

## Detection of Ultrasonic Characteristics of Oil Corona by Wide-Band AE Sensor

金寅澁\* · 李相雨\*\* · 李東仁\*\*\* · 李廣植\*\*\* · 金利國\*

(In-Sik Kim · Sang-Woo Lee · Dong-In Lee · Kwang-Sik Lee · Lee-Kook Kim)

**Abstract** - In this paper, using a wide-band AE sensor with the frequency range from 100[kHz] to 1.5[kHz], the frequency spectra of AE signals generated from the corona discharges of the needle-plane gap and from the partial discharges of an epoxy void were analyzed to determine the proper ultrasonic sensor with optimum frequency range according to the patterns of corona discharges. We also examined the propagation characteristics of AE signals in oil and the relationship between the magnitude of corona discharge and the magnitude of AE signals in peak-to-peak value under the application of 60[Hz] ac high-voltage. From these results, the main frequency spectra of AE signals emitted from the corona discharges of the needle-plane gap were about 130[kHz] by the fast fourier transform, but the main frequency spectra appeared to be 230[kHz] in the partial discharges of an epoxy void. The magnitude of AE signals was proportional to the magnitude of corona discharge and discharge current pulse with increasing the applied voltages.

**Key Words** : Acoustic Emission, Ultrasonic Signal, Corona Discharge

### 1. 서 론

절연유는 절연특성, 소호특성 및 냉각특성 등이 우수하므로 현재 고전압 전력기기의 절연매체로서 널리 사용되고 있다. 절연유의 절연내력은 시간이 경과함에 따라 유중에 잔류되어 있는 섬유, 수분 및 용해가스 등의 불순물에 의해 열화되어 매우 현저하게 저하되는 특성을 갖고 있다.

고전압기기에서 절연과피 사고는 주로 절연물의 열화에 의해 발생되므로 이러한 절연물의 열화상태를 조기에 검출하여 신속히 이상 부위를 제거할 필요가 있다. 고전압 전력기기의 사고 범위를 최대한 억제시켜 운전 신뢰도를 향상시키기 위해 오늘날 여러 가지 예방진단기술이 이용되고 있다. 부분방전 또는 코로나의 발생은 고전압기기에서 절연과피의 전구현상(pre-breakdown phenomena)으로 나타나는 경우가 많으므로 코로나의 효과적인 감시는 절연과피를 미연에 방지할 수 있고, 또한 운전상태 중의 고장진단법으로서 매우 유효한 방법이 되고 있다[1,2].

대용량 유입변압기의 부분방전 검출법으로서는 탱크 외벽에 초음파센서를 부착하여 음향신호를 검출하는 초음파 측정법, 중성점 접지선에 부착된 로고우스키코일(Rogowski coil)로 부터 방전전류를 검출하는 전류 펄스법 및 유중코로나방전에 의해 발생하는 가스성분의 분석에 의한 유중가스

분석법 등이 이용되고 있다. 최근 전력용 유입변압기에서 발생하는 부분방전의 측정을 초음파 또는 AE(Acoustic Emission)센서를 사용함으로써 열화상태를 상시감시(on-line monitoring)하기 위한 연구가 많이 발표되고 있다[3,4].

유입변압기에 대한 절연열화 진단시 초음파 측정법을 사용하려고 하는 이유는 측정장치가 비교적 간단하여 현장적용에 용이하고, 전기적인 측정법과 상호간섭을 일으키지 않는 장점이 있기 때문이다[5,6].

초음파 측정법은 부분방전에 의해 방출되는 음향에너지의 약99[%]는 초음파 영역에서 검출되므로 초음파 수신용 센서로서 보통 협대역 초음파센서(narrow-band ultrasonic sensor) 또는 AE센서(Acoustic Emission sensor)가 사용되고 있다. 그러나 실제 고전압기기의 내부 부분방전으로부터 발생하는 음향신호는 매우 미약하므로 효과적인 측정이 이루어지기 위해서는 측정회로의 수신감도를 높이거나, 방전형태에 따른 초음파신호의 주파수 범위를 조사하여 적절한 주파수 대역의 센서를 선택할 필요가 있다.

유중에서 코로나의 형태에 따른 음향신호를 분석하므로써 최적의 측정주파수 대역을 선정할 수 있고, 또한 음향신호의 주파수 스펙트럼의 분석을 통해 코로나방전의 형태를 역으로 추정할 수 있을 것으로 기대되고 있으나, 광대역 AE센서에 의한 이러한 음향신호의 주파수분석에 관한 연구는 발표되고 있지 않아 연구의 필요성을 느낀다.

따라서 본 연구에서는 주파수 범위가 0.1~1.5[MHz]인 광대역 AE센서를 사용하여 상이한 방전형태, 즉 침대 평판갭 및 보이드(void)방전에서 발생하는 AE신호를 측정하여 주파수 스펙트럼을 분석하였다.

또한, 유중 코로나의 초음파신호 특성을 조사하기 위해 침대 평판전극을 사용하여 상용주파수의 교류전압을 인가하

\*正會員 : 慶一太 電氣工學科 教授 · 工博

\*\*正會員 : 嶺南大 電氣電子工學部 博士課程 修了

\*\*\*正會員 : 嶺南大 電氣電子工學部 教授 · 工博

接受日字 : 1999年 10月 19日

最終完了 : 1999年 12月 9日

였을 때, 인가전압에 따른 AE신호의 분석뿐만 아니라 방전 전하량과 AE신호의 상호관계, 유중 초음파신호의 전파특성 등을 조사하였다.

## 2. 실험장치 및 방법

본 실험에서 사용된 전극은 스테인레스강(stainless steel)으로 제작된 침대 평판전극으로 구성하였다. 사용된 침전극의 선단각은 약30도이며, 선단 곡률반경은 약20[ $\mu$ m]이다. 평판전극의 지름은 약40[mm]이고, 전극의 두께는 약10[mm]이며 전극 가장자리는 둥근 형상으로 제작하였다.

그림1은 코로나방전에 의한 초음파 측정시스템의 블록선도를 나타낸 것이다. 이때 초음파 수신회로는 전자(電磁)적인 차폐를 위해 알루미늄으로 만든 케이스 내부에 설치하였다. 그리고 실험에 사용된 절연유는 유입변압기에 사용되고 있는 천연 광유인 1종 2호의 절연유를 사용하였다.

음향신호를 검출하기 위한 AE센서는 진공그리스(vacuum grease)를 사용하여 유조의 외벽에 부착하였다. 사용된 유조는 두께 4[mm]인 아크릴판(acrylic plate)으로 제작하였으며, 유조의 크기는 35\*20\*20[cm]이다. 음향신호를 검출하기 위해 광대역 AE센서(wide-band AE sensor)를 사용하였으며, 이 센서의 주파수범위는 약100[kHz]~1.5[MHz]이며, 주파수 특성은 그림2와 같이 1.5[MHz]까지는 거의 평탄한 이득 곡선을 나타내고 있다.

AE 신호의 수신회로는 전치증폭기, 고역통과필터 및 주증폭기로서 구성하였다. 여기서 증폭기회로의 이득은 40[dB]을 갖도록 설계하였다. 기계적 진동 등에 의한 외부 노이즈를 제거하기 위해 차단주파수 100[kHz]인 고역통과필터(high-pass filter)를 사용하였다.

본 증폭장치의 주파수응답은 그림3과 같다. 여기서 약 100~450[kHz] 영역에서 측정감도가 비교적 양호한 것으로 나타났다.

부분방전에 의한 AE센서의 신호를 관찰하기 위해 디지털 오실로스코프(LeCroy 9350AL)를 사용하였다.

고전압의 발생 및 방전전하량[pC]으로 나타낸 코로나방전의 크기는 코로나 측정시스템(corona detecting apparatus system set, 일본 Pultec Electronics Co.)을 사용하여 측정하였다.

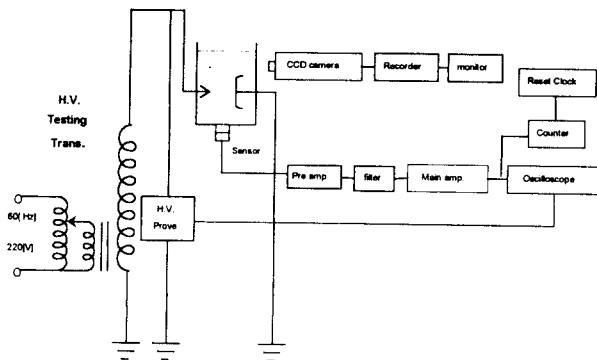


그림 1 실험장치의 블록선도

Fig. 1 Block diagram of experimental apparatus

이 장치는 슬라이더에 의해 전압값을 조정할 수 있으며, 교류입력전압은 60[Hz], 220[V]이고, 시험용 변압기의 2차 최대전압은 30[kV]이다. 코로나 발생전압에서 오실로스코프를 사용하여 전압파형을 관측하기 위해 분압비 2000:1인 고전압프로브(high voltage probe, type : EP-50K, 일본 Pulse Electronic Engineering Co.)를 사용하였다. 코로나 개시전압까지는 약1.0[kV/sec]의 속도로 인가전압을 상승시켰다. 그리고 코로나의 발생전압에서 방전전하량 및 음향신호를 관찰하고, 다시 단계적으로 천천히 전압을 증가시켰을 때 이득값을 조사하였다.

코로나방전의 개시 및 진전상태를 확인하기 위해 침전극 선단에서 윗면으로 약 20[cm] 떨어진 위치에 배율 50인 디지털 카메라(CCD camera)를 설치하였다.

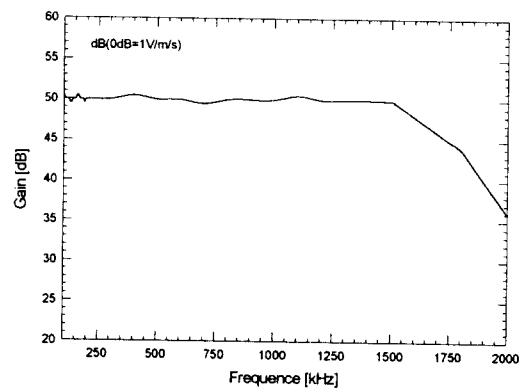


그림 2 AE센서의 주파수 특성

Fig. 2 Frequency characteristics of acoustic emission sensor

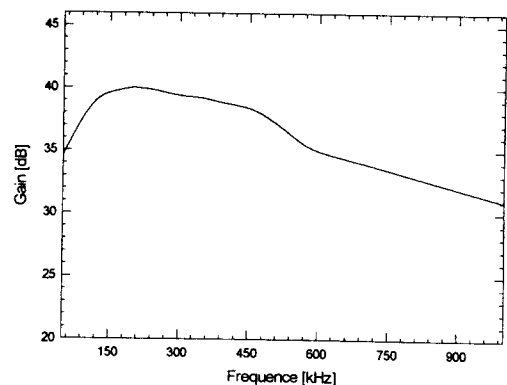


그림 3 증폭장치의 주파수 특성

Fig. 3 Frequency characteristics of amplifying circuit

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 초음파신호의 전파 특성

그림4은 공기 및 유중에서 이격거리(d)의 변화에 따른 초

음파신호의 감쇄 특성을 나타낸 것이다.

여기서 초음파 발진기의 송신출력전압( $V_{p-p}$ )은 15[V]로서 일정하게 유지하고, 송·수신 초음파센서의 이격거리( $d$ )를 변화시켰을 때 초음파 수신회로의 최대출력전압( $V_{p-p}$ )으로 나타낸 것이다. 이때 사용된 초음파의 발진 및 수신회로는 이미 보고된 바와 같다[7].

그림4에서 알 수 있는 바와 같이 거리  $d$ 가 증가할수록 음압은 거리( $d$ )에 반비례하여 감소되는 것으로 나타났다.

여기서 유중에서는 공기중에 비해 감쇄의 정도가 비교적 작은 것으로 나타났다. 본 실험에서 전과거리 30[cm]인 음압 레벨은 5[cm]떨어진 음압레벨에 비해 공기중에서는 15.3[dB] 감소되었으나, 유중에서는 5.6[dB]인 것으로 나타났다. 그림4에서 측정된 초음파의 전달특성은 초음파센서 사이의 이격거리( $d$ )가 센서의 직경( $\phi=18$ [mm])에 비해 충분히 크기 때문에 원거리음장(音場)이라 할 수 있다. 이러한 음장에서 감쇄 현상은 일반적으로 고체보다 액체, 액체보다 기체에서 현저한 것으로 보고되어 있다[8]. 이는 초음파가 물체중을 진행할 때 매질에 따라 에너지의 흡수 및 확산에 의한 손실이 서로 다르기 때문이라고 해석된다.

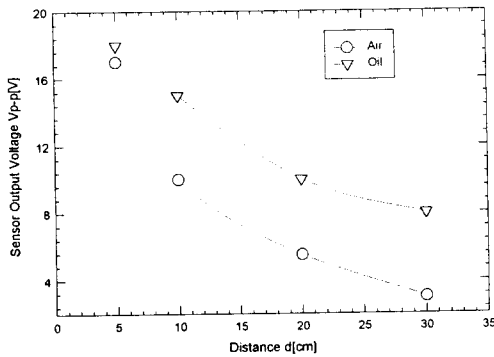


그림 4 유중 음압 감쇄 특성

Fig. 4 Attenuation characteristics of ultrasonic signals in oil

### 3.2 AE신호의 시간지연 특성

초음파신호는 매질에 따라 일정한 전파속도를 갖고 있기 때문에 방전이 발생한 순시에 그 신호를 수신하는 것은 불가능하고, 방전 점으로부터 센서 설치장소까지 매질을 통해 전달되기 위해서는 어느 정도 시간지연이 일어나고 있다. 대부분의 물질에 대한 초음파의 전파속도는 잘 알려져 있으며, 상온 및 상기압에서 공기의 전파속도는 약343.5[m/s], 액체인 절연유의 전파속도는 약1,480[m/s]인 것으로 보고되고 있다[9].

그림5는 초음파신호의 시간지연 특성을 오실로스코프에 의해 측정된 것이다. 여기에서 상부파형은 코로나 전류펄스로 주파수 대역이 170~250[kHz]인 측정시스템을 사용하여 검출한 것이고, 하부파형은 광대역 AE센서를 사용하여 유중에서 방전점으로부터 15[cm] 떨어진 위치에서 측정된 초음파신호 파형이다.

초음파신호는 고주파밴드의 형태로써 오실로스코프 화면 상에 나타나고 있으며, 코로나방전 전류펄스보다 일정시간  $t$

에 의해 지연되어 나타나고 있다. 여기에서 지연시간  $t$ 는 약 114[ $\mu$ s]로 측정되었으며, 음원의 발생점까지 계산거리는 약 16.8[cm]이다. 따라서 매질의 전파속도를 알고, 초음파신호의 지연시간을 측정하므로써 음원까지의 거리는 용이하게 계산될 수 있다.

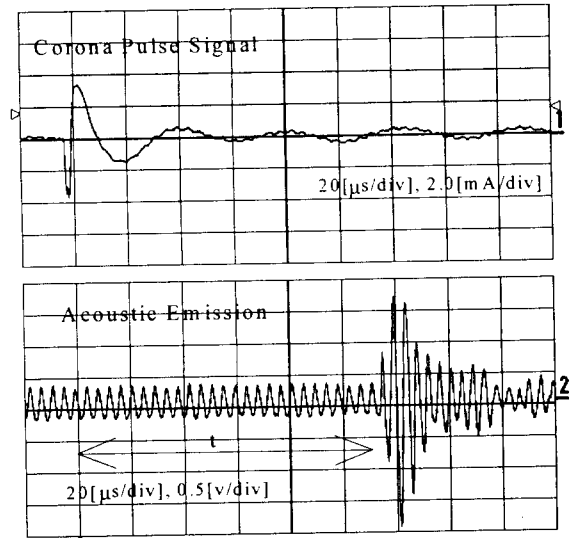


그림 5 AE신호의 시간지연 특성

Fig. 5 Time delay characteristics of AE signals

그림6은 초음파신호의 시간지연 특성을 이용하여 방전점의 위치를 2차원적으로 측정하기 위한 개략도이다.

유중에서 코로나방전점을 측정하기 위해 유조의 외벽에 부착된 두 개의 A·B센서로부터 각각 9.5[cm] 및 17[cm] 떨어진 위치에 코로나방전점을 그림과 같이 설치하였다. 실제 3차원 공간내에 존재하는 방전점을 검출하기 위해서는 3개의 센서를 부착할 필요가 있으나, 여기서는 위치측정의 방법을 나타내기 위해 2개의 센서에 대한 것만 표시하였다.

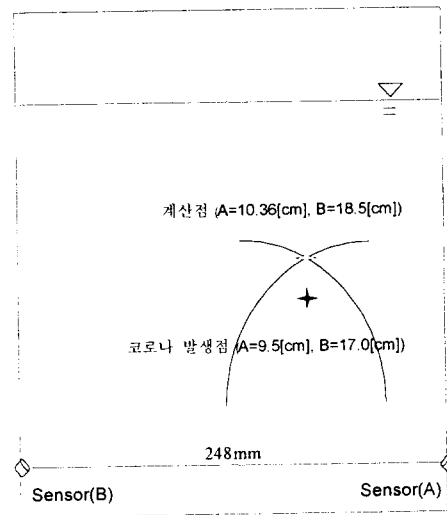


그림 6 방전점의 위치 측정 개략도

Fig. 6 Schematic diagram of the detection of discharge point location

유중 코로나방전 점으로부터 각센서에서 검출된 초음파신호는 그림7과 같다. 방전점에서 거리가 상이한 각센서의 초음파신호는 거리에 따른 시간지연을 나타내고 있으며, 이때 지연시간과 매질의 전파속도를 곱하므로써 센서에 의한 방전점의 위치를 측정할 수 있다. 그림7에서 A 및 B점에서 검출된 초음파신호의 지연시간은 각각 70[ $\mu$ s] 및 125[ $\mu$ s]이다.

지연시간에 의해 계산된 방전점의 위치는 A·B센서로부터 각각 10.36[cm] 및 18.5[cm]이며, 측정오차는 매우 작은 것으로 나타났다.

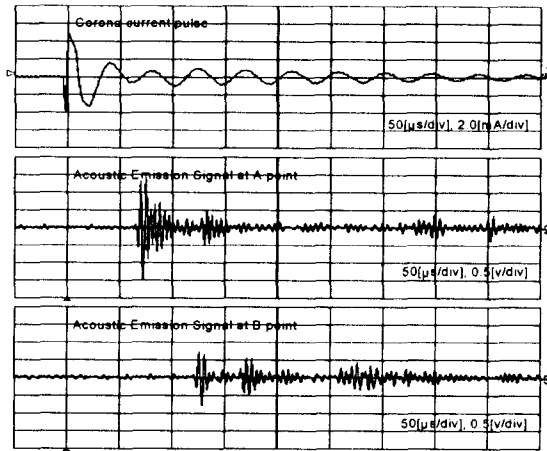


그림 7 AE신호에 의한 방전점의 위치 검출  
Fig. 7 Detection of discharge point location by AE signals

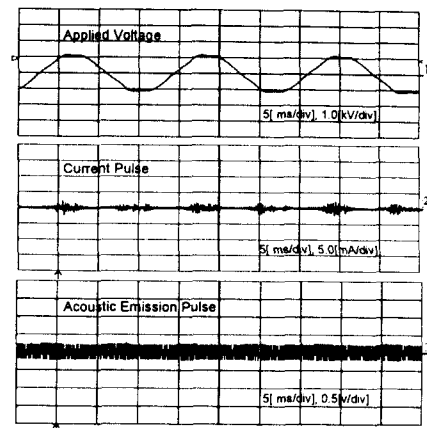
### 3.4 유중 코로나방전에 의한 AE신호 특성

그림8은 유중에서 침대 평판전극의 갭길이 4.0[mm]일 때 코로나방전의 발생 및 그 진전상태에 따른 AE신호 특성을 나타낸 것이다. AE신호는 주파수 대역이 100[kHz]~1.5[MHz]인 광대역 AE센서를 사용하여 측정된 것이다. 여기서 채널1은 인가전압[V]이며, 채널2는 코로나방전전류, 채널3은 이때의 AE신호 파형이다.

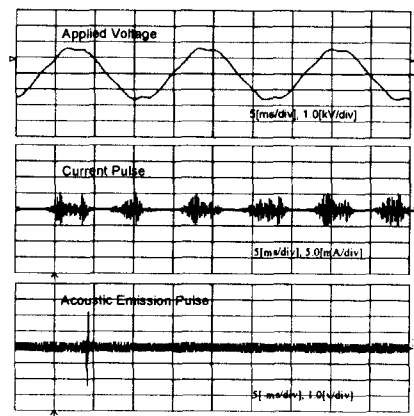
인가전압을 서서히 상승시키면 침전극의 선단에서는 코로나 개시전압에 도달하여 미약한 코로나방전이 개시되며, 정·부극성 반주기의 최대값에서 처음으로 코로나전류펄스가 나타난다.

그림8(a)은 코로나개시전압직후 인가전압이 8[kV]일 때, 정극성 및 부극성 반주기의 최대값에서 코로나전류펄스가 나타난다. 이때 발생한 코로나방전은 그 에너지가 미약하여 초음파센서에 응력을 가하지 못하므로 그림8(a) 채널3과 같이 AE신호는 검출되지 않았다.

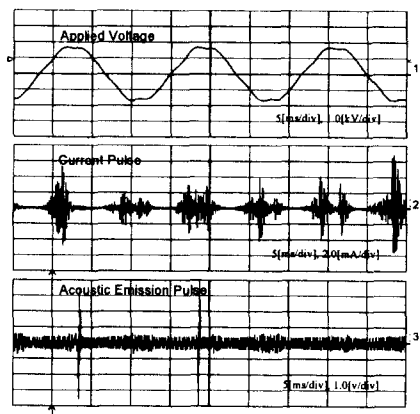
인가전압을 더욱 상승시켜 13[kV]가 되면 그림8(b) 채널2와 같이 정극성 및 부극성 반주기의 최대값 영역에서 코로나전류펄스는 그림8(a) 채널2의 전류펄스와 비교할 때 그 크기는 매우 증가되었다. 일반적으로 공기중 코로나인 경우에는 정극성 반주기의 최대값 영역에서 더 큰 코로나전류펄스가 나타나고 있으나, 유중 코로나인 경우에는 그림과 같이 정·부극성에서 거의 동일한 크기로써 나타나고 있다. 이때 그림8(b) 채널3과 같이 AE신호는 정극성 전류펄스에 의해 검출되고 있으며, 전파거리와 응답시간에 따른 시간지연이 일어나고 있다.



(a) 8[kV]



(b) 13[kV]



(c) 18[kV]

그림 8 인가전압에 따른 AE 및 전류펄스신호 파형

Fig. 8 Waveforms of AE and current pulse signals along with applied voltages

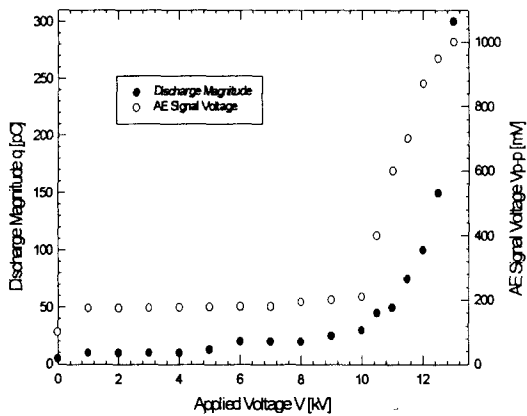
인가전압을 더욱 증가시켜 18[kV]이 되면 그림8(c) 채널2와 같이 전류펄스는 양(兩)극성에서 이전 단계보다 매우 크게 나타나고 있다. 이때 공기중 코로나의 경우에는 정극성 최대값 부근에서 두개의 전류펄스가 관측되고, 전압의 최대

값에서는 펄스가 없는 소위 무펄스 코로나방전이 두개의 전류펄스 사이에서 일어나고 있었다.

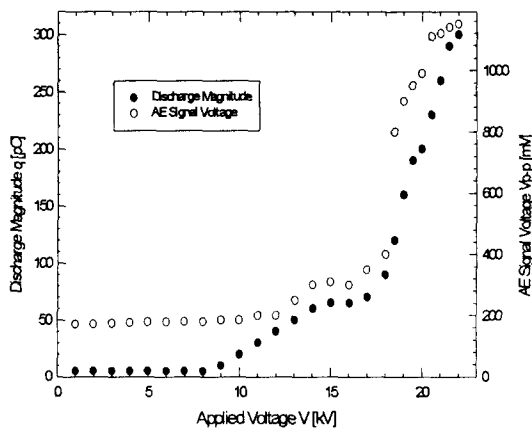
이를 보통 연속코로나(continuous corona)라 부르며, 이로 인해 고전압 계통에서 코로나 손실은 매우 크게 관측되에도 불구하고 전자파 장애(radio interference)는 비교적 낮게 나타나는 현상이 보고되고 있는데 이는 연속 코로나에 의한 것으로 해석되고 있다[10]. 유중 코로나의 경우에도 이러한 연속코로나가 그림8(c)와 같이 나타나는 경우도 있으나, 어느 정극성 반주기 에서는 나타나지 않는 경우도 관측되었다. 이때 AE신호는 채널3과 같이 정극성 반주기의 최대치 부근에서 주로 검출되었으며, AE신호의 크기는 방전전류펄스의 크기에 비례하여 증가되는 것으로 관측되었다.

3.5 방전전하량(q) 및 AE신호의 크기(Vp-p)의 관계

그림9는 침대 평판전극의 갭길이 2[mm] 및 4[mm]인 경우 인가전압의 변화에 따른 최대방전전하량(q)과 AE신호의 최대출력전압(Vp-p)의 특성을 나타낸 것이다. 여기서 AE신호의 Vp-p는 peak to peak 전압을 나타낸 것이다.



(a) 갭길이 2[mm]



(b) 갭길이 4[mm]

그림 9 방전전하량(q) 및 AE신호(Vp-p)의 특성  
Fig. 9 Corona discharge magnitude(q) and AE signal (Vp-p) along with applied voltages

그림9(b)에서 코로나 개시전압인 약8.0[kV]까지는 방전전하량 q는 매우 낮은 값에서 유지되고 있으나, 코로나 개시전압에서 전압의 상승과 더불어 방전전하량도 크게 증가된 것으로 나타났다.

인가전압이 상승함에 따라 코로나는 발달되고 방전전하량은 전압에 비례하여 증가하였으며, 인가전압이 약 18[kV]가 되어 브러시 또는 스트리머 코로나가 일어나면 전압의 상승에 따라 방전전하량은 매우 크게 증가된 것으로 나타났다.

약11[kV] 이하의 전압에서 AE신호는 거의 나타나지 않았으나, 그후 인가전압이 상승함에 따라 AE신호의 출력전압Vp-p는 인가전압에 거의 비례하여 증가된 것으로 나타났다.

또한 인가전압이 약 18[kV]가 되어 스트리머 코로나가 일어나면 파괴전압에 도달될 때까지 AE신호의 출력전압(Vp-p)은 급격히 증가된 것으로 나타났다.

그림10은 최대방전전하량(q)과 AE신호의 크기(Vp-p)의 관계를 나타낸 것이다. 여기서 알 수 있는 바와 같이 AE신호의 출력전압(Vp-p)은 최대방전전하량(q)에 거의 비례하여 증가된 것으로 나타났다.

이것은 방전전하량과 방전에너지는 밀접한 관계가 있으므로 AE신호의 강도는 방전에너지의 크기에 비례하고 있음을 알 수 있다.

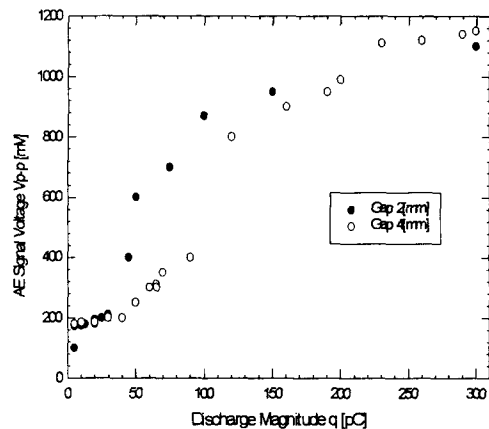


그림 10 방전전하량(q)과 AE신호(Vp-p) 관계  
Fig. 10 Relationship between corona discharge magnitude(q) and AE signal(Vp-p)

3.6 AE신호의 주파수 스펙트럼

그림11은 갭길이 4[mm]인 침대 평판갭에서 상용주파수 교류전압 13[kV]을 인가하였을 때, 유중 코로나방전에 의한 대표적인 AE신호를 나타낸 것이다. 여기서 시간축은 상용주파수의 1주기에 해당하는 16[ms]동안에 발생한 AE신호 파형을 나타내었다.

그림12는 침대 평판갭에 대한 유중 코로나에 의해 검출된 AE신호를 FFT(Fast Fourier Transform)로 분석한 결과를 나타낸 것이다.

그림12(a)와 같이 인가전압이 11[kV]일 때 AE신호의 주

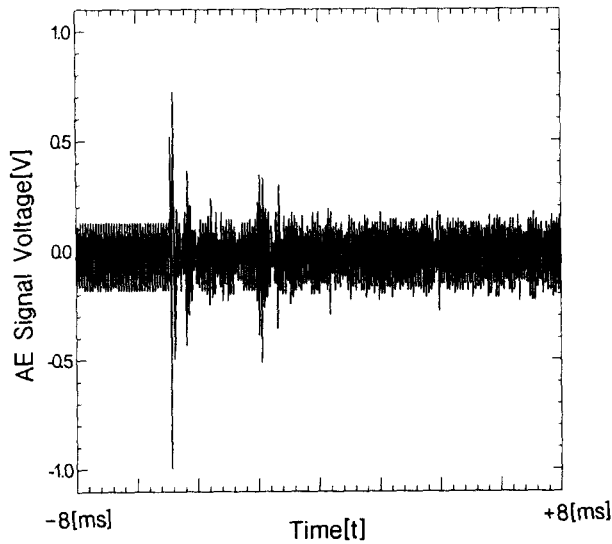


그림 11 유중 코로나에 의한 대표적인 AE신호 파형  
Fig. 11 Typical AE signal caused by oil corona

파수 대역은 약90~230[kHz]의 영역에서 검출되었다. 그중에서 주된 주파수 대역은 약130[kHz]인 것으로 나타났다.

그리고 그림12(b)는 인가전압이 13[kV]일 때, AE신호의 주파수 스펙트럼을 나타낸 것이며, 11[kV]인 경우(그림 12(a))와 거의 동일한 형태를 나타내고 있다.

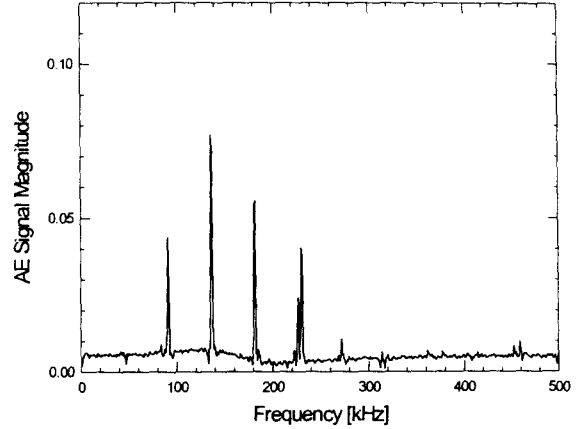
그림12(c)는 인가전압을 더욱 상승시켜 18[kV]일 때 주파수 스펙트럼을 나타낸 것이며, 역시 주파수 대역은 그림 11(a)과 같이 약90~230[kHz]의 범위에 분포되어 있었다.

전압이 상승하여 코로나방전이 불안정해지면 이 범위의 주파수 대역에서 많은 피크치가 나타나고 있다. 그러나 주된 주파수 대역은 150[kHz] 부근인 것으로 나타났다.

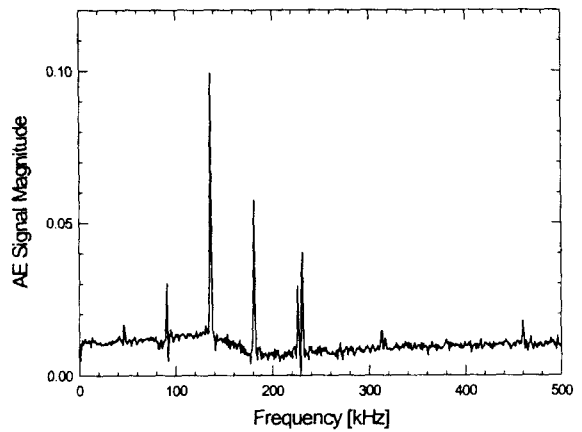
그림13은 침전극 선단에 에폭시 보이드를 형성하여 상용 주파수 교류전압을 인가하였을 때, 보이드 방전에 의한 AE 신호의 주파수 스펙트럼을 나타낸 것이다.

에폭시 보이드는 침전극 선단에 에폭시수지를 사용하여 길이 1[mm]인 인공보이드를 형성시켰다. 그림13(a) 및 그림 13(b)은 인가전압을 각각 16[kV] 및 20[kV]를 인가하였을 때 AE신호의 주파수 스펙트럼을 나타낸 것이다.

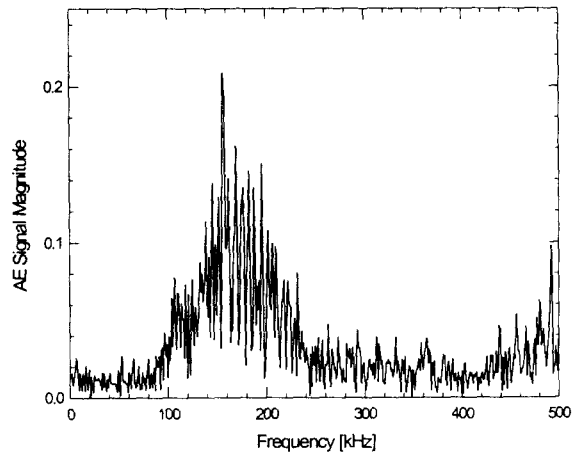
그림에서 나타난 바와 같이 에폭시 보이드의 부분방전에 의한 AE신호의 주파수 대역은 약80~460[kHz] 범위에서 관측되고 있으나, 주된 주파수 대역은 약230[kHz]인 것으로 나타났다. 침대 평판갭의 코로나방전 및 에폭시 보이드의 부분방전에 대한 AE신호의 주파수 스펙트럼을 비교해 보면 침대 평판갭인 경우 주파수 대역은 약90~230[kHz]으로서 보이드방전의 약230[kHz]에 비해 낮은 범위에서 분포되어 있는 것으로 나타났다. 또한 침대 평판갭인 경우 주파수 스펙트럼은 비교적 넓은 범위에 걸쳐 분포되어 있으나, 보이드방전에 의한 AE신호의 주파수 스펙트럼은 주로 230[kHz]에 집중분포 되어있어 보이드방전의 초음파 측정시에는 측정감도를 높이기 위해 공진주파수의 선정이 매우 중요함을 알 수 있다.



(a) 11[kV]



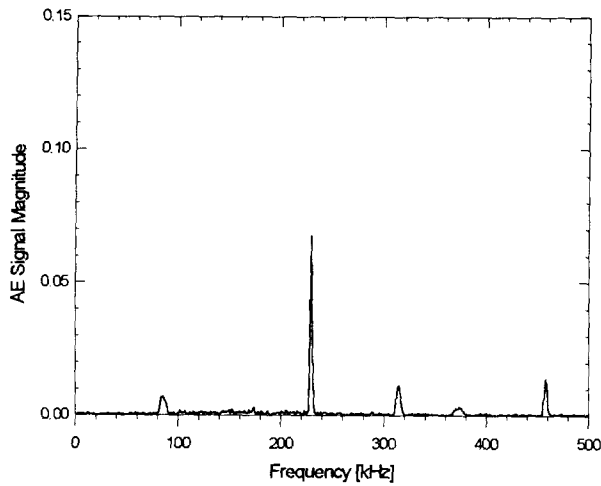
(b) 13[kV]



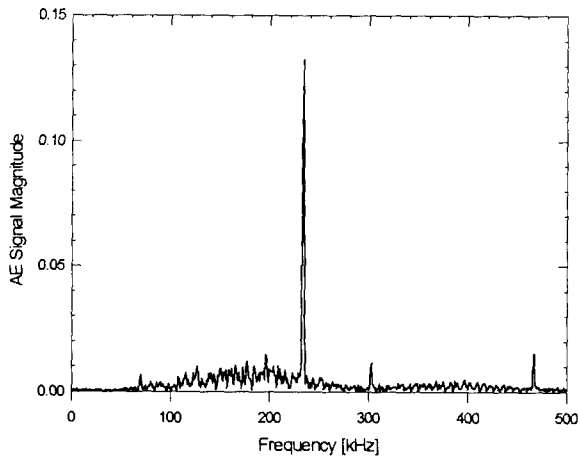
(c) 18[kV]

그림 12 AE신호의 주파수 스펙트럼(침대 평판갭 유중 코로나방전)

Fig. 12 Frequency spectrum of AE signal (needle-plane gap oil corona discharge)



(a) 16[kV]



(b) 20[kV]

그림 13 AE신호의 주파수 스펙트럼(에폭시 보이드 방전)  
Fig. 13 Frequency spectrum of AE signal (epoxy void discharge)

#### 4. 결론

본 연구에서는 주파수 대역이 100[kHz]~1.5[MHz]인 광대역 AE센서를 사용하여 침대 평판전극에 대한 상용주파수의 교류전압을 인가하였을 때, 유중 코로나방전에 의한 AE신호의 특성, 방전전하량 및 AE신호의 출력전압(Vp-p) 등을 조사하였다. 또한, 방전형태에 따른 AE신호의 주파수 특성을 조사하기 위해 침대 평판 및 에폭시 보이드의 부분방전에 대한 AE신호의 주파수 스펙트럼을 분석하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

- (1) 유중에 설치된 침대 평판의 코로나방전에 의해 발생하는 AE신호의 주파수 스펙트럼을 분석한 결과, 주파수 대역은 약90~230[kHz] 범위였으며, 주된 주파수 대역은 약130~150[kHz]인 것으로 나타났다. 한편, 에폭시 보이드의 부분방전에 의해 발생된 AE신호의 주파수 대역은 약80~460[kHz] 범위에서 관측되

었으나, 주된 주파수 스펙트럼은 약230[kHz]인 것으로 나타났다.

- (2) 유중에서 교류코로나에 의해 나타나는 AE신호는 전압을 상승함에 따라 정극성 최대값 부근에서 우선 관측할 수 있었으며, 이때 AE신호의 크기 및 발생위치는 방전전류의 펄스신호와 매우 밀접한 관계가 있었다. 전류펄스의 크기에 비례하여 AE신호의 크기는 증가된 것으로 나타났다.
- (3) 코로나 개시전압 이후 전압이 상승함에 따라 AE신호는 브러시 또는 스트리머 코로나에서 관측되었으며, AE신호의 최대치(Vp-p)는 방전전하량(q)에 거의 비례하여 증가된 것으로 나타났다.
- (4) 유중에 대한 초음파신호의 감쇄는 공기중에 비해 작은 것으로 나타났다. 전과거리 30[cm]인 음압레벨은 5[cm] 떨어진 음압레벨에 비해 유중에서는 5.6[dB], 공기중에서는 15.3[dB] 감소된 것으로 나타났다.

이상의 결과로 부터 방전전하량 대신 AE신호를 측정함으로써 유중 코로나의 진전상태를 예측할 수 있을 것으로 생각된다. 그리고 AE신호의 주파수 스펙트럼을 분석함으로써 코로나의 발생패턴에 따라 적절한 공진주파수의 초음파센서를 선정할 수 있을 것으로 판단된다.

#### 참고 문헌

- [1] S. W. Lee, I. S. Kim, K. S. Lee and D. I. Lee, "Ultrasonic Signal Characteristics due to Treeing Deterioration in Epoxy Resin," The 9th Asian Conference on Electrical Discharge, pp. A2-3, 1998.
- [2] E. Howells and E. T. Norton, "Location of Partial Discharge Sites in On-Line Transformers," IEEE Trans. PAS, Vol. 100, No. 1, pp.158-162, 1981.
- [3] E. Howells and E. T. Norton, "Detection of Partial Discharge in Transformers Using Acoustic Emission Techniques," IEEE Trans. PAS, Vol. 97, No. 5, pp. 1538-1549, 1978.
- [4] R. T. Harrold, "Acoustic Wave-guides for Sensing and Locating Electrical Discharges in High Voltage Power Transformers and Other Apparatus", IEEE Trans. Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-98, No.2, pp.449-457, 1979.
- [5] Y. Kagawa, S. Yamazaki, "Acoustic Emission Associated with Tree Growth in Polymeric Materials" IEEE Trans. Elect. Insul., Vol. EI-17, No. 4, pp. 314-8, 1982.
- [6] R. Dukes and E. A. Culpan, "Acoustic Emission : Its Techniques and Applications," IEE Proc., Vol. 131, No. 4, pp.241-251, 1984.
- [7] 이상우, 김인식, 이동인, 이광식, 이동희 "초음파를 이용한 에폭시 몰드변압기의 열화진단" 한국조명·전기설비학회 논문지, 제 13권, 제 3호, pp.73-81, 8월, 1999.
- [8] R. T. Harrold, "Acoustic Technology Applications in Electrical Insulation and Dielectrics," IEEE Trans. EI, Vol. 20, No. 1, pp. 3-19, 1985.
- [9] L. E. Lundgaard, "Acoustic Partial Discharge Detection Fundamental Considerations," IEE Electrical Insulation Magazine, Vol. 8, No. 4, pp.25-31, 1992.
- [10] D. Kind, "An Introduction to High-Voltage Experimental Technique", Vieweg and Sohn, pp.126-132, 1978.

저 자 소 개



김 인 식(金寅湜)

1953년 10월 3일생. 1974년 영남대 공대 전기공학과 졸업. 1988년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학). 1990~1991년 美國 University of Southern California대 초빙교수. 현재 경일대학 전기공학과 교수.  
Tel : 053-850-7143, Fax : 053-850-7602  
E-mail : iskim@bear.kyungil.ac.kr



이 광 식(李廣植)

1948년 10월 20일생. 1971년 영남대 공대 전기공학과 졸업. 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학). 1988~1989년 Nagoya Institute of Technology대 초빙교수. 현재 영남대 공대 전기전자공학부 교수. 영남대 학생처장  
Tel : 053-810-2486, Fax : 053-813-8230  
E-mail : kslee@ynuucc.yeungnam.ac.kr



이 상 우(李相雨)

1967년 4월 11일생. 1992년 경일대 전기공학과 졸업. 1995년 동 대학 산업대학원 졸업(석사). 1997~현재 영남대 공대 전기전자공학부 박사과정 수료.  
Tel : 053-815-7291, Fax : 053-813-8230  
E-mail : lesawo77@dreamwiz.com



김 이 국(金利國)

1946년 9월 30일생. 1969년 영남대 공대 전기공학과 졸업. 1980년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 경일대학 전기공학과 부교수  
Tel : 053-850-7145, Fax : 053-850-7602,  
E-mail : lkkim@bear.kyungil.ac.kr



이 동 인(李東仁)

1936년 10월 19일생. 1959년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1973~1977년 영국 Strathclyde대 대학원 졸업(공학). 1982~1983년 미국 South Carolina대 방문교수. 현재 영남대 공대 전기전자공학부 교수.  
Tel : 053-810-2480, Fax : 053-813-8230  
E-mail : dilee@ynuucc.yeungnam.ac.kr