

압전 센서 제작 및 결함에 따른 PD 분포 분석

정해은, 박성희, 강성화*, 임기조, 이강원**
 충북대학교, 충청대학*, 한국철도기술연구원**

Analysis of PD signals according to defects of the piezoelectric sensor

Hae-eun Jung, Seong-hee Park, Seong-hwa Kang* and Kee-joe Lim, Kang-won Lee
 ChungBuk National Univ., ChungCheong Univ., KRRI**

Abstract - It is very difficult and dangerous to measure partial discharge from high voltage equipment in outdoor situation. But that is very important thing for preventing serious accidents from defects which originated in insulating degradation. This paper provides useful method to detect PD signals easily without any dangerous situation. Electric field sensor by the principle of capacitor detect PD signals without direct electrical connection between sensor and high power equipment and has very wide frequency range suitable for noise rejection. Electric field sensor and related circuit for processing PD signal showed good performance as a PD sensor when it is applied to simulated high power equipment generating PD pulse.

전 세라믹은 더 높은 Q_m , k_p , d_{33} , 그리고 더 낮은 $\tan \delta$ 를 필요로 한다. AE센서 시스템은 매우 훌륭한 압전성과 유전성을 가진 0.95PZT-0.05PMNS로 구성되어 있다. 세라믹의 여러 특성들과 제조 방법들은 [4],[5]에 제시되었다. 따라서 본 논문에서는 PD 현상을 검출하기 위하여 압전 AE센서를 적용하였고, 신호특성들을 분석하였다. 그리고 센서의 유전 특성들을 표 1에 나타내었다.

〈표 1〉 디스크 형태 세라믹 센서의 압전특성과 유전특성

$\tan \delta$	d_{33} [pC/N]	k_p [%]	T_c [$^{\circ}$ C]	Q_m	$\epsilon^T_{33}/\epsilon_0$
8.78	272	71	350	130	1797

1. 서 론

고전압 절연시스템에서 부분 방전은 유전체의 절연과파가 발생하기 전에 일어나고 절연의 열화상태를 민감하게 파악할 수 있는 정보를 가지고 있다. 따라서, PD검출은 초기 상태의 유전체 결함을 분석할 수 있는 효과적인 방법이라고 할 수 있다. 가스, 오일, 고체 등의 절연물 내에서의 PD 현상은 크기는 같으나 서로 다른 극성을 가진 두 전하가 어느 미소 거리만큼 떨어진 것과 같이 표현할 수 있다.[1,2,7] 절연물 내에서 PD가 발생할 때 2개의 등가 전하는 표면 방전 또는 스트리머를 통하여 서로 각각 결합하고, 전하의 양이 변화하면서 변화된 전계 크기의 변화는 전계센서에 의하여 검출된다.[8,9] 전계센서는 용량성 결합 안테나의 한 종류로서 매우 간단한 구조를 가지고 있다. 본 논문에서는 전계센서의 원리 및 적용 범위를 연구하였고, 시뮬레이션 파형과 시간과 주파수 도메인 분석을 통하여 PD source로부터 측정된 파형을 비교, 분석하였다. 본 논문에서의 전계센서는 간단하게 설계되었지만 PD 검출에 있어서는 훌륭한 성능을 보여주었다. 일반적으로 사용하는 IEC 270 방식[6]은 보통 전계센서에 의해 얻어진 결과들을 비교하기 위하여 적용된다. 또한 PRPD(phase-resolved partial discharge) 분석에 사용되어지는 $\varphi-v_{max}$ 와 $\varphi-n$ 이 100주기의 센서 데이터로 샘플링 되고, 전계 PD 계측기의 결과와 비교되어 진다.

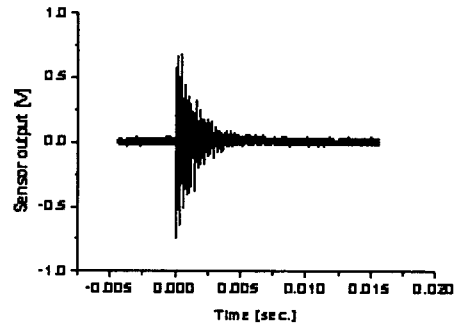
2. 본 론

2.1 실험구성

고전압장치 내에서 부분방전을 발생시키는 결합들은 보통 절연체 내의 void와 고전압 측의 돌출부, 그리고 전력케이블을 지탱하는 절연체 표면의 불균일성에 의한 것 등이다. 이러한 결합들은 코로나 혹은 스트리머를 발생시키게 된다. 코로나는 작은 진폭과 낮은 주파수 분포를 보이기 때문에 근처의 전력 장비들에 의해 발생하는 노이즈들로부터 구분해내기 매우 어려운 일이다. 따라서 본 논문은 주로 큰 진폭과 높은 주파수 영역에 분포하는 스트리머 방전에 중점을 두었다. 실험된 스트리머 발생장치는 침단 반경이 0.5mm인 Needle-Plane 전극 (gap distance:1cm)으로 구성되고 전자기파를 외부로 방사할 수 있는 다이폴 안테나 역할을 한다. Needle-Plane 전극주위의 외부 둘레(50cm*50cm*50cm)는 표면 검출을 위하여 알루미늄막으로 처리하였다. PD 개시전압은 3.1Kv(60Hz)이었고, 정주기(0-180 $^{\circ}$)에서 스트리머에 의한 PD 펄스가 발생하였을 때 측정 PD 전압은 3.3kv이었다. 시스템은 DUT 테스트와 회로 상태의 신호, 디지털 저장 오실로스코프, 컴퓨터와 같은 장치로 구성된다. 회로 상태의 신호는 band-pass 필터(30kHz - 70kHz)와 증폭기, 외부 회로로 구성된다.[3] 관측된 신호로부터 여파되고 증폭된 신호들은 디지털 오실로스코프로 전송되고 저장된 데이터는 $\varphi-q_{max}$, $\varphi-v_{max}$, $\varphi-n$ 분포를 나타내며 데이터 처리를 위하여 컴퓨터로 전송된다.

2.2 센서의 제조 및 유전특성

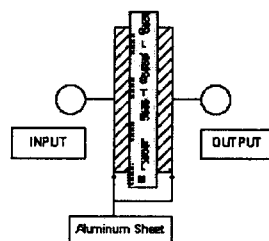
Lead zirconate-titanate(PZT) 세라믹은 압전 장치에 폭넓게 사용되고 전계센서 및 장치의 재료로 사용된다. 이러한 응용들은 매우 정확한 압전성과 유전성을 필요로 한다. 특히, 고전압장비에서의 압



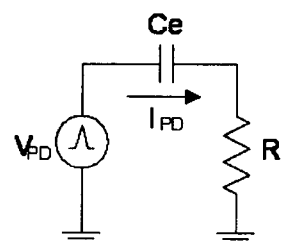
〈그림 1〉 디스크형 AE 센서의 출력 파형 : iron ball 자유낙하 테스트

2.3 결과 및 검토

전자기학 이론에 따르면, 양극(d 만큼의 거리를 두고 있는 2개의 다른 전하)으로부터의 전기장 거리는 r^3 에 반비례하고 거리 d와 양극 전하량 Q의 곱(d*Q)으로 표현되는 쌍극자 모멘트에 비례한다. 외부 전계센서를 통하여 PD에 의한 전기장의 변화를 검출할 수 있고, PD와 전하량의 관계를 추론할 수 있다. (ΔE 는 ΔQ 에 비례한다.) 전계센서는 그림 2와 같이 폴리에스테르와 같은 유전 재료가 삽입된 두 알루미늄 판으로 구성되어 있다. 전계센서의 계산된 용량은 1,400pF이었고, 임피던스 분석기에 의해 측정된 용량은 1kHz에서 1180nF이었다. 위 결과는 전계센서 제작 시 치수의 부정확성 및 필름사이의 밀착성에 대한 오차로 인하여 발생된 차이로 생각된다. 센서의 주파수 응답(100Hz - 40MHz)은 그림 4에 나타내었다. 공진 주파수는 9.8MHz(1.7 ω)이었고, 그것은 그림 3에서 볼 수 있듯이 전계센서가 band-pass 필터로서도 작용할 수 있다는 것을 보여준다.



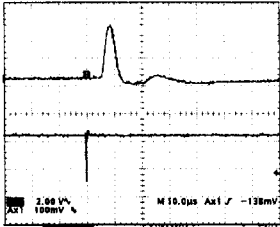
〈그림 2〉 전계센서의 구조



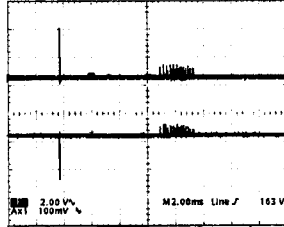
〈그림 3〉 PD측정을 위한 센서의 등가회로

그림 3은 PD 소스(V_{PD})를 가지는 전계센서의 등가 회로를 나타내고 있다. R을 ωC_e (ω : angular frequency, C_e :

capacitance of electric field sensor)보다 훨씬 작다고 하면, C_e 를 통해 흐르는 전류 I_{PD} 는 $\omega \cdot C_e \cdot V_{PD}$ 이고 R 양단의 전압 V_R 은 $R \cdot I_{PD}$ 이다. 전계센서의 출력 파형과 IEC270의 PD계측기에 의한 출력 단에서의 파형이 그림 4에 보이는 것처럼 동시에 측정되었다. 이 두 신호의 시간차이는 PD계측기의 시간지연과 저주파 영역에서의 응답(30 kHz - 300 kHz)에 의하여 발생한다. 반면에, 전계센서로부터 얻어진 신호는 빠른 상승시간과 하강시간을 가지고 고주파영역에 분포하므로 낮은 샘플링 회로에 적용하기 위해서는 첨두치를 시간적으로 지연시켜 측정할 수 있는 peak detector가 필요하다.

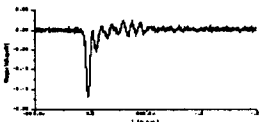


〈그림 4〉 센서와 계측기의 출력

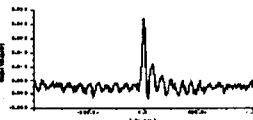
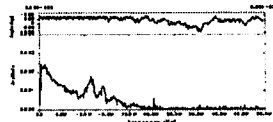


〈그림 5〉 센서와 계측기의 비교

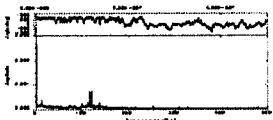
그림 6에서 (a)와 (b)는 각각 정주기(0 - 180°)와 부주기(180 - 360°)로부터 측정된 전계센서의 파형과 주파수 응답을 나타내었다. 서로 각각 반대이고, 일반적인 PD계측기에 의한 출력파형과는 다른 피크 값을 가진다. 이것은 코로나 혹은 스트리머가 발생하였을 때, 쌍극자의 회전이 원인이 될 수 있다.



(a) positive half period (0 - 180°)

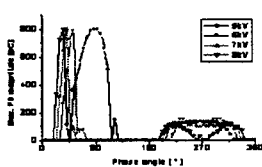


(b) negative half period (180 - 360°)

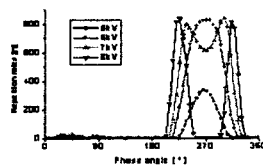


〈그림 6〉 전계센서의 출력 파형과 FFT 결과

그림 7은 3전극 구조에서 각각 얻어진 AE 신호와 일반적인 PD계측기 사이의 비교를 보여준다. 이러한 분포는 100 cycles 동안 측정되어졌다. 공극구조 안에서 미세한 차이가 PD계측기로부터의 $\psi-q_{max}$, 제안된 센서로부터의 $\psi-V_{max}$, $\psi-n$ 를 통하여 공극구조 안에서의 미세한 차이를 확인할 수 있다.



(a) 일반적인 PD 계측기 신호로부터의 $\psi-q_{max}$ 와 $\psi-n$ 분포



(b) AE 센서 신호로부터의 $\psi-q_{max}$ 와 $\psi-n$ 분포

〈그림 7〉 AE 센서와 PD 계측기 사이의 신호 비교

3. 결 론

본 논문에서는 PD계측기로서 전계센서를 제안하였다. 이것은 다른 노이즈의 간섭을 피하기 좋은 범위인 band-pass 필터의 역할을 할 뿐만 아니라 매우 낮은 가격과 제조하기 쉬운 캐패시터와 같은 간단한 구조를 가지고 있다. 또한 전기장 센서는 PD source로부터 발생한 전기장과 자기장 모두 검출할 수 있는 UHF 안테나로 간주될 수 있다. 전기장 센서로부터 얻어진 파형은 매우 짧은 상승 및 하강시간과 빠른 파형 상승폭을 가지고 있다. 짧은 샘플링 시간을 가지고 저비용의 데이터 처리를 위하여 peak detector와 임피던스 매칭 회로를 필요로 한다. 또한 더욱 넓은 응용을 위하여 전계센서의 특성과 적용 가능한 데이터 처리 회로에 대하여 좀 더 많은 조사가 필요할 것이다.

100주기의 신호에서 $\psi-V_{max}$ 와 $\psi-n$ 분포, 검출된 신호를 일반적인 PD계측기와 비교하였다. 그리고 제안된 센서로부터의 신호와 PD계측기로부터의 신호 사이에 시간지연이 존재함을 확인하였다. 따라서 제안된 AE 센서는 다양한 응용 분야에서 PD신호를 검출하기에 효과적이라고 할 수 있다.

[참 고 문 헌]

- [1] F. H. Kreuger, *PD Detection in H-V Equip.*, 37, 1989.
- [2] L. E. Lundgaard, *IEEE EI Mag.*, 8, No.4,25, 1992.
- [3] L. E. Lundgaard, *IEEE EI Mag.*, 8, No. 5, 34, 1992.
- [4] K.J Lim, J. S. Lee, *Ferroelectrics*, 273,291, 2002.
- [5] K.J Lim, J. S. LEE, *Ferroelectrics*, 273, 125, 2002.
- [6] Edward Gulski, *IEEE TDEI*, 2, No.5, 1995.
- [7] Akrivda, *IEEE TDEI*, 2, No. 5, 1995.
- [8] Lutz Niemeyer, "A Generalized Approach to Partial Discharge Modeling", *IEEE Tans. on Dielectrics and electrical In sulation*, Vol 2, No.4, pp510-528, August 1995.
- [9] Z.Liu, T.R.Blackburn, B.T.Phung and R.E.James. "Detection of Partial Discharge in Solid and Liquid Insulation with An Electric Field sensor.", *Proceedings of International symposium on Electrical Insulating materials*, P2-17, pp661-664, sept.27-30, 1998.
- [10] Judd, M.D., Farish, O., and Pearson, J. S., "UHF couplers for gas insulated substations—a calibration technique", *IEE proceedings, Sci. Meas. Technol.*, 144(3), pp117-122, 1997.
- [11] F. H. Kreuger, E. Gulski and A. Krivda, "Classification of Partial Discharge", *IEEE Transactions on EI*, vol 28, pp.917-931, 1993.
- [12] K. J. Lim, S. H. Kang, K. W. Lee, S. H. Park and J. S. Lee, "Partial Discharge Signal Detection by Piezoelectric Ceramic Sensor and The Signal Processing", *Journal of Electroceramics*, 13