

부분방전원에 따른 초음파신호 특성분석

이용희, 박성희, 이강원, 이웅희\*, 강성화\*\* 임기조  
 충북대학교, LG산업\*, 충청대학\*\*

Acoustic Signal Analysis to Discriminate Partial Discharge Sources

Y.H.Lee, S.H.Park, K.W.Lee, Y.H.Lee\*, S.H.Kang\*\*, K.J.Lim  
 Chungbuk National Univ., LG Industrial Systems\*, Chungcheong College\*\*

**Abstract** - Acoustic partial discharge detection has been used on GIS testing for more than 10 years. Sensitivities show that most of critical defect types can be detected with a reasonable signal-to-noise ratio. The paper reports on acoustic partial discharge detection comparable to sensitive electrical PD(partial discharge) measuring method.

1. 서론

전력기기에서 발생하는 부분방전은 전력기기 운영상태에 따른 절연열화 정보를 가장 잘 나타낼 뿐 아니라, 그로 인한 열화는 일반적으로 거의 운전 중 사고로 연결되기 때문에 부분방전 측정을 통한 전력기기의 열화진단 진단의 정확성과 아울러 기기 운영의 신뢰성 측면 및 기기의 보수나 교체 시기 판정에 매우 중요하다고 볼 수 있다. [1][2] 이런 측정법 중 음향측정법은 비파괴검사로 널리 이용되어 왔고, 전기공학에서는 여전히 기술적 한계를 가지고 있지만 빠르게 발전되어왔다. [3] 본 논문에서는 부분방전 발생시 동반하게 되는 초음파신호를 초음파센서를 이용하여 검출한 후 전기적측정방법인  $\Psi$ -q-n과 초음파신호에 의한 측정방법인  $\Psi$ -v-n을 비교하여 적용가능성을 조사하였다.

2. 실험

2.1 실험방법

본 실험에서는 우선 방전원을 만들기 위해 전극간 거리를 15mm로 하고, 사이에 LDPE의 고체절연체를 침전극과 판사이에 끼워 기중, 공극, 연면방전원을 만들었다. 방전원은 그림1.에 나타내었다.

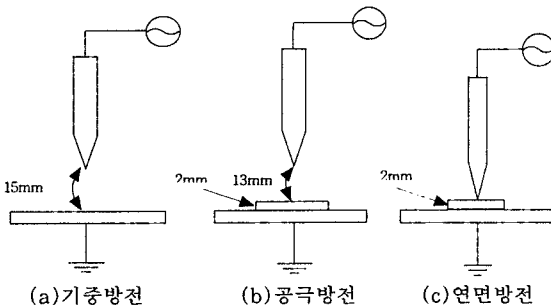
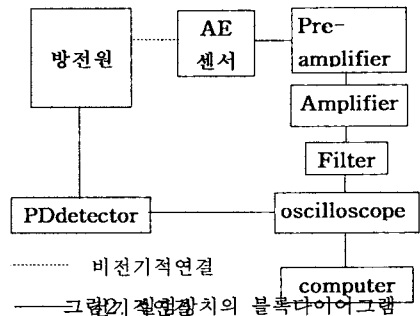


그림1. 실험에 사용된 방전원

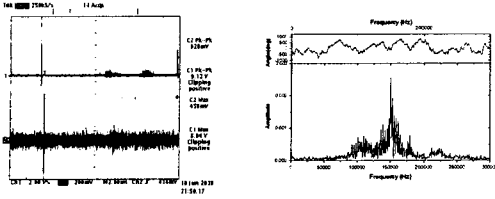
방전원으로 사용한 침과 판과의 거리는 15mm이며, 침전극과 판은 스테인리스 스틸을 사용하였으며, 절연체로 사용된 LDPE는 두께가 2mm, 가로, 세로 각각 50mm, 방전원과 초음파센서와의 거리는 수평으로 150mm의 거리에 위치시켰다. 실험장치의 블록다이어그램은 그림2에 나타내었다.



방전원에서 방전이 시작되면 방전에 의한 초음파영역의 음파가 수평 150mm 떨어져있는 초음파센서(미국 PAC R15I)에 의해 검출되고, 검출된 신호는 센서에 내장된 pre-amplifier에 의해 20dB로 증폭되어 신호가 케이블을 따라 전달될 때의 손실에 대비하게 되며, 다시 main amplifier에 의해 1000배 증폭된다. filter를 이용하여 신호와 같이 증폭된 노이즈성분을 제거하였다. 방전시 초음파신호는 100-200kHz 부근의 주파수 성분(그림3)을 가지므로 여기서는 30kHz-300kHz대역의 filter를 사용하였다. 이렇게 최종적으로 오실로스코프(tektronix TDS 680B)에 의해 획득된 data는 digital로 변환되어 300주기를 받아 data 처리를 하게 되며, 이와 함께 비교대상으로 삼기 위해 PDdetector(biddle co.)에 의해 전기적으로 검출된 300주기의 전기적방전신호와 비교하게 된다.

2.2 실험 결과 및 고찰

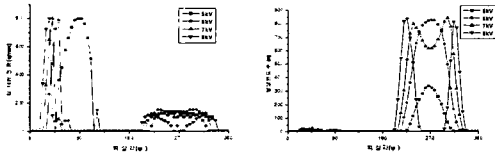
오실로스코프로 검출되는 전기신호와 초음파신호는 크기의 차이는 있지만, 위상에 따라 거의 같은 패턴을 가지기 때문에 전기적으로  $\Psi$ -q-n 분포와 초음파신호의  $\Psi$ -v-n 분포의 비교를 가능하게 한다. 그림 3.에 기중방전시(8kV) 오실로스코프에 의해 획득되어진 전기적 신호와 초음파신호를 나타내었다. 여기서 CH1은 PDdetector에 의한 전기적으로 검출된 신호이며, CH2는 초음파센서출력에 의한 초음파신호를 나타낸다. 그림에서 알 수 있듯이 양의 주기부분의 높은 방전량에 의해 초음파신호도 같이 높은 출력전압을 나타내고 있다. 음의 주기의 코로나의 구별은 어렵다. 본실험에서는 노이즈level을 150mV로 하였다. 부분방전시의 PDdetector에 의한 파형과 초음파센서에 의한 파형을 비교해보면 서로 20us가량의 시간지연이 생긴다음 초음파신호가 검출되는 것을 볼 수 있다. 이는 초음파신호가 부분 방전원로부터 방사되어 초음파센서에 도달하는데 걸리는 데 소요되는 시간이라 생각된다.



(a) 전기신호와 초음파신호 (b) 초음파신호의 FFT분석 (1주기)

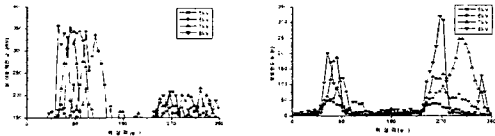
그림3. PD detector에 의한 전기적신호와 초음파센서에 의한 초음파신호파형(1주기), FFT

5kV, 6kV, 7kV, 8kV로 전압을 변화시키면서 한주기의 파형을 각각 300주기를 검출하여 기중, 공극, 연면방전시의 전기적  $\Psi$ -qmax,  $\Psi$ -n 분포와 초음파신호의  $\Psi$ -vmax,  $\Psi$ -n 분포를 비교하여 결과를 나타내었다.



$\Psi$ -qmax분포  $\Psi$ -n분포

(a) 기중방전시의 PD detector의 출력에 의한  $\Psi$ -qmax 분포와  $\Psi$ -n 분포



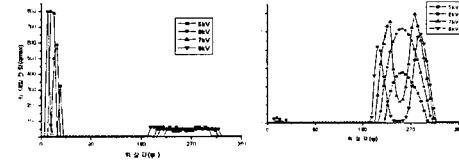
$\Psi$ -vmax분포  $\Psi$ -n분포

(b) 기중방전시의 초음파센서의 출력에 의한  $\Psi$ -vmax분포와  $\Psi$ -n분포

그림4. 기중방전시 인가전압에 따른 PD detector의  $\Psi$ -q-n분포와 초음파센서의  $\Psi$ -v-n분포의 비교

기중방전시의 PDdetector에 의한 출력의  $\Psi$ -qmax와  $\Psi$ -n분포를 보면 위상각에 따라 발생빈도는 양의 주기에서는 음의주기때보다 상대적으로 적게 나타나지만, 최대방전량이 있어서는 음의주기에서 나타나는 코로나보다 상대적으로 더 크음을 알 수 있고, 또한, 인가전압이 증가하면서 양의 주기의 qmax값과 발생빈도수는 점점 위상의 앞쪽으로 진행하며 커지는 것을 볼 수 있으며, 음의 주기에서의 qmax값과 발생빈도수는 위상 270도에 발생해서 인가전압이 증대되면서 270도 양옆으로 퍼져 진행되어 가는 것을 관측할 수 있다. 마찬가지로 초음파센서의 출력에 의한 분포를 보면 PDdetector 출력과 어느 정도의 약간의 차이는 보였지만 거의 같게 나타남을 알 수 있다.

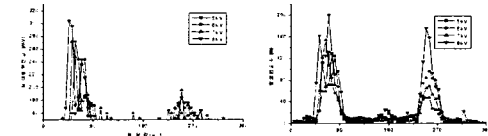
그림5.에서 PDdetector 신호를 보면 공극방전시는 기방전과 마찬가지로 인가전압이 증가하면서 양의 주기에서 위상이 앞으로 이동하면서 방전량이 커지고 있으나



$\Psi$ -n분포

$\Psi$ -qmax 분포

(a) 공극방전시의 PD detector의 출력에 의한  $\Psi$ -max분포와  $\Psi$ -n분포



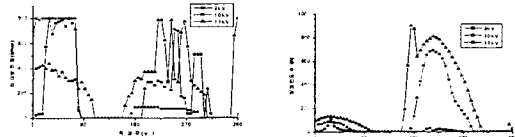
$\Psi$ -vmax분포

$\Psi$ -n분포

(b) 공극방전시 초음파센서의 출력에 의한  $\Psi$ -vmax분포와  $\Psi$ -n분포

그림5. 공극방전시의 인가전압에 따른 PDdetector의  $\Psi$ -q-n분포와 초음파센서의  $\Psi$ -v-n분포의 비교

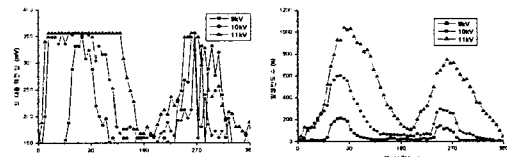
음의주기에서는 270도를 중심으로 방전의 범위가 갈라지지 않고 넓어지고 있으며, 발생빈도수는 270도를 중심으로 주위로 퍼져나가는 모습을 볼 수 있다. 이와 비교되는 초음파신호의 출력에서 qmax값과 대비되는 vmax값은 어느 정도의 왜곡이 보였지만 거의 같은 양상을 보이고 있었지만, 위상별 발생빈도수에 있어서는 양의 주기와 음의 주기에서 크기만이 커지고 있는 것을 관찰할 수 있다.



$\Psi$ -qmax 분포

$\Psi$ -n분포

(a) 연면방전시 PDdetector의 출력에 의한  $\Psi$ -max분포와  $\Psi$ -n분포



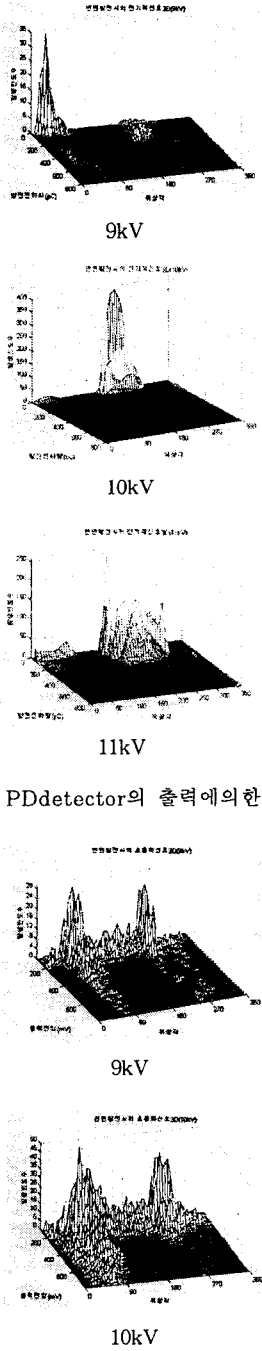
$\Psi$ -vmax 분포

$\Psi$ -n분포

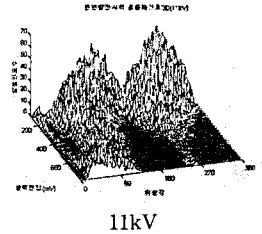
(b) 연면방전시 초음파센서의 출력에 의한  $\Psi$ -vmax분포와  $\Psi$ -n분포

그림6. 연면방전시 인가전압에 따른 PDdetector의 출력에 의한  $\Psi$ -q-n분포와 초음파센서의 출력에 의한  $\Psi$ -v-n분포의 비교

그림6의 연면방전시의  $\Psi$ -q-n과  $\Psi$ -v-n분포를 비교하면 연면방전시에는 초기에는 초음파센서에서 검출이 어렵다가 부분방전이 진전이 된후 급격히 검출이 가능하게 된다. 그렇기 때문에 검출이 시작되었을 때 전체적으로 매우 큰값을 가지고 있기 때문에 2차원 평면으로 보았을 때 q,v,n 등의 수치들이 전체적으로 커지고 있는 것은 관측이 가능했지만 패턴을 구별하는데는 어려움이 있다. 그렇기 때문에 그림7.에서는 전기적으로 검출된  $\Psi$ -q-n분포와 초음파센서의 출력에 의한  $\Psi$ -v-n 분포를 한 눈에 볼 수 있는 3차원  $\Psi$ -q-n,  $\Psi$ -v-n분포를 나타내었다.



(a) 연면방전시 PDdetector의 출력에 의한  $\Psi$ -q-n분포



(b) 연면방전시 초음파센서의 출력에 의한  $\Psi$ -v-n분포

그림7. 연면방전시 전압에 따른 PDdetector의 출력에 의한  $\Psi$ -q-n분포와 초음파센서의 출력에 의한  $\Psi$ -v-n분포의 비교

그림7에서 볼 수 있듯이 연면방전시 PDdetector에 의한 출력파형에서 양의 주기에서는 발생빈도수는 완만히 증가되고 있으나, 방전량에 있어서 급격히증가되어 가는 것을 볼 수 있고, 음의 주기에서는 발생빈도수와 방전량이 모두 급격히 증가하는 양상을 보이고 있다. 이와 비교할 수 있는 초음파신호의 출력파형에 있어서는 양의 주기와 음의 주기에 있어서 PDdetector의 출력에 의한 패턴보다 더욱 확연히 패턴의 변화를 관찰할 수 있다.

전체적으로 기중방전, 공극방전, 연면방전을 비교했을 때 비교적 정확하게 측정되는 PDdetector의 출력에 비해 초음파센서의 출력신호는 왜곡이 불가피했기 때문에 정확한 패턴을 보이지는 않았지만 전기적 측정법과 거의 일치하는 패턴을 예상할 수 있었다.

### 3. 결 론

공기중 부분방전발생시 PDdetector에 의해 검출된 신호의 패턴과 초음파센서에 의해 음향적으로 검출된 신호를 비교하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 초음파신호는 오직 30kHz-300kHz대역의 음향파를 잡는 것이기 때문에 외부의 노이즈를 완벽히 제거할 수 없기 때문에 방전원신호에 대한 왜곡이 불가피하다.
2. 기중방전에 있어서 초음파센서에 의해 검출된 부분방전신호는 PDdetector에 의한 전기적 검출법과 비교했을 때 거의 비슷한 패턴을 보였지만, 내부에 절연체가 삽입되어 공극방전이 발생하거나, 연면방전이 발생하였을 때에는 왜곡이 더 심하게 나타났다.
3. 초음파신호에 의한 부분방전신호검출은 외부의 노이즈에 의해 왜곡이 불가피하지만 전기적 검출법의 적용이 어려운 상황하에서는 부분방전검출에 있어서 신뢰할 수 있는 결과를 가져올 수 있을 것으로 생각된다.

### (참 고 문 헌)

- [1] Feroz Ahmed,et, "Characterisation of Acoustic Signal and Pattern Recognition of Free Moving Metallic Particle Motion Modes in GIS", ICICS'97 Singapore, 9-12 Sep. 1997
- [2] L. E. Lundgaard,et "Acoustic Diagnosis of Gas Insulated Substations; A Theoretical and Experimental Basis" IEEE Transactions on Power Delivery, Vol,5.No.4, November 1990
- [3] Md. Enamul Haque,et "Application of Acoustic Sensing and Signal Processing for PD Detection in GIS
- [4] S.Kusumoto,et "Diagnostic Technique of Gas Insulated Substation by partial discharge detection", IEEE, Vol. PAS-99, No.4, July/Aug.1980