

전력용 변압기에서의 초음파 노이즈

권동진*, 정길조, 최인혁
한전 전력연구원

Ultrasonic Noises in Power Transformer

D.J. Kweon*, G.J. Jung, I.H. Choi
KEPRI

Abstract - Partial discharge measurement using an ultrasonic technique allows us to detect degradation of the electrical insulation in a power transformer. However, The ultrasonic measurement studies don't offer a good solution in operating conditions. In this paper, we investigated characteristics of ultrasonic noise caused by a 345kV power transformer under operating conditions. The ultrasonic noises generated by corona in air, vibration of core, pump and fan, etc. An ultrasonic frequency caused by corona in air was appeared 9 and 18[MHz] at the outside wall of the transformer. And a spectra of core vibration was detected below 2.5[kHz]. These spectrum were compared with 20~200[kHz] of the internal partial discharge in the model transformer.

1. 서 론

변압기의 중대사고 요인인 내부 절연이상은 대부분 부분방전을 수반하므로, 부분방전의 측정은 변압기의 건전성을 평가하는 유효한 측정기법으로 인정되어 왔다. 따라서 부분방전 측정기법은 현재 공장시험에 적용되고 있으며 변압기의 제작시에는 필수 측정항목으로 되어 있다. 그러나, 이와 같이 일반적으로 알려져 있는 효과적인 측정기법이 변전소의 각종 노이즈로 인하여, 현장에서 운전되고 있는 변압기에는 전혀 적용되지 못하고 있다.

최근 변압기의 건전성을 운전중에 상시 감시하기 위한 예방진단 기술에 관심이 고조되고 있으며, 신호측정 및 처리기술이 발달하여, 기존의 많은 진단기법이 새로운 시각에서 접근되고 있다.[1]

현재 변압기 내에서 발생하는 부분방전을 검출할 수 있는 방법으로는 부분방전에 의한 전류펄스를 검출하는 전기적인 방법과, 변압기 외함에 초음파 탐촉자를 설치하고 부분방전에 의해 발생하는 초음파 신호를 검출하는 음향적인 방법이 가장 잘 알려져 있다. 따라서 국내에서도 초음파 측정기법에 관한 연구를 많이 수행하여 왔으며, 실험실의 모의 변압기를 이용하여 그 적용 가능성을 제시하여 왔다.[2]

그러나, 초음파를 이용한 변압기 부분방전 측정기법은 변전소의 각종 노이즈로 인하여 실험실에서와 같은 효과적인 진단이 어려운 것으로 인식되어져 있으며, 현장의 전력용 변압기를 대상으로 한 효과적인 연구결과가 제시되지 않고 있는 실정이다.

본 연구에서는 변압기 내부에서 발생하는 부분방전에 의한 초음파 신호와 변압기의 운전상태에서 발생하는 각종 초음파 노이즈를 구별하여 제거하기 위하여, 변전소에서 운전중인 345[kV] 전력용 변압기에서 발생하는 각종 초음파 노이즈를 측정하고, 분석하였다.

2. 본 론

2.1 변압기에서의 초음파 노이즈의 종류

변압기 내부의 부분방전을 측정하기 위하여 변압기 외함에 초음파 센서를 부착할 경우, 변압기 내부의 부분방전에 의한 초음파뿐만 아니라, 변압기 외부의 코로나 및 각종 기계적인 노이즈가 초음파 센서에 측정된다.

운전중인 변압기에서 부분방전에 의한 초음파를 측정할 경우에 발생할 수 있는 초음파 노이즈는 크게 전기적인 노이즈와 기계적인 노이즈로 구분할 수 있다.

전기적인 노이즈로는 고전압 가공 송전선로에서의 코로나에 의한 기중 방전 펄스, 부싱 등의 표면으로의 누설전류에 의한 방전 펄스, 회로개폐 조작시의 노이즈 전달에 의한 유도, 전자파 등이며, 기계적인 노이즈로는 철심 여자에 의한 진동음, 탱크에 연결된 펌프나, 팬에 의한 진동음, OLTC의 동작에 따른 진동음, 비나 모래 등의 충돌에 의한 충돌음 등이 있을 수 있다.[3]

가. 전기적 노이즈

(1) 기중 코로나 방전 펄스에 의한 노이즈

변압기 이외의 기기, 고전압 송전선의 코로나, 비접지 금속물체의 유도전압에 의한 스파크 등이 있을 수 있으며, 이러한 노이즈는 기상 조건에 따라 크게 변화하므로, 다른 외부 노이즈와는 구별이 쉽지만, 내부 부분방전과 유사한 특성을 보이는 경우가 많다.

(2) 회로 개폐시의 노이즈

계통에 접속된 개폐장치(차단기, 단로기 등)의 조작시에 발생하는 개폐 서지가 송전선을 전달하여 측정회로에 유도되며, 이러한 노이즈는 단발적인 형태가 많다.

(3) 전자파 노이즈

방송파 등 각종 전파가 송전선에 침입하고, 공중을 전달하는 측정회로에 유도된다. 방송파로는 TV파와 라디오 파가 있으며, TV파는 VHF, UHF, SHF로 구분된다. 국내에서 TV 방송용으로 할당된 주파수 대역은 채널당 6[MHz]의 대역폭을 가지며, 주파수는 VHF는 30~300[MHz], UHF는 300~3,000[MHz], SHF는 3~30[GHz] 대역이며, 현재 국내에서는 CH 2의 54~60[MHz]부터 CH 60의 746~752[MHz] 대역을 사용하고 있다. 또한 라디오 파는 지역에 따라 차이가 있으나, 일반적으로 AM은 500~1,500[kHz], FM은 90~100[MHz] 대역이다.

(4) 측정회로의 노이즈

사용전원의 고주파, 전기용접기, 싸이리스터, 고주파 발전기, 방전등 등에 의해 배선을 경유하여 측정에 장애를 일으킨다.

나. 기계적 노이즈

변압기에서 발생하는 대표적인 기계적 노이즈로는 다음과 같은 종류를 들 수 있다.

(1) 철심의 진동음

(2) 개폐장치의 동작음

- (3) 절연유 냉각 펌프와 팬의 동작음
- (4) 부하시 탭절환기의 동작음
- (5) 활선정유장치의 동작시 발생하는 음
- (6) 비, 싸라기 눈, 우박, 모래, 바람의 충돌음

이중 변압기의 철심에 의한 진동은 구조강판의 자기 현상에 의한 진동, 철심의 이음새 및 간격에서의 자기력에 의한 진동, 권선과 도체간 및 권선간의 전자력에 의한 진동 등이다. 이때 전자력은 전압의 두 배의 주파수에 해당하는 진동을 하므로, 노이즈는 전압의 두 배에 해당하는 120[Hz] 주파수와 그 고조파 성분이 발생하며, 주로 120~500[Hz]의 저주파수가 주된 성분이다.

또한 개폐장치의 동작음은 변압기의 연속음에 대해 간헐적으로 발생하는 노이즈이며, 소호방식이나, 조작 방식에 따라 소음의 성질이 다르다. 그러나 변압기에서의 노이즈는 연속적인데 비하여, 개폐장치는 빈도가 적고 간헐적인 노이즈이므로, 변압기 내부의 부분방전과의 구별은 크게 문제가 되지 않는다.

2.2 외부 코로나에 의한 초음파 신호

본 연구에서 시험에 이용된 변압기는 345[kV]급이며, 용량은 167[MVA] 내철형으로, 1995년 6월 설치되어 4년동안 운전되고 있는 변압기이다.

시험에 사용된 초음파 센서는 20[kHz]~2.2[MHz] 주파수 대역의 광대역 센서이며, 초음파 센서에서 출력된 신호는 100[Hz]~20[MHz] 대역의 광대역 프리앰프를 이용하여 40[dB] 증폭하여 오실로스코프로 분석하였다.

초음파 센서는 2개를 이용하였으며, 센서 1은 변압기 권선측 외함으로, 하부에서 1,000[mm], 측면에서 1,700 [mm]의 브레이스 중간위치에 부착하고, 변압기에서 발생하는 노이즈가 발생위치에서의 신호와 변압기 외함을 전달하여 측정되는 신호를 비교하였다.

센서 1 : B상 변압기 측면(권선측): 1,000(W), 1,700(H)
 센서 2 : B상 변압기 외함 앞측(철심측)

- A상 변압기 외함
- GIS 모선 외함
- B상 변압기 Pump

측정 당시의 날씨는 아주 흐린 상태였으며, 측정후 반에는 빗방울이 가끔 떨어지기도 하였다.

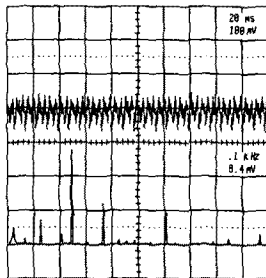


그림 1. 철심진동에 의한 노이즈

그림 1은 변압기 외함에 부착한 초음파 센서에 상시 측정되는 철심진동에 의해 발생하는 기본 노이즈 성분으로, 2.1절에서 논의한 바와 같이 노이즈는 전압의 두 배에 해당하는 120[Hz]와 그 고조파 성분인 240, 360[Hz]의 주파수가 두드러지게 나타났으며, 2.5[kHz] 이상의 주파수는 나타나지 않았다.

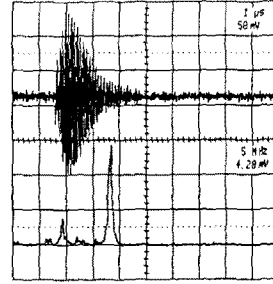


그림 2. 가공 송전선 코로나에 의한 초음파 신호

그림 2는 가공 송전선에서 발생한 코로나에 의한 전류신호가 초음파 센서에 측정된 것으로, 초음파 파형의 주파수 대역은 약 9[MHz]와 18[MHz] 대역에서 피크치를 나타내었다. 이러한 초음파 신호가 측정될 당시의 현장 상황은 변압기로 연결되는 가공선과 급구류에서 코로나 음이 발생하였으며, 코로나 음과 측정되는 초음파 신호는 동기되어 나타났다.

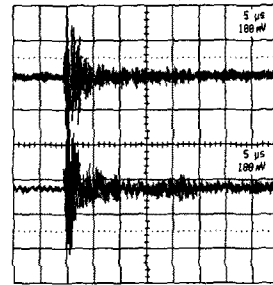


그림 3. A상 및 B상에서 측정된 초음파 노이즈

그림 3은 센서 1은 B상 변압기에 설치하고, 센서 2는 A상 변압기에 설치하였을 때 측정된 초음파 파형으로, 서로 떨어져 있는 변압기임에도 불구하고, 초음파 신호는 같은 시각에 측정되어 노이즈의 발생원이 같은 것임을 알 수 있다.

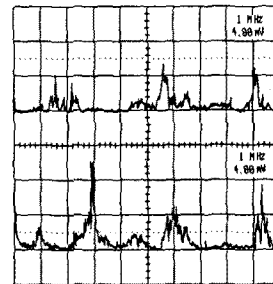


그림 4. 그림 3의 FFT

그림 4는 그림 3의 초음파 신호를 FFT한 것으로, 주파수 대역은 3, 6, 9.4[MHz] 대역을 중심으로 약간 차이가 발생하였다. 이러한 현상은 코로나에 의해 발생한 전기적인 펄스가 가공선이나, 변압기 외함을 전달하는 동안 임피던스의 차이로 인하여 특성이 변화된

것으로 해석된다.

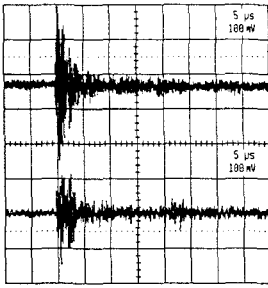


그림 5. 외부 코로나

그림 5는 센서 1은 B상 변압기에 설치하고, 센서 2는 GIS 모선 외함에 설치하였을 때 측정된 초음파 신호로, 그림 3과 같이 초음파 신호는 동시에 측정되었다.

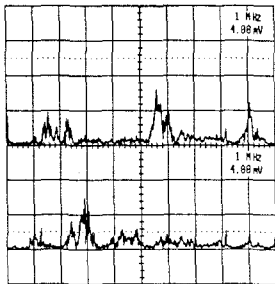


그림 6. 그림 34의 FFT

그림 6은 그림 5의 초음파 신호를 FFT한 것으로, 주파수 대역은 센서 1은 그림 4와 같이 3, 6, 9[MHz] 대역을 중심으로 발생하였으며, 센서 2에서의 초음파 신호는 3[MHz] 대역을 중심으로 발생하였다.

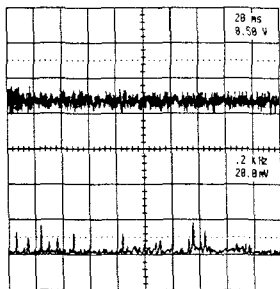


그림 7. 냉각 펌프가 동작할 때의 노이즈

그림 7은 절연유 냉각용 펌프가 동작할 때 펌프의 외부에 설치한 초음파 센서에서 측정된 노이즈이다. 펌프가 동작하지 않을 때의 기본 노이즈 성분은 그림 1의 변압기 외함에서 측정된 철심진동에 의한 노이즈 성분과 비슷하다. 그림 7은 그림 1에 비하여 신호의 크기만 조금 크게 나타났으며, 주파수 대역은 2[kHz]

이하의 대역에서만 발생하였다. 또한 펌프에 동작에 의한 노이즈는 변압기 외함에는 거의 전달이 되지 않았다.

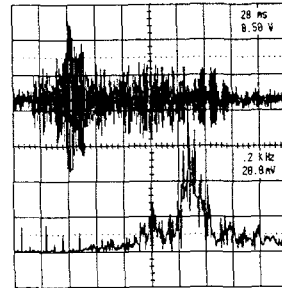


그림 8. 냉각펌프의 마그네트 스위치 동작시의 노이즈

그림 8은 냉각 펌프의 마그네트 스위치가 동작할 때 조작함에서 발생하는 노이즈 성분으로 약 1.3[kHz] 대역을 중심으로 초음파 신호가 측정되었으며, 이 신호 역시 변압기 외함에는 거의 전달이 되지 않았다. 또한 약 50[m] 거리에서의 굴착기 소리나 100[m] 거리에서의 그라인더 소리는 변압기 외함에 설치한 초음파 센서에 영향이 없었다.

3. 결 론

본 논문에서는 운전중인 345[kV] 변압기에서 발생하는 각종 초음파 노이즈 성분을 측정하여 그 주파수 대역을 분석하였다.

345kV 변전소의 변압기 외부의 코로나에 의한 초음파 신호는 약 1[MHz] 이상의 대역에서 발생하였으며, 철심의 진동에 의한 노이즈는 2.5[kHz] 이하의 대역의 주파수를 발생하였다. 또한 냉각 펌프나 마그네트 스위치의 동작시에는 변압기 외함에 부착한 초음파 센서에 영향이 나타나지 않았다. 따라서 이러한 외부 노이즈는 변압기 내부의 부분방전에 의한 20~200[kHz][4]의 초음파 신호와 주파수 대역이 확연히 다르므로, 초음파 측정장치의 필터로 제거 가능함을 확인하였다.

향후 OLTC의 동작시에 나타나는 초음파 노이즈의 성분과 옥내 변압기와 옥외 변압기를 상호 비교, 분석할 예정이다.

[참 고 문 헌]

- [1] "New insulation diagnostic and monitoring techniques for in-service HV apparatus," D.M. Allan, et. al., International Conference on Properties and Applications of Dielectric Materials, Vol.1, pp.448-451, 1991
- [2] 권동진 외, "초음파 신호 수의 이동평균에 의한 전력용 변압기의 예방진단," 대한전기학회 논문지, Vol.45, No.3, pp.432~437, 1996.
- [3] "變壓器の豫防診断の技術とその現状動向," 日本電氣學會技術報告, II部 第344號, pp.32~33, 1990
- [4] 권동진 외, "변압기 내부 부분방전과 외부 코로나에 의한 초음파 신호 대역," 대한전기학회 방전및 고전압연구회 논문집, pp.270~272, 1999