

광대역 AE 센서에 의한 유중코로나의 초음파 특성

김인식\*, 이상우\*\*, 김성규\*\*, 구경철\*\*, 이광식\*\*, 이동인\*\*  
 경일대학교 전기공학과\*, 영남대학교 전기전자공학부\*\*

Ultrasonic Characteristics of Oil Corona by Wide-Band AE Sensor

In-Sik Kim\*, Sang-Woo Lee\*\*, Seung-Gyu Kim\*\*, Kyung-Chul GU\*\*, Kwang-Sik Lee\*\*, Dong-In Lee\*\*  
 Dept. of Electrical Engineering, Kyungil University\*  
 School. of Electrical and Electronic Engineering, Yeungnam University\*\*

**Abstract** - In this paper measurements of AE(Acoustic Emission) signals caused by corona discharge were performed to analyze the electrical deterioration in oil. We also examined the relationship between discharge magnitude and peak-to-peak value of AE signals to diagnose the deterioration of liquid dielectrics.

From these results, Vpp(peak to peak value) of AE signals was proportional to corona discharge magnitude. The main frequency band of AE signals in oil appeared to 130[kHz].

1. 서 론

절연유는 고전압 전력기기의 절연매체로서 널리 사용되고 있으나, 유중에 잔류되어 있는 섬유, 수분 및 용존 가스 등 불순물에 의하여 열화되어 체적저항률 및 절연 파괴전압이 저하되는 특성을 갖고 있다.

유입기기의 절연유에서 부분방전이 발생하면 방전음이 발생되므로 이러한 방전음을 효과적으로 검출하기 위해 AE(Acoustic Emission)센서가 이용되고 있다.

대용량 유입변압기에 대한 부분방전 검출법은 탱크 외벽에 음향센서를 부착한 초음파 측정법과 부분방전에 수반된 전류펄스를 중성점 접지선에 부착된 로고스코일로부터 검출하는 전류 펄스법이 사용되고 있다.[1][2]

유입변압기의 절연진단시 AE 신호 측정법을 사용하는 이유는 측정장치가 비교적 간단하여 현장적용에 용이하고, 전기적인 측정법과 상호검증을 일으키지 않는 장점이 있기 때문이다.[3] 현재 전력용 유입변압기에서 부분방전 측정으로 AE센서를 사용하여 내부 부분방전을 검출하기 위한 연구는 최근 많이 발표되고 있다.[4][5]

본 연구에서는 AE 측정법에 의한 유입 변압기의 열화 상태를 진단하기 위해, 침-평판전극 및 구-구전극을 사용하여 유중에서 상용주파수 교류전압을 인가하였을 때, 인가전압에 따른 방전전하량 및 AE 신호크기 등을 조사하였다. 또한 갭길이에 따른 AE 신호를 측정하여 주파수 스펙트럼으로 분석하였다.

2. 실험장치 및 방법

유중 코로나방전은 절연유의 열화상태에 많은 영향을 받고있으므로 실험전에 30회의 예비방전을 실시하였다. 본 실험에서 사용된 전극은 침-평판전극 및 구-구전극으로 구성하였다. 침전극의 선단각은 약30도, 선단곡률반경은 약20[μm]이며, 평판전극은 지름 약40[mm], 두께 약10[mm]이며 전극 가장자리가 둥근 형상으로 설계하였다. 또한 구-구전극인 경우에는 반지름 5[mm]인 반구상의 구 전극을 사용하였다. 본 실험장치에 대한 블록선도는 그림1에 나타내었다.

음향신호를 효과적으로 검출하기 위해 AE센서는 유조의 외벽에 진공그리스(vacuum grease)를 사용하여 부착하였다. 사용된 유조는 아크릴로 제작하였으며, 유조

의 크기는 16\*10\*10[cm]이다. 음향신호를 검출하기 위해 광대역 AE센서를 사용하였으며, 이센서의 주파수 대역은 100[kHz]~2[MHz]이다.

AE 신호의 수신회로는 전치증폭기, 고역통과필터 및 주 증폭기로서 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 주파수응답을 조사한 결과 100~450[kHz] 영역에서 측정감도가 양호한 것으로 나타났다.

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

고전압발생장치는 입력전압 220[V], 60[Hz], 최대출력전압 30[kV]인 코로나 측정시스템(Corona detecting apparatus system set. 일본 Pultec Electronics Co.)을 사용하였다. 인가전압을 정밀하게 측정하기 위하여 분압비가 2000:1인 고압프로브(High Voltage Probe, type: EP-50K, 일본 Pulse Electronic Engineering Co.)를 사용하였다.

상용주파수 교류인가전압방식은 승압속도 1.0[kV/s]로 절연파괴까지 일정하게 증가시켰다.

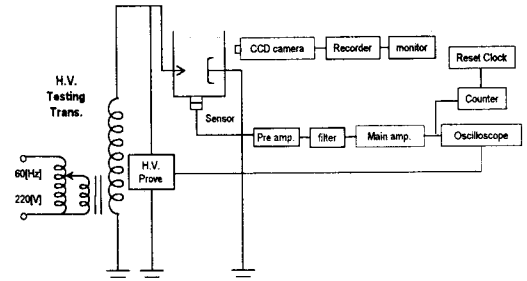


그림 1. 실험장치의 블록선도

3. 실험결과 및 고찰

3.1 AE 신호 파형

그림2는 유중에서 침대 평판전극을 사용하여 코로나 방전 펄스에 의한 AE 신호를 나타낸 것이다.

여기에서 채널1은 부분방전펄스 신호이며, 채널2는 AE 신호이다.

단일 부분방전펄스에 대해 AE 신호는 그림과 같이 감쇄 진동형태로 나타나고 있다.

3.2 전극형상에 따른 방전전하량과 AE의 크기

3.2.1 침-평판전극인 경우

그림3(a)는 갭길이 2[mm], (b)는 갭길이 4[mm]인 침-평판전극을 사용하여 인가전압을 변화시킨 경우 방전전

하량 $q$ 와 AE 신호의 크기(Vpp)를 나타낸 것이다.

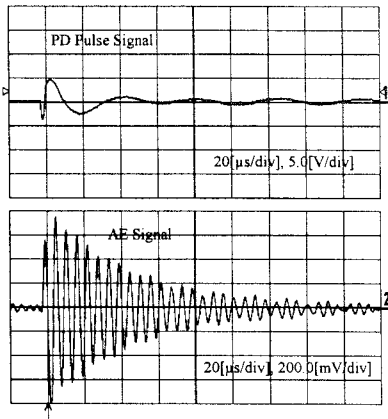
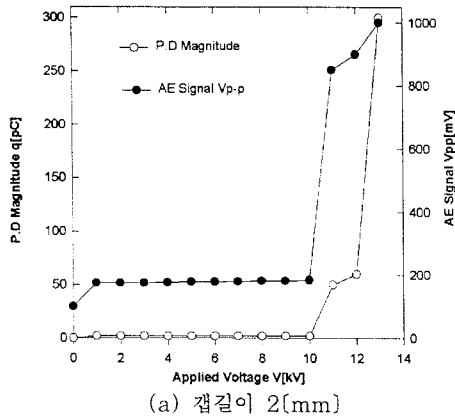


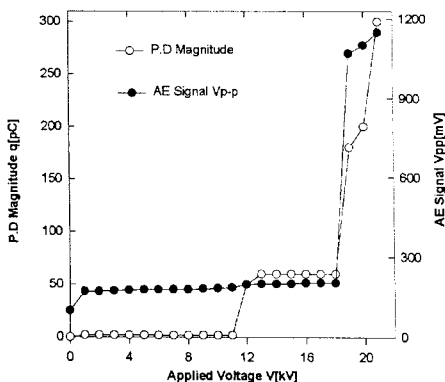
그림 2. 코로나방전 전류펄스 및 AE 신호 파형

그림에서 방전전하량 $q$ 는 코로나개시전압인 (a)약 10.5[kV], (b)약 11.5[kV]까지는 매우 낮은 값에서 유지되고 있으나, 코로나개시전압에서 전압의 상승과 더불어 방전전하량도 크게 증가된 것으로 나타났다.

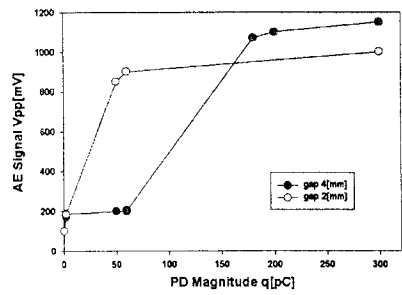
AE 신호는 코로나개시전압까지 발생하지 않았으나, 인가전압이 상승함에 따라 그림3(a)는 10[kV], 그림 3(b)는 18[kV]에서 파괴전압에 도달될 때까지 AE 신호의 최대치는 급격히 증가된 것으로 나타났다. 여기서 AE 신호의 기준레벨은 200[mV]로 하였다.



(a) 갭길이 2[mm]



(b) 갭길이 4[mm]



(c)

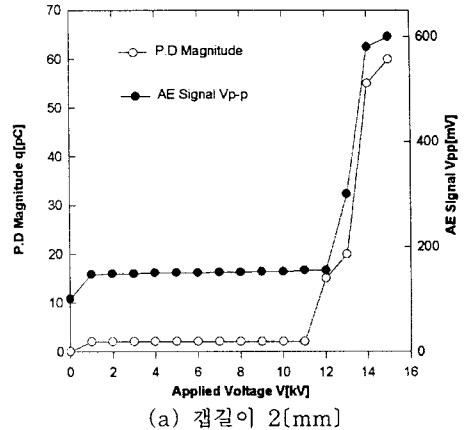
그림 3. 방전전하량 및 AE 신호의 특성(침전극)

그림3(c)는 갭길에 따른 방전전하량 $q$ 와 AE 최대치 Vpp의 관계를 나타낸 것이다. 여기서 알 수 있는 바와 같이 AE 최대치는 방전전하량에 거의 비례하여 증가된 것으로 나타났다. 이것은 방전전하량과 방전에너지는 밀접한 관계가 있으므로 AE 신호의 강도는 방전에너지의 크기에 비례하고 있음을 알 수 있다.

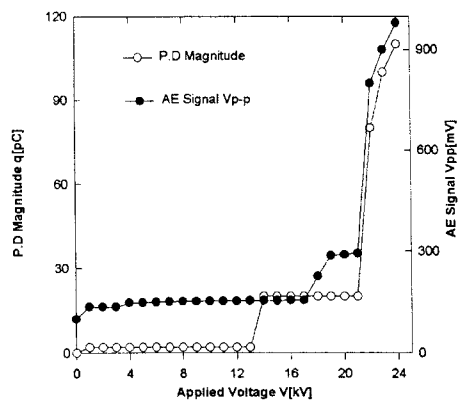
### 3.2.2. 구-구전극인 경우

그림4는 갭길이 2[mm] 및 4[mm]인 경우, 구-구전극을 사용하여 인가전압을 변화시켰을 때 방전전하량 $q$ 와 AE 신호의 특성을 나타낸 것이다.

여기서 방전전하량 $q$ 는 그림4(a)에서 약11.5[kV], 그림 4(b)에서 약13.5[kV]인 코로나개시전압까지 매우 낮은 값에서 유지되고 있으나, 그후 전압의 상승과 더불어 방전전하량도 크게 증가된 것으로 나타났다.



(a) 갭길이 2[mm]



(b) 갭길이 4[mm]

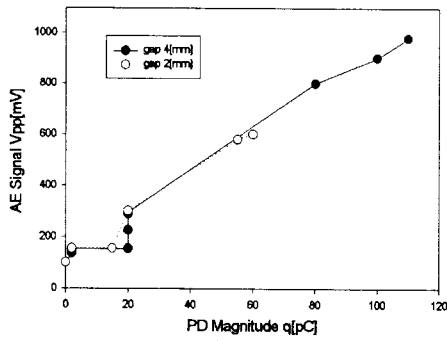


그림 4. 방전전하량 및 AE 신호 특성(구전극)

구전극의 코로나개시전압은 침전극에 비해 높았으나 부분방전전하량은 오히려 구전극이 낮게 나타났다. 그림4(c)에서 AE 신호의 최대치Vpp는 그림3(c)와 같이 방전전하량에 거의 비례하여 증가된 것으로 나타났다.

### 3.3 유중코로나의 AE 신호 분석

그림5와 그림6은 갭길이 4[mm]인 침전극에서 유중 코로나 방전에 의한 AE 신호의 파형과 주파수 스펙트럼을 분석한 것이다. 그림5(a)는 인가전압 16[kV]의 1주기에 해당하는 16[ms]동안에 발생한 AE 파형이다.

유중에서 AE 신호는 공기중과 같이 정극성에서 AE 신호가 나타나고 있다. 이때 그림5(b)와 같이 주된 주파수 대역은 130[kHz] 인 것으로 나타났다.

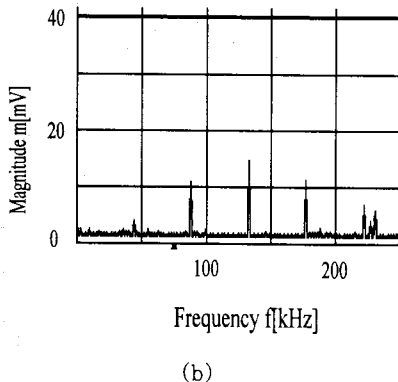
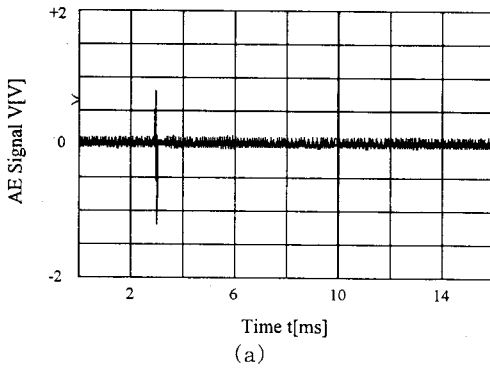


그림5. AE 신호의 주파수 스펙트럼(16[kV])

그림6(a)는 절연파괴직전인 20[kV]에서 측정된 AE 신호 파형이다. 그림5(a) 보다 큰 AE 신호가 검출되었으며, 이때 그림5(b)와 같이 130[kHz] 대역에서 AE 신호는 가장 큰 것으로 나타났다.

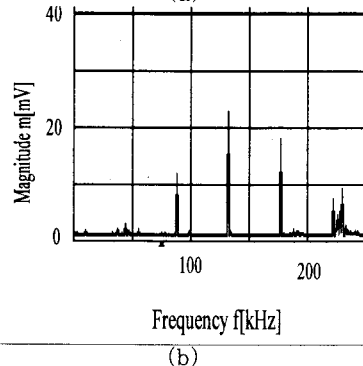
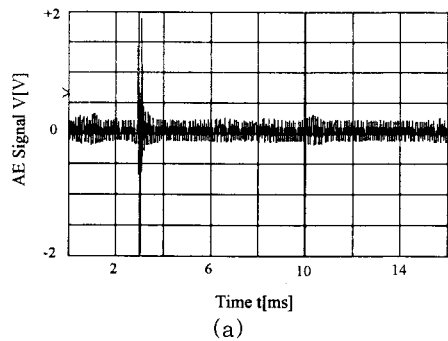


그림6. AE 신호의 주파수 스펙트럼(20[kV])

## 4. 결 론

본 연구에서는 열화된 절연유를 대상으로 침전극과 구전극을 사용하여 유중코로나를 발생시켰을 때 코로나에 의해 발생한 AE 신호를 측정하였다.

유중에서 상용주파수 교류전압을 인가하였을 때, 구전극의 코로나개시전압은 침전극에 비해 높은 것으로 나타났으나, 방전전하량은 침전극 보다 구전극이 낮은 것으로 나타났다.

코로나개시전압이후 전압이 상승함에 따라 AE 신호 최대치 Vpp는 방전전하량에 거의 비례하여 증가된 것으로 나타났다. 침전극에서 코로나개시전압 이후 AE 신호는 약 130[kHz]에서 가장 높은 것으로 나타났다.

### [참 고 문 헌]

- (1) 松浦 慶士, 岡部 成光, 金子 英男. "電力機器の絶縁余壽命推定法の現状" 電學論A, 114卷 12号, pp.845-852 平成6年
- (2) S. Shimoguchi, M. Kakuta, A. Miura and K. Kawa. "Development of New Type Partial Discharge Detector with Qmax Indicator and Partial Discharge Characteristics of Various Type of Voids". 大日本電線時報, 第51号, pp.40-48, 昭和47년
- (3) R. T. Harrold. "Acoustic Technology Applications in Electrical Insulation and Dielectrics." IEEE Trans. EI, Vol. 20, No. 1, pp. 3-19, 1985.
- (4) T. Sakoda, T. Arita, H. Nieda, K. Ando. "Basic Studies of Acoustic Emissions Caused by the Partial Discharge in an Oil-Tank", K-J Joint Symp. on ED and HVE, pp.16-19, Oct. 1998
- (5) 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