

공기중 코로나방전의 초음파신호 특성

이 상우*, 김 인식**, 이 광식*, 이 동인*, 이 동현***, 배 상준****
 영남대학교*, 경일대학교**, 구미전문대***, 여주전문대****

Ultrasonic Signal Characteristics of Corona Discharges in Air

Sang-Woo Lee*, In-Sik Kim**, Kwang-Sik Lee*, Dong-In Lee*, Dong-Heon Lee***, Sang-Jun Bae****
 Yeungnam University*, Kyungil University**, Kumi Junior College***, Yosu Junior College****

Abstract - In order to establish the usefulness of ultrasonic techniques for detecting corona discharges in high-voltage power apparatus, it is first necessary to determine the relationship between electrical and ultrasonic signals of corona discharges in air.

In this paper, various characteristics of ultrasonic signal detection for point-to-plane corona discharges using a 200(kHz) ultrasonic sensor are examined.

In regard to the attenuation and directivity of ultrasonic signals, the signals were inversely proportional to the distance between corona sources and ultrasonic receiving sensors, and half attenuation angles were approximately 7.0 degree.

Ultrasonic signals of positive polarities were first observed at corona inception voltages, and the signals were increased with increasing the applied voltages.

1. 서 론

고전압기기 또는 전력설비에서 이상상태가 발생되면 이를 조기에 검출함으로써 신속히 이상부위를 제거하여 사고의 범위를 최소한으로 억제시키기 위한 각종 예방 진단기술은 전력설비의 신뢰도를 향상시키는데 매우 중요하다. 고전압기기의 부분방전은 절연파괴의 전구현상으로 나타나는 경우가 많기 때문에 부분방전의 감시는 절연파괴를 미연에 방지할 수 있고, 또한 운전상태중의 고장진단법으로서 매우 유효한 방법이 되고 있다. 전력설비의 부분방전 검출법에는 전류펄스검출법, 초음파검출법, 유증가스 분석법 및 유전체손실 측정법등이 있으나, 이들 진단법중에서 초음파신호 검출법은 운전상태에서 상시감시가 가능하고, 부분방전의 발생위치 및 크기를 파악할 수 있으며, 전기적 노이즈(noise)의 영향이 비교적 없기 때문에 현장적용에 매우 유리한 방법이므로 최근 많은 연구가 진행되고 있다.⁽¹⁾⁽²⁾ 초음파 측정법은 1978년 E. Howells 등에 의해 본격적으로 연구가 시작되었으며,⁽³⁾⁽⁴⁾ D. Train, R. Dukes등은 부분방전의 특성, 부분방전의 온라인 위치검출 및 전기절연에 대한 초음파기술의 응용 등에 대하여 연구를 하였고,⁽⁵⁾⁽⁶⁾⁽⁷⁾ H. Kawada등에 의하여 부분방전의 자동감시 기록장치가 개발되어 변압기 예방진단에 상당한 공헌을 하였다.⁽⁸⁾⁽⁹⁾ 그러나, 이들 장치들은 감도가 낮고, 외부에서 발생하는 충격파 잡음과 부분방전신호의 구별이 곤란하고, 변압기내부 구조물등에 의해 초음파신호

의 전달특성이 상이하여 아직까지 실제 적용에는 많은 어려움이 있다. 정기적인 방전이 일어날 때 음향신호가 방출되는 것은 주지의 사실이며, 이러한 음향신호를 검출 함으로써 고전압기기의 고장을 예방할 수 있을 것이다. 교류전압이 인가되었을 때 침대 평판전극으로 구성된 전극배치에서 코로나의 발생 및 성장에 의해 전극주위에 전달되는 초음파신호를 검출하기 위한 것이다. 따라서 적절한 초음파 센서 선정하여 초음파의 수신장치를 제작하고, 초음파의 기본 수신특성을 조사한 다음 제작된 초음파 실험장치를 사용하여 공중초음파의 전달 및 지향특성, 침대 평판전극에 의한 공기중 코로나 방전의 초음파 특성을 조사하였다.

2. 실험장치 및 방법

실험장치의 블록선도는 그림1과 같으며, 사용된 초음파센서는 공진주파수가 200[kHz]인 압전변환소자를 사용하였다. 그리고 초음파 신호에 의해 변환된 전기신호는 이득 약 160[dB]인 증폭기를 통해 오실로스코프에 전송되도록 설계하였다. 또한 외부의 진동등에 의한 잡음을 억제시키기 위해 차단주파수 150(kHz)인 고역필터를 사용하였다. 실험장치의 교류전원전압은 60[Hz], 220[V]이며, 출력전압 30[kV]인 Corona detecting apparatus system set을 사용하였다. 인가전압 및 코로나 발생전압을 정밀하게 측정하기 위하여 분압비가 2000:1인 고압 프로브(High Voltage Probe, type :EP -50K, 일본 Pulse Electronic Engineering Co.)를 사용하였다. 인가된 전압과 초음파신호는 오실로스코프에 의해 동시에 측정하였다. 본 실험에서 상부의 침전극은 끝이 날카로운 재질을 사용하고 하부전극은 평판전극을 사용하였다. 인가된 전압은 승압속도 1.0 [kV/s]의 속도로 서서히 상승시켰으며 안정된 코로나전압에서 인가전압을 일정하게 유지시켰다. 부분방전 발생

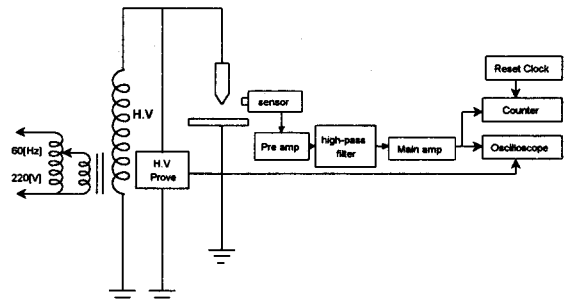


그림1. 코로나 방전의 초음파 측정시스템
 Fig.1. Block diagram of ultrasonic measuring system

시 초음파 신호측정의 연구에 관한 보고에 따르면 초음파 센서는 부분방전에 대해 측정감도가 좋은 주파수 대역이 존재하고 있으며, 부분방전이 발생하는 일반적인 경우에는 75(kHz) 부근 주파수가 많이 사용되는 것으로 알려져 있으나, 전력기기에서는 외부의 잡음이 발생하므로 100~300(kHz) 부근의 고주파 영역에서 측정하는 것이 좋은 것으로 보고되고 있다. 본 부분방전 시험에 사용된 초음파 센서는 압전소자로서 일본 Murata 사의 초음파 센서(MA200A1)이고, 공진주파수는 200(kHz)이다. 일반적으로 초음파 센서에 수신된 초음파 신호의 레벨은 매우 낮고, 센서주위에 비교적 큰 전자기 잡음이 발생하므로 우선 초음파 신호를 어느정도 증폭할 필요가 있다. 본 수신회로에서는 80(dB)의 이득을 갖는 전치증폭기(pre-amplifier)로 증폭하고 최대한의 노이즈를 제거하기 위해 150(kHz)의 고역통과필터(high-pass filter)를 사용하였으며 필터를 거친 신호는 신호 레벨이 낮으므로 주증폭기(main-amplifier)를 설계하였다. 주증폭기는 3단 증폭하여 가변저항으로 이득을 적절히 조절할 수 있도록 하였으며, 전치증폭기에서 신호와 함께 증폭된 잡음과 외부진동 등에 의한 잡음을 제거하기 위해 차단주파수 150(kHz)인 고역통과능동필터를 사용하였다. 그리고 주증폭기를 거친 전기신호는 문턱레벨 1.0(V), 게이트신호 1(s)인 카운트회로에 전송되도록 하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 공기중 초음파의 전달특성

초음파는 물체중을 진행하거나 물체내부로 입사할 때 손실이 생기므로 거리가 증가함에 따라 음파의 세기는 감소된다. 공기중에서 초음파의 감쇄 및 지향특성을 조사하였으며, 공기중에서 전달되는 초음파의 감쇄정도를 알아보기 위하여 초음파의 송신 소자의 이격거리를 10~50(cm)로 변화시켰으며 측정거리에 따른 감쇄특성은 그림2에 나타내었다. 초음파 발생장치에 인가한 펄스의 주기는 16(ms)이고, 펄스폭은 5(μ s), 펄스의 크기는 7.5(V)이다. 초음파 센서와의 거리가 충분히 크기 때문에 원거리음장이라고 할수 있으며, 음압은 음원에서 멀어질수록 급격히 감쇄되고 있다. 이것은 매질에 따라 전파속도도 다르지만, 같은 전파매질에서도 거리가 멀수록 그 에너지는 작아지게 되므로 결국에는 소멸하게 된다. 이러한 특성은 고체보다 액체, 액체보다 기체가 일반적으로 현저하며, 이는 매질에 의한 에너지의 흡수손실과 확산손실이 주요한 요인이 되고 있는 것이라고 생각된다. 초음파의 주파수가 높을수록 그 감쇄특

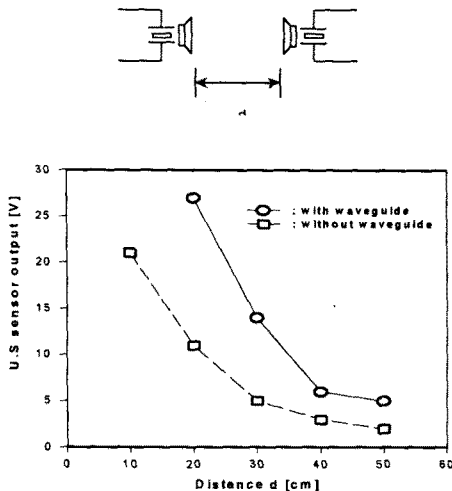


그림2. 공기중 음압감쇄 특성
Fig.2. Ultrasonic attenuation in air

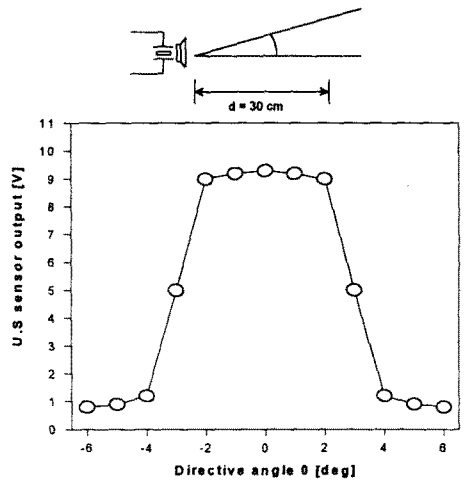
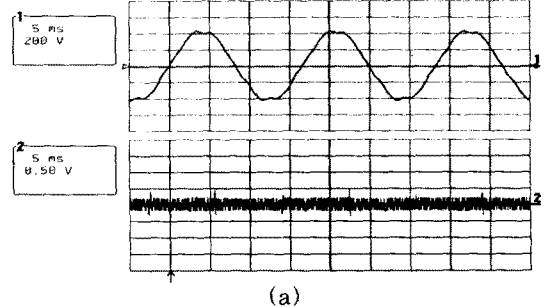


그림3. 공기중 초음파의 지향특성
Fig.3. Ultrasonic directivity in air
성은 커지는 것으로 보고되고 있다. 초음파의 수신감도를 증가시키기 위해 도파관(waveguide)을 사용한 결과도 함께 나타내고 있다. 도파관을 사용하였을 때 수신감도는 약 3배 증가한 것으로 나타났다. 도파관은 내경 20(mm)인 plexiglas 파이프를 사용하였다. 그림3은 공기중 초음파의 지향특성을 나타낸 것이다. 초음파 송신소자를 고정시키고 축방향에 30(cm) 떨어진 위치에 초음파 수신소자를 놓고 각 θ 를 변화한 경우 초음파 센서의 음압을 수신회로의 출력전압으로 표시한 것이다. 그림에서 공기중 초음파는 축방향에서 가장 감도가 좋으며, 각 θ 가 증가하면 음압은 급격히 저하된다. 음압이 1/2로 저하되는 각을 반감각이라하며, 본 실험에서 사용된 초음파 센서의 반감각은 약 7도 정도이다.

3.2 공기중 코로나 방전의 초음파특성

그림4는 공기중 코로나방전에 의한 초음파특성을 나타낸 것이다. 초음파 센서는 부분방전 발생점인 침단과 수평선 상에 배치하고 이격거리는 10(cm)이다. 그림4(a)는 침대 평판전극 갭길이 3(mm)이고, 교류전압 3.5(kV)를 인가하여 초음파신호를 검출하였다. 여기서 상부파형은 인가전압이고, 하부파형은 초음파신호를 오실로스코프로 관측한 것이다. 초음파신호를 관찰하면 공기중에서는 교류전압의 정극성에서 먼저 코로나방전이 발생되고 있음을 알 수 있다. 그림4(b)는 침대 평판전극 갭길이 10(mm)이고, 교류전압 8.0(kV)를 인가하여 초음파신호를 검출하였다. 정극성부분에서 비교적 큰 초음파신호가 검출되고, 부극성부분에서는 비교적 매우 작은 신호가 나타나고 있다. 부분방전의 발생빈도도 정극성이 부극성에 비해 많은 것을 알 수 있다. 침단의 부분방전에 의한 초음파의 발생은 코로나 개시 전압이상의 전압이라고 하더라도 반드시 매 반파의 파고치 부근에서 발생된다고 볼 수는 없으나, 전압이 높을수록 발생빈도와 초음파신호의 크기는 증가된다.



3. 결 론

전력설비 또는 기기에서 발생하는 부분방전은 절연파괴사고의 선행과정으로 나타나고 있는 경우가 많으므로 코로나방전을 검출하고 그 진행상태를 관찰하기 위해 본 연구에서는 현장적용시 가장 우수하다고 판단되는 초음파 신호검출법을 사용하였다. 본 실험에서는 공진주파수 200(kHz)인 초음파센서를 사용하여 초음파 수신장치를 이용하여 공중 초음파의 전달특성 및 침대 평판 전극에 의한 공기중 코로나 방전시 발생하는 초음파의 특성을 조사하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

(1) 공기중에서 센서의 이격거리를 변화시켰을 때 초음파의 음압은 거리가 증가함에 따라 지수적으로 감소하였다. 그리고 도파관을 사용하였을 경우 수신감도는 약 3배 증가된 것으로 나타났다. 공기중 초음파는 축방향에서 가장 감도가 좋으며, 각 θ 가 증가하면 음압은 급격히 감소되며, 실험에 사용된 200(kHz) 초음파센서의 반감각은 약 7도인 것으로 나타났다.

(2) 공기중에서 코로나방전시 발생하는 초음파신호를 관측한 결과 전압이 낮은 코로나 개시전압에서는 정극성에서 먼저 미약한 코로나방전이 일어나고 있으며, 전압이 상승함에 따라 코로나방전이 발달되므로 역시 정극성이 부극성에 비해 초음파신호의 발생빈도가 많이 관측되고 있으며, 신호의 강도도 높게 나타났다.

(3) 침대 평판전극의 갭길이를 3(mm) 및 10(mm)로 실험한 결과 인가전압이 증가함에 따라 방전전하량과 초음파펄스수는 일정한 변화를 보이고 코로나 개시전압이 일어나는 2.5(kV) 및 6.5(kV)에서 급격하게 증가하여 비례하는 것으로 나타났다. 따라서 이러한 연구는 몰드변압기의 절연열화시험 뿐만 아니라 트리형성을 조사하는 방법에도 적용될 수 있다.

[참고 문헌]

- (1) M. Yamada et al., "Automatic Field Monitoring of Dissolved Gases in Transformer Oil," IEEE Trans. PAS, Vol. 100, No. 4, pp. 1538-1544, 1981.
- (2) H. Tsukioka et. al., "New Apparatus for Detecting Transfotmer Faults," IEEE Trans. EI, Vol. 21, No. 2, pp.221-229, 1986
- (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) F.E Wherry and L.R. Toothman, "The Significance of corona Measurement on Transformers," IEEE Trans. PAS, Vol. 87, No. 11, pp. 1889-1898, 1968
- (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
- (6) D. Train, A. Mercier and D. Thorne, " The Detection of Partial Discharge in High Voltage Potential Transformers in Service," IEEE Winter Meeting, pp. 1909-1916, 1974.
- (7) R. Dukes and E. A. Culpan, " Acoustic Emission : Its Techniques and Applications," IEE Proc., Vol. 131, No. 4, pp.241 -251, 1984.
- (8) H. Kawada et. al., "Partial Discharge Automatic Monitor for Oil-Filled Power Transformer," IEEE Trans. PAS, Vol. 103, No. 2, pp.422-428, 1984
- (9) Y. Kawaguchi and S. Yanabu, "Partial Discharge Measurement on High Voltage Power Transformers," IEEE Trans. PAS, Vol. 88, No. 8, pp. 1187 - 1194, 1969

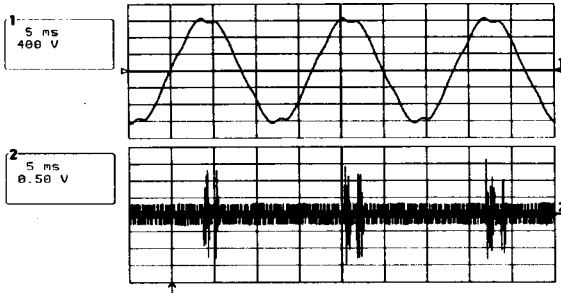
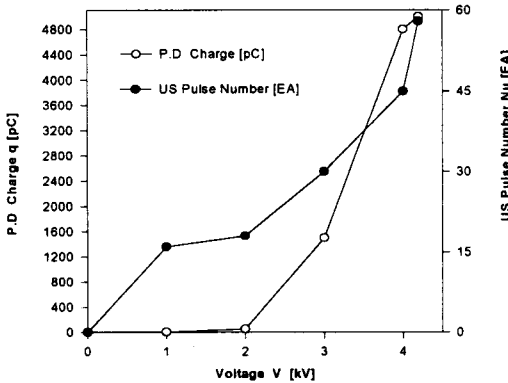
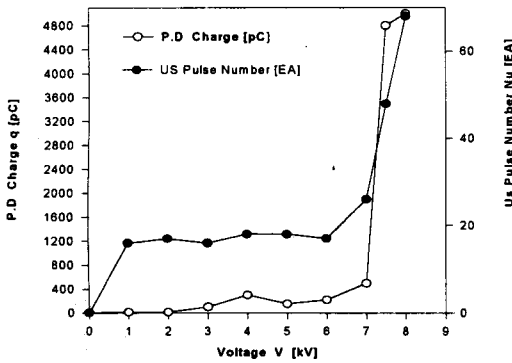


그림4. 공기중 코로나 방전의 초음파 특성
Fig.4. Ultrasonic characteristic of corona discharges in air



(a)



(b)

그림5. 공기중 갭길이에 따른 q 및 Nu 특성
Fig.5. q and Nu Characteristic with Gap Length in Air

그림5는 공기중 침대 평판전극의 갭 길이에 따른 방전전하량과 초음파펄스수의 특성을 나타낸 것이다. 초음파센서는 부분방전 발생점인 침단과 수평선 상에 배치하고 이격거리는 10(cm)이다. 그림5(a)는 갭길이 3(mm)이고, 교류전압 0~3.5(kV)를 인가한 경우이고 그림5(b)는 침대 평판전극 갭길이 10(mm)이고, 교류전압 0~8(kV)를 인가한 경우에 방전전하량과 초음파펄스수의 특성을 나타내었다. 인가전압이 증가함에 따라 방전전하량과 초음파펄스수는 일정한 변화를 보이고 코로나 개시전압이 일어나는 그림5(a) 2.5(kV) 및 그림5(b) 6.5(kV)에서 급격하게 증가하며 비례하는 것으로 나타났다.