

超音波 信號 數의 移動平均에 의한 電力用 變壓器 豫防診斷

論文
45~3~15

Preventive Diagnosis of the Power Transformer by the Moving Average of Ultrasonic Signal Number

權 東 震* · 郭 熙 魯[§] · 丁 尙 鎮** · 金 正 夫***
(Dong-Jin Kweon · Hee-Ro Kwak · Sang-Jin Chung · Jeong-Boo Kim)

Abstract - This paper describes a diagnostic technique of power transformers by on-line detection of ultrasonic signals. A trend of partial discharge variation in a real transformer was estimated by counting the number of ultrasonic signals until insulation paper in the point-to-plane electrode is punctured. The number of electrical signals is closely related to the ultrasonic signals generated by partial discharge. 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 ultrasonic signal number caused by partial discharge.

Key Words : Partial Discharge, Ultrasonic, Power Transformer, Trend Analysis, Moving Average

1. 서 론

대용량 전력용 변압기는 전력의 안정공급에 관련된 매우 중요한 설비의 하나로서 그 기능이나 성능을 충분히 확보하여야 하므로 불시적인 사고를 예방하기 위한 보수관리 및 절연진단의 필요성이 증가하고 있다. 따라서 최근에는 설비의 이상징후를 운전상태(on-line)에서 상시 감시하여 장애에 일어날 사태등을 예측하고 그것이 치명적이기 이전에 처리하는 예측보전기술을 중심으로 변하고 있다[1~4].

변압기의 사고를 미연에 방지하기 위하여 예방보전 및 예측보전에 적용되는 감시항목과 센서의 선정 및 적용에는 기기내부의 이상징후를 외부에서 간단한 측정방법으로 조기에 검출할 수 있어야 하며, 센서의 취부에 의해 기기 자체의 신뢰성을 손상하지 않아야 한다. 변압기의 내부이상을 진단하는 방법으로는 부분방전 측정법, 절연유의 특성시험 및 가스분석법, 역률측정법, 저압서어지 시험법 및 진동분석법 등이 있으나[5~6], 변압기를 운전상태에서 진단하는 방법은 유중 가스분석법 외에는 실용화되고 있는 방법이 없는 실정이며[7~9], 유중 가스분석법은 변압기의 이상발생시 일정시간이 경과한 후에야 이상검출이 가능하다는 단점을 지니고 있다. 따라서 선진 각국에서는 변압기와 같은 주요 전력기기에 대한 이상진단 장치 및 알고리즘을 개발 중이나 아직까지 신뢰성이 확보된 상태가 아니며 실용화에는 상당한 연구가 필요한 실정이다[10~12].

변압기의 중대사고 요인인 내부절연 이상은 대부분 부분방전을 수반하므로 부분방전과 절연수명은 깊은 상관관계가 있다고 인정되어 왔다. 부분방전은 이상상태 발생시 다른 징후보다 움

답이 빠른 특성을 지니고 있으므로 부분방전을 지속적으로 감시하면 변압기 사고를 미연에 방지하거나 감소시킬 수 있는 가장 유효한 방식이다. 변압기 내에서 발생하는 부분방전을 검출할 수 있는 방법으로는 부분방전에 의해 발생하는 전류펄스를 검출하거나 초음파 신호를 검출하는 두 가지 방식이 있다. 그러나 운전중인 변압기에는 계통 시스템 구성상의 문제점으로 인해 부분방전에 의한 전류펄스를 검출하는 방법을 현장에 적용하기에는 많은 어려움이 있다. 부분방전에 의해 발생하는 초음파 신호의 검출은 변압기 운전상태에서도 절연이상을 검출할 수 있으므로 변압기의 운전에 미치는 영향을 최소한으로 억제할 수 있다. 지금까지 초음파를 이용한 변압기 진단에 관한 연구는 실험실 상태에서 모의 변압기에 대한 연구가 대부분이며[13~14], 초음파 신호 측정 시스템의 현장적용에는 뚜렷한 실적을 제시하지 못하고 있는 실정이다. 따라서 초음파 신호 측정 시스템을 현장에 적용하기 위해서는 실 변압기에서의 초음파의 특징과 변압기 내 장벽의 영향으로 인한 초음파 신호의 감쇄정도, 부분방전량과의 상관관계 등을 명확히 파악하여야 할 것이다.

본 논문에서는 온라인 적용이 가능한 초음파 측정기법을 이용하여 전력용 변압기를 예방진단하기 위하여 초음파 신호 측정 시스템을 실 변압기에 적용할 경우에 발생될 수 있는 문제점에 대하여 연구하였다. 실 변압기 구조물이 존재할 경우에 초음파 발생장치를 이용하여 부분방전에 의한 초음파와 유사한 초음파를 발생시키고 변압기 외함 각 부분에서 초음파를 측정하고 기준레벨 이상의 초음파 신호를 계수하였다. 권선사이의 절연열화에 의한 부분방전의 진전현상을 모의하기 위하여 절연지가 관통과피되기까지의 전기신호 수와 초음파 신호 수를 계수하여 부분방전의 진전에 따른 전기신호 수와 초음파 신호 수의 상관관계를 고찰하였으며, 부분방전의 진전상황을 명확히 파악하기 위하여 전기신호 수와 초음파 신호 수의 이동평균에 대하여 고찰하여 초음파 신호 수의 시간적인 변화상태를 감시함으로써 부분방전에 의한 절연사고의 예지 가능성을 고찰하였다.

* 正 會 員 : 韓 電 電 力 研 究 員 電 力 研 究 室 研 究 員 · 工 博

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

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

*** 正 會 員 : 韓 電 電 力 研 究 員 765kV 送 電 技 術 研 究 팀 長 · 工 博

接 受 日 字 : 1995 年 10 月 17 日

最 終 完 了 : 1996 年 2 月 12 日

2. 실험장치 및 초음파 신호 측정 시스템

본 논문에서의 실험장치는 고전압 발생장치 및 부분방전 검출기, 실험용 모의 변압기 및 실 변압기, 초음파 발생장치(압전 진동자 및 침-평판전극) 및 초음파 측정장치로 구성하였다. 초음파 신호 측정은 초음파 탐촉자를 모의 변압기 및 실 변압기의 외함에 부착하여 측정하였으며, 측정된 초음파 신호는 초음파 펄스 수 및 관련정보를 수집, 분석하기 위하여 컴퓨터로 전송하였다. 그림 1에 실험장치 및 초음파 신호 측정 시스템의 구성을 나타내었다.

변압기 내부에서 발생하는 부분방전을 임의로 발생시키기 위하여 침-평판전극을 제작하였다. 침과 평판의 간격은 마이크로미터(micrometer)를 이용하여 100[μ m]단위로 0~25[mm]까지 조절할 수 있도록 하였다. 침전극은 교환과 고정이 용이하도록 제작하였으며, 지름 1.1[mm]의 스테인레스를 사용하여 침단의 곡률 반경이 10[μ m]가 되도록 하였다. 평판전극은 스테인레스로 지름 43[mm]의 간이 로고우스키 전극을 제작하였다. 실 변압기는 단상 50[kVA](13,200/230[V]) 적철심형 변압기를 사용하였으며, 전력용 변압기와 같은 형태를 모의하기 위하여 가로 650[mm], 세로 800[mm], 높이 650[mm]의 외함을 제작하였다.

부분방전에 의해 발생하는 초음파 신호를 측정하여 분석하기 위한 초음파 신호 측정 시스템은 초음파 신호를 측정하기 위한 초음파 탐촉자, 미약한 초음파 신호를 전송하기 위한 전치 증폭기(pre-amplifier), 관련신호 처리를 위한 애널로그 처리부, 자료 수집을 위한 디지털 처리부와 응용 프로그램부로 구성하였다. 초음파 신호 측정 시스템의 신호처리도는 그림 2와 같다.

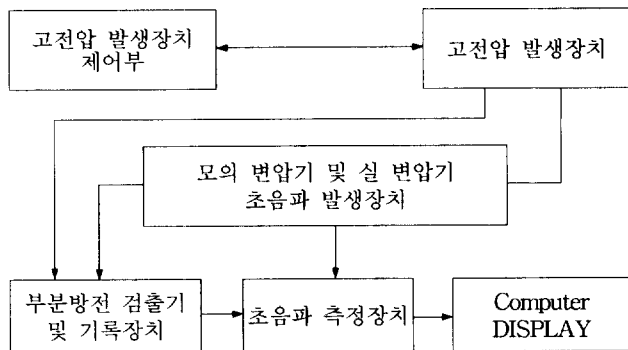


그림 1 실험장치 및 초음파 신호 측정 시스템의 개략도
 Fig. 1 Schematic diagram of the experimental apparatus and ultrasonic signal measuring system

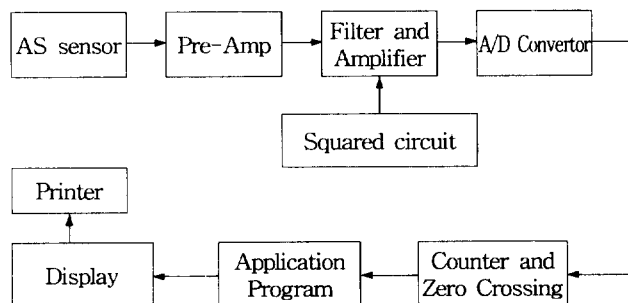


그림 2 초음파 신호 처리도
 Fig. 2 Schematic diagram for ultrasonic signal processing

변압기 외함에서 측정된 초음파 신호의 레벨은 수십[μ V] 정도로 상당히 낮은 상태이다. 따라서 초음파 신호를 탐촉자로부터 신호처리장치로 전송하기 위하여 40[dB]의 이득(gain)을 갖는 전치 증폭기를 제작하였다. 또한 초음파 측정장치 및 신호처리장치 주변에서 야기될 수 있는 잡음의 영향을 제거하기 위해 주파수 대역이 100[kHz]~300[kHz]인 대역 필터(band-pass filter)를 제작하였다. 전치 증폭기에서 초음파 신호 측정 시스템으로 전송된 신호는 디지털 회로나 신호분석기로 신호를 처리하기 위해 신호레벨의 증폭이 필요하다. 따라서 8[dB]~26[dB] 범위의 증폭도를 갖도록 주 증폭기를 제작하였으며 불림저항으로 이득을 적절히 조절할 수 있도록 하였다. 부분방전에 의해 발생된 초음파 신호는 변압기 내의 초음파 잔류성분과 장치 자체의 잡음에 의하여 부분방전이 작을 때는 초음파 신호의 구분이 매우 어렵게 된다. 따라서 잡음성분과 측정신호를 명확하게 구분하기 위하여 신호제공회로를 제작하였다.

압전 진동자의 양단에 전기신호를 가하면 기계적 진동이 일어나게 된다. 이러한 압전 역효과를 이용하여 부분방전시 발생하는 초음파와 유사한 초음파를 발생하는 장치를 초음파 발생회로와 압전 진동자를 이용하여 구성하였다. 이를 이용함으로써 초음파 탐촉자, 전치 증폭기, 필터, 주 증폭기, 신호 제공회로 등의 회로시험 및 정상동작여부와 발진상태를 점검하여 초음파 신호 측정 시스템의 정상적인 동작여부를 점검할 수 있도록 하였다.

부분방전시 발생된 초음파 신호를 A/D 변환부로부터 입력받아 기준레벨 이상의 신호를 지속적으로 계수함으로써 시간에 따라 변화하는 부분방전의 경향을 파악할 수 있다. 본 논문에서는 기준레벨 이상의 값을 1초 단위로 계수하였다. 기준준위는 0[V]부터 15[V]까지 모두 256단계의 설정이 가능하도록 하였으며, 기준레벨 이상의 초음파 신호를 정해진 시간동안 계수한 후 컴퓨터로 전송되어 화일로 저장되도록 하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 변압기 구조물에 의한 초음파의 감쇄특성

일반적으로 변압기 내에서의 부분방전 발생부는 통상 유침지로 둘러 싸여 있으므로, 부분방전에 의한 초음파는 초음파 탐촉자까지 신호가 전파되는 동안 권선과 절연지 및 철심 등에서 반사와 투과를 일으키며 전달된다. 따라서 초음파 발생원에서 초음파 탐촉자에 도달하기까지 초음파 신호는 감쇄된다. 그림 3은 변압기 구조물이 없을 경우와 변압기 구조물로 10[mm] 두께의 강판이 있을 경우의 초음파 신호를 측정할 것이다. 이때 초음파 발생장치와 초음파 탐촉자의 간격은 150[mm]이다. 그림 (b)와 같이 변압기 구조물이 있을 경우, 초음파 파형의 앞부분이 크게 감소되었으며 파형의 뒷부분은 앞 부분에 비하여 감소되는 비율이 적게 나타남을 볼 수 있다. 이와 같은 현상은 초음파 신호의 전달경로에 변압기 구조물이 존재함으로 인하여 초음파 빔 진동면상의 각 점에서 반사와 굴절된 초음파가 서로 간섭하여 초음파의 강도가 앞 부분에 비하여 상당히 복잡한 양상을 나타내며, 보강간섭이 일어나는 부분에서는 초음파의 감쇄가 적어지는 것으로 해석된다.

이와 같이 변압기 구조물에 의해 초음파는 탐촉자에 도달할 때까지 감쇄하고, 거리에 따라서도 감쇄하므로 초음파 신호의 측정으로 부분방전량을 추정하는 것은 불가능할 것으로 사료된다.

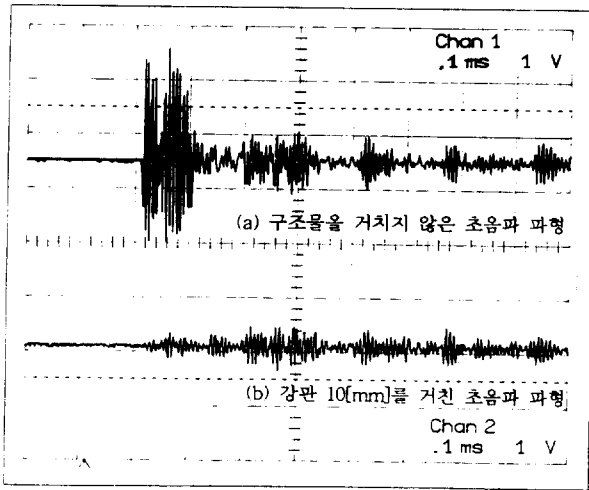


그림 3 변압기 구조물에 의해 변형된 초음파 신호

Fig. 3 The ultrasonic signal interfered with materials of transformer

다. 따라서 초음파를 이용하여 변압기를 상시 진단하기 위해서는 초음파 신호의 절대적인 크기보다는 초음파 신호 수의 변화 경향을 측정하여 부분방전의 진전상황을 파악하는 것이 보다 중요할 것으로 사료된다.

3.2 초음파 발생장치의 인가전압 증가에 따른 초음파 신호 수

변압기 내부의 부분방전에 의하여 발생하는 초음파 신호를 계수하여 초음파 신호 수의 시간적인 변화경향으로 부분방전의 진전상태를 추정하고 변압기를 온라인에서 상시진단하기 위해서는 부분방전의 진전상태와 기준레벨 이상의 초음파 신호 수 변화상태가 일치하여야 한다. 그러나 변압기 내에서 부분방전이 발생할 경우, 변압기 외함에 설치한 초음파 탐촉자에는 변압기 내부의 구조물에 의해 그림 3과 같이 초음파 신호가 크게 감쇄될 수 있다. 또한 초음파 탐촉자에 도달하는 초음파 신호의 경로에 의한 잔향 및 간섭의 영향 등으로 초음파 신호는 파형의 앞부분이 크게 감쇄되거나 파형의 뒷부분은 크게 감쇄되지 않을 수 있다. 따라서 변압기 구조물의 영향으로 인하여 초음파 파형이 감쇄되거나 변형되어 부분방전의 진전상태와 기준레벨 이상의 초음파 신호 수의 변화상태가 일치하지 않는다면 변압기의 진단 데이터로써 유용하지 않을 것이다.

그림 4는 실 변압기에서 초음파 발생장치에 인가하는 전압을 변화시켜 초음파 신호의 크기가 변화될 경우에 변압기 외함 각 부분에서 측정되는 초음파 신호 수의 변화경향을 측정하기 위하여 초음파 탐촉자 및 초음파 발생장치 설치위치의 평면도를 나타낸 것이다. 이때 초음파 발생장치는 냉각기(radiator)에서부터 350[mm], AS₃에서부터 570[mm] 높이 260[mm]의 위치에 설치하였다. 또한 AS₁에서 AS₅까지의 초음파 탐촉자의 부착위치는 다음과 같다.

AS₁ : 350, 650, 260 AS₂ : 0, 300, 260 AS₃ : 350, 0, 260
 AS₄ : 650, 150, 490 AS₅ : 650, 570, 260

그림 4에서 AS₁은 초음파 발생원에서부터 초음파 신호가 도달하는 경로에 변압기 구조물이 존재하지 않는 위치에 초음파 발생장치와 마주 보게 설치하였으며, AS₂는 변압기 철심이 위

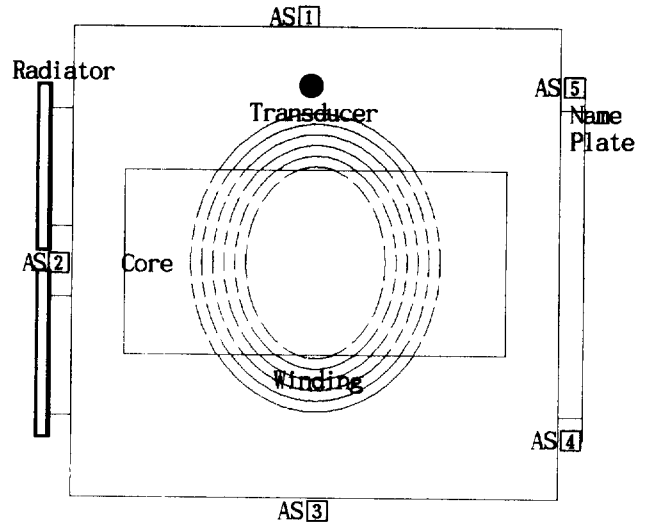


그림 4 초음파 탐촉자 및 초음파 발생장치의 설치위치

Fig. 4 The position of the transducer and ultrasonic detector

치한 면에 설치하였다. 또한 AS₃은 변압기의 권선과 철심을 장벽으로 하는 초음파 발생장치의 반대방향에 설치하였으며, AS₄는 초음파 발생원에서 변압기 권선과 철심의 대각선 방향에 설치하였다. 또한 AS₅는 초음파 발생원에서부터 초음파 신호가 도달하는 경로에 변압기 구조물이 존재하지 않는 위치에 거리는 AS₁에 비하여 멀도록 설치하여 거리에 따른 초음파 신호 수의 변화경향을 파악할 수 있도록 하였다.

그림 5는 초음파 탐촉자의 부착위치에 따른 초음파 신호의 검출결과로서, 이때 초음파 발생장치에 인가한 펄스의 주기는 16[ms], 펄스 폭은 21.3[μs], 펄스 크기는 2.9[V]로 하였다. 그림 5에서 AS₁은 초음파 발생원으로부터 정면에 있으므로 초음파 신호의 크기는 5.7[V_{p-p}] 정도로 아주 크게 나타났으며 지연 시간은 약 57[μs]로 나타났다. 이때 지연시간은 초음파 발생장치에 인가한 펄스와 초음파 탐촉자에서 측정된 초음파 신호와의 시간차이다. 또한 거리는 AS₁에 비하여 멀리 있으나 초음파의 전달경로에 변압기 구조물이 존재하지 않는 AS₅에서도 초음파 신호의 측정이 용이하여 초음파 신호의 크기는 4.4[V_{p-p}] 정도로 나타났다. 그러나 AS₁에 비하여 거리가 멀리 있으므로 지연시간은 약 239[μs]로 나타났다. AS₂의 초음파 탐촉자에서는 초음파 신호의 전달경로에 변압기 철심이 존재함으로 인하여 초음파 파형의 앞부분이 크게 감쇄되어 1.6[V_{p-p}] 정도로 나타났다. 그러나 파형의 뒷부분은 파형의 전달경로에 의한 간섭의 영향으로 인하여 파형의 앞부분보다 큰 2.1[V_{p-p}] 정도로 나타났다. AS₃ 및 AS₄의 초음파 탐촉자에서는 초음파 신호가 변압기 구조물을 거치는 정도에 따라 초음파 신호의 크기가 감쇄하였으며, 특히 초음파 발생장치로부터 대각선 방향에 설치되어 있는 AS₄에서는 초음파 신호가 잡음과 거의 구별이 되지 않을 정도로 크게 감쇄되었다.

그림 6은 초음파 발생장치에 인가하는 전압의 크기를 변화시켜 초음파 발생장치에서 발생하는 초음파 신호의 크기가 변화되었을 경우에 변압기 외함에 설치되어 있는 각 초음파 탐촉자에서 측정된 초음파 신호 수의 변화경향이다. 이때 각 채널의 계수기 기준레벨은 0.6[V]로 일정하게 설정하였다. 초음파 발생장치에 인가되는 전압이 증가함에 따라 초음파 신호 수가 증가

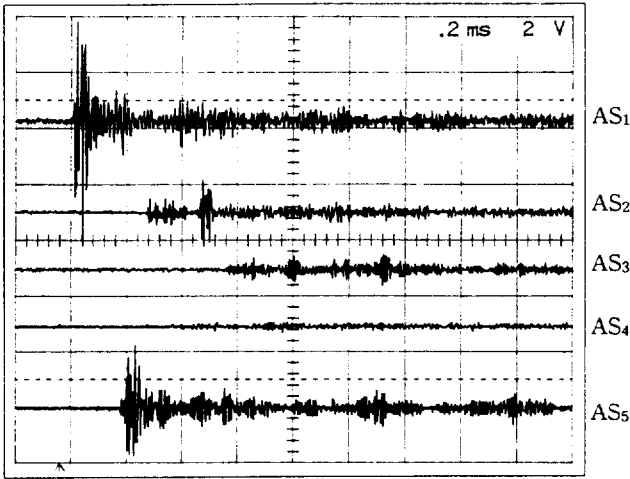


그림 5 초음파 발생장치에 의해 발생한 초음파의 측정파형
 Fig. 5 The waveforms of ultrasonic signals generated by the transducer

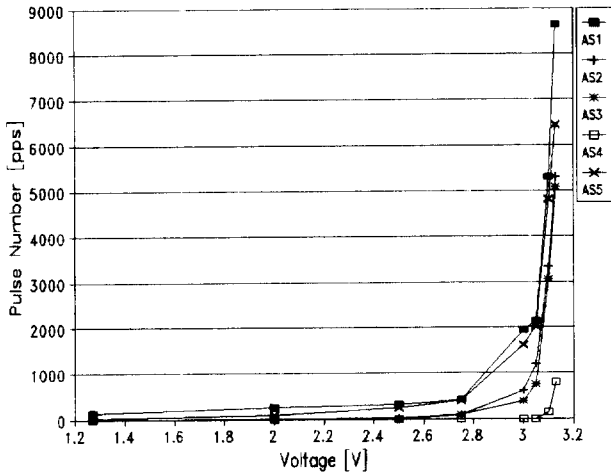


그림 6 초음파 신호의 크기에 따른 초음파 신호 수의 경향
 Fig. 6 Trend of the ultrasonic number with ultrasonic signal amplitude

하였으며, 초음파 발생장치에 인가하는 전압이 3.1[V]에서는 AS₁에서 약 8,650[pps] 정도의 초음파 신호 수가 측정되었다. 그러나 변압기 구조물의 영향을 가장 많이 받는 AS₄에서는 약 790[pps] 정도의 초음파 신호가 측정되었다. 그러나 초음파 신호의 전달경로에 변압기 구조물이 존재할 경우에 초음파 신호의 크기는 감쇄되나 변압기 외함의 각 부분에 설치된 탐촉자에서 측정되는 기준레벨 이상의 초음파 신호 수의 변화는 같은 경향으로 나타났다.

3.3 부분방전의 진전에 따른 초음파 신호 수

실 변압기의 구조물이 존재하는 경우, 권선사이의 절연열화에 의하여 부분방전이 진전되어 파괴에 도달하기까지 변압기 외함에서 측정되는 초음파 신호 수 및 전기신호 수의 경향을 파악하기 위하여 침-평판전극을 그림 4의 초음파 발생장치가 설치되었던 위치에 설치하였다. 변압기 내에서 부분방전이 진전되

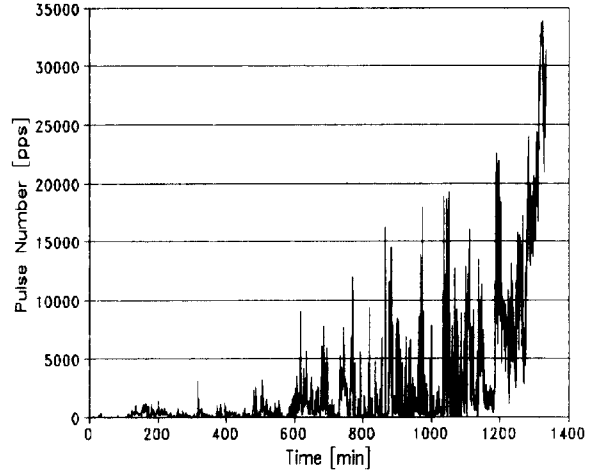


그림 7 부분방전 진전시 AS₁에서 측정된 초음파 신호 수의 경향

Fig. 7 Trend of the ultrasonic number detected at the AS₁ with partial discharge growth

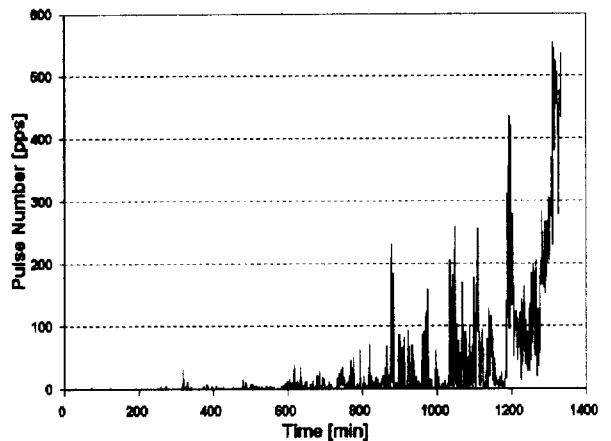


그림 8 부분방전 진전시 전기신호 수의 경향

Fig. 8 Trend of the electrical signal number with partial discharge growth

어 절연파괴에 도달하는 과정을 모의하기 위하여 침-평판전극에 두께 1[mm]의 절연지를 삽입하고, 절연지가 열화되어 절연파괴에 도달할 때까지 초음파 신호 수의 시간적인 변화상태를 측정하여 초음파 신호 측정에 의한 사고 예측 가능성을 고찰하였다. 이때 전기신호 수는 부분방전 검출기에서 측정된 전기적인 방전신호를 초음파 신호 측정 시스템의 계수기에 연결하여 펄스를 계수하였다.

그림 7과 그림 8은 AS₁에서 측정된 초음파 신호 수와 전기신호 수의 시간에 따른 변화경향을 대표적으로 나타낸 것으로, 침-평판전극에 인가하는 전압은 7[kV]를 일정하게 유지하였으며, 각 채널의 기준레벨은 0.3[V]로 일정하게 설정하였다. 침-평판전극에 7[kV]의 전압을 인가하였을 경우, 초음파 발생원으로부터 가까이 설치된 AS₁, AS₂, AS₅에서 초음파 신호가 계수되기 시작하였으며, 전기적인 방전펄스도 펄스의 수는 적지만 계수되기 시작하였다. 전압을 인가하고 약 100분 후부터 부분

방전이 진전되어 전기신호 수 및 초음파 신호 수가 증가되었으며 약 22시간(1,336분) 후에 절연과괴가 발생하였다. 절연지가 관통과괴되기까지 변압기 외함의 각 부분에 설치된 초음파 탐촉자에서의 최대 펄스 수는 AS₁은 33,897[pps], AS₂는 26,946[pps], AS₃는 29,834[pps]까지 나타났다. 그러나 AS₃과 AS₄는 변압기 구조물로 인하여 초음파 신호가 감쇄되어 약 50[pps] 정도만이 계수되었다. 또한 전기신호 수는 약 600[pps] 정도가 계수되었다.

부분방전에 의한 전류펄스를 검출하는 방법은 계통 시스템 구성상의 문제점으로 인해 운전중인 변압기에 적용하기에는 많은 어려움이 있다. 따라서 변압기의 운전상태에서도 절연이상을 검출하기 위해서는 부분방전에 의해 발생하는 초음파 신호의 변화경향이 부분방전에 의한 전기신호의 변화경향과 일치하여야 한다. 그림 8에서 절연지가 열화되어 관통과괴되기까지 전기신호 수의 시간에 따른 변화경향은 초음파 신호 펄스 수와 크기는 같지 않으나 부분방전의 증가에 따른 펄스 수의 증가 추세는 거의 유사하게 나타남을 볼 수 있다. 따라서 기준레벨 이상의 초음파 신호 수의 시간적 변화상태를 분석함으로써 변압기 내부 부분방전의 변화상태 추정이 가능하며 부분방전에 의한 사고발생을 예지할 수 있을 것으로 사료된다.

그림 7과 그림 8에서 전기신호 수 및 초음파 신호 수는 상당히 동요가 심하게 나타남으로 이 신호를 이용하여 변압기를 진단하기 위해서는 데이터의 처리가 필요하다. 본 논문에서는 초음파 신호 수 및 전기신호 수의 경향을 명확히 구별하기 위하여 데이터의 진진상태를 이동평균(moving average)하였다. 이동평균은 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

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

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

여기서 M₁은 n번째의 데이터에서부터 앞으로 M₁개의 데이터이며, M₂는 n번째의 데이터에서부터 뒤로 M₂개의 데이터이다. 이것은 원 신호에서 n번째 데이터의 앞, 뒤로 M₁+M₂+1개의 데이터를 평균하여 n번째에 나타낸 것이다.

그림 9는 변압기 외함에 설치된 각 초음파 탐촉자에서 측정된 초음파 신호 수의 시간에 따른 변화경향을 주기 350으로 이동평균하여 나타낸 것으로, 그림 7에 비하여 초음파 신호 수의 진진경향을 구별하기 용이함을 알 수 있다. 이때 초음파 신호 수의 경향은 그림 5의 변압기 구조물의 영향에 의한 초음파 신호의 감쇄와 같은 AS₁, AS₅, AS₂, AS₃, AS₄의 순으로 나타났다. 특히 AS₄는 초음파 신호가 초음파 탐촉자에 도달하기까지 변압기 권선과 철심을 대각선 방향으로 거치게 되므로 그림 5에서 초음파 신호가 크게 감소되었던 것과 같이 초음파 신호 수도 아주 적게 나타났다. 그러나 초음파 신호 수의 경향은 다른 탐촉자에서 측정된 것과 같은 경향을 나타내었다. 이와 같이 변압기 내부에서 발생하는 부분방전의 크기가 변화될 경우에 실 변압기의 구조물이 존재하는 경우에도 변압기 외함의 각 부분에서 측정된 초음파 신호 수의 변화는 같은 경향을 나타내는 것을 알 수 있다. 또한 그림 4의 초음파 발생위치에 침-평판전극을 설치하고 침전극에 인가되는 전압을 증가시켜 부분방

전을 임의로 크게하거나, 실 변압기에서 부분방전이 발생할 가능성이 높은 고압권선에 침전극을 부착하고 철심과 8[mm]의 간격으로 설치하여 고압권선에 인가되는 전압을 증가시킬 경우에도 부분방전에 의한 초음파 신호 수를 이동평균함으로써 부분방전의 진진경향을 용이하게 구별할 수 있었다.

그림 10은 부분방전의 진전에 따른 전기적인 신호 수의 변화경향을 주기 350으로 이동평균하여 나타낸 것으로, 부분방전의 진전에 따른 전기신호 수의 범위는 최대 약 120[pps] 정도로 나타났다. 부분방전의 진전에 따른 전기신호 수의 변화경향은 초음파 신호 수의 변화경향과 상당히 일치하는 것을 알 수 있다.

이와 같이 변압기의 구조물이 존재할 경우에도 초음파 신호 수의 증가 경향은 부분방전의 진진과 잘 일치하였으며, 부분방전의 진진에 따른 초음파 신호 수와 전기신호 수의 경향은 깊은 상관관계를 나타내었다. 따라서 실 변압기의 구조물이 있을

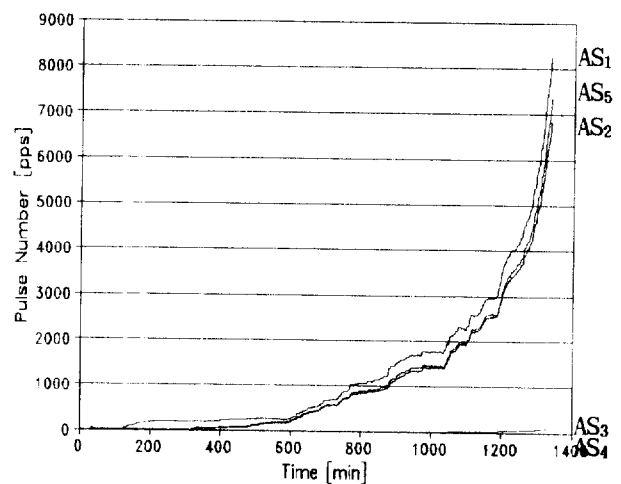


그림 9 부분방전 진진시 이동평균한 초음파 신호 수의 경향
Fig. 9 Trend of the ultrasonic signal number with partial discharge growth

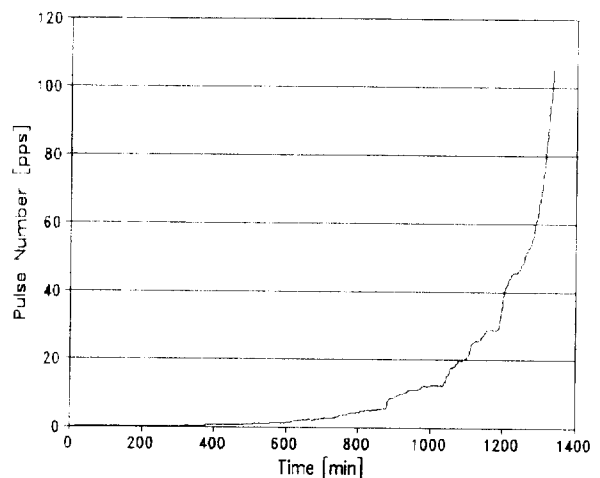


그림 10 부분방전 진진시 이동평균한 전기신호 수의 경향
Fig. 10 Trend of the electrical signal number with partial discharge growth

경우에도 기준레벨 이상의 초음파 신호 수의 시간적 변화상태를 분석함으로써 변압기 내부 부분방전의 변화상태 추정이 가능함을 알 수 있다. 또한 부분방전에 따른 전기신호 수와 초음파 신호 수를 이동평균함으로써 부분방전의 진전상황을 명확하게 파악할 수 있었으며, 절연지의 절연과피 발생전 경고 기준레벨의 설정이 용이함을 알 수 있었다.

4. 결 론

온라인 적용이 가능한 초음파 측정기법을 실 변압기 구조물이 있을 경우에 적용하여 부분방전의 진전에 따른 전기신호 수와 초음파 신호 수를 측정하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 실 변압기 구조물이 존재할 경우에도 부분방전에 의한 초음파 신호를 변압기 외함에 부착하는 초음파 탐촉자의 부착 위치를 적절히 선정함으로써 측정 가능하였으며, 부분방전의 진전에 따른 초음파 신호 수의 변화경향을 변압기 외함에서 측정할 수 있음을 확인하였다.

(2) 변압기에서의 절연열화현상을 모의하여 절연지가 관통과 피되기까지의 전기신호 수와 초음파 신호 수를 계수한 결과, 부분방전의 진전에 따른 전기신호 수와 초음파 신호 수는 깊은 상관관계를 나타내었으며, 초음파 신호 수의 변화경향을 상시 감시함으로써 부분방전에 의한 절연과피를 예지할 수 있었다.

(3) 부분방전에 따른 전기신호 수와 초음파 신호 수를 이동 평균함으로써 부분방전의 진전상황을 명확하게 파악할 수 있었으며, 절연지의 절연과피 발생전 경고 기준레벨의 설정이 용이함을 알 수 있었다.

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] 和田 昱二 外, "設備診斷 Automation," 電氣書院, 1987, pp.1~58, 118~260.
 [3] 田中-郎 外, "變壓器의豫防保全技術の現況とその動向," 電氣學會, 1990, pp.3~48.
 [4] 松浦 虔士 外, "電力設備の運轉中の絶縁診斷技術," 電氣學會, 1992, pp.3~166.
 [5] R. Malewski et. al., "Insulation Diagnostic System for HV Power Transformers in Service," CIGRE Paper, 12-01, 1986.
 [6] ASTM, "Standard Method for Detection and Measurement of Partial Discharge Pulses in Evaluation of Insulation Systems," pp.210~221, 1868.
 [7] M. Yamada et. al., "Automatic Field Monitoring of Dissolved Gases in Transformer Oil," IEEE Trans. PAS, Vol. 100, No. 4, pp.1538~1544, 1981.
 [8] H. Tsukioka, K. Sugawara and E. Mori, "Apparatus for Continuously Monitoring Hydrogen Gas Dissolved in Transformer Oil," IEEE Trans. EI, Vol. 16, No. 6, pp. 502~509, 1981.
 [9] 남 창현 등, "변압기 유증가스 상시감시 시스템의 운용 연구," 한국전력공사, 1994, pp.1~78.
 [10] 久保義昭 外, "變壓器部分放電自動監視裝置の開発とField 試驗," 電氣學會誌, Vol. 26, No. 3, pp.10~18, 1982.
 [11] G. C. Stone, "Practical Techniques for Measuring PD in Operating Equipment," IEEE Trans. EI, Magazine, Vol. 7, No. 4, pp.9~16, 1991.
 [12] R. T. Harrold, "Acoustic Technology Applications in Electrical Insulation and Dielectrics," IEEE Trans. EI, Vol. 20, No. 1, pp.3~19, 1985.
 [13] 권 동진·곽 희로 등, "초음파 측정 연구," 한국전력공사 보고서, 1993, pp.1-1~10-6.
 [14] 권 동진·곽 희로 등, "초음파 센서를 이용한 변압기 예방 진단 기술 연구," 한국조명·전기설비학회지, Vol. 8, No. 2, pp.46~53, 1994.

저 자 소 개



권 동 진 (權 東 震)

1963년 1월 20일생. 1986년 서울산업대 공대 전기공학과 졸업. 1992년 숭실대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1995년 숭실대 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 현재 전력연구원 전력연구실 연구원



곽 희 로 (郭 熙 魯)

1942년 3월 1일생. 1967년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1978년 호주 New South Wales 대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1986년 중앙대 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 1967년 한전근무. 1986년 미국 MIT Visiting Scientist. 현재 숭실대 공대 전기공학과 교수. 교무처장



정 상 진 (丁 尙 鎭)

1949년 11월 8일생. 1972년 서울대 전기공학과 졸업. 1976년 1월 한국전력공사 입사. 1984년 7월 영국 맨체스터 대학원 졸업(석사). 1987년 3월 동 대학원 졸업(박사). 1985년 9월~현재 한국전력공사 전력연구원 전력연구실 책임연구원



김 정 부 (金 正 夫)

1943년 11월 14일생. 1971년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 동 대학원 전기공학과(석·박사). 현재 전력연구원 765kV 송전기술연구팀장. 수석연구원