

가스절연개폐장치의 금속이물 탐지용 AE 센서의 특성

Characteristics of AE Sensor for Detection of Metallic particle in GIS

홍재일*, 민석규**, 정영호***, 류주현**

* 동서울대학 전기과, ** 세명대학교 전기공학과, *** 한진 전력연구원

Jae-Il Hong*, Suk-Kyu Min**, Yeong-Ho Jeong***, Ju-Hyun Yoo**

* Dong Seoul College, ** Semyung University, *** KEPRI

Abstract

In order to detect the partial discharge with the metallic particle in GIS, AE sensor was designed and simulated by ANSYS, and manufactured as the coupled vibration mode.

The resonant frequency of three Coupled AE sensors were as follows ; 147.88 kHz in 8.1mm ϕ \times 8.1mm, 128.82 kHz in 9.5mm ϕ \times 9.5mm, 85.22 kHz in 14.3mm ϕ \times 14.3mm. That frequency is $\lambda/2$ resonant frequency.

AE sensor of 9.5mm ϕ \times 9.5mm responded higher than the other coupled vibration mode AE sensor at the partial discharge detection in GIS.

Key Words : Coupled vibration mode, AE sensor, Partial discharge detection, Metallic particle, GIS

1. 서론

가스절연개폐장치(Gas Insulated Switchgear, GIS)는 고압 SF₆ 가스를 절연매질로 사용하는 전력 설비로 절연내력이 높으면서도 소형으로 제작 가능하며 신뢰성이 높고 보수가 간편하다는 장점이 있어 최근 초고압 대용량 전력설비에 많이 사용되고 있다[1].

그러나 공장에서 가스절연개폐장치를 가공하거나 연마하는 제작 과정 중에 또는 운반과 조립 과정 중에 가스절연개폐장치 내부에 금속 이물질이 생길 수 있으며 이러한 결함으로 인해 가스절연개폐장치 내에 전계가 집중하여 부분방전이 생겨 절연파괴가 될 수 있다.

AE 센서는 높은 감도와 환경친화적인 센서로서 사용이 간편하므로 가스절연개폐장치 내의 금속이물에 의한 부분방전을 용이하게 감지할 수 있다. 가속도 센서가 전력설비의 부분방전을 감지하는데 사용되었으나 주위의 기계적인 음향 소음에 영향을 받는 단점으로 인해 소음에 강한 AE 센서로 많이 대체되고 있는 실정이다.[2]

따라서 본 논문에서는 EC-65 세라믹 소자로 된

결합모드의 AE 센서를 제작하고 모의 가스절연개폐장치 내에 금속 이물을 넣은 후 발생하는 초음파 신호를 AE 센서로 측정하고 고찰하였다.

2. 실험

2.1 AE 센서의 제작

가스절연개폐장치 내의 금속이물 감지에 적합한 공진 주파수 범위는 40~250 kHz이므로[3] PZT 소자의 크기가 표 1에 나타낸 것과 같은 세가지 결합진동모드[4] AE 센서를 설계하였으며 PZT-5A계 세라믹인 EC-65(Edo사 제품)로 PZT 세라믹을 만든 후 공기 후면층(air backing) 구조의 AE센서를 제작하였다.

보호판(wear plate)은 초음파탐촉자나 초음파센서에서는 피측정재질과 PZT세라믹과의 임피던스 정합층에 해당되는 부분으로서 피측정재질로부터 발생하는 초음파 신호가 PZT세라믹에 잘전달되도록 하며 PZT세라믹을 기계적으로 보호한다.

피측정재질로는 강철이 많은데 그 음향 임피던스

Z_1 은 약 $47 \times 10^6 [\text{kg}/\text{m}^2\text{s}]$ 이며 PZT세라믹의 음향 임피던스 Z_3 는 $33 \times 10^6 [\text{kg}/\text{m}^2\text{s}]$ 이다.

표 1. AE 센서의 분류

Table 1. Classification of AE sensors

센서번호	PZT소자 크기	후면층
AE 1	8.1 mm ϕ × 8.1 mm	공기
AE 2	9.5 mm ϕ × 9.5 mm	공기
AE 3	14.3 mm ϕ × 14.3 mm	공기

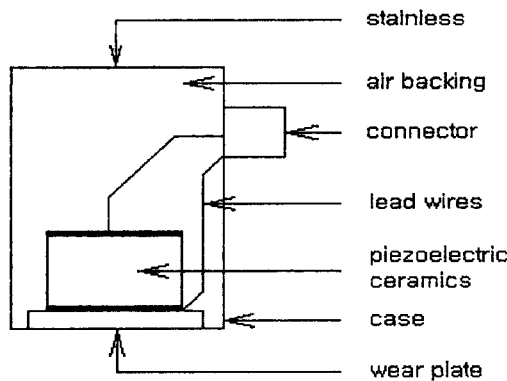


그림 1. AE센서의 구조

Fig. 1 Structure of the acoustic emission sensor

탄성파의 투과율이 1이 되기 위한 조건은 $z_2 = \sqrt{z_1 \cdot z_3}$ 이므로 $39 \times 10^6 [\text{kg}/\text{m}^2\text{s}]$ 이어야 하는데 알루미늄의 경우 $41 \times 10^6 [\text{kg}/\text{m}^2\text{s}]$ 이므로 적당하다. 또한 보호판의 두께는 $\lambda/4$ 보다 작게 하였는데 이는 AE센서의 경우 수신하는 신호가 연속파보다는 펄스파이프므로 완전투과효과가 크지 않기 때문이다.

반사파를 흡수하는 후면층에 의한 흡음손실이 감도의 저하를 가져올 수 있기 때문에 후면층을 사용하지 않고 공기 후면층 구조로 만들었다.

스텐레스 스틸로 된 케이스는 완전 접지 구조로 하여 외부 잡음을 차단하도록 하였다.

2.2 AE 센서의 감도 측정

제작된 AE센서의 감도특성을 측정하기 위하여 과도 탄성파 측정법(ASTM 1106-86)[4]을 이용한 간이 감도측정 시스템을 사용하였다.[5]

탄성파원으로는 유리모세관(내경 0.15mm, 외경 0.25mm, Vitro Dynamics사 제품)을 사용하였고 전달매질로는 감쇄와 분산이 적은 단조강(직경 50cm, 두께 5cm)을 사용하였으며 센서는 탄성파원의 측면

20cm에 글리세린 couplant로 접촉하였다.

측정방법은 Indentor를 서서히 내려서 면도날로 유리모세관을 절단하므로써 탄성파원을 만들고 이때 받는 힘을 load cell indicator로 기록하여 단위 N당 센서응답 파형을 디지털 오실로스코프(LeCroy 9354A)로 측정한 후 $0.2 \mu\text{s}$ 간격으로된 510개의 데이터로 디스켓에 저장하였다.

이렇게 저장된 데이터를 다음 식을 이용하여 이론적으로 계산된 Green 함수의 속도와 비교하여 감도를 구하였으며 데이터 처리는 MATLAB 프로그램을 사용하였다.

$$dB = 20 \log_{10} \frac{\text{센서응답} [V]}{\text{이론속도} [m/s]} \quad (1)$$

2.3 모의 가스절연개폐장치 및 부분방전 응답 특성

가스절연개폐장치 내의 금속이물에 의한 부분방전을 측정하기 위하여 실제의 가스절연개폐장치를 이용하기에는 SF6 가스의 가격이 너무 비싸고 특고압에 의한 위험성을 배제하고자 그림 2와 같은 모의 가스절연개폐장치를 사용하였다. 부분방전의 검출특성 시험을 실시하기 위하여, 고전압 발생장치, 평판-평판 전극, AE 센서, 전치증폭기, 부분방전 검출기, 오실로스코프 등의 부분방전 검출시스템을 구성하여 측정하였다.[6]

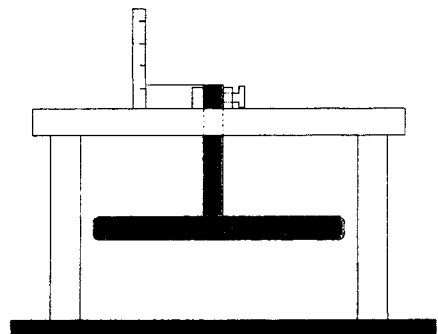


그림 2. 모의 가스절연개폐장치

Fig. 2. Gas Insulated Switchgear

고전압 발생장치는 30 kV까지 고전압을 발생할 수 있는 것으로 본 시험에서는 평판-평판 전극에 15 kV의 고전압을 인가하여 부분방전이 지속적으로 유지되도록 하였다.

가스절연개폐장치의 금속이물은 고전압에 의해

움직이면서 강철로 된 외함에 부딪혀 초음파를 발생 하고 이는 외함을 따라 AE 센서에 도달한다.

모의 가스절연개폐장치 내에는 평판전극을 설치 하였는데 상부 전극의 지름은 100 mm, 두께 10 mm로 제작하였으며 전극의 끝 부분은 부분방전 발생을 억제하기 위해 라운드(round) 처리하였다. 전극간의 간격은 눈금조절계를 이용하여 0에서 60 mm까지 mm 단위로 조절할 수 있게 하였다. 챔버 내 금속이물의 왕복운동(bouncing)시 금속이물이 전극에서 이탈하는 것을 방지하기 위해 원통형 투명 아크릴을 만들어 그 안에 전극을 놓았다. 금속이물에는 볼, 나사, 철사 등의 모양이 있는데 본 논문에서는 철사 모양(0.5mm ϕ ×6mm)의 구리선을 이용하였다.

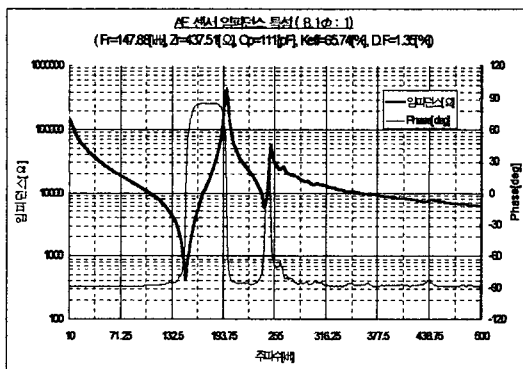
측정 순서는 금속이물을 모의 가스절연개폐장치 내에 넣고 진공을 10-3 torr 정도로 뽑고 SF6 가스를 2 kg/cm³ 붓입하고 전압을 15 kV 인가하여 부분방전을 일으켜 그때 발생된 초음파 신호를 오실로스코프(LeCroy 9310A)로 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

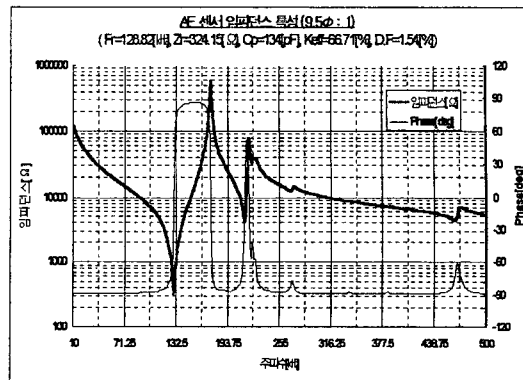
3.1 AE 센서의 전기적 특성

결합 진동모드의 세 가지 PZT세라믹을 케이스에 각각 장착하여 AE 센서를 완성한 후에 전기 임피던스 측정을 통하여 공진 주파수를 알아보았으며 그 결과를 그림 3에 나타내었다.

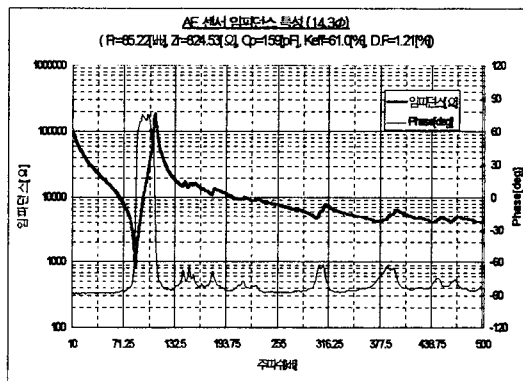
8.1mm ϕ ×8.1mm의 경우는 147.88 kHz, 9.5mm ϕ ×9.5mm 경우는 128.82 kHz, 14.3mm ϕ ×14.3mm 경우는 85.22 kHz로 측정되었다. 이는 두께 진동과 경방향 진동이 같이 나타나는 결합 진동모드를 보이고 있으며 이는 PZT세라믹의 $\lambda/2$ 공진주파수에 해당된다.



(a) AE 1(8.1mm ϕ ×8.1mm) 센서



(b) AE 2(9.5mm ϕ ×9.5mm) 센서



(c) AE 3(14.3mm ϕ ×14.3mm) 센서

그림 3. PZT 크기에 따른 임피던스 곡선

Fig. 3. Impedance plot with the PZT size

3.2 모의 가스절연개폐장치에서의 부분방전 응답 특성

그림 4는 모의 가스절연개폐장치 내의 평판-평판 전극에서 금속 이물로 인해 부분방전이 발생할 경우에 외함에 본 연구에서 제작한 AE 센서를 부착하고 측정한 초음파 파형과 이 초음파 신호의 주파수 스펙트럼이다.

공진 주파수가 약 60 kHz인 9.5mm ϕ ×9.5mm AE 센서의 검출 특성이 가장 우수하였다.

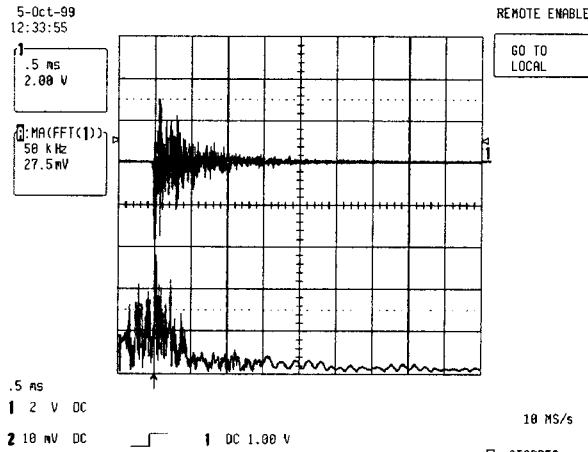
4. 결론

가스절연개폐장치 내의 금속이물을 진단하기 위하여 100 kHz 이하의 세 가지 결합 진동모드(8.1mm ϕ ×8.1mm, 9.5mm ϕ ×9.5mm, 14.3mm ϕ ×14.3mm) AE 센서를 제작한 후 모의 가스절연개폐장치 내의 금속이물에 의한 부분방전을 측정하고 고찰한 결과 공진주파수가 약 60 kHz인 9.5mm ϕ ×

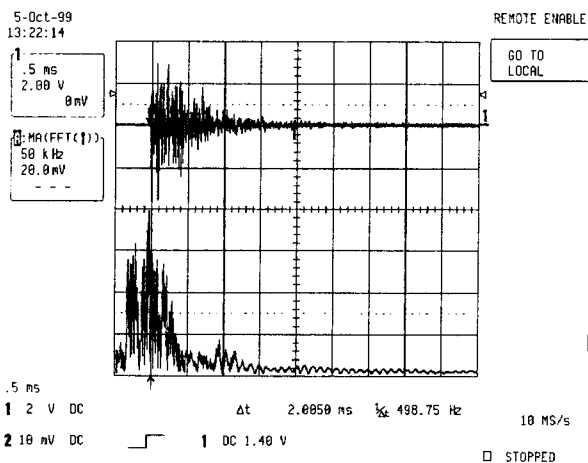
9.5mm AE센서가 비교적 우수한 검출 특성을 나타내었다.

그림 4. PZT 크기에 따른 부분방전 파형

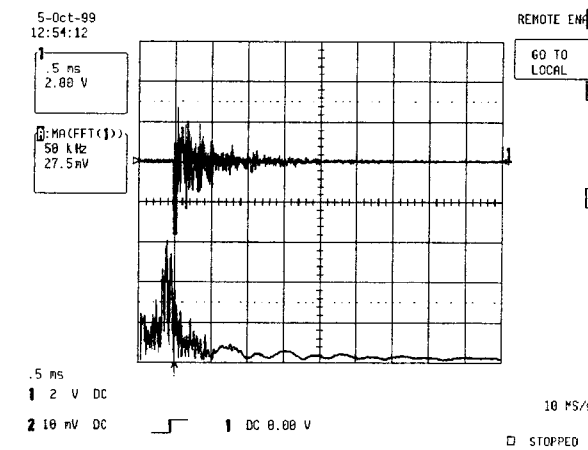
Fig. 4. Partial discharge waves with the PZT size



(a) AE 1(8.1mm ϕ × 8.1mm) 센서



(b) AE 2(9.5mm ϕ × 9.5mm) 센서



(c) AE 3(14.3mm ϕ × 14.3mm) 센서

감사의 글

본 논문은 1998년도 한국전력공사의 연구비 지원에 기초전력공학공동연구소 주관으로 연구된 것이며 이에 감사드립니다.(과제번호:98-지정-20)

참고문헌

- [1] L.E.Lundgaard, M. Runde, B. Skyberg, "Acoustic Diagnosis of Gas Insulated Substations: A Technical and Experimental Basis", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol.5, No.4, pp.1751-1759,1990
- [2] L.E.Lundgaard, R.Hergersberg, and B.Skyberg, " Partial Discharge and Particle Detection in GIS using acoustic emission technique", Proc. 5th Int. Symp. High Voltage Eng., Braunschweig, 1987
- [3] Sparen, P.H., Skyberg, b., Hegerberg, R. and Lundgaard, L.E., Gas Insulated Substations, Technology and Particle, Eds: Boggs, Fujimoto and Chu, Pergamon Press, pp.331-340, 19862
- [3] M.Shiwa, H.Inaba, S.H.Carpenter and T. Kishi, "Development of High-Sensitivity and Low-noise Integrated Acoustic Emission Sensor", Material Evaluation, pp.868-874, July 1992
- [4] ASTM E1106-86, "Standard Method for Primary Calibration of AE Sensors"
- [5] 김영환, 윤동진, 이세경, 김호철, "과도파를 이용한 음향방출 시험용 센서 특성 측정", 응용물리, 제3권 제4호, pp.374-380, 1990
- [6] 권동진, "초음파 경향분석에 의한 전력용 변압기의 예방진단에 관한 연구", 박사학위논문, 숭실대학교 대학원, 1995