

## 부분방전 전하량에 따른 음향방출 센서의 응답특성

정영호<sup>1,a</sup>

<sup>1</sup> 충주대학교 전기공학과

### Response Characteristics of Acoustic Emission Sensor according to Partial Discharge Quantities

Yeongho Jeong<sup>1,a</sup>

<sup>1</sup> Department of Electrical Engineering, Chungju National University, Chungju 380-702, Korea

(Received April 8, 2010; Revised April 14, 2010; Accepted April 21, 2010)

**Abstract:** The response characteristics of AE (acoustic emission) sensors with a coupled vibration mode and a non-coupled vibration mode were investigated according to PD(partial discharge) quantities in XLPE (cross linked polyethylene) sheets and craft papers immersed in insulating oil. The response voltages of a coupled vibration mode AE sensor were linearly proportional to the PD quantities up to 1,000 pC in XLPE sheets, while a non-coupled vibration mode AE sensor did not show the similar linearity. In case of a test of craft papers immersed in insulating oil, a linearity between response voltages and PD quantities was observed up to 550 pC, but after that, similar linearity between response voltage of any types of AE sensor and PD quantities was not shown.

**Keywords:** AE sensors, PD quantities, Coupled vibration mode

#### 1. 서론

고품질 전력수요의 증가와 함께 전기에너지의 안정적 공급이 강조되고 있는 오늘날 전력설비의 고장 없는 운영 및 신뢰성 확보를 위하여 예지보전의 관점에서 새로운 전기설비 열화진단기술 개발 필요성이 강조되고 있다. 전력설비의 열화진단 검출방법 중 부분방전 특성은 가장 중요한 열화진단 파라미터의 한가지로써 대부분 고전압 전력설비의 열화진단에 이용되며, 진단방법으로는 부분방전전하법, 음향방출법, 진동가속도법, 방사전자계법 등이 이용된다. 전력설비 내부에서 부분방전이 발생하면 방전의 크기가 작음에도 불구하고 여러 가지 화학작용을 일으켜 고에너지의 전자나 이온, 가스 등이 발생되어 결국 절연물의

열화를 야기하여 전기설비의 고장 원인이 된다. 또한 부분방전은 그 자체가 열화요인이 되고 더불어 몇 가지 열화요인에 의해서 절연체 중에 발생된 국소결함의 검출에 유효한 신호원으로도 존재하게 된다 [1]. 전력설비의 내부에서 부분방전이 발생한 경우 전기적인 펄스와 동시에 발생하는 미소 음향의 초음파 성분을 검출함으로써 전력설비의 절연상태 및 이상발생 위치를 추정하는 것을 음향방출법이라고 하며, 이는 결합부위로부터 방출되는 에너지 검출에 중속적인 수동적 방법이다 [2].

그러나, 부분방전에 수반되는 초음파를 이용한 예방진단법에서는 부분방전의 전하량을 측정할 수 없으며, 절연유에서의 음속은 온도, 주파수, 수분, 가스, 점도와 같은 요소에 의해 영향을 받으므로 경우에 따라서는 부분방전 발생 위치를 추정하기 위한 보정이 필요하다 [3].

a. Corresponding author; 042yhjeong@naver.com

본 논문에서는 전력용 변압기, 전력용 케이블 등과 같은 고전압 전력설비에서 발생하는 부분방전에 따른 음향방출 응답특성이 부분방전 전하량과 어떤 관계가 있는지를 전기적 측정법으로 검출한 부분방전 전하량과 음향적 방법으로 측정된 부분방전에 의한 출력 전압을 동시에 측정하여 고찰하였다.

2. 실험

2.1 음향방출 센서의 특성

전력용 변압기 내부 부분방전에 의한 초음파 신호 발생 범위는 100~250 kHz이고, 150 kHz 부근에서 최대치가 발생하며 전력설비에서 발생하는 부분방전을 측정할 때 광유와 같은 액체에서는 80~300 kHz의 주파수 범위를, 전력케이블과 같은 고체에서는 200~350 kHz의 주파수 범위를 이용하는 것으로 알려져 있다 [4]. 본 연구에서는 두께진동 모드와 경방향진동 모드의 공진주파수가 동일한 결합진동 모드 압전형 음향방출 센서와 비결합진동 모드 압전형 음향방출 센서 [5] 를 사용하여 부분방전 발생 전하량에 따른 음향방출센서의 초음파 검출 특성을 비교 실험하였다. 두 가지 음향방출센서를 사용한 이유는 부분방전 측정에 이용되는 주파수 범위 이내에서 공진주파수를 가지는 두 가지 종류의 음향방출 센서 응답특성이 부분방전 발생 전하량과 어떤 관계를 가지는지 알아보기 위해서이다.

2.2 XLPE 판상 고체 절연물에서의 부분방전 검출 응답 특성 시험

그림 1은 XLPE 판상 고체 절연물을 이용한 음향방출 센서의 부분방전 검출 시험장치 구성도이다. XLPE 절연체 내에 칩 전극을 삽입하여 전압을 인가함으로써 부분방전을 발생시켰고, 칩 전극은 선 단부 곡률반경 10 μm ± 2.5 μm의 전기트리 시험용 바늘이다. 부분방전에 따른 음향신호가 음향방출 센서로 잘 전달될 수 있도록 접지부에 또 하나의 바늘을 고압전극용 바늘과 직각으로 설치하여 방전위치를 고정시켰다. 고압전극과 접지전극의 이격 간격은 3 mm이며, 결합진동 음향방출 센서와 비결합진동 음향방출 센서를 방전위치로부터 동일한 거리가 유지되도록 XLPE 시료 표면에 부착하였다. 이렇게 준비된 시료를 절연유

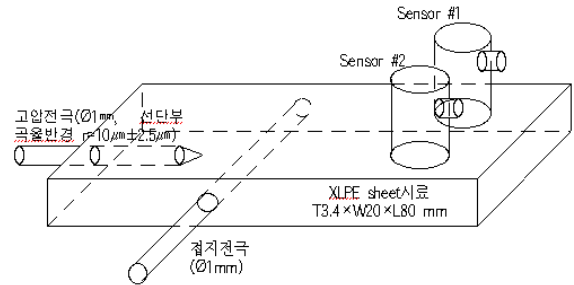


Fig. 1. Schematic of partial discharge detection testing system with XLPE sheet.

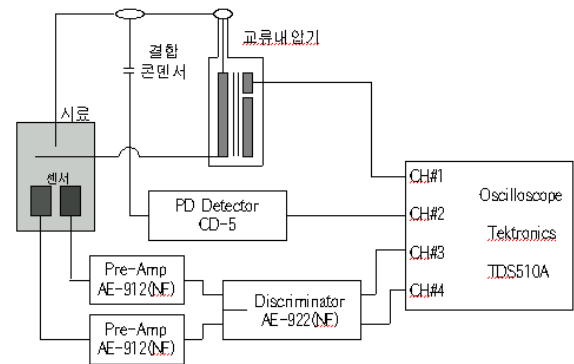


Fig. 2. Electrical and acoustic partial discharge measuring system in XLPE sheet.

(silicon oil)속에 함침하여 고전압 인가 시 연면절연이 이루어지도록 하였다. 시료 설치 후 전압을 10 kV까지 올리고 30분 동안 지속하여 전기트리를 발생시킨 후 전압을 8 kV정도로 낮춰 간헐적으로 발생하는 부분방전 양을 측정하였다. 부분방전에 의한 음향방출신호 검출특성 시험 시스템은 그림 2와 같이 고전압 발생장치, 음향방출 센서, 전치증폭기, PD 검출기, 오실로스코프 등을 사용하여 구성하였다.

2.3 절연유 및 절연지에서 발생하는 부분방전 검출 응답특성 시험

절연유와 절연지로 구성되는 절연재료에서 발생하는 부분방전에 따른 미소 초음파 신호를 검출하는 시험을 실시하기 위하여 절연지를 전극사이에 삽입하고 이것을 절연유속에 함침시킨 후 전압을 인가하여 간헐적 부분방전을 발생시키고 음향방출 센서의 응답전압을 측정하였다. 그림 3은 절연유 및 절연지를 이용한 음향방출

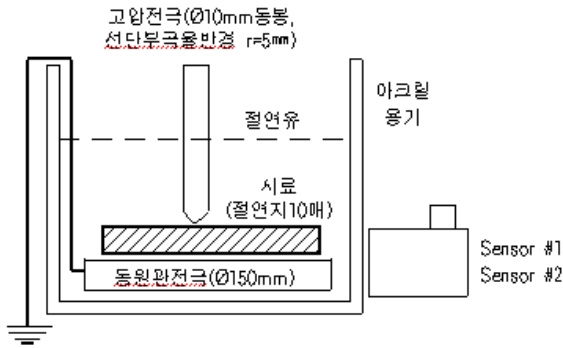


Fig. 3. Schematic of partial discharge detection test with craft papers and insulation oil.

센서의 부분방전 검출 시험장치 구성도이고, 측정 시스템은 그림 2와 동일하다. 사용한 절연지(craft paper)의 두께는 0.12 mm이며, 절단하지 않고 접어서 10겹을 만들어 전극사이에 설치하였다. 전극은 침전극을 사용하면 전계집중으로 절연지가 뚫어지는 현상이 발생하기 쉬우므로 직경 10 mm의 반구형 봉전극을 고압전극으로 사용하였다. 절연유의 용기는 아크릴용기를 사용하였고, 절연유를 충분히 채워 전극상의 방전지점에서 센서까지 절연유를 통한 음파 경로가 유지되도록 하였다.

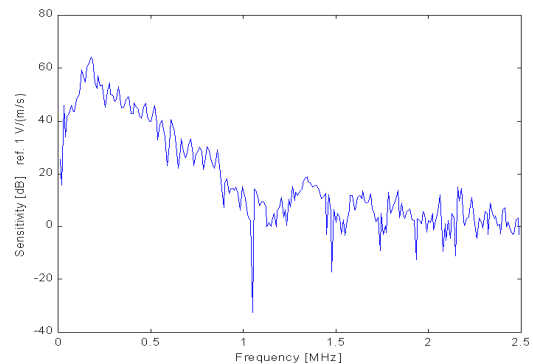
### 3. 결과 및 고찰

그림 4(a), (b)는 실험에 사용한 음향방출센서의 감도특성 곡선이다.

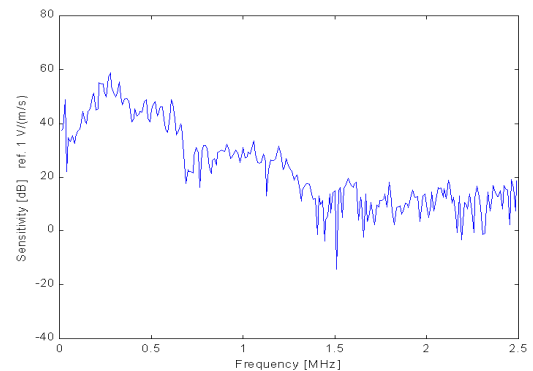
결합진동모드 음향방출 센서(3.45 mmΦ × 3.45 mm PZT)의 경우 그림 4(a)의 감도특성곡선에서 공진주파수 166 kHz에서 감도는 64.3 dB이고, 비결합진동 모드 센서(3.45 mmΦ × 1.725 mm PZT)의 경우 그림 1(b)의 감도특성곡선에서 공진주파수 264.7 kHz에서 감도는 58.9 dB이다.

#### 3.1 XLPE 판상고체절연물에서의 부분방전 검출 응답 특성

그림 5는 XLPE 판상 고체절연물에 고전압이 인가된 후 시간이 경과함에 따라 전기적 트리가 진행되는 것을 관찰한 것이며, 부분방전이 발생하여 단락될 때까지 발생하는 부분방전 전하량과 음향방출 신호를 동시에 측정하였다. 그림 6은 부분방전 발생에 따른



(a) Sensitivity characteristic of AE sensor with coupled vibration mode



(b) Sensitivity characteristic of AE sensor with non-coupled vibration mode

Fig. 4. Sensitivity characteristics according to vibration mode of AE sensors.

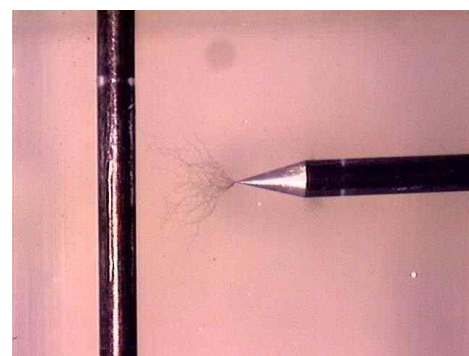


Fig. 5. Electric tree generation of XLPE sheets.

오실로스코프의 응답측정 화면이다.

각 채널에 측정된 진폭을 정량적으로 측정하여 개별 방전 펄스에 따른 측정 감도를 비교하였는데 결합진동모드 음향방출 센서의 감도가 훨씬 우수하였다.

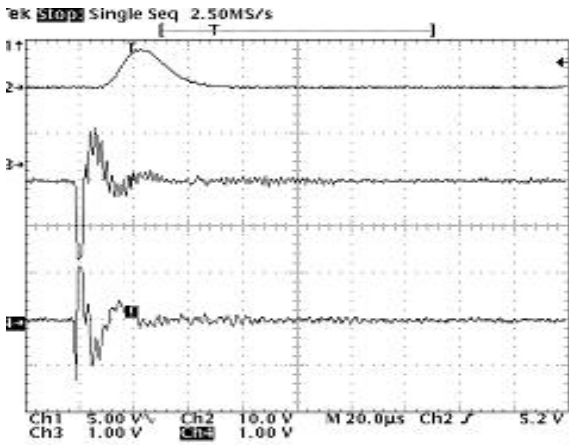
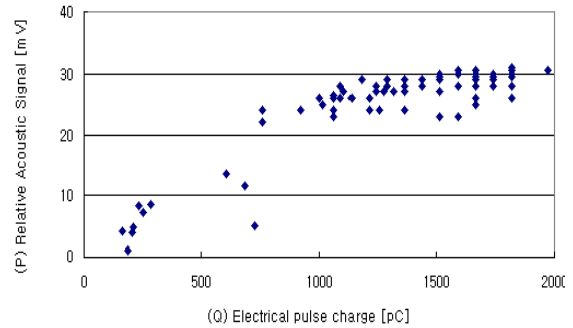


Fig. 6. Response signal according to partial discharges in XLPE sheets.

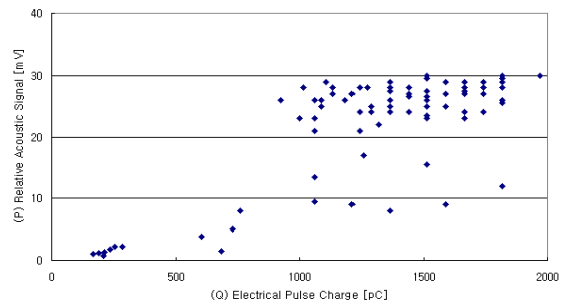
그림 7은 XLPE 판상 고체 절연물 내의 부분방전 전하량에 따른 음향방출 센서의 출력 응답으로써 측정시간 중 부분방전이 발생한 112개의 데이터를 사용하여 작성하였다. 1000 pC 이상의 동일한 부분방전 전하량에 대하여 센서의 출력 응답 전압 계급차는 결합진동 모드를 이용한 음향방출 센서가 비결합진동 모드를 이용한 음향방출 센서보다 작아 응답 신뢰성이 높았다. 또한 부분방전 전하량에 따른 음향방출 센서의 응답 특성은 결합진동 모드를 이용한 음향방출 센서의 경우 1000 pC까지는 선형적 비례관계의 경향을 보였으나, 그 이후는 절연과피가 될 때까지 완만한 증가를 하였으며, 비결합진동 모드를 이용한 음향방출 센서의 경우는 뚜렷한 비례관계를 나타내지 않았다. 따라서 XLPE 고체 절연재료의 부분방전을 검출하기 위한 음향방출 센서에는 결합진동 모드를 이용한 압전소자를 사용함이 더 효과적이라고 생각된다.

**3.2 절연유와 절연지에서 발생하는 부분방전 검출 응답 특성**

절연지를 전극 사이에 배치하고 절연유에 담근 후 전압을 약 6 kV정도 인가하였을 때부터 부분방전이 발생하기 시작하였다. 절연유 및 절연지 내에서 발생하는 부분방전은 고체의 경우처럼 계속 유지되거나 증가되는 일방적인 경향을 나타내지 않고 소멸되기도 하고 순간적으로 증가되기도 하였다. 인가전압을 8 kV~10 kV 사이에서 조절하면서 서로 다른 방전 크기



(a) Output response of AE sensor with coupled vibration mode



(b) Output response of AE sensor with non-coupled vibration mode

Fig. 7. Output response of AE sensors according to partial discharge quantity in XLPE sheets.

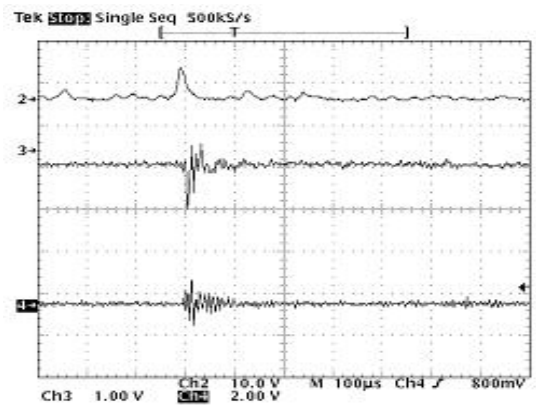
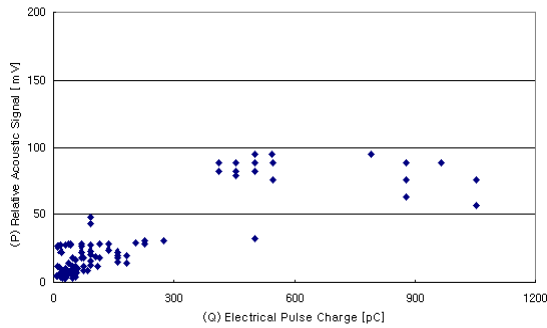


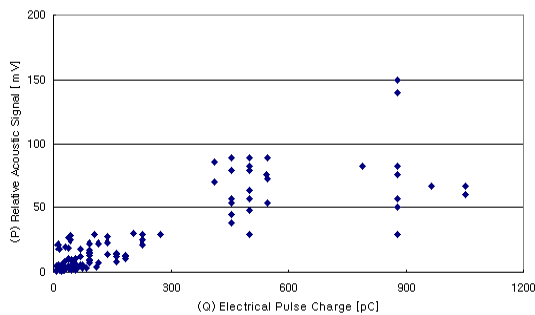
Fig. 8. response signal according to partial discharge in the craft papers with insulation oil.

와 음향방출 응답을 측정하였다. 그림 8은 절연유와 절연지에서의 부분방전에 따른 응답신호 측정 오실로스코프 화면이다.

오실로스코프의 2번 채널이 전기적인 부분방전 측정 펄스 이고, 3, 4번이 각각 결합진동 모드, 비결합진동



(a) Output response of AE sensor with coupled vibration mode



(b) Output response of AE sensor with non-coupled vibration mode

**Fig. 9.** Acoustic emission output response according to partial discharge quantity in the craft papers with insulation oil.

모드로 제작된 음향방출 센서의 부분방전에 따른 응답 출력 파형이다. 3번 응답이 4번 응답보다 크게 나타난 것으로 보아 결합진동 모드 음향방출 센서의 감도가 더 우수함을 알 수 있다.

그림 9는 절연유 함침 절연지의 부분방전 전하량에 따른 음향방출 센서의 출력 응답으로써 측정 시간 중 발생한 123개의 데이터를 사용하여 작성하였다. 부분방전량과 음향방출 센서의 출력응답 전압 간에는 550 pC까지는 어느 정도의 선형적 비례 경향이 있었으나, 그 이후는 결합진동 모드 음향방출 센서 및 비결합진동 모드 음향방출 센서에서 모두 뚜렷한 비례관계를 찾기 어려웠다.

#### 4. 결론

XLPE 판상 고체절연물과 절연유와 절연지로 구성되는 절연재료에서 발생하는 부분방전에 따른 음향방출 응답특성을 측정한 결과는 다음과 같다.

1. XLPE 판상 고체 절연물에서의 부분방전 양에 따른 음향방출 센서의 응답 전압은 결합진동 모드 음향방출 센서의 경우 1,000 pC까지는 선형적 비례관계를 나타내었고, 그 이후는 시료의 절연파괴가 될 때까지 완만히 증가하였으며, 비결합진동 모드 음향방출 센서의 경우는 뚜렷한 비례관계를 나타내지 않았다. 또한 1000 pC 이상의 동일한 부분방전 전하량에 대한 센서의 검출응답 전압 계급차는 결합진동 모드 음향방출 센서가 비결합진동 모드 음향방출 센서보다 작아 응답 신뢰성이 더 높았다.

2. 절연유 및 절연지에서의 부분방전량과 음향방출 센서의 검출응답 특성간에는 550 pC까지는 어느 정도의 선형적 비례 경향이 있었다.

따라서 XLPE 고체절연물, 절연유 및 절연지로 구성되는 전력설비의 부분방전 발생량을 음향방출 센서를 이용하여 측정·분석하는 것이 전력설비의 열화 진단 방법의 한 가지가 될 수 있으며 이 때 사용하는 센서는 결합진동모드 압전형 음향방출 센서가 비결합진동 압전형 음향방출 센서 보다 더 적합하다고 생각된다.

#### REFERENCES

- [1] *Diagnostic technologies of electric facilities* (The Institute of Electrical Engineers of Japan, Tokyo, 1991) p. 3.
- [2] R. T. Harrold, *IEEE Trans. Electr. Insul.* **20**, 3 (1985).
- [3] D.-J. Kweon, Ph. D Thesis, p. 8-9, Soongsil University, Seoul (1995).
- [4] E. Howells, *IEEE Trans, Power Apparatus and Systems PAS-97*, 1538 (1978).
- [5] Y.-H. Jeong, J.-I. Hong, J.-H. Yoo and C.-Y. Park, *J. KIEEME* **12**, 1119 (1999).