


그림 6 권선과 철심사이에서 발생한 초음파의 측정 파형
Fig. 6 The detection waveforms of the ultrasonic generated between the core and the winding

권선과 철심사이에서 부분방전이 발생한 경우를 모의하기 위하여 그림 4의 AG₂와 같이 시험용 변압기에 초음파 발생장치를 (430×240×160)[mm]의 위치에 설치하였다. 이때 AS₁에서 AS₆까지의 초음파 탐촉자 위치는 그림 4와 같은 위치로 하였다. AS₁은 초음파 신호를 직접 얻을 수 있도록 고려하였고, AS₂는 거리와 방향에 따른 감쇄 효과를 고려하였다. AS₃과 AS₄는 절연지와 철심 등의 영향에 따른 초음파 신호의 감쇄를 측정할 수 있도록 하였다. 또한 AS₅는 권선에 의한 감쇄 효과만을 측정하도록 하였으며, AS₆은 철심만의 영향을 고려하여 부차하였다.

그림 6에 각각의 초음파 탐촉자에서 측정된 초음파 파형을 나타내었으며, 측정된 초음파 신호의 크기는 표 2와 같다.

표 2 권선과 철심사이에서 발생한 초음파의 크기 측정결과
Table 2 The detection results of ultrasonic signal magnitude generated between the core and the winding

	크기 [V _{p-p}]
AS ₁	5.86
AS ₂	3.36
AS ₃	1.17
AS ₄	0.73
AS ₅	1.27
AS ₆	2.11

초음파 신호가 변압기 권선과 철심사이에서 발생할 경우에 초음파 탐촉자 AS₁은 권선과 철심 사이의 공간으로 인하여 변압기 구조물의 영향을 받지 않게 된다. 따라서 AS₁에서의 초음파 신호 측정은 용이함을 알 수 있다. AS₆은 장벽으로 철심이 55[mm]의 두께로 놓여 있으므로 파형이 약 8.87[dB]정도 감소되었음을 알 수 있다. 그러나 간섭의 영향으로 초음파 파형의 뒷부분의 크기는 비교적 변화가 적었다. AS₄는 변압기의 철심 및 권선의 영향으로 초음파 파형이 AS₁에 비하여 약 18.09[dB]정도 감소되었다.

이와 같이 초음파 신호가 권선의 표면이나 철심과 권선의 사이에서 발생할 경우, 변압기 구조물에 따라 초음파 신호는 감소되었으나 초음파 탐촉자의 위치를 적절히 선정함으로써 초음파 신호를 용이하게 검출할 수 있음을 알 수 있었다.

4. 결 론

변압기에서 부분방전이 발생했을 때 수반되는 초음파 신호를 시험용 변압기의 외함에서 측정할 때의 문제점과 측정의 가능성에 대해서 연구하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

시험용 변압기에서 구조물이 존재할 경우에 실제로 부분방전이 발생할 수 있는 권선의 표면이나 권선과 철심사이에서 발생한 초음파 신호는 감쇄에도 불구하고 초음파 탐촉자의 위치를 적절히 선정함으로써 변압기 외함에서 용이하게 측정함을 알 수 있었다.

5. 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驗," 電氣學會, Vol. 26, No. 3, pp.10~18, 1982.
- [2] 權 東震, "超音波 傾向分析에 의한 電力用 變壓器의 豫防診斷에 관한 研究", 송신대 학위논문, pp.2~3, 8~9, 1995
- [3] 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
- [4] 郭 熙魯·金 載哲·權 東震 등, "초음파 센서를 이용한 변압기 예방진단 기술 연구," 한국조명·전기설비학회지, Vol. 8, No. 2, pp.46~53, 1994.