

3차원 해석에 의한 유입변압기 PD발생점 탐지

윤철섭\*, 최길수, 이은석  
한국전기안전공사 부설 전기안전시험연구원

PD Source Detection of Oil Transformer Using Three-dimensional Construction

Chul-Sub Yoon, Gil-Soo Choi, Eun-Suk Lee  
Electrical Safety Laboratory Research Institute

**Abstract** - The while, PD source detection in the oil TR was the level of the planar source detection, and it is to respected scientific research. The planar source detection technique had limits which have difficulties finding out the point of deterioration generation. In this study, our purpose is a development of PD source detection technique with Three-Dimensional using a principle and a technique of the planar source location

1. 서 론

밀폐된 유입변압기 내부에서의 열화 발생점을 찾는 기술이 그동안 학술적인 연구에 치중하였고, 또한 평면적(2차원)위치탐지 수준이었다. 평면적 위치탐지 기술은 현장에서 열화 위치점을 탐지하는데 많은 어려움이 내포되어 현장 적용에 한계가 있었다.

본 연구는 이러한 평면적 위치 탐지의 원리와 기술을 응용하여 유입변압기 내부에서 열화시 발생하는 부분방전(PD:Partial Discharge)발생 위치를 X,Y,Z축을 기준으로 한 입체적인 3차원(Three-Dimension) 해석에 의한 탐지기법 개발에 주 목적을 두었다.

2. 본 론

2.1 2차원 위치탐지(Planar source location)

무한 평판위에 두센서가 설치되어 있고 AE 신호가 모든 방향으로 같은 속도를 가지고 전파된다고 가정할 때 그림 1에서  $\Delta t$ :도달시간차,  $V$ :물질전파속도,  $D$ :센서간 거리일 때  $\Delta t \cdot V = r_1 - R$  이 된다.

그리고  $Z = R \cdot \sin \theta$

$$Z^2 = r_1^2 - (D - R \cos \theta)^2$$

따라서  $R^2 \sin^2 \theta = r_1^2 - (D - R \cos \theta)^2$

$$R^2 = r_1^2 - D^2 + 2DR \cos \theta$$

위로부터  $r_1 = \Delta t V + R$ 을 대입하면

$$R = \frac{1}{2} \frac{D^2 - \Delta t \cdot V^2}{\Delta t \cdot V + D \cdot \cos \theta} \quad (식 1)$$

(식 1)은 발생원의 위치 ( $X_s, Y_s$ )를 지나가는 쌍곡선의 방정식이 되며 쌍곡선 위의 모든 점들은 입력 데이터, 즉 히트센서 및 시간차 측정들을 계산하여 PD발생점을 찾

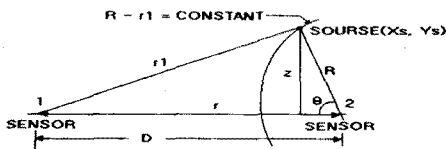


그림 1 무한평면에서의 발생위치탐지

게 된다. 또한 (식 1)에서 센서3을 추가 하므로서 2차원 위치 파악이 가능하게 된다. 즉 입력 데이터는 3개의 히트(hit)순서와 2개의 시간차 측정을 가진다. (첫번째와 두번째 히트센서, 그리고 첫번째와 세번째 hit센서) 그림 2로부터 다음식을 유도할 수 있다.

$$\Delta t_1 V = r_1 - R,$$

$$\Delta t_2 V = r_2 - R$$

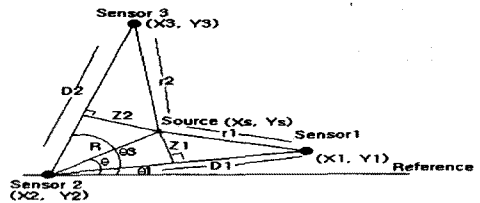


그림 2 발생원의 위치를 한정하는데 사용되는 쌍곡선의 교차

$$R = \frac{1}{2} \frac{D_1^2 - \Delta t_1^2 V^2}{\Delta t_1 V + D_1 \cos(\theta - \theta_1)} \quad (식 2)$$

그리고  $R = \frac{1}{2} \frac{D_2^2 - \Delta t_2^2 V^2}{\Delta t_2 V + D_2 \cos(\theta_3 - \theta)}$  (식 3)

따라서 (식2)와 (식3)을 연립으로 풀면 두 쌍곡선의 교점으로서 2차원 위치 측정 결과를 얻을 수 있다.

2.2 3차원위치탐지(3-Dimensional sourcelocation)

2차원의 쌍곡선을 이용, 3차원에서 위치를 탐지하는 방법은 3차원에서는 평면으로 바뀌어 좌표점이 X, Y, Z로 된다. 3차원 위치탐지는 1차원 또는 2차원에서 입체적인 모형(그래프)을 구별할 수 없기 때문에 위치탐지 시 오진의 경우가 많고 PD발생 위치가 구체적으로 어느 부위 인지를 정확히 탐지하는 것이 곤란하였다.

이러한 문제점을 해결하고자 X,Y,Z축을 좌표점으로 한, 입체적 위치 탐지 방법이 외국에서 개발중에 있으며 이를 이용한 위치 탐지가 개발 수준에서 실시하고 있다. 그 예를 그림 3에서 나타내었다.

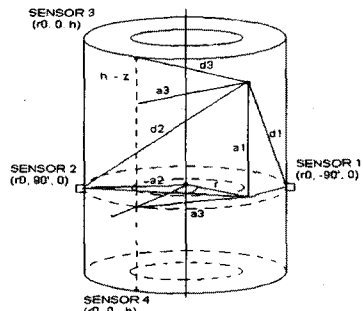


그림 3 3차원 공간에서의 위치탐지

그림 3에서 초음파센서에 의해 전기적 신호와 초음파 신호를 오실로스코프에 연결하여 나타나는 시간의 차이를 이용하여 정확한 위치를 알 수 있다. 초음파는 매질에 따라 전파속도가 다른데 부분방전 발생점에서 변환기(Transducer)까지의 거리는 (식 4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$R = V \times \Delta t \quad (\text{식 4})$$

R : 부분방전 발생점에서 Transducer까지의 거리(m)  
 V : 변압기유에서 음속[%]  
 $\Delta t$ : 시간(초음파 신호와 전기적 신호간의 도달시간차)(sec)

### 2.3 위치 탐지를 위한 초음파음향(AE) 구성요소

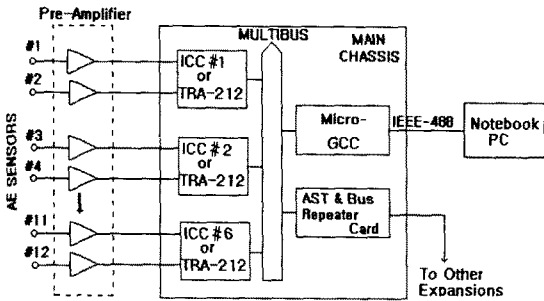


그림 4 AE시스템 구성 요소

AE시스템 구성요소에서는 PD발생점을 찾기위해 신호 입력부인 센서와 신호증폭부, 신호제어부, 출력부로 구성시켰다.

초음파 음향신호를 전기적인 신호로 변환시키기 위해서 점촉형 압전 세라믹 센서는 증폭기가 내장된 공진주파수 150(kHz)의 변압기 초음파 음향을 측정하는 전용센서(R15I Type)를 사용하였다.

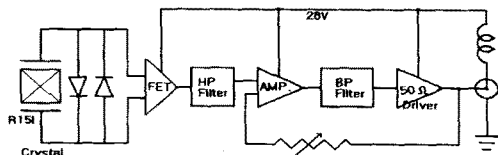


그림 6 초음파 음향센서 및 증폭부 구성도

신호검출부에서 변환되어 증폭된 전기적인 신호를 측정, 초음파 음향변수에 관한 정보를 처리하는 부분으로 여러 신호를 동시에 처리할 수 있는 다채널(MultiChannel)로 되어 있다. 본체 내부에는 크게 AE신호를 측정하는 ICC(Independent Channel Controller)아날로그 보드와 AE신호를 처리하는 ICC디지털 보드, 12bit A/D 변환을 할 수 있는 2채널의 순시기록 분석계 TRA-212 (Transient Recorder Analyzer), 자동센서 시험과 채널을 확장할 수 있는 카드인 AST & Bus Repeater Card, ICC의 정보를 컴퓨터에 전달하기 위해 데이터를 제어할 수 있는 Micro-GCC(General Channel Coordinator)부분으로 구성되어 있다.

### 2.4 프로그램 흐름도

초음파 음향 측정을 위하여 주위 노이즈 측정을 실시하고 주위노이즈를 제거한 후에 측정을 실시하여야 한다. 또한 측정된 데이터를 재확인, 필요한 데이터를 출력한다. 그림 7은 측정의 흐름도를 나타낸 것이다.

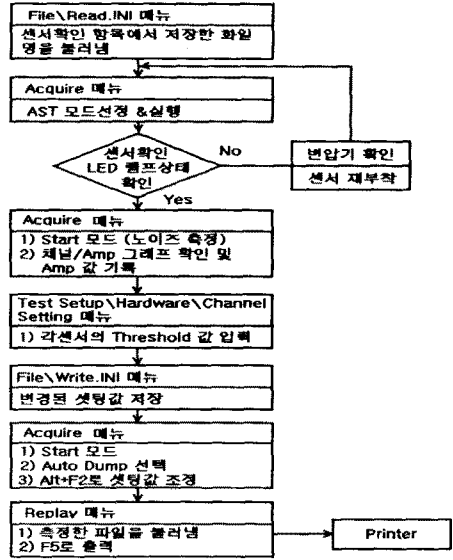


그림 7 프로그램 흐름도

### 2.5 모의실험 설비 구성도

운전중인 변압기 내부에서 발생하는 부분방전의 위치탐지를 위해서 현장측정과 실험실 모의실험을 실시하였다. 실험결과를 비교 분석하므로써 현장에서 운전중인 변압기에서 발생하는 주위 노이즈(Background Noise) 제거방법, 절연유의 열화도에 따른 부분방전 발생 위치점(Location)을 정확히 탐지하고, 음향센서의 부착위치, 절연유 온도와 신호전달 관계 등을 분석하기 위해서 모의 부분방전 발생장치가 내장된 모델변압기를 구성하였다.

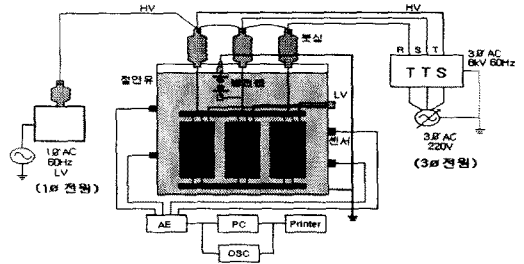


그림 8 모델변압기 구성도

### 2.6 Gain[dB]과 Threshold[dB] 측정

초음파음향 측정시 방전펄스 한계요소인 Gain과 Threshold값을 선정하기 위해서 먼저, 임의의 Gain값을 선정하고 Threshold[dB] 값을 변화시켜 가장 감도가 좋은 Threshold의[dB] 값을 찾았다. 이 값을 Threshold의 최적 [dB] 값으로 고정하고 다음에는 Gain 값을 변화시켜 3차원 위치 그래프의 출력 상태와 LED램프의 동작 상태로 최적의 Gain[dB] 값을 선정하여 변압기 내부에서의 부분방전 발생위치 탐지가 용이하도록 Gain 값과 Threshold 값을 선정하였다.

부분방전펄스 파형을 검출하기 위해서는 실험결과 Gain은 0~60[dB], Threshold는 12~88[dB], Gain과 Threshold값의 합은 46~88[dB] 이내로 조정이 제한될 필요가 있었다. 따라서 Gain 및 Threshold를 선정하기 위해서는 변경 가능한 [dB]범위 내에서 값을 변화시켜 각각의 값에 대한 Event를 찾아 Event 값이 가장 많이 검출된 Gain 및 Threshold의 최적값[dB]을 선정하였다. 그림 9에서 이들값의 분포를 나타낸 그래프다.

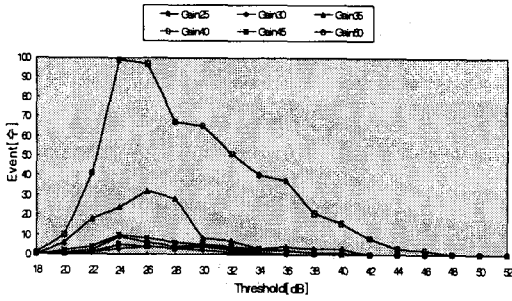


그림 9 Gain 및 Threshold의 최대값 분포

### 2.7 PD Gap 위치변화 실험

PD Gap 위치변화 실험은 변압기 내부에서 부분방전 발생시 발생점 탐지오차를 최소화하기 위한 실험으로, 이를 위해 변압기 내부에 설치된 방전 Gap의 위치를 변화시키면서 방전필스를 발생하도록 하였다. 발생한 신호를 변압기 외함의 AE센서를 통해 3차원 해석 그래프에서 검출위치를 확인하여, 실제 변압기 내부의 PD Gap위치와 그래프상의 위치를 비교 분석하고자 하였다.

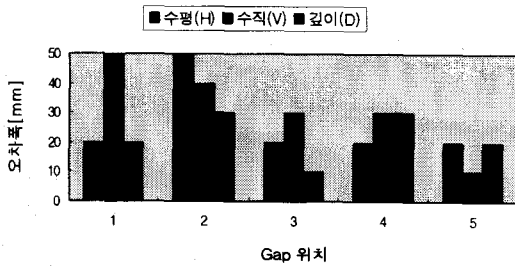


그림 10 PD발생점 오차 및 3D측정 그래프

모의실험에서는 변압기 내부에서의 PD발생점이 최적의 Gain과 Threshold값을 선정하였을 때 3차원 그래프상에서 최대오차 50(mm) 이내로 위치 탐지되었다. 따라서 그래프에서 나타나는 PD 발생점으로 정확한 열화 지점 탐지가 가능함을 알 수 있었다.

### 2.8 현장 실측 결과

본 연구가 현장에서 활용될 수 있도록 하기 위해 실험실 모의실험에 따른 결과를 현장의 운전중인 변압기에 적용시켰다. 이를 위해 가능한 장시간 운전중인 변압기를 대상으로 현장 실측하였으며 현장에서는 주위 노이즈, 접지계통, 권선의 열화, 절연유의 온도변화등에 따라 실험실에서 발견되지 못한 여러 가지 음향적 신호가 주위 노이즈와 맥동되어 나타나므로, 변압기 PD진단시 이들 노이즈를 제거 할 수 있는 기법 및 열화위치와 열화정도를 판정 할 수 있는 기준정립이 필요하다.

따라서 현장실측에서는 주위노이즈(Background Noise) 제거, 운전중인 변압기에서의 최적 센서적용, 절연유온

도에 따른 AE신호 분석방법등을 위주로 측정하였다. 또한, 열화정도와 정확한 위치탐지의 검증을 위해서 그림 12와 같이 가스분석등 여러 가지 진단측정으로 비교분석 하였다. 현장 실측 결과로부터 노이즈제거, 현장조건에 맞는 Gain과 Threshold값 선정, 최적의 센서적용등을 통해 그림 13과 같이 현장의 운전중인 변압기에서도 PD발생점을 비교적 용이하게 탐지됨을 알 수 있었다.

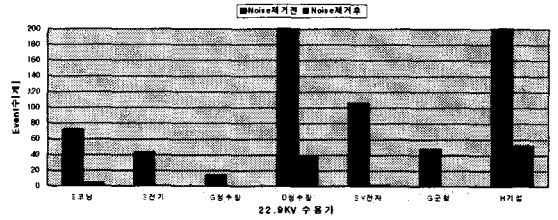


그림 11 전압별 노이즈 전후의 AE비교측정 분포

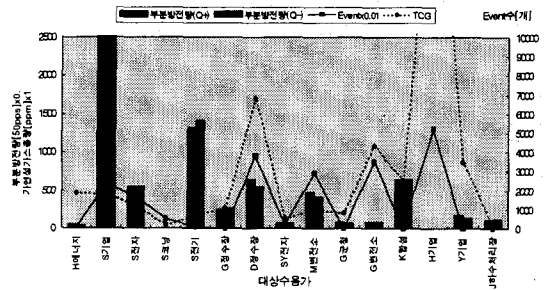


그림 12 가스분석, 활성PD, AE event신호 비교

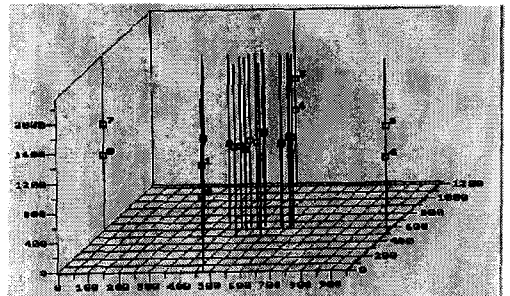


그림 13 22.9kV 5MVA 변압기에서의 PD발생점 실측

## 3. 결 론

밀폐된 변압기 내부에서의 부분방전(PD) 발생점 위치를 정확하게 탐지하기 위해서는 주위 노이즈, 센서부착, 온도특성, 권선의 진동, 절연유 이동등 여러 가지 조건들을 충분히 고려 할 필요가 있다. 실험결과, 현장 주위 여건에 따라 이들 제조조건들을 얼마만큼 적용하느냐에 따라 3D위치 탐지가 결정 되어진다. 따라서 현장에서 비교적 용이하게 PD발생점 탐지를 위해서 3D해석을 위한 제조조건들의 기준정립과 PD 발생점 탐지기법등을 정립하였다. 현장에서 이러한 조건들을 적용함으로써 변압기 내부 PD 측정시 노이즈 Pulse와 부분방전 Pulse를 구별하여 PD 발생점 오차를 최소화 하는 등, 현장에서 실용화 될 수 있도록 하였다.

### (참 고 문 헌)

- (1) L.E.Lundgard, "Acoustic PD Detection PA", IEEE Trans. Vol8, No5, pp34~43, 1992
- (2) 윤동진, "음향방출시험", 한국표준과학연구원교재, 1996
- (3) 天部讓二, "油入變壓器の劣化診斷方法"三菱電機, 技術報告, ppl~8, 平成2年