

# 초음파 음향검출에 의한 유입기기 부분방전 진단기술

글/최 길 수(한국전기안전공사 연구원)

## 목 차

- I. 머리글
- II. 음향검출의 개요 및 초음파센서
  1. 음향검출의 개요
  2. 부분방전 음향 Pulse 검출
  3. 초음파의 특성 및 초음파센서
- III. 부분방전 음향검출에 영향을 주는 요소
  1. 절연유 온도에 의한 영향
  2. 절연유내의 수분함유량에 의한 영향
  3. 절연유내에서 초음파발생 크기에 따른 영향
  4. 초음파에 편승된 Wave
- IV. 초음파 음향측정에 의한 부분방전 검출
  1. 초음파센서의 특성
  2. 초음파음향 측정
  3. 초음파신호 Pulse와 부분방전 전하량과의 관계
  4. 음향검출에 의한 부분방전 측정결과
- V. 맺음말

### I. 머리글

산업화의 발전과 더불어 안정된 전력공급을 위하여 전력계통은 대용량화, 밀폐화, 초고압화되고 있으

며 이에 공급되는 전력기기들의 신뢰성은 전력공급의 안정화에 밀접한 관계가 있으므로 이에 대한 진단(Dignostic)에 많은 관심이 집중되고 있다. 변전설비의 경우는 정전후 정밀점검보다는 운전중 정밀점검이 오히려 효과적이며 최근의 추세는 활선상태에서 접촉 및 비접촉으로 진단하는 System이 활발히 개발·연구중이다. 즉 전력기기가 사고를 일으키기 전에 사고를 미연에 예측하여 사고파급을 억제하는 방향으로 예방진단의 신기술이 발달하는 추세이다.

전기설비중 변압기의 예방진단은 무정전 상태에서 부분방전법(부분방전 Spectrum진단), 유중 Gas분석법, 초음파음향진단법(AE: Acoustic Emission Detection) 및 정전상태에서 역률측정법(Tans법), 부분방전측정법(고압서지시험법)등이 있으나 진단 예지보전의 특성 및 현장의 기기상태 등을 고려할 때 어느 한 방법으로서 진단은 불충분하므로 여러 진단 방법을 종합적으로 실시하여 이상여부를 판정하는 방법이 효과적이다. 또한 변압기기, 차단기 등의 예방진단은 사고를 조기에 발견할 수 있는 Live-Line상태에서 측정이 훨씬 효율적인 경우가 많다.

무정전상태에서의 변압기 열화진단 방법에는 크게 외부진단과 내부진단으로 나누어 고장을 조기 예지하고 있으며 변압기 외부진단은 외부누유, Bushing Crack 등 목시점검을 위주로 순시점검하며 내부진

단은 유증Gas분석, 부분방전 Spectrum진단, AE진단, Thermovision에 의한 열온도분포분석 등으로 변압기 이상여부를 진단하고 있다. 이를 진단방법중 부분방전 음향진단법(Acoustic Emission Diagnostic of Partial Discharge)은 현장적용화가 용이하며 또한 적용연구가 가장 활발한 진단법중의 하나이다.

이에 대한 AE법에 의한 변압기내부의 부분방전 검출에 대하여 알아본다.

## II. 음향검출의 개요 및 초음파 센서

### 1. 부분방전 음향진단 개요

변압기, OCB등 유입기기 내부에서 발생하는 부분방전의 측정법은 크게 Pulse전류를 측정하는 전기적 검출법(부분방전 Spectrum 진단)과 빛이나 음향신호를 측정하는 비전기적 검출법(부분방전음향진단)으로 대별할 수 있다.

부분방전 스펙트럼진단법(Spectrum Analysis of Partial Discharge)은 변압기 Bushing부 및 외함 접지선에 흐르는 누설전류성분을 검출하는 방법이다. 이 방법에 의한 단독적인 측정에서는 그 정확성이 떨어지기 때문에 보통 다른 진단법과 병행하여 측정, 분석하고 있다. 음향신호를 검출하는 AE진단법은 내부부분방전량을 정량적으로는 측정하기 어렵지만 취급방법과 해석방법이 용이하며 변압기 내부에서 생기는 부분방전 위치를 음향신호의 시간차 측정에 의해 거리환산이 가능하기 때문에 변압기 무정전진단법으로 활용이 기대되며 변전기기의 예방보전 기술의 한 방법으로 추진되고 있다.

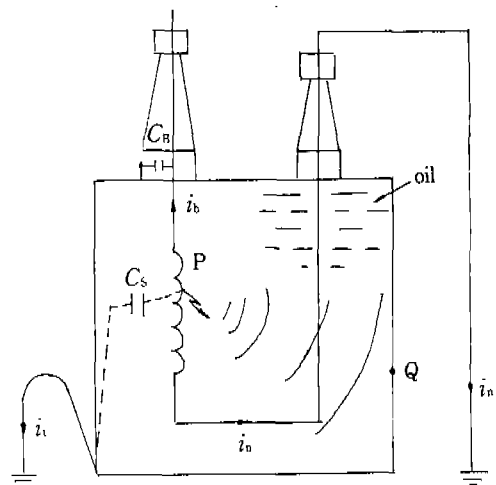
음향법에 의한 부분방전 측정은 보통 유입기기의 외함에 전자석이나 영구자석 등으로 초음파음향 센서를 부착하여 기기 내부에서 생기는 초음파 Pulse를 검출하는 방법이다. 이 방법은 유입기기 내부의 오일, 외함Steel 등에 의해 Pulse성분이 감쇄되는 경우도 있다. 이에 대한 해결방안으로 변압기 제작시 음향전달관 등을 설치하여 내부의 이상음을 감쇄현상 없이 검출하는 방법이 검토되고 있지만 아직은 실용화 단계가 아니라고 본다. 또한 외부센서에서 검출감도를 높히는 한 방법으로 Electronics의 활용에

의한 신호처리 방법도 검토되고 있지만 음향전달관 및 Electronics 방법은 변압기 제작시 고려되어야 하기 때문에 현재 현장에 설치된 변압기류의 음향진단에는 어려움이 있어 현재로서는 음향 및 Logoski Coil Sensor에 의한 무정전진단법이 가장 실용화 할 수 있는 방법이다.

유입변압기의 내부 부분방전의 검출방법으로는 Pulse전류를 전기적으로 검출하는 방법과 부분방전시 발생하는 초음파음향Pulse를 검출하는 방법이 있다.

그림 1은 유입변압기의 임의의 P점에서 방전이 일어나게 되면 이 점으로부터 생기는 Pulse성의 방전전류 일부는 권선이나 리드선으로 또는 외함이나 철심 등의 접지전위와 지지구조물과의 사이에 정전용량( $C_s$ )을 통하여 외함 접지선으로 흐르게 된다. 이 접지전류를 외함·접지선에 적당한 센서를 부착, 방전전류( $i_i$ )를 검출할 수 있다.

또한 이 전류는 Bushing의 정전용량 성분에 의한 전류( $i_b$ )와 중성선 접지선에서도 같은 모양의 부분방전전류( $i_n$ )을 검출할 수 있다. 그러나 운전중인 변압기의 고압측 부상에 센서를 부착하는 방법은 현재 기술로는 위험이 뒤따르는 단계이므로 현장적용이



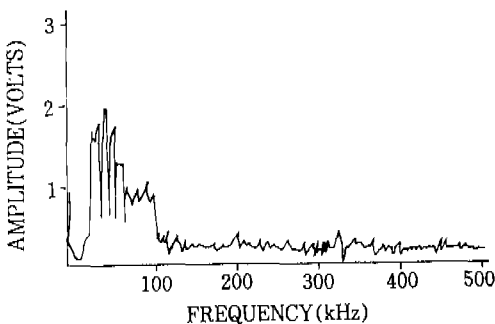
<그림 1> 변압기 내부에서의 PD발생시 초음파 및 누설전류경로 (PD : 부분방전)

어렵고 중성선을 접지하는 변압기의 경우 불평형 전류에 의한 노이즈침입 등으로  $i_b$  및  $i_n$ 의 측정방법은 현장적용이 어렵기 때문에 현재 국내외적으로는 접지선에 흐르는  $i$ 의 전류성분 검출방법을 모색하고 있다. 이와 동시에 내부 부분방전 발생시 생기는 초음파의 Pulse를 외함 Q점에서 초음파센서에 의해 검출하는 방법이 비전기적검출법이다.

## 2. 부분방전 음향 Pulse의 검출

그림 1처럼 유입기기 내부에서 부분방전이 발생하면 Pulse전류와 동시에 음파가 발생한다. 그 음파는 수kHz에서 수백kHz까지 나타낸다. 반면에 변압기 Core Noise는 저주파영역에서 높은 레벨을 나타내고 기계적 진동 Noise는 20kHz정도 이하에서 많이 생기기 때문에 변압기내부 부분방전의 검출에는 이러한 노이즈의 주파수영역을 피하여 고주파 즉, 초음파를 측정하면 된다.

또한 음파Pulse는 지향성으로 변압기내부 절연유를 지나 변압기 외함벽에 전달되므로 변압기외함에 초음파 마이크를 부착하게 되면 부분방전의 크기를 음향으로 검출할 수 있다. 이 음파Pulse는 보통 20~150kHz의 범위이며 이 초음파영역에서는 운전중인 기기에서 노이즈가 가장 적으며 이 초음파를 센서에서 전기적신호로 변환하여 검출한다. 그림 2는 운전중인 전력용변압기의 내부에서 부분방전 발생시



<그림 2> 운전중인 변압기의 Core-Form에서 부분방전 발생시 변압기외함에서 초음파센서에 의해 검출된 주파수분포(150kHz-초음파마이크)

초음파음향센서(수신대역 140kHz)에 의해 검출된 주파수Spectrum이다. 주파수의 영역이 20kHz~80kHz범위에서 가장 크고 200kHz까지는 거의 변화가 없고 그 이상은 노이즈성분으로 볼 수 있다.

## 3. 초음파(Ultrasonic Signal)의 특성 및 초음파센서

### 1) 초음파의 특성

근래에 들어 초음파를 이용한 측정 등(어군탐지, 유속측정, 의학적 진단)이 급속히 증가되고 있지만 국내에서는 아직 새로운 기술로 여겨지며 산·학 연구소에서 활발히 연구, 개발되고 있다.

초음파 범위는 지금까지는 인간의 귀로 들리지 않을 정도의 주파수, 즉 가청주파수이외의 주파수대역으로 10kHz~20kHz 이상의 범위로 정하였으나 최근들어서는 사람이 들을 수 없으며 또한 듣는 것을 목적으로 하지않는 음파로 정의되고 있다. 초음파는 매질속을 전파하는 탄성 진동파로서 가청주파수이외의 주파수는 아니지만 초음파를 물리적 입장에서 볼 경우 본질적인 차이가 없는 것으로 여기게 된 것이다.

초음파의 특성은 가청주파수와 그 특성이 매우 비슷하여 주파수가 높아지면 그 차이가 커지며 매우 높은 주파수에서는 마이크로파나 광파와 비슷해진다.

특징으로는 기체에서 보다는 전파 매질성이 우수한 액체, 고체에서 전파성이 우수하며 파장이 짧기 때문에 고분해 등의 계측이 가능하다.

### 가. 초음파의 특성

초음파는 다음과 같이 몇가지 특성으로 나타낼 수 있다.

○ 초음파는 진공중에서도 전파되는데 초음파가 전파되기 위해서는 매질이 필요하다. 진공중에서도 전파되는 매질은 기체, 고체, 액체 등 모든 것이 대상이 되며 생체조직중에도 전파되는 등 매질의 다양성이 있다.

○ 초음파의 파장( $\lambda$ )은 음속을  $C$ , 주파수를  $f$ 라 할 때

$$\lambda = \frac{C}{f} \text{로 구해진다.}$$

때문에 가청음보다 일반적으로 주파수가 높은 초음파는 파장이 짧아진다.

파장이 짧은 초음파는 일정한 방향으로 집중적인 방사를 할 수 있는 빛과 비슷한 성질로 움직인다. 따라서 초음파의 파장은 동일 주파수에서 전자파에 비해 현저히 짧다.

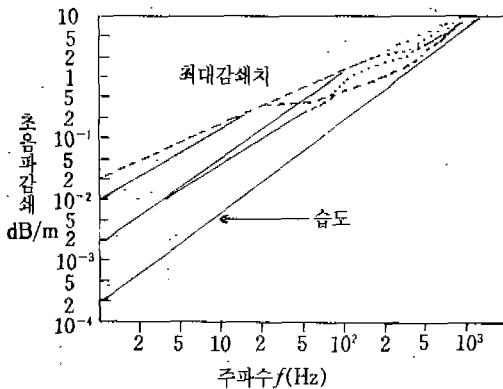
○ 초음파는 매질속을 전파하는 음(탄성진동파)이므로 전파 매질로서는 액체, 기체, 고체, 생체 등이 대상이 되며 매질에 따라 종파, 횡파, 전파속도, 전파에 따른 감쇄 등이 다르다.

대표적인 매질에서의 초음파속도는 다음과 같다.

- 대기중-340M/S
- Oil중-1,400M/S
- 물속-1,500M/S
- 금속(철)-6,000M/S

이들 음속은 주파수에 의해서는 거의 변하지 않지만 음속은 온도에 따라서 약간 변화한다. 또한 초음파는 매질을 전파해 가는데 따라 점차로 약해져 간다. 이것을 감쇄라고 하며 감쇄의 정도는 매질의 종류와 주파수에 좌우된다.

그림 3은 공기중에서 초음파의 주파수가 습도에 대한 감쇄의 정도를 나타낸 그래프이며 초음파가 공기중의 매질속을 전파되어 가는 도중에 굴절, 반사, 산란 등이 일어난다.



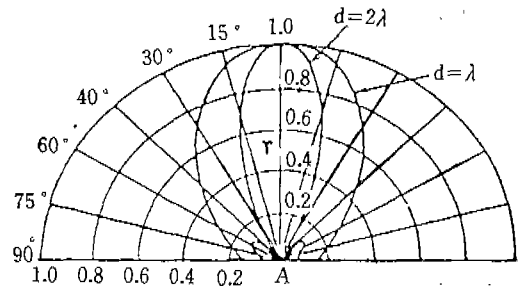
<그림 3> 대기중에서 초음파의 습도에 대한 감쇄치

나. 초음파의 지향성

초음파는 매질에 따라 주위의 영향을 거의 받지

않고 지향성을 이룬다. 그림 4에서 음원 A점에 r만큼 떨어진 중심축이  $\theta^\circ$ 인 곳에서의 음의 크기를 I이라 하면 각도를  $\theta$ 만큼 변화게 되었을 때 각 방향에서 음의 크기를 나타낸 것이다. 여기서 지향성함수(D)는 파장( $\lambda$ )에 따라 변화함을 알 수 있다.

즉 지향특성을 음원의 직경과 파장의 비에 의해서 결정되며 음원의 직경이 파장에 비해서 클수록 지향성이 예민해진다.



<그림 4> 초음파의 지향성 특성

다. 초음파 감쇄율

초음파가 매질속에서 전파될 때 그 매질의 성질, 종류, 상황 등에 따라 여러 현상이 생긴다. 즉 음향 매질속에서는 그 물질에 따라 반사와 투과하는 정도가 다르다. 초음파가 물질에 입사되면 그 일부는 투과되고 또 일부는 반사되는데 이 반사되는 정도에 따라 초음파의 감쇄율이 달라진다. 표 1은 대표적인 물질에서의 반사율을 나타낸다.

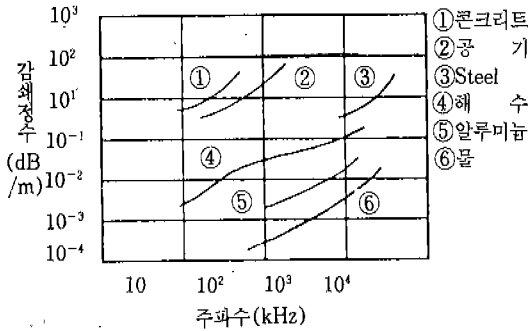
<표 1> 물질간의 반사율(%)

구 분	Steel	AL	H <sub>2</sub> O	공기
Steel	0	21	88	100
AL	-	0	72	100
H <sub>2</sub> O	-	-	0	100
공기	-	-	-	100

또한 일반적으로 초음파가 매질중에 전파되고 있는 동안에 초음파가 감쇄되는데 이는 초음파가 구면상으로 넓어져 전파되기 때문이며 물질자체의 성질

에 의한 경우도 있다. 보통 주파수가 높을수록 감쇄가 현저하게 적기 때문에 AE진단은 수십kHz로부터 수백kHz의 초음파를 검출하는 것이 일반적이다.

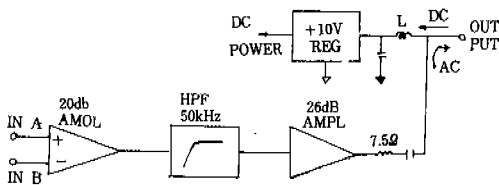
그림 5는 대표적인 물질에서의 주파수 감쇄특성을 나타낸 것이다.



<그림 5> 물질에서의 주파수 감쇄특성

### 2) 초음파 센서

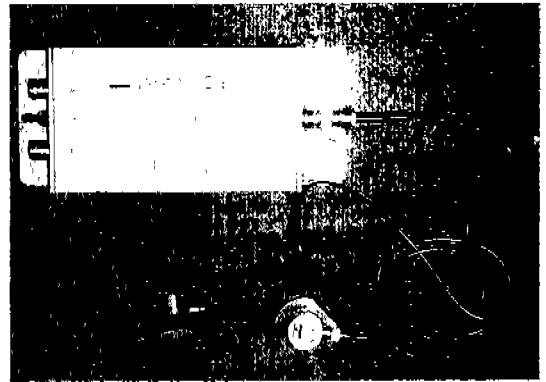
변압기내부의 부분방전 음향검출을 위해서는 수십kHz에서 수백kHz대의 공진주파수를 유지하여야 한다. 또한 초음파 센서의 기본원리는 음향신호와 사이클을 서로 변환시키는 것이며 이 방법에 따라 자기왜곡형, 전기왜곡형, 압전형, 전자형, 정전형 등으로 구별된다. 이중 전자형과 정전형은 스피커 등에 많이 사용되며 자기왜곡형은 3~30(kHz)정도의 수신Sensor로 사용된다. 압전형과 전기왜곡형은 강유전재료 또는 유전재료로 사용되며 전기왜곡형은 티탄산바륨(300kHz), 압전형은 수정이나 로셀염



<그림 6> Preamp Lifer의 회로도

(100MHz) 등이 있다. 이들 센서들은 전기신호와 음향신호(초음파)사이엔 진동이라는 단계를 거치게 되며 즉 전기음향변환기는 일반적으로 초음파수신→기계적진동→전기신호→증폭→분석으로 구성된다.

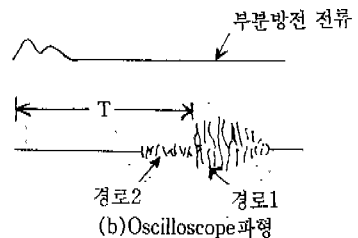
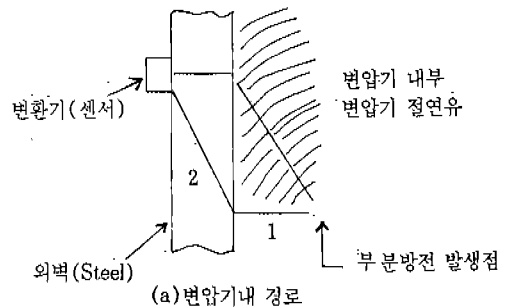
그림 6은 Preamp의 회로도이며 그림 7은 Sensor 및 Preamp의 외형도이다.



<그림 7> 초음파 센서 및 증폭기 외형도

### 3) 변압기내에서 운반경로에 따른 Pulse파형

초음파 센서는 통상 변압기 외함벽에 자석 등으로 부착하기 때문에 그림 5에서와 같이 물질의 감쇄현



<그림 8> 운반경로에 의한 출력파형

상으로 변압기 외벽과 변압기 절연유내의 전파속도가 다르다. 변압기 외벽(Steel)을 통과해서 초음파 센서에 도달하는 초음파의 이동경로에 대해서는 그림 8과 같이 구별할 수 있다. 이 그림에서 부분방전 발생점과 변환기(Sensor)가 설치된 경우 변압기 절연유만을 통과하는 경로 1과 변압기유와 외벽을 통과하는 경로 2로 나눌 수 있다. 외벽(Steel)의 음속은 절연유의 음속보다 약4배 빠르고 그 진폭은 절연유층을 통과한 것보다 적게 나타난다. 따라서 Wave Form은 그림 8(b)와 같이 외벽을 통과하여 변압기에 들어가는 초음파는 절연유만을 통과한 것과 비교해 시간이 빠르고 출력은 작기 때문에 용이하게 판별할 수 있으며 부분방전 발생점에서 센서까지의 거리가 멀수록 초음파가 오실로스코프에 나타나는 시간은 늦다.

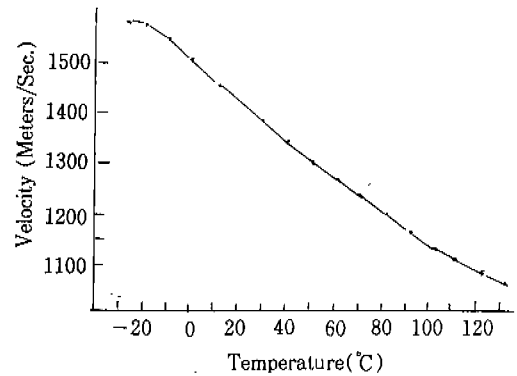
### Ⅲ. 초음파(Ultrasonic Signal) 음향검출에 영향을 주는 요소

변압기내부에서 부분방전(Partial Discharge)이 발생하게 되면 PD발생점 부위에서는 발열이 일어나고 그 주위의 절연유는 급격한 응축으로 입자간 서로의 충돌로 Pulse를 발생하게 되며 이 Pulse를 외부 변환기로 검출하는 것은 이미 전장에서 설명한 바와 같다. AE진단법은 센서를 쉽게 부착이 용이하고 부분방전을 조기에 발견하여 사고파급억제 등의 이점이 있는 반면에 주위의 환경에 따라 측정의 정확도가 변화한다는 단점이 있다. 때문에 측정시 주위 환경의 영향을 최소화할 필요가 있으며 이에 대한 AE 진단시 주위의 환경이 측정에 미치는 요소들에 대하여 알아본다.

#### 1. 절연유 온도에 의한 영향

절연유의 온도가 상승할수록 전파의 이동이 현저하게 저하하게 되는데 이의 실험결과가 그림 9에 나타난 것과 같다. 이 실험치는 습도 6ppm에서 초음파 발생 Pulse 150kHz로 하여 절연유내 온도를 -30℃에서 30℃까지 변화시켰을 때 나타나는 실험

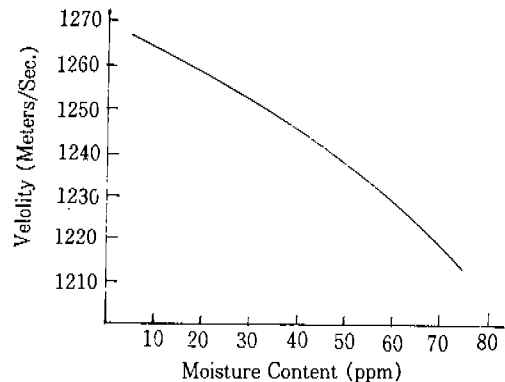
치이다. 이를 참고로 현장에 운전중인 변압기의 AE 진단시 온도와 전파속도와의 관계를 고려하여 판정 오차를 줄일 수 있다.



<그림 9> 변압기 절연유에서 온도에 따른 음속의 변화 (Frequency Signal 150kHz)

#### 2. 절연유내의 수분함유량에 의한 영향

절연유의 온도를 60℃로 유지하고 내부 초음파 신호(Ultrasonic Signal)를 150kHz로 일정하게 발생시키고 Oil내 수분함유량(Moisture Content)을 6ppm에서 76ppm까지 변화하였을 때의 관계를 그림 10에 나타낸다. 그림에서 Oil내의 수분함유량이 높

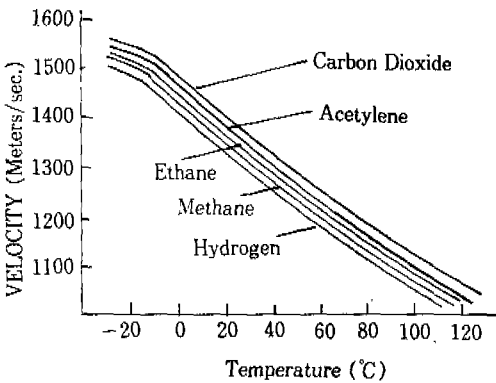


<그림 10> 변압기 절연유에서 수분함유량에 따른 음속의 변화곡선 (Oil 온도 60℃, 초음파 150kHz 발생)

을수록 전파속도가 늦어짐을 알 수 있으며 그 변화의 정도는 온도변화보다 적었지만 수분이 많을수록 음속의 감소가 현저함을 알 수 있다.

### 3. 절연유내의 Gas 함유량에 의한 영향

변압기내의 Oil에 Gas가 전혀 없는 상태에서 수소, 메탄, 에탄, 아세틸렌 그리고 탄소를 주입한 상태에서 oil의 온도를 -30℃에서 130℃까지 변화시키고 내부 PD발생 Pulse를 150kHz로 유지하였을 때 음속변화 상태를 나타낸 것이 그림 11이다. 이들 Gas성분들은 정상인 경우보다는 음속을 감소시키는 요소들이며 특히 수소(H<sub>2</sub>)의 경우가 음속저해를 가장 크게 나타냄을 보여준다.



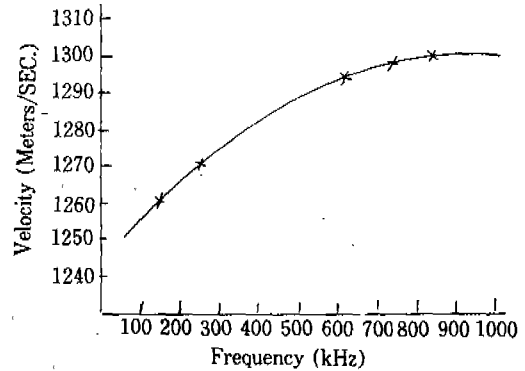
<그림 11> 절연유 Gas의 온도와 음속의 변화 (Frequency Signal 150kHz)

### 4. 절연유내에서 초음파 발생크기에 따른 영향

변압기절연유 온도를 60℃로 유지하고 내부발생 초음파 신호를 100kHz에서 1,000kHz까지 변화시켰을 때 전파속도를 나타낸 것이 그림 12와 같다. 이 결과로 부터 초음파 발생의 신호크기에 따라 전파전달 속도가 큼을 알 수 있으며 500kHz이상에서는 거의 음속에 영향을 미치지 않는다.

### 5. 초음파에 편승된 Wave

변압기 내부에서 부분방전에 의한 초음파가 발생



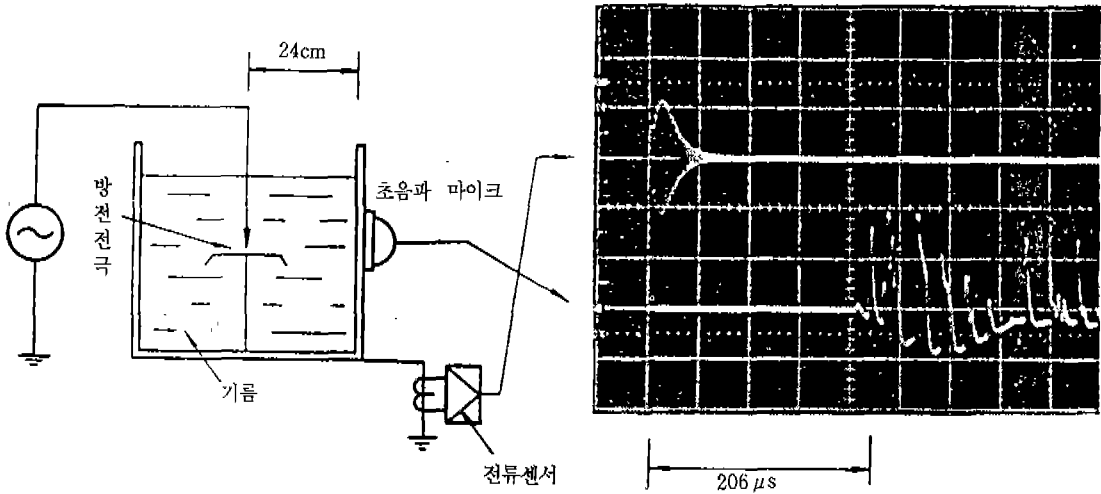
<그림 12> 초음파신호에 따른 절연유내에서의 음속의 변화

시 Acoustic파형에는 여러 종류의 Wave가 포함되는데 AE진단에는 종파와 횡파를 이용한다. 종파는 변압기내 절연유에서 Wave축에 병렬로 앞뒤로 진동하며 Oil내를 전달하는 파형이며 횡파는 변압기의 항 외벽내를 수직으로 진행하는 파형이다. 이외에 고체재료의 얇은 강판 등에서는 Lamb Wave가 일어난다.

### IV. 초음파음향 측정에 의한 부분방전 검출

앞장에서 설명한 바와 같이 부분방전이 발생하게 되면 전기적인 교란 이외에도 PD발생점 부위에서 초음파가 발생하게 되는데 이 음향신호를 음향신호 측정장치로 검출하여 이를 적분하거나 기준레벨(Reference Level)을 설정한다. 이 레벨이상의 파형 수치를 카운트함으로써 전기적 신호가 없어도 부분방전의 발생유무 검출이 가능하다. 그림 13은 그림 1의 P점에서 부분방전이 일어났을 때 Q점에 초음파 마이크를 부착, 이 Pulse를 파형분석계로 나타낸 모습이다.

일반적으로 부분방전 발생시 전기적 신호와 음향적 신호를 동시 측정하여 그림 13처럼 비교 측정할 수 있지만 현재 국내에서는 동시 측정할 수 있는 시스템은 아직 실용화 단계가 아니며 실험실에서만(외부노이즈가 전혀 없는 상태) 파형분석이 가능한 단



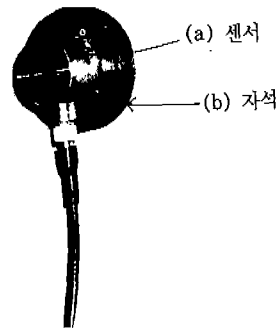
<그림 13> 변압기 부분방전시 발생하는 전기적 및 음향적 Pulse 신호

계이다.

현장에서 운전중인 변압기의 경우는 전류센서(Logoski Coil)에서 검출된 전류성분이 변압기내부 부분방전 전류성분 이외에도 중성점 누설전류, 고압 부상의 클랙 등에 의한 전류성분 등이 복합적으로 검출 되는 등의 어려움이 있기 때문에 전기적 및 음향적 신호를 동시에 측정할 수 있는 시스템개발이 절실하다고 볼 수 있다. 하지만 이에 대한 연구가 활발히 추진중이므로 곧 현장 적용화되리라 본다.

### 1. 초음파 센서의 특성

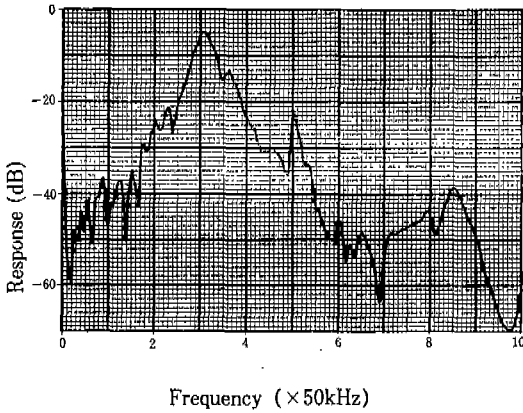
초음파의 압전소자(센서)는 변압기 외함의 표면에 그림 14와 같이 부착하며 센서주파수 대역은 100kHz~150kHz 대역을 선택한다. 초음파센서표면(그림 14 (b))에는 그리스를 두껍게 그리고 균일하게 바른다. 이는 변압기 외함과 센서와의 음파 정도를 양호하게 하기 위함이며 그리스는 애자오손 방지용 실리콘 그리스가 적당하다. 초음파센서를 변압기외함에 부착할 때는 변압기 운전시 진동이 가장 적은 곳을 찾아서 부착하며 보통 변압기의 중간이나 1/3~2/3 지점에 부착함이 가장 적당하다.



<그림 14> 초음파 센서의 자석에 의한 부착 모습

자석은 영구자석이며 부착면이 비자성체의 경우는 부착되지 않으므로 은박테이프나 접착성이 좋은 내열성의 테이프로 고정시켜 사용하는 것이 좋다. 또한 변압기 외함 표면은 센서 부착에 적합하여야 하며 일반적으로 문제가 되는 표면상태는 이물질의 부착, 두꺼운 페인트, 거칠은 다듬질표면, 미숙한 열처리표면, 곡면(요철) 등이다. 이상과 같은 표면들은 센서와 외함내의 Pulse사이에 영향을 준다. 때문에 이와 같은 외함표면은 적당한 방법으로 다듬질하여 센서를 부착한다(그림 15).

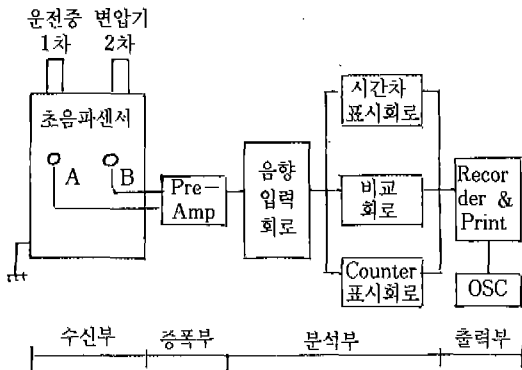




<그림 15> 초음파 센서의 공진주파수 특성곡선

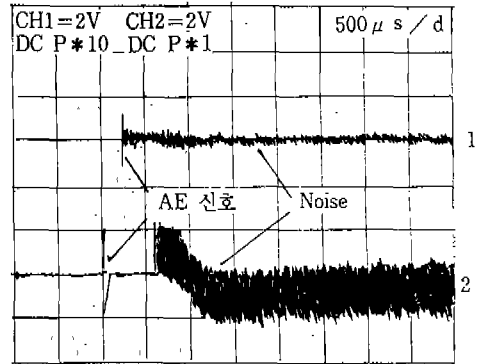
2. 초음파음향 측정

운전중인 변압기의 외함에 그림 16과 같이 초음파 센서를 부착하여 Preamplifier를 이용, 신호를 증폭시킨 다음 이 신호를 분석기에 보낸다. 분석기에서는 초음파 Pulse를 적분하여 일정 Band설정 및 Pulse Time의 선정에 의해 OSC에 디스플레이된다. 또는 이를 Computer에 의해 설정된 시간동안 이상 열화시 발생된 Pulse 크기가 계수된다.

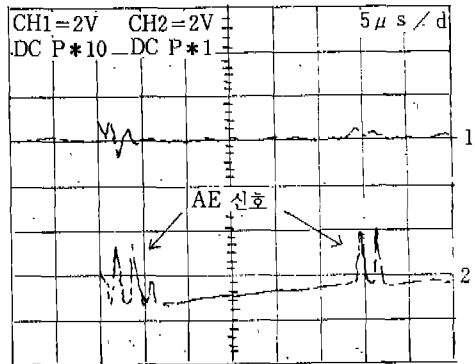


<그림 16> 초음파 음향 검출 구성도

초음파센서(A·B)에서 검출된 Pulse 크기를 그림 17에 나타낸다(이 Pulse는 변압기내부 부분방전 발생시 검출된 파형임).



(a) 외부노이즈 발생시



(b) 외부 Noise 제거후 순수 PD발생분만 검출된 Pulse

DL1200A Condition Report Ver. 1.41-20H

1. Inputs

BW = Full	CH1	CH2	CH3	CH4
V/div	= 2V	= 2V	= 50V	= 200mV
Coupling (DC add)	DC	DC	AC	AC
Probe	1 : 1	10 : 1	10 : 1	10 : 1
Invert	OFF	OFF	OFF	OFF

2. Time/div  $5 \mu s / div$  Sample Rate 50MHz

<그림 17> 변압기내부 부분방전 발생시 검출된 Pulse

부분방전 Pulse를 검출함으로써 부분방전에 의한 방전량의 변화상태를 음향신호로도 측정이 가능하며 발생 음향신호수의 시간적 변화상태와 기준범위 이

상의 음향신호수의 지속시간 등을 분석하여 부분방전에 의한 사고의 발생을 예지할 수 있다.

### 3. 초음파신호 Pulse와 부분방전 전하량과의 관계

변압기 내부에서 발생하는 초음파신호 P와 부분방전 전하량Q와의 관계는 다음과 같이 나타낸다.

- $P = \sqrt{Q}$  (Q=5~230PC의 범위일 때)
- $P \propto Q$  (Q=2,000~70,000PC의 범위일 때)

또한 변압기 내부의 프레스보드중에서 생기는 Void방전을 방전량의 크기에 관계없이 부분방전 전하와 음향신호와의 사이에는  $P \propto Q$ 의 관계가 정립되며 일반적으로 운전중인 변압기에서의 초음파 검출감도는 500~1,000PC 정도로 보고 있다.

Condenser외함(Steel)에 초음파센서를 부착하여 방전전하와 초음파신호와의 관계를 구하는 결과도  $P \propto Q$ 의 관계로 정해진다. 그러나 콘덴서에 있어서 초음파 검출감도는 변압기에 비하여 높고 1 $\mu$ F의 콘덴서에서는 5~10PC의 방전전하량이 검출되기도 한다.

### 4. 음향검출에 의한 부분방전 측정 결과

부분방전 Pulse파형의 전류검출감도 자체는 운전중인 변압기에서는 수십 PC정도가 되지만 초음파의 검출감도는 변압기 내부구조 및 운반경로에 의한 감쇄 등 때문에 수분의 1에서 수십분의 1까지 낮아지고 보통 현장의 수전용 변압기에서는 500~수천 PC 정도 검출시 정밀점검을 요한다. 일반적으로 초음파센서는 센서소자의 크기와 형상에 의하여 공간주파수가 결정되며 소자의 공진주파수를 적당하게 선정하여 적용시킨다.

변압기 내부에서 발생하는 주파수는 보통 수kHz~수MHz 정도의 광역주파수대에 분포되어 있다.

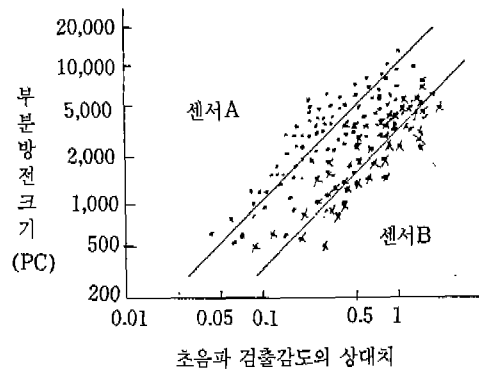
초음파 검출에 있어서 전원 주파수 대역의 변압기 철심, 자속의 진동음, 또는 냉각팬의 진동음, 기타 기계적 진동에 의한 잡음 등을 피하기 위해서는 가능한 검출주파수를 높게하는 방법이 있다.

하지만 변압기 내부의 프레스보드 등의 구조체에 의한 초음파의 감쇄, 반사 등은 고조파성분 정도로

크며 신호의 처리 등으로 부터 검출주파수는 오히려 낮은 쪽이 좋을 수도 있다.

운전중인 변압기에서 발생하는 주파수대역은 앞장에서 설명한 바와 같은 20kHz~200kHz의 초음파가 가장 많이 생기기 때문에 이에 대한 검출 초음파신호대역의 센서도 100kHz~150kHz대의 주파수가 가장 적합하다. 최근에는 공진주파수 100kHz~1MHz 정도의 것도 사용되고 있다.

현재 여러 실험에 의한 변압기 내부 부분방전 크기는 500~수천 PC 정도를 이상 유무로 판정하고 있지만 이 수치는 측정치를 종합한 평균치이므로 경우에 따라서는 운전중인 변압기의 모델, 형식, 부하상태, 접지상태 등 여러요건에 의해 변화될 수 있다.

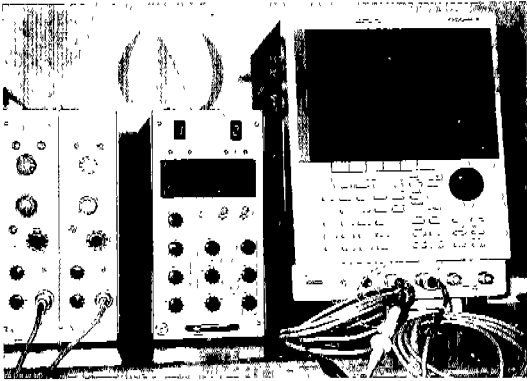


센서 A : 공진주파수 140kHz  
 센서 B : 공진주파수 40kHz

<그림 18> 초음파검출에 의한 부분방전 크기

그림 18은 센서대역에 따른 변압기 내부 부분방전 Pulse크기를 나타낸 것으로(부분방전의 크기가 초음파센서의 상대적 검출감도를 나타냄) 5,000(PC) 정도에서 가장 많은 분포를 보이고 있다.

최근에는 초음파센서에 의한 부분방전 음향진단, 즉 음향적 측정에 의한 검출방법과 방전전하량을 측정(전기적 측정법)하는 방법으로 온라인 시스템이 개발중이다. 그림 19은 초음파음향 진단장비의 모습이다.



<그림 19> 초음파음향 진단장비

### V. 맺음말

현재 변압기의 열화진단법은 정전후 진단을 위주로하고 있으며 이로인한 정전이 어려운 장소 등에서는 측정이 곤란하고 변압기 내부 절연물 등에서 불순물이 이동하면서 생기는 부분방전 등은 점검할 수 없는 점들 때문에 최근들어 무정전상태에서 여러가지 시험법들이 강구되고 있다. 대표적인 시험법은 부분방전 스펙트럼진단, 부분방전 음향진단, Radio Pulse를 이용한 RF Monitoring, 유중가스분석, Thermovision 등이며 현장 적용화가 가장 활발한

측정법이 부분방전 음향진단법으로 운전중 변압기에서 측정 및 진단이 용이하다.

AE진단은 센서 위치에 따라 변압기의 PD점의 발생점을 찾을 수가 있는데 외부 노이즈가 없는 상태에서는  $\pm 5\text{cm}$  범위까지 발생 위치점을 찾을 수 있다.

하지만 현장의 여러가지 노이즈들, 센서부착압력 등 주위 여건 때문에 현장에서의 위치점 탐색은 좀더 많은 실험 데이터를 필요로 한다.

부분방전 음향법은 변압기기의 예방보전 기술의 한 방법으로 국내·외국으로 많은 관심이 집중되고 있으며 마이크로 컴퓨터, 상호상관법 등을 이용한 수치해석이 가능하여 부분방전감시장치의 시스템이 국내에서도 멀지않아 현장 실용화 되리라 본다.

#### - 참고 문헌 -

1. 전기학회기술보고(Ⅱ)부 Vol 164 ('81.4)
2. Ultrasonic Spectrm Signatures of Under Oil Corona Sources IEEE Trans EI No 10~4, 109~112 ('75)
3. Fault Location in Gas Insulated Conductors Using Magnetic Sensors IEEE Trans No 99~4, 1543~1547 ('80)
4. Acoustic Emission Detection of Partial Discharges in Power Transformers EPRI EL-4009 Final Report ('85.8)

너도나도 사전점검  
재해없는 우리고장