

유중 부분방전 음향신호의 전달특성

Propagation Characteristics of Acoustic Signals Produced by Partial Discharge in Insulation Oil

김성욱* 박찬용* 박대원** 길경석† 류길수§
Sung-Wook Kim Chan-Yong Park Dae-Won Park Gyung-Suk Kil Keel-Soo Rhyu

ABSTRACT

This paper describes the propagation characteristics of acoustic signals as a function of distance from the location of partial discharge(PD) occurrence to analyze correlation between discharge magnitude and acoustic signal in insulation oil. To measure small acoustic signals produced by PD, we fabricated an amplifier and simulated PD at a needle-plane electrode system set in insulation oil. The amplifier has the gain of 40 dB and the frequency bandwidth of 1.6 kHz~1.6 MHz. These are enough characteristics for the measurement of acoustic signals. After a comparative calibration experiment by a standard pulse generator and a coupling capacitor, we analyzed the propagation characteristics of acoustic signals in insulation oil.

1. 서론

각종 산업이 급격히 발달되면서 전력수요 급증에 따른 고품질의 전력공급이 요구되어 지고 있다. 또한 전력설비의 용량이 커짐에 따라 사고 시에는 그 파급영향이 매우 크기 때문에 예방진단 기술에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 절연은 전기기기의 수명과 성능을 평가하는 중요한 지표로서 전기적, 기계적, 화학적, 열적 스트레스에 의해 절연물의 열화가 진전되어 절연파괴가 발생한다. 이러한 절연파괴가 발생하기 전에 부분방전이 수반되는데, 특히 고압변압기에서 발생하는 부분방전은 변압기의 수명과 성능을 저하시키므로 효과적인 부분방전의 측정이 요구되어진다[1],[2]. 전력설비에 이용되는 고압변압기의 대부분은 유입 변압기로 국내·외적으로 유입변압기의 부분방전 검출에 대한 많은 연구가 수행되고 있다. 유입변압기의 대표적인 부분방전 검출법으로는 부분방전에 의해 발생하는 펄스성 방전전류를 커플링 장비 등으로 직접 검출하는 방법이 있으며, 유중에서 발생하는 가스검출 및 음향신호검출 등 여러 가지 방법이 있다[3],[4]. 하지만 부분방전펄스의 직접적인 검출법은 사용되는 장비의 외부 노이즈로 인해 발생하는 전류와 구분이 어렵기 때문에 측정의 한계가 있으며, 유중 가스검출법은 실시간 측정이 곤란한 단점이 있다. 그러나 음향신호의 검출을 통한 부분방전 측정법은 변압기 외부에 센서를 설치하여 측정하기 때문에 전자계에 의한 간섭이 매우 적으며, 센서의 취부가 용이하여 측정지점의 이동이 편리하다. 특히 전기적으로 절연된 상태에서 실시간으로 측정할 수 있다는 장점이 있어 현재 부분방전 측정법으로 많이 사용되고 있다. 또한 다수의 센서를 설치하여 음향신호의 도달시간차를 측정하면 부분방전 즉, 결함의 위치를 추정할 수 있다.

† 책임저자 : 정회원, 한국해양대학교, 전기전자공학부, 교수
E-mail : kilgs@hhu.ac.kr
TEL : (051)410-4414 FAX : (051)403-1127

* 정회원, 정회원, 한국해양대학교, 전기전자공학부, 석사과정

** 정회원, 정회원, 한국해양대학교, 전기전자공학부, 박사과정

§ 정회원, 정회원, 한국해양대학교, 컴퓨터제어전자통신공학부, 교수

본 논문에서는 유중부분방전에 의해 발생하는 음향신호와 방전전하량의 관계를 분석하기 위하여 부분방전펄스와 음향신호를 측정함으로써 거리에 따른 음향신호의 전달특성에 대하여 연구하였다.

2. 음향신호의 검출

절연체 내부에 기포나 균열이 발생하는 등 결함이 존재하게 되면 전계가 집중되고 자체의 절연내력이 상대적으로 약화되어 결함부분에서 절연열화로 인한 부분방전이 발생하게 된다. 특히 유중에서 부분방전이 발생하면 절연유의 절연에 영향을 미치게 되며, 동시에 수십 [kHz]~수백 [kHz]의 주파수 대역을 갖는 음향적 신호가 수반된다[5],[6].

본 논문에서는 유중에서 발생하는 부분방전 음향신호의 검출을 위해 측정 주파수대역이 50 [kHz]~200 [kHz]인 AE(Acoustic Emission)센서(R151-AST, PAC사)를 사용하였다. AE센서는 마그네트 홀더와 세트로 구성되어 변압기 외함에 취부가 용이하며, 전원선과 신호선을 공통으로 사용하므로 직류 전압원과 음향신호를 분리하기 위한 필터특성의 역결합회로와 음향신호의 고감도 검출을 위한 광대역 증폭기가 필요하다.

부분방전에 의한 음향신호는 수십 [kHz]이상의 고주파 신호이므로 역결합회로를 그림 1과 같이 구성하여 콘덴서 C4를 통해 센서에 공급되는 직류 전원은 차단되고, 음향신호만을 검출할 수 있도록 하였다.

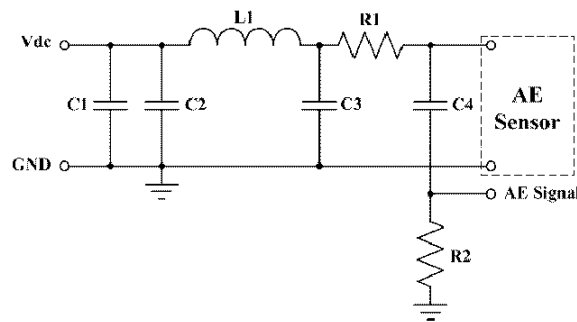


그림 1. 역결합회로

또한 측정된 음향신호는 미소하고 주위 잡음에 대한 영향을 많이 받기 때문에 그림 2와 같이 광대역 증폭회로를 설계하여 센서의 감도를 개선하였다. 광대역 증폭회로에는 연산 증폭기(DC~70 [MHz], LH0032)를 사용하였으며, 이득은 40 [dB]로 설계하였다. 제작된 음향신호 검출회로의 주파수응답은 함수 발생기로 1 [kHz]에서 2 [kHz]까지 정현파 입력전압에 대한 출력전압의 비율로서 분석하였으며, -3 [dB]의 고역차단 주파수는 1.6 [MHz], 저역차단주파수는 1.6 [kHz]로 AE센서의 주파수대역(50 [kHz]~200 [kHz])을 충분히 포함하고 있음을 알 수 있다.

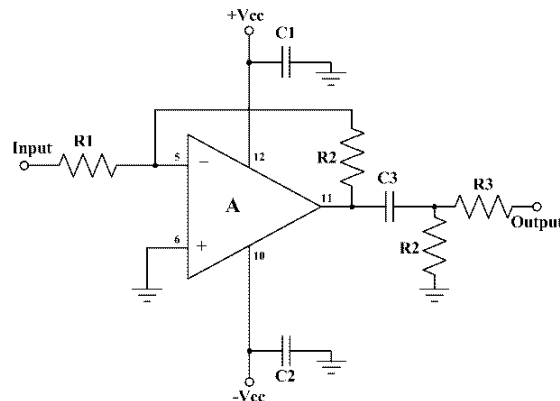
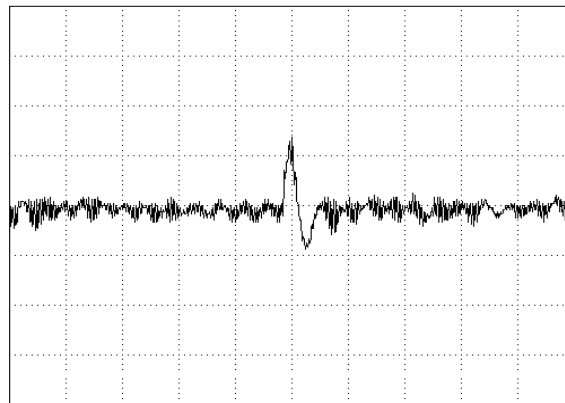


그림 2. 광대역 증폭회로

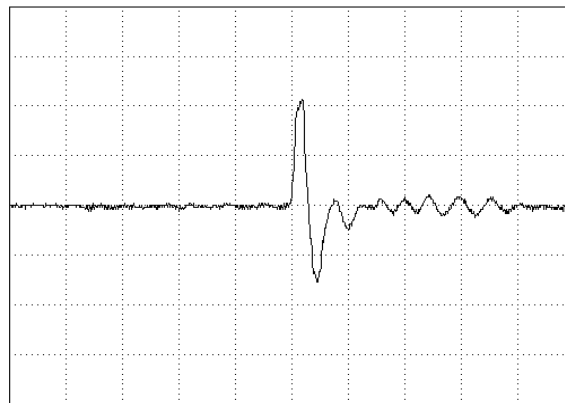
3. 실험 및 분석

유중부분방전을 모의하기 위하여 침-평판으로 구성된 전극계를 제작하였다. 평판전극은 텅스텐과 구리의 합금으로 두께 15 [mm], 지름 60 [mm]으로 설계하였으며 가장자리를 등글게 처리하여 전계의 집중이 발생하지 않도록 하였다. 또한 침과 평판전극사이에는 실제 유입변압기에서 사용하는 두께 1.6 [mm]의 프레스보드지를 삽입하였다. 침-평판전극으로부터 발생하는 부분방전펄스를 측정하기 위하여 결합회로망과 증폭회로를 이용하였다. 절연유내에 제작된 전극을 배치하고 표준펄스발생기 CAL 1A(PD Diagnostix, 1 [pC] ~ 100 [pC])를 이용하여 교정실험을 수행하였으며 인가전하량에 따른 출력파형의 예를 그림 3에 나타내었다.



[200 mV/div, 200 ns/div]

(a) 10 [pC]



[1 V/div, 200 ns/div]

(b) 100 [pC]

그림 3. 교정펄스파형의 예

인가전하량에 따른 출력전압은 그림 4와 같이 10 [pC]~100 [pC]까지 선형적인 출력특성을 나타내었으며 감도는 23.65 [mV/pC]로 나타났다.

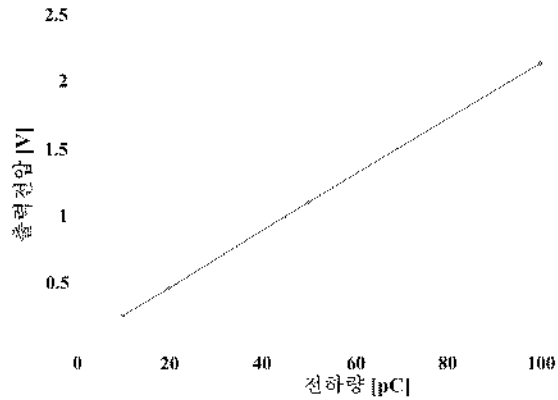


그림 4. 전하량에 따른 출력전압

실험계의 구성은 그림 5와 같으며 전압을 서서히 증가시키면서 유중부분방전을 발생시켰다.

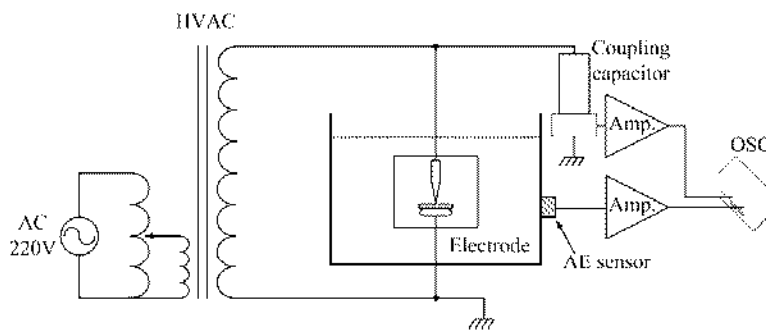


그림 5. 실험계의 구성

유중 부분방전 음향신호의 전달특성을 분석하기 위하여 그림 6과 같이 전극과 센서와의 거리를 각각 170 [mm], 590 [mm], 800 [mm]로 변화시키면서 동일한 부분방전이 발생하였을 때 방전펄스신호(결합콘덴서)와 음향신호(AE센서)를 측정하였으며 측정 파형의 예를 그림 7에 나타내었다.

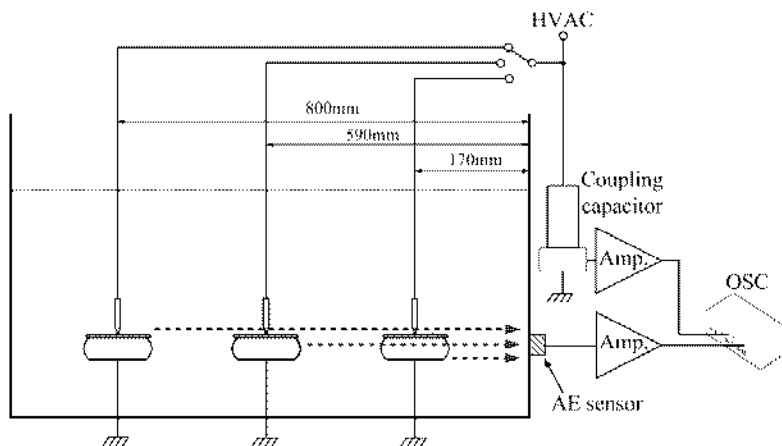
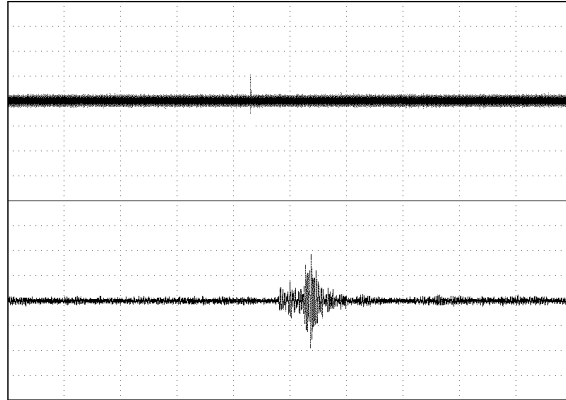
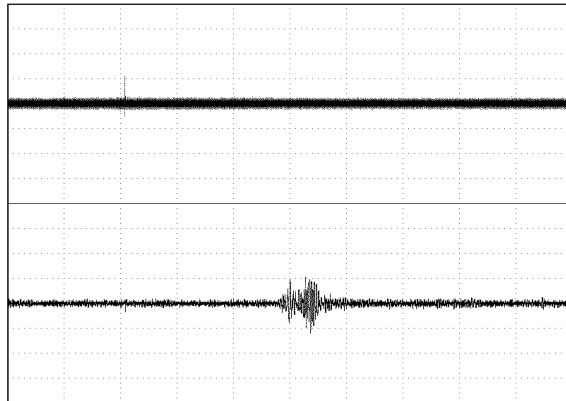


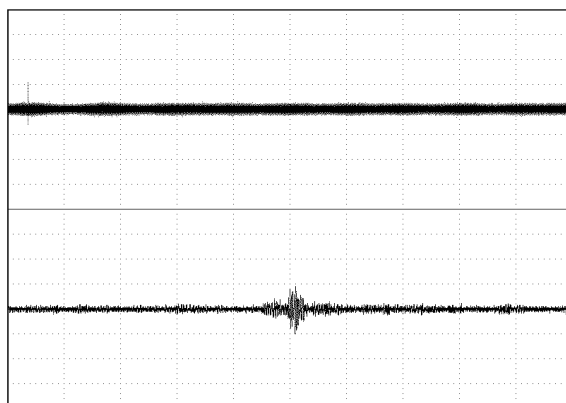
그림 6. 거리에 따른 유중 음향신호 측정



상 : 방전 펄스 신호 [500 mV/div, 200 μ s/div]
 하 : 음향 신호 [500 mV/div, 200 μ s/div]
 (a) 170 [mm]



상 : 방전 펄스 신호 [500 mV/div, 200 μ s/div]
 하 : 음향 신호 [500 mV/div, 200 μ s/div]
 (b) 590 [mm]



상 : 방전 펄스 신호 [500 mV/div, 200 μ s/div]
 하 : 음향 신호 [500 mV/div, 200 μ s/div]
 (c) 800 [mm]

그림 7. 측정과정의 예

동일한 크기(23.3 pC)의 부분방전 발생시, 유중 음향신호의 크기는 170 [mm], 590 [mm], 800 [mm]에 따라 각각 940 [mV], 540 [mV], 460 [mV]로 측정되었다. 거리에 따른 전달특성은 그림 8과 같이 나타났으

며, 실험결과로부터 거리에 따른 음향신호의 전달특성을 이용하여 방전전하량의 추정이 가능할 것으로 판단된다.

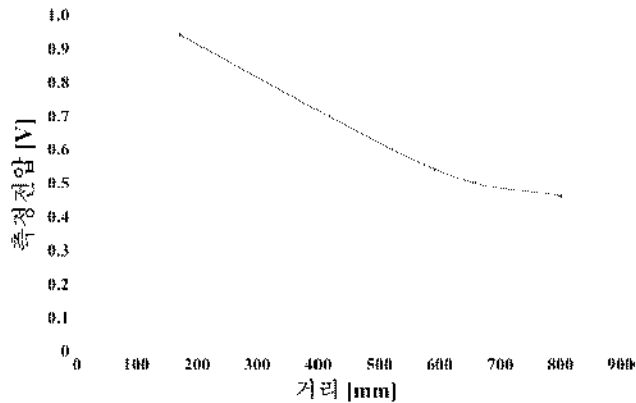


그림 8. 거리에 따른 음향신호의 전달특성

4. 결 론

본 논문에서는 유중부분방전에 의해 발생하는 음향신호와 방전전하량의 관계를 분석하기 위하여 발생 원으로부터 거리에 따른 전달특성에 대하여 연구하였다. 유중에서 발생하는 음향신호의 검출을 위해 측정 주파수대역이 50 [kHz]~200 [kHz]인 AB센서를 사용하였고, 직류 전압원과 음향신호를 분리하기 위한 필터 특성의 역결합회로와 음향신호의 고감도 검출을 위해 광대역 증폭회로를 설계하였다. 증폭회로는 이득 40 [dB], 주파수 대역 1.6 [kHz]~1.6 [MHz]로 AB센서의 주파수대역을 충분히 포함하고 있음을 알 수 있다.

유중부분방전을 모의하기 위하여 침-평판 전극계를 제작하였고, 표준펄스발생기를 이용하여 교정실험을 수행한 결과, 인가전하량에 따른 출력전압은 10 [pC]~100 [pC]까지 선형적인 특성을 나타내었으며 감도는 23.65 [mV/pC]로 측정되었다.

유중부분방전 음향신호의 전달특성을 분석하기 위하여 전극과 센서와의 거리를 각각 170 [mm], 590 [mm], 800 [mm]로 변화시키면서 동일한 부분방전(23.3 [pC])이 발생하였을 때 음향신호의 크기는 각각 940 [mV], 540 [mV], 460 [mV]로 측정되었으며 거리가 증가할수록 음향신호가 감쇄하는 특성을 확인하였다.

향후 음향신호의 도달시간차와 거리에 따른 음향신호의 전달특성을 이용하여 부분방전 발생위치와 방전전하량의 추정에 대한 연구를 수행할 것이다.

감사의 글

본 연구는 지식경제부와 한국산업기술재단의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과임

참고문헌

1. Y. Kamata (1986), "Diagnostic Methods for Power Transformer Insulation", IBBE Trans on Elect Insul, Vol.BI-21, No.6, pp.1045-1048
2. B. Howells, and B. T. Norton (1978), "Detection of Partial Discharge in Transformers Using Acoustic Emission Techniques", IBBE Trans, Vol.PAS-97, No.5, pp.1538-1549
3. IEC 60270 (2001) "Partial Discharge Measurements", International Standard, Ed.3

4. L.E. Lundgarrd et. al. (1992), "Partial Discharge—Part XIV : Acoustic Partial Discharge Detection Practical Application", IEEE Electrical Insulation Magazine. Vol.8, No.5, pp.34–43
5. Harrop, P. J. (1972), "Dielectrics", Butterworths, London
6. H. Kawada, M. Honda, T. inoue, and T. Amemiya (1984), "Partial discharges automatic monitor for oil-filled power transformer", IEEE Transaction on Power Apparatus and System, Vol.PAS-103, No.2