

# 변압기 부분방전과 노이즈에 의한 초음파 신호 분석

## Analysis of the Ultrasonic Signals by the Partial Discharge and Noises from the Transformer

權 東 震\* · 鄭 吉 朝\*\* · 陳 相 範\*\*\* · 郭 熙 魯§

(Dong-Jin Kweon · Gil-Jo Jung · Sang-Bum Chin · Hee-Ro Kwak)

**Abstract** - The partial discharge detecting method using the ultrasonic technique has been investigated to monitor the insulation ageing of a transformer. However, the result of the studies on the ultrasonic technique for detecting of partial discharge in the operating transformer is not enough yet to utilize. This paper presents the analysis of the ultrasonic signals due to the partial discharge in a model transformer and the corona in air at a shielded high voltage room. In addition, the ultrasonic signals due to the vibration from the core, operation of the cooling pump, the fan and the OLTC at the 345kV power transformer, were analyzed and corona noise from overhead transmission line in 345kV substation were measured to remove the electrical and mechanical noises from the transformer. Furthermore, ultrasonic signal due to the partial discharge in the 154kV power transformer with in C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> gas warning condition was measured. The inside of the transformer was examined with care, which confirms the existence of the partial discharge source.

**Key Words** : Transformer, Partial discharge, Ultrasonic, Corona, Noise

### 1. 서 론

변압기 내부에서 발생하는 부분방전을 검출하기 위하여, 변압기 부상 탭이나 접지선에서 부분방전에 의한 전류펄스를 검출하는 전기적인 방법과 변압기 외함에서 부분방전에 의한 초음파 신호를 검출하는 음향적인 방법이 연구되어져 왔다. [1~4] 국내에서도 초음파 측정기법에 관한 연구가 10여년 전부터 수행되어 왔으며, 초음파 측정장치의 개발과 더불어 실험실에서 모의 변압기와 22.9kV 변압기를 이용하여 적용 가능성을 제시하여 왔다.[5~7] 그러나 국내에서는 초음파 측정 기술을 이용한 변압기 부분방전 측정기법에 관한 연구에서 아직까지 현장에서 운전중인 변압기를 대상으로 한 효과적인 연구결과가 제시되지 못하여, 실험실에서는 가능하나 현장 적용은 어려운 기술로 인식되어 있다.

지금까지 변압기 내부 부분방전에 의한 초음파 신호와 변압기 외부 노이즈에 의한 초음파 신호를 분석한 연구결과는 EPRI의 연구보고서 "Acoustic Emission Detection of Partial Discharge in Power Transformer"[8], "전력설비 사고예방 및 진단시스템 개발에 관한 연구"[9] 및 Physical Acoustics Co.(PAC)의 "Mistras 2001 AEDSP32/16" User's Manual[10]을 대표적으로 들 수 있다. 그 중 EPRI의 연구결과에 의하면, 변압기의 전자력에 의한 초음파 신호는 20~70kHz 대역에서 발생하며, 변압기 내부 부분방전에 의한 초음파 신호는

100~250kHz 대역에서 발생하고, 그 중 약 150kHz에서 최대치를 발생하는 것으로 나타나 있으며, 국내에서는 일반적으로 이 연구결과를 인용하고 있다. 국내에서는 1993년 154kV 변압기를 대상으로 현장측정을 실시하였으나[9], 연구보고서에는 부분방전과 노이즈에 의한 초음파 신호의 주파수 대역을 포함한 구체적인 연구결과가 제시되어 있지 않으며, PAC의 User's Manual에는 초음파 측정장치를 변압기의 점검시에 적용하여 다수의 부분방전 검출사례를 제시하고 있으나, 여기에서도 초음파 신호의 특성 등에 관한 구체적인 내용에 대해서는 언급되어 있지 않다.

본 연구에서는 운전중인 변압기에서 발생하는 각종 전기적, 기계적인 초음파 노이즈의 제거대책을 수립하기 위하여, 먼저 실험실의 모의 변압기를 이용하여 변압기 내부에서 발생하는 부분방전에 의한 초음파 신호의 특성을 파악하고, 모의 변압기 외부의 공기중에서 발생하는 코로나에 의한 초음파 신호를 분석하였다. 또한 운전중인 345kV 변압기에서 철심에 의한 진동, 냉각 펌프, 팬 및 부하시 탭 절환기의 동작 등에 의한 초음파 신호를 분석하였으며, 가공송전선에서 발생하는 코로나 노이즈에 의한 초음파 신호를 분석하였다. 또한 C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> 가스가 요주의 상태로 운전중인 154kV 변압기에서 내부 부분방전에 의한 초음파 신호를 측정하고, 변압기의 내부를 정밀 점검하여 부분방전의 발생을 확인하였다.

### 2. 본 론

#### 2.1 모의 변압기 내부 부분방전에 의한 초음파 신호

본 연구에서는 변압기 내부에서 발생하는 부분방전에 의한

\* 正 會 員 : 韓 電 電 力 研 究 院 先 任 研 究 員 · 工 博

\*\* 正 會 員 : 韓 電 電 力 研 究 院 責 任 研 究 員 · 工 博

\*\*\* 正 會 員 : 崇 實 大 學 校 電 氣 工 學 科 博 士 課 程

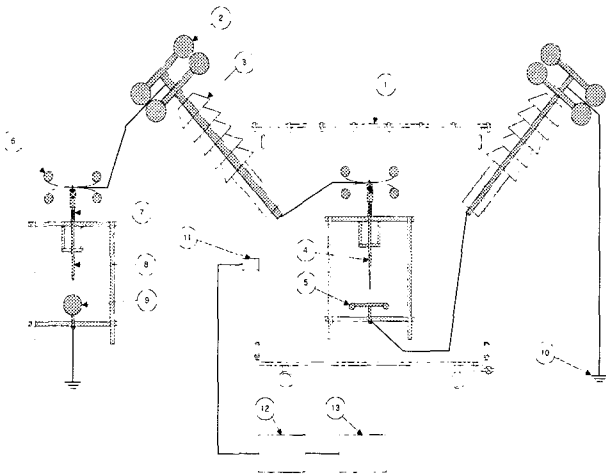
§ 正 會 員 : 崇 實 大 學 校 電 氣 工 學 科 教 授 · 工 博

接 受 日 字 : 2002年 4月 22日

最 終 完 了 : 2002年 7月 18日

초음파 신호의 특성을 파악하기 위하여, 모의 변압기 내부에 침-평판 전극을 이용하여 부분방전을 발생시키고, 모의 변압기 외함에서 측정된 초음파 신호와 그 주파수 대역을 분석하였다.

실험실용 모의 변압기는 고전압 발생장치, 모의 변압기 탱크, 부분방전을 발생시키기 위한 침-평판전극, 공기중에서 코로나를 발생시키기 위한 봉-구전극으로 구성되어 있으며, 초음파 측정시스템은 초음파 센서, 프리앰프, 초음파 측정장치 및 오실로스코프로 구성되어 있다.



①Model Transformer ②Corona ring ③Bushing ④Needle Electrode ⑤Plane Electrode ⑥Corona ring ⑦Micrometer ⑧ Rod electrode ⑨Sphere electrode ⑩Earth ⑪Ultrasonic Sensor ⑫Ultrasonic detector ⑬Oscilloscope

그림 1 모의 변압기를 이용한 실험장치의 구성  
 Fig. 1 Configuration of the experimental apparatus using a model transformer

그림 1은 모의 변압기를 이용한 초음파 측정 실험장치의 구성도이다. 모의 변압기 내부에는 침-평판전극이 절연유에 함침되어 부분방전을 발생한다. 침전극에는 고전압 발생장치에서 코로나 링을 통하여 고전압이 인가되고, 평판전극은 또 하나의 코로나 링을 통하여 접지되어 있다. 고전압 발생장치는 400kV, 0.5A의 시험용 변압기(Test Transformer)로 부분방전 측정기(0~999pC/nC 40~400kHz)가 구비되어 있다. 모의 변압기는 침-평판전극과 외함 사이에서 부분방전이 발생하지 않도록 1,500(W)×1,500(D)×1,200(H)mm의 크기로 제작하였다. 전원 리드는 코로나 링 사이에 접속되도록 하여 접속 부분에서 부분방전이 발생하지 않도록 하였으며, 전극 이외 부분에서의 부분방전은 실험실 환경의 노이즈 레벨인 4pC 이하가 되도록 제작하였다. 침-평판전극의 침전극과 평판전극 사이의 간격을 25mm로 설치하였다. 이때 침전극에 사용되는 침의 구경은 10 $\mu$ m, 길이는 60mm를 사용하였으며, 평판전극은 간이 로고우스키 코일 형태로 직경 130mm로 제작하였다. 또한 운전중인 변압기에서 가공 송전선로나 금구류에서 발생하는 외부 코로나는 봉-구전극으로 모의하였다. 봉의 직경을 10mm, 구전극의 직경을 35mm로 제작하였으며, 봉전극과 구전극의 간격은 40mm로 설치하였다.

모의 변압기 외함에서 변압기 내부의 부분방전에 의한 초

음파 신호를 측정하기 위한 초음파 센서는 미국 Vallen사의 20kHz~2.2MHz 주파수 대역의 광대역 센서(Model AE1045 S)를 사용하였으며, 초음파 센서에서 출력된 신호는 일본 NF사의 100Hz~20MHz 대역의 광대역 프리앰프(Model 9913)를 이용하여 40dB 증폭하여 초음파 측정장치로 전송하였다. 초음파 측정장치의 신호처리부에는 오실로스코프를 연결하여 초음파 신호를 정밀하게 분석하였다.

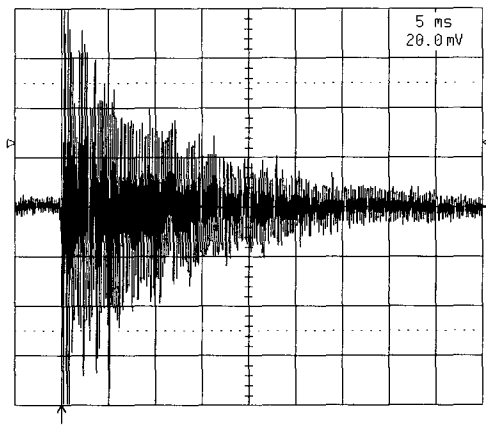


그림 2 변압기 내부 부분방전에 의한 초음파 신호  
 Fig. 2 Ultrasonic signal by the partial discharge in transformer

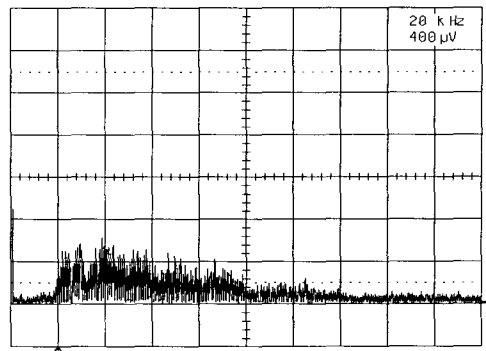


그림 3 변압기 내부 부분방전에 의한 초음파 신호의 주파수 스펙트럼  
 Fig. 3 Frequency spectrum of the ultrasonic signal by the partial discharge in transformer

그림 2는 침-평판 전극을 이용하여 변압기 내부에서 부분방전이 발생할 경우에 변압기 외함에서 측정된 초음파 신호의 파형으로, 이 때 전극에 인가한 전압은 26kV이다. 그림 2와 같이 변압기 내부의 부분방전에 의한 초음파 신호는 입상 시간이 급준하고, 반사파의 영향으로 지수함수적으로 감쇄하는 전형적인 초음파 파형을 나타내었으며, 길이는 약 30ms를 나타내었다. 그림 3은 그림 2의 초음파 신호를 주파수 영역에서 분석한 스펙트럼으로, 변압기 내부의 부분방전에 의한 초음파 신호는 약 20~200kHz 범위의 주파수 대역을 나타내었다.

2.2 모의 변압기 외부 코로나에 의한 초음파 노이즈

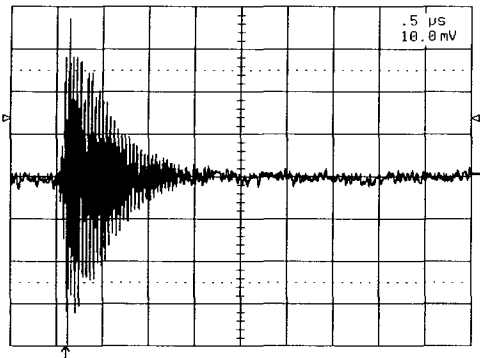


그림 4 변압기 외부 코로나에 의한 초음파 신호  
Fig. 4 Ultrasonic signal by outer corona of the transformer

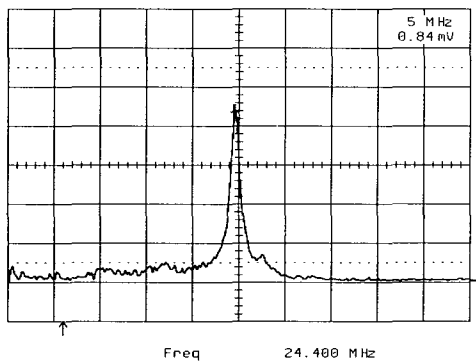


그림 5 외부 코로나에 의한 초음파 신호의 주파수 스펙트럼  
Fig. 5 Frequency spectrum of the ultrasonic signal by outer corona

모의 변압기 외부에 봉-구전극을 이용하여 공기중에서 코로나 노이즈를 발생시키고, 코로나 노이즈에 의한 초음파 신호의 특성을 분석하였다. 그림 4는 봉-구전극에서 코로나를 발생시킬 경우에 변압기 외함에 설치된 초음파 센서에서 측정된 신호로, 코로나에 의한 초음파 신호는 그림 2의 부분방전에 의한 초음파 신호에 비해 잔향이 급속히 감쇄하는 형태를 나타내었으며, 파형의 길이는 약 1.5μs를 나타내었다. 이는 그림 2의 부분방전에 의한 초음파 신호의 시간영역에서는 단일 펄스의 형태로 나타난다. 그림 5는 그림 4의 신호를 주파수 영역에서 분석한 스펙트럼으로, 코로나 노이즈에 의한 초음파 신호는 24.4MHz 대역을 나타내었다. 이와 같이 변압기 내부의 부분방전과 외부의 코로나 노이즈에 의한 초음파 신호는 파형의 길이와 주파수 대역에서 큰 차이가 있으며, 이러한 주파수 대역의 차이는 초음파 측정장치의 필터를 적절히 설계함으로써 쉽게 제거할 수 있음을 알 수 있다.

2.3 운전중인 변압기에서의 초음파 신호

변압기 내부의 부분방전을 측정하기 위하여 변압기 외함에 초음파 센서를 부착할 경우, 초음파 센서에는 변압기 내부의 부분방전에 의한 초음파 신호뿐만 아니라, 변압기 외부의 코로나 및 각종 기계적인 노이즈에 의한 초음파 신호가 측정된다. 운전중인 변압기에서 발생할 수 있는 초음파 노이즈는 크게 기계적 노이즈, 전자파 노이즈 및 전기적 노이즈로 구분할 수 있다. 운전중인 변압기에서 발생하는 기계적 노이즈로는 철심 여자에 의한 진동음, 절연유 냉각 펌프와 팬에 의한 진동음, 부하시 탭 절환기의 동작에 따른 진동음, 환선정유장치에 의한 진동음, 개폐장치의 동작음 및 비, 싸라기 눈, 우박, 모래 등의 충돌음을 예상할 수 있다. 그러나 개폐장치의 동작음 및 비, 싸라기 눈, 우박, 모래 등의 충돌음은 빈도가 적은 간헐적인 노이즈이므로, 변압기 내부의 부분방전과의 구별은 크게 문제가 되지 않는다.

방송파 등의 각종 전파는 송전선에 침입하거나, 측정회로에 유도되어 전자파 노이즈로 작용한다. 방송파로는 TV파와 라디오파가 있으며, TV파는 VHF, UHF, SHF로 구분된다. 국내에서 TV 방송용으로 할당된 주파수 대역은 채널당 6MHz의 대역폭을 가지며, 주파수는 VHF는 30~300MHz, UHF는 300~3,000MHz, SHF는 3~30GHz 대역이며, 현재 국내에서는 CH 2의 54~60MHz부터 CH 60의 746~752MHz 대역을 사용하고 있다. 또한 라디오 파는 지역에 따라 차이가 있으나, 일반적으로 AM은 500~1,500kHz, FM은 90~100MHz 대역이다. 따라서 이러한 방송파는 그림 3과 같이 변압기 내부의 부분방전에 의한 초음파 신호대역과는 크게 차이가 있으므로, 방송파는 초음파 측정장치의 필터를 이용하여 쉽게 제거할 수 있다.

변전소에서의 전기적인 노이즈로는 가공 송전선로에서의 코로나에 의한 기중 방전 펄스, 부상 등의 표면으로의 누설전류에 의한 펄스, 회로개폐 조작시의 방전 노이즈 등이다. 이중 기중 코로나 방전 펄스에 의한 노이즈는 고전압 송전선의 코로나, 변압기 이외의 기기나 비접지 금속물체의 유도전압에 의한 스파크 등이 있을 수 있으며, 이러한 노이즈는 기상 조건에 따라 크게 변화한다. 계통에 접속된 개폐장치(차단기, 단로기 등)의 조작시에 발생하는 개폐 서지가 송전선을 전달하여 측정회로에 유도되는 회로 개폐시의 노이즈는 빈도가 적고, 단발적인 형태가 많으므로, 제거에 큰 문제가 없다.

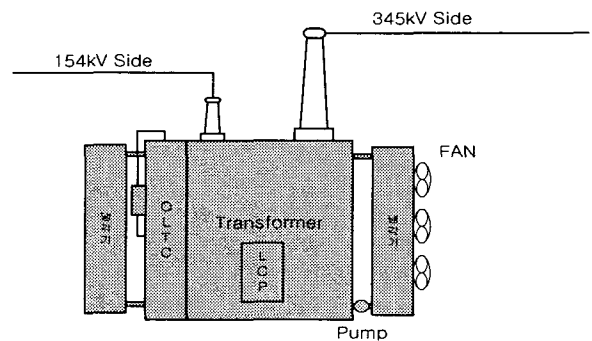


그림 6 운전중인 변압기에서 실험장치의 구성  
Fig. 6 Configuration of the experimental equipments at the operating transformer

따라서 본 연구에서는 부분방전에 의한 초음파 신호를 측정할 경우에 문제가 될 수 있는 철심 여자에 의한 진동음, 절연유 냉각 펌프와 팬에 의한 진동음, 부하시 탭 절환기의 동작에 따른 진동음, 환선정유장치의 동작에 의한 진동음 등의 기계적 노이즈와 가공 송전선로에서의 코로나에 의한 기중방전 펄스에 의한 초음파 노이즈를 운전중인 345kV 변압기에서 측정하였다.

그림 6은 본 연구에 사용된 운전중인 변압기에서의 실험장치의 구성을 나타낸 것으로, 운전중인 345kV 변압기는 167MVA 용량의 내철형으로, 1995년 6월에 설치되어 운전되고 있는 변압기이다.

2.3.1 기계적 노이즈에 의한 초음파 신호

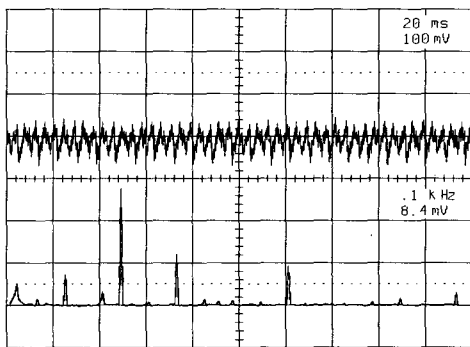


그림 7 변압기 외함 진동에 의한 초음파 노이즈  
Fig. 7 Ultrasonic noise by vibration of the transformer tank

그림 7은 변압기 외함에 부착한 초음파 센서에서 측정된 외함 진동에 의해 발생하는 초음파 노이즈 신호로, 그림 7에서 상단의 신호는 초음파의 파형이며, 하단의 신호는 이를 주파수 분석(FFT)한 것이다. 변압기 외함이 진동하는 원인으로서는 구조강관의 자기현상에 의한 진동, 철심의 이음새 및 간격에서의 자기력에 의한 진동, 권선과 도체간 및 권선간의 전자력에 의한 진동 등이다. 이러한 전자력에 의한 진동은 전압의 두 배 주파수에 해당하는 진동을 하므로, 상용 주파수 60Hz의 두 배에 해당하는 120Hz와 그 고조파 성분인 240, 360Hz의 주파수가 두드러지게 나타났으며, 2.5kHz 이상의 주파수는 나타나지 않았다. 따라서 변압기의 진동에 의해 발생하는 초음파 노이즈는 그림 3의 부분방전에 의한 초음파 신호와 확연히 구별되므로, 필터회로를 이용하여 제거할 수 있음을 알 수 있다.

그림 8은 초음파 센서를 절연유 냉각용 팬의 모터 위에 설치하고 팬이 동작할 때 측정된 초음파 신호로, 초음파 신호의 주파수 대역은 4kHz 이하로 나타났다. 그러나 이 신호는 변압기 외함에 설치한 초음파 센서에는 전달되지 않았다.

그림 9는 초음파 센서를 절연유 냉각용 펌프 위에 설치하여 측정된 초음파 신호로, 펌프가 동작하지 않을 때의 노이즈는 그림 7의 변압기 외함에서 측정된 철심진동에 의한 노이즈 성분과 비슷하며, 펌프가 동작할 때의 초음파 신호는

2kHz 이하의 주파수 대역에서만 발생하였다. 또한 펌프의 동작에 의한 초음파 노이즈도 변압기 외함에 설치한 초음파 센서에는 전달되지 않았다.

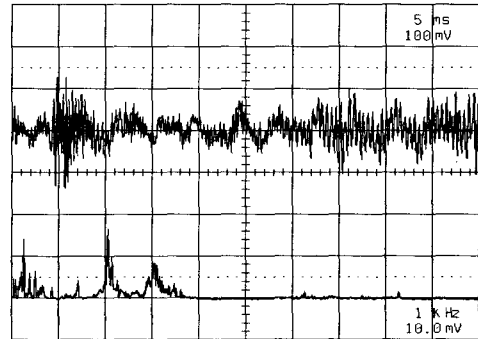


그림 8 냉각 팬 동작에 의한 초음파 노이즈  
Fig. 8 Ultrasonic noise by the fan operation

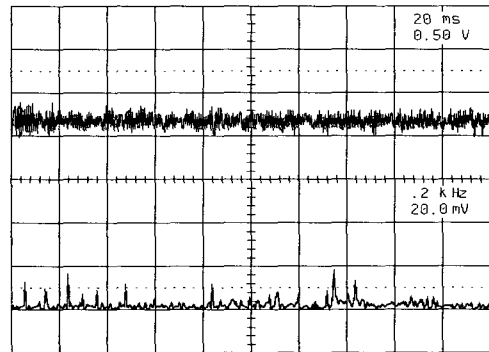


그림 9 냉각 펌프 동작에 의한 초음파 노이즈  
Fig. 9 Ultrasonic noise by the pump operation

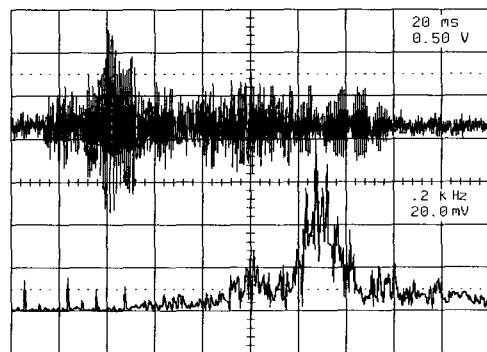


그림 10 냉각 팬이나 펌프의 전자접촉기 동작에 의한 초음파 노이즈  
Fig. 10 Ultrasonic noise by the magnet switch operation of the fan or pump

그림 10은 냉각용 팬이나 펌프의 마그네트 스위치 접점이 동작할 때 현장조작함(local control panel)에 설치한 초음파

센서에서 측정된 초음파와 노이즈로, 초음파 신호의 파형 길이는 그림 2의 부분방전에 의한 초음파 신호와 비슷하게 나타났으나, 그림 2에 비해 입상시간이 길고, 주파수는 약 1.3kHz 대역을 중심으로 2kHz 이하로 나타났다. 이 신호 역시 변압기 외함에 설치한 초음파 센서에는 전달되지 않았다.

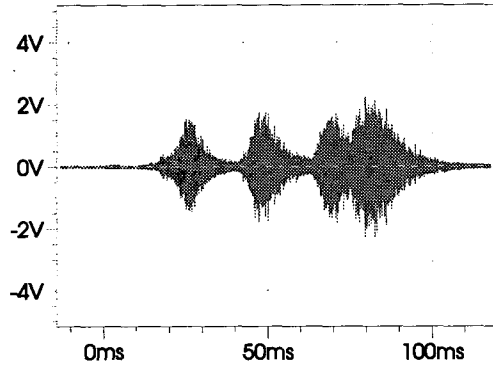


그림 11 부하시 탭 절환기 동작에 의한 초음파 노이즈  
Fig. 11 Ultrasonic noise by the OLTC operation

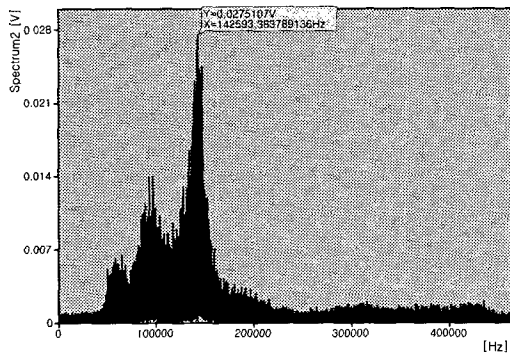


그림 12 부하시 탭 절환기 동작에 의한 초음파 신호의 주파수 스펙트럼  
Fig. 12 Frequency spectrum of the ultrasonic signal by OLTC operation

그림 11은 초음파 센서를 부하시 탭 절환기의 외함에 설치하여 부하시 탭 절환기가 동작할 때의 초음파 신호이며, 그림 12는 이 신호를 주파수 분석한 것으로, 이 신호는 변압기 외함에 설치한 초음파 센서에도 전달되어 나타났다. 이때 부하시 탭 절환기는 9번 탭에서 10번 탭으로 이동할 경우였으며, 탭의 위치에 상관없이 그림 11과 같은 신호가 측정되었다. 그림 11과 같이 부하시 탭 절환기의 동작시의 초음파 신호의 파형은 약 45~50ms 길이의 초음파 신호 4개가 연속적으로 측정되었으며, 이는 부하시 탭 절환기의 다이버터 스위치(Diverter Switch)의 접점이 4개(주 접점 2개와 전이저항의 접점 2개)로 이루어져 있기 때문이다. 부하시 탭 절환기의 동작에 의한 초음파 신호의 주파수 대역은 143kHz 중심 주파수로 50~250kHz 범위로 나타나, 그림 2와 그림 3의 변압기 내부 부분방전과 유사한 형태를 나타내었다. 이는 부하시 탭 절환기의 접점이 동작할 때 아크가 발생한 것이므로, 변압기 내부의 부분방전과 같은 성분인 것이 당연하다. 따라서 부하

시 탭 절환기의 동작시에 나타나는 초음파 신호는 변압기 내부 부분방전을 측정하기 위한 초음파 측정에 영향을 미치게 되므로, 이를 제거하기 위한 특수한 알고리즘이 필요한 것으로 나타났다. 그러나 그림 2의 부분방전에 의한 초음파 신호에 비하여 그림 11의 부하시 탭 절환기가 동작할 때의 초음파 신호의 파형은 입상시간이 상당히 길게 나타나 거의 다이아몬드 형태를 나타내고 있다. 따라서 이와 같은 초음파 신호의 형태를 이용하면 변압기 내부의 부분방전에 의한 초음파 신호와 OLTC의 동작에 의한 초음파 신호를 구별할 수 있을 것이다.

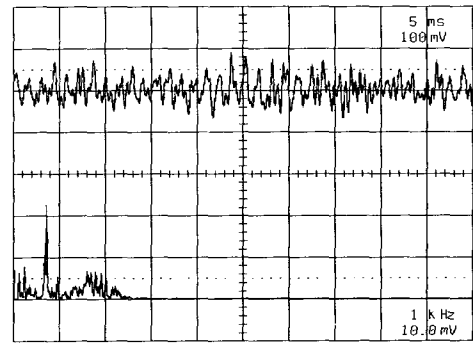


그림 13 활성정유장치 동작에 의한 초음파 노이즈  
Fig. 13 Ultrasonic noise by the OLTC filtering unit operation

그림 13은 초음파 센서를 활성정유장치에 설치하고 측정된 초음파 신호와 이 신호를 주파수를 분석한 것으로, 활성정유장치의 동작에 의한 초음파 신호는 1kHz 이하의 대역에서만 발생하였으며, 이 신호는 변압기 외함에 전달되지 않았다.

### 2.3.2 코로나 노이즈에 의한 초음파 신호

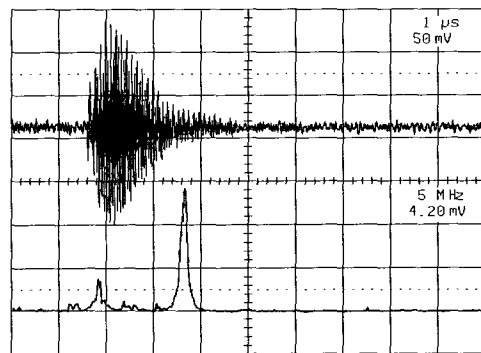


그림 14 가공송전선의 코로나에 의한 초음파 신호  
Fig. 14 Ultrasonic signal by the corona of the overhead transmission line

그림 14는 운전중인 345kV 변전소에서 변압기와 연결된 345kV 가공 송전선에서 발생한 코로나에 의한 전류신호가 초음파 센서에 측정된 것으로, 그림 4의 실험실의 공기중에서

발생하는 코로나에 의한 초음파 신호와 비슷하게 초음파 신호의 길이는 약 3 $\mu$ s, 주파수 대역은 약 9MHz와 18MHz 대역에서 나타내었다. 이러한 초음파 신호가 측정될 경우, 변압기로 연결되는 가공선과 금구류에서 발생하는 코로나 방전음과 측정되는 초음파 신호는 동기되어 나타났다. 이와 같이 가공송전선에서 발생한 코로나에 의한 초음파 신호는 그림 3의 변압기 내부에서 발생하는 부분방전과 큰 차이가 있으므로, 이는 초음파 측정장치의 필터를 적절히 설계함으로써 제거할 수 있다.

**2.3.3 부분방전에 의한 초음파 신호**

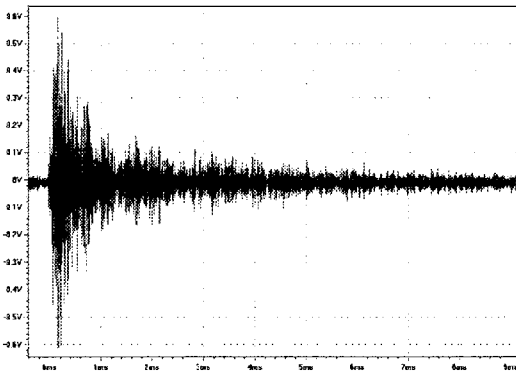


그림 15 운전중인 변압기에서의 부분방전에 의한 초음파 신호

Fig. 15 Ultrasonic signal by the partial discharge at the operating transformer

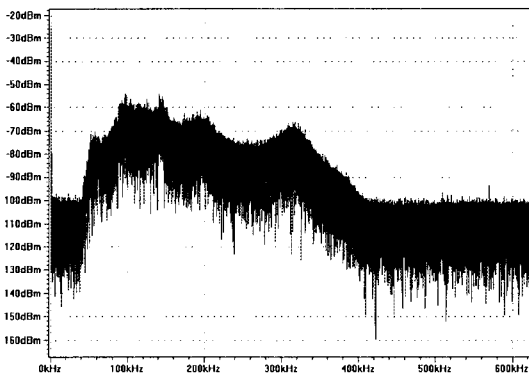


그림 16 운전중인 변압기에서의 부분방전에 의한 초음파 신호의 주파수 스펙트럼

Fig. 16 Frequency spectrum of the ultrasonic signal by the partial discharge at the operating transformer

본 연구에서는 C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> 가스가 요주의 기준 이상으로 발생하고 있는 상태로 운전중인 154kV 변압기에서 부분방전에 의한 초음파 신호를 측정하고, 변압기를 정밀 점검하여 부분방전의 발생여부를 확인하였다. 초음파 센서는 변압기 외함에 6개를 부착하였으며, 일정레벨 이상의 초음파 파형을 자동으로 저장하기 위하여 파형 레코더를 초음파 측정장치에 연결하였다. 측정 대상 변압기는 1998년부터 운전되고 있는 변압기로, 2001년 1월부터 C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> 가스가 요주의 기준 이상으로 발생하고 있는 상태였다. 변압기에서 C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> 가스가 발생하는 주

요 요인은 코일단락 등의 아크방전이 많으며, 절연유층 방전이나 고체 절연물에서의 방전현상으로, 변압기 내부에서 부분방전이 발생할 가능성이 많은 변압기이다.

그림 15는 변압기 외함에서 측정된 초음파 신호를 대표적으로 나타낸 것으로, 운전중인 154kV 변압기에서 내부 부분방전에 의한 초음파 신호의 길이는 약 6.8ms를 나타내었다. 그림 15는 그림 2의 실험실에서 모의 변압기를 이용하여 부분방전을 발생시켰을 경우에 측정된 초음파 신호에 비하여 파형의 잔향부분이 감쇄되어 나타났으며, 파형의 길이도 30ms에 비하여 짧게 나타났다. 이는 모의 변압기에는 절연유만 채워진 상태로 잔향의 감쇄가 비교적 심하지 않았으나, 운전중인 변압기에서는 권선과 철심 등의 변압기 구조물에 의해 잔향이 크게 감쇄되었기 때문으로 판단된다. 또한 60Hz의 상용 주파수의 한주기 시간은 16.7ms로, 만일 한주기 동안에 여러 개의 부분방전이 발생할 경우, 초음파 파형의 중첩으로 인한 신호의 구분에 문제가 있을 것으로 예상되나, 실험실에서나 현장에서의 초음파 신호의 구분은 특별한 문제가 발생하지 않았다. 그림 16은 그림 15의 신호를 주파수 분석한 것으로, 주파수 대역은 50~400kHz로 나타났으며, 100~150kHz 대역에서 가장 신호가 크게 나타났고, 또한 300kHz 대역에서도 큰 신호가 발생하였다.

운전중인 154kV 변압기에서 부분방전에 의한 초음파 신호는 측정시간 약 14시간 동안에 18번이 발생하였으며, 이때 초음파 신호의 도달시간은 가장 큰 신호가 발생된 센서에서 가장 빨리 측정되었다. 이와 같은 결과에 의해 변압기 내부의 부분방전은 OLTC에서 가까운 권선의 상부에서 발생하고 있음을 추정할 수 있었다.

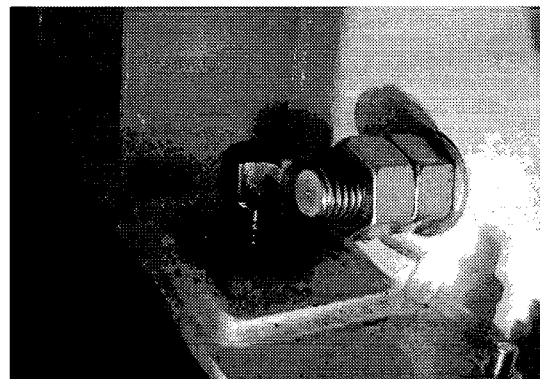


그림 17 부분방전 발생 흔적

Fig. 17 Trace of the partial discharge

초음파 신호의 측정결과와 가스분석 결과를 토대로 변압기의 내부점검을 실시하였다. 변압기의 내부점검은 변압기 절연유를 배유하고, 변압기 내부를 육안으로 점검하였으며, 초음파 신호의 발생위치 추정결과를 토대로 내부점검 5분만에 부분방전의 발생위치를 확인하였다. 부분방전의 발생위치는 권선의 이완을 방지하는 프레스보드의 지지볼트와 단철 사이에서 그림 17과 같이 확인되었다. 부분방전의 원인은 볼트의 풀림으로 인한 플로팅(Floating) 현상으로 분석되었다. 부분방전이 다른 부위에서 발생하는지의 여부를 정밀히 조사하였으나 발견하지 못하였고, 방전흔적을 깨끗이 보수한 후 지금

까지 정상 운전중이다.

### 3. 결 론

본 논문에서는 실험실의 모의 변압기와 운전중인 345kV 변압기 및 C2H2 가스가 요주의 상태로 운전중인 154kV 변압기에서 부분방전과 각종 노이즈에 의한 초음파 신호를 측정, 분석하였다. 모의 변압기 내부에서 발생하는 부분방전에 의한 초음파 신호는 30ms, 20~200kHz를 나타내었으며, 운전중인 154kV 변압기에서 내부 부분방전에 의한 초음파 신호는 약 6.8ms, 50~400kHz로 나타났다. 또한 모의 변압기 외부의 공기중에서 코로나에 의한 초음파 신호는 1.5μs, 24MHz를 나타내었으며, 운전중인 345kV 변전소의 가공 송전선에서 발생하는 코로나 노이즈는 9와 18MHz에서 나타났다. 또한 운전중인 345kV 변압기에서 발생하는 철심에 의한 진동음은 120, 240Hz가 주된 성분으로 2.5kHz 이하를 나타내었고, 냉각 펌프에 의한 진동음은 2kHz 이하, 냉각 팬에 의한 진동음은 4kHz 이하를 나타내었으며, 냉각펌프와 냉각 팬의 마그네트 스위치 접점이 동작할 때의 초음파는 1.3kHz 이하로 나타났다. 활선정유장치의 동작음은 1kHz 이하를 나타내었다. 따라서 이러한 전기적 및 기계적인 외부 노이즈는 변압기 내부의 부분방전에 의한 초음파 신호와 확연히 다르므로, 초음파 측정장치의 필터로 제거가 가능함을 확인하였다. 그러나 부하시 탭 절환기 동작음은 약 45~50ms, 143kHz 중심으로 50~250kHz 대역에서 발생하여, 변압기 내부의 부분방전과 같은 대역에서 발생하였다. 이는 부하시 탭 절환기의 접점이 동작할 때 아크가 발생한 것이므로, 변압기 내부의 부분방전과 같은 성분일 수 밖에 없는 것으로, 변압기 내부 부분방전을 측정하기 위해서는 이를 구별하는 특수한 알고리즘이 필요한 것으로 나타났다.

### 참 고 문 헌

[1] H. Kaward et. al., "Partial Discharge Automatic Monitor for Oil-Filled Power Transformer," IEEE Trans. PAS, Vol.103, No.2, pp. 422~428, 1984.  
 [2] "變壓器の豫防診断の技術とその現狀動向," 日本電氣學會技術報告, II部 第344號, pp. 32~33, 1990.  
 [3] 권동진, "온라인 변압기 부분방전 측정기법 적용," 대한전기학회 논문지, Vol.50C, No.8, pp. 394~400, 2001.  
 [4] 권동진 외, "이산 웨이블렛 변환기법을 이용한 변압기 열화신호의 특징추출에 관한 연구," 대한전기학회 논문지, Vol.50C, No.3, pp. 121~129, 2001.  
 [5] 권동진 외, "초음파 센서를 이용한 변압기 예방진단 기술 연구," 한국조명·전기설비학회지, Vol.8, No.2, pp. 46~53, 1994.  
 [6] 권동진, 곽희로, "변압기 예방진단을 위한 초음파 신호 검출에 관한 연구," 한국조명·전기설비학회지, Vol. 9, No. 6, pp. 65~70, 1995.  
 [7] 권동진 외, "초음파 신호 수의 이동평균에 의한 전력용 변압기의 예방진단," 대한전기학회 논문지, Vol.45, No.3, pp. 432~437, 1996.  
 [8] E. Howells, "Acoustic Emission Detection of Partial

Discharge in Power Transformer," EPRI Report, pp. 1-1~11-2, 1985.

[9] 곽희로 외, "전력설비 사고예방 및 진단시스템 개발에 관한 연구," 한전 최종보고서, pp. 1~309, 1993.  
 [10] User's manual, "Mistras 2001 AEDSP32/16," Physical Acoustics Corporation, pp. 1~96, 1996.

## 저 자 소 개



#### 권 동 진(權 東 震)

1963년 1월 20일생. 1986년 서울산업대학교 전기공학과 졸업. 1992년 숭실대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1995년 숭실대학교 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1995년~현재 한전전력연구원 전력계통연구실 선임연구원  
 Tel : 042-865-5874, Fax : 042-865-5844  
 E-mail : djkweon@kepri.re.kr



#### 정 길 조(鄭 吉 朝)

1949년 8월 16일생, 1983년 중앙대학교 전기공학과 졸업. 1995년 연세대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2002년 숭실대학교 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1996년~현재 한전전력연구원 전력계통연구실 송변전기술그룹장  
 Tel : 042-865-5870, Fax : 042-865-5844  
 E-mail : jungkjo@kepri.re.kr



#### 진 상 범(陳 相 範)

191997년 70년 11월 11일생. 1995년 숭실대학교 전기공학과 졸업. 숭실대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 숭실대학교 대학원 전기공학과 박사과정  
 Tel : 02-820-0644, Fax : 02-820-0649  
 E-mail : lina621@yahoo.co.kr



#### 곽 희 로(郭 熙 魯)

1942년 3월 1일생. 1967년 서울대학교 전기공학과 졸업. 1978년 호주 New South Wales 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1986년 중앙대학교 대학원 전기공학과 졸업(박사), 1986년 MIT Visiting Scientist, 현재 숭실대학교 전기공학과 교수  
 Tel : 02-820-0644, Fax : 02-820-0649  
 E-mail : hrkwak@ee.ssu.ac.kr