

AE Sensor를 적용한 C-GIS내의 PD 특성

이용희*, 신양섭*, 장수형*, 서정민*, 이용희, 임기조**
 LG 산전 전력연구소*, 충북대학교 전기공학과**

PD Characteristics in C-GIS Using AE Sensor

Yong-Hee Lee*, Yang-Sop Shin*, Su-Hyeong Jang*, Jung-Min Seo*, Yong-Hee Lee, ki-Joe Lim**
 LG Industrial Systems Electrotechnology R&D Center*, Dept. of Electrical Eng Chungbuk National University**

Abstract - The defects making partial discharge(PD) in a C-GIS(Cubicle Insulated Switchgear) initiate acoustic wave which can be detected using acoustic emission sensor placed outside or inside the C-GIS enclosure. In this paper, partial discharge property for 2 locations for AE sensor and 3 locations for defects in C-GIS are presented and PD waveforms were analyzed by PRPDA(Partial Resolved Partial Discharge Analysis).

As a result, using post amplifier having gain of 10,000 and band pass filter having 20kHz~300kHz, resolution of waveforms AE sensor signal by detected was good. Noise level was about 80 mV.

1. 서 론

전력기에서 발생하는 부분방전은 전력기 운영 상태에 따른 절연열화 정보를 가장 잘 나타낼 뿐 아니라, 그로인한 열화는 일반적으로 거의 운전 중 사고로 연결되기 때문에 부분방전 측정을 통한 전력기의 열화진단은 진단의 정확성과 아울러 기기 운영의 신뢰성 측면 및 기기의 보수나 교체 시기 판정에 매우 중요하다고 볼 수 있다.[2,4]

그러나, 현장에서 전력기에서 발생하는 부분방전을 검출하는 데에는 상당한 어려움이 따른다. 전기적인 측정법으로서는 전원 자체 노이즈로 인해 측정된 신호가 부분방전인지 아닌지를 구분하기 어려우며, 음향 신호 측정법은 주위 환경의 상태에 따라서 영향을 받게 된다. 주위 환경이 소음이 적을 경우는 이 측정법도 좋은 방법이다. 가장 노이즈 영향에 덜 민감한 측정법으로서는 UHF대역을 측정하는 것이다. 보통 300MHz이상에서는 일반적인 노이즈는 적다고 기술되어지고 있다.[3,5] 하지만 UHF측정은 고가의 장비가 필요하게 되므로, 상시 On-line감시에는 부적합하다. AE신호를 검출하는 것은 전자기 신호에 대하여 안전하며, 대부분의 일반적인 결함에 대하여 높은 감도를 가지고 있으며, UHF 측정 방법에 비하여 상당히 저렴하기 때문에, 이용할 수 있는 다양한 검출 방법 중에서, AE 신호를 이용한 부분방전 측정 기술이 C-GIS에서 결함의 검출에 가장 효과적인 방법이다.[1,3]

본 논문에서는 C-GIS의 결함에 의한 PD의 발생을 AE Sensor의 설치 위치에 따라 검출 신호의 특성을 검토해 보았다.

2. 본 론

음향 PD 검출은 부분방전으로서 발생하는 음향신호를 검출하는 것에 기초를 두고 있다. C-GIS내의 음향 신호는 넓은 대역의 주파수를 갖고 있으며, 결합원에서 센서까지 수많은 통로로 신호가 전달된다. AE센서의 검출 신호가 결합에서 발생한 PD신호에 의해서 검출된 신호인지를 비교 검토하기 위하여 전기적 측정방법으로서 PD Detector(IEC270)를 함께 사용하였다. 이들 측정신호들은 오실로스코프상에서 출력, 비교 되었다. 또한, 부분방전 패턴분석이론중 하나인 PRPDA(Phase Resolved Partial Discharge Analysis)를 AE Sensor의 출력신호에 대하여 응용하였다. 이 결과를 3차원으로 Plot하여 나타내었으며, 이는 펄스의 크기, 발생빈도와 펄스가 발생한 위상에 대한 정보를 가진다.

2.1 Setup

본 실험에 사용된 AE Sensor는 Pac사의 R15를 사용하였다. R15는 공진주파수가 150 kHz이며 Pre amp가 20 dB로서 센서 자체에 내장이 되어 있다. 이를 C-GIS의 차단부에 설치 하였으며, SF₆ gas를 충전하지 않고 대기 중에 실험하였다.

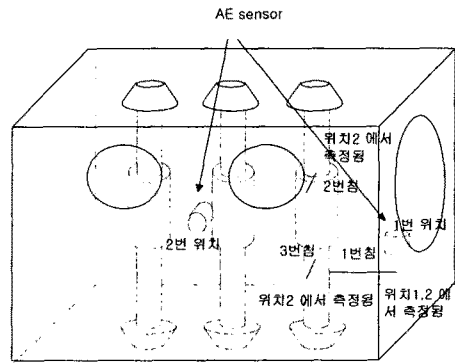


그림 1. C-GIS의 차단부의 AE Sensor 설치 위치

표 1. AE Sensor의 위치와 결함의 위치

Case 1	2번 위치에서 1번 결합(침) 측정
Case 2	2번 위치에서 2번 결합(침) 측정
Case 3	2번 위치에서 3번 결합(침) 측정
Case 4	1번 위치에서 1번 결합(침) 측정

그림 2는 본 실험의 Block Diagram을 나타내었다.

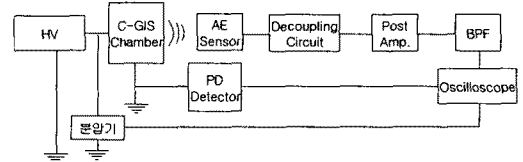


그림 2. Experiment Set up Block Diagram

그림 1은 본 실험에 설치된 센서의 위치를 나타내었다. AE 센서는 챔버 내부에 설치되었다. 본 실험에 사용한 Chamber는 실제 C-GIS의 차단부를 이용하였다. 실험 방법은 표 1과 같이 4가지의 방법으로 행하여졌다.

측정 장비로는 PD detector(Biddle), Lecory 9310 Oscilloscope(Bandwidth 300 MHz)이며 전원으로는 PD free Transformer(60 kV)를 사용하여 변압기에 의하여 발생하는 PD를 최소화 하였다. 또한 AE Sensor출력파형의 위상을 분압기를 이용하여 인가전압을 측정하여 인가전압에 대하여 위상을 조정하였다. AE Sensor의 신호는 그 자체로는 매우 미약하여 Post Amp.를 통하여 1000배 증폭을 하였고, 20 kHz~300 kHz의 Band Pass Filter를 설계하여 적용하였다.

2.2 Post Amp., BPF의 설계

Post Amp.는 반전증폭기로서, 2개의 OP-Amp를 사용하였으며, 첫채단에 10배, 둘째단에 1000배의 Gain을 갖도록 설계 하였으며, 출력은 Gain이 10000이다. Filter는 Butter Worth filter로 설계하였으며, Cutoff Frequency를 20kHz와 300kHz로 하였다. 그림 3은 설계된 Filter의 특성을 실험한 결과이다. AE센서 출력단의 Noise Level은 약 80 mV이었다.

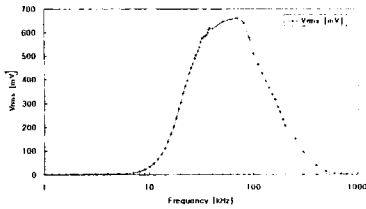


그림 3. Function Generator를 이용한 Filter의 특성

2.3 AE 출력신호에 대한 PRPDA법 응용

PRPDA를 이용하면 하나의 그림에 방전발생 위상각, 방전의 크기, 방전의 발생빈도를 나타낼수 있다. 이는 현재까지, 전기적인 측정법의 Pattern 분석기법으로 사용하였으나, 본 논문에서는, 이를 AE Sensor에 적용하였다. 본 논문에서는 300주기의 파형을 측정하여 발생빈도수, 부분방전을 전압으로 출력하는 AE센서의 출력값과 AE센서에서 발생하는 Peak 값을 측정하였다. 그림 4에서 AE센서에서 측정된 Law data가 Peak detection되는 과정을 나타내고 있다. 그림 4의 (a)는 AE센서에서 출력된 파형이며, (b)는 원파형을 Peak Detection여 나타낸 그림이다. Noise Level은 80mV이며, 80mV이하의 값은 Noise로 간주하였으며, Window는 64 by 64의 Matrix형태로 저장하도록 프로그래밍하였으며, AE센서의 출력값의 간격은 10mV로 하였다.

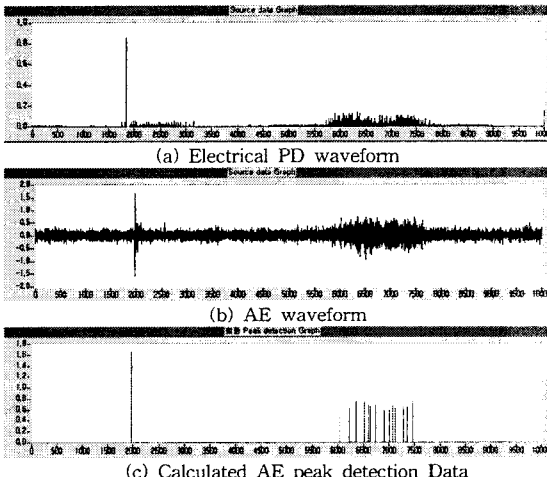


그림 4. AE센서출력파형의 Peak Detection

2.4 AE센서의 설치위치, 결합의 위치에 따른 특성

2.4.1 Case 1

전기적 방전개시전압은 4 kV이었으며, AE센서에서의 신호 측정은 약 7kV이상에서 간헐적으로 측정되었다.

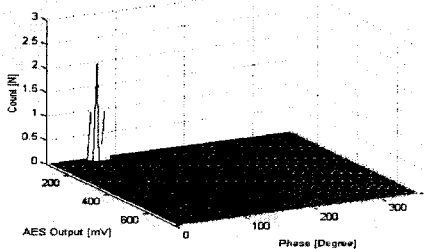


그림 5. Case 1의 ϕV_{AE-n} 분포(8 kV, 300 cycle)

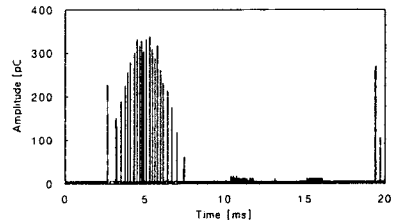
결합은 외합과 약 1 cm거리로 떨어져 있으며, AE센서에서는 약 8 kV부터 간헐적으로 측정되었다. 그림 5는 인가전압

8kV에서 300주기의 데이터를 측정하여 ϕV_{AE-n} 분포를 나타내었다. ϕ 는 한주기의 위상이며 V_{AE} 는 방전에 의한 AE센서의 출력크기를 나타내며, n은 300주기당 발생하는 발생빈도수를 나타낸다. 이 그림에서 300주기 당 총 발생빈도수가 10개 미만으로서 이 값으로는 부분방전을 검출하지 못한다고 할 수 있다. 따라서, 센서위치 1에서는 1번 위치의 결합에 의한 부분방전을 검출하지 못하였다.

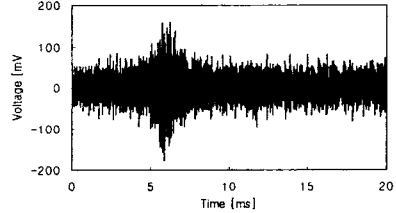
2.4.2 Case 2

Case 2는 센서가 2번 위치에 있을 때 2번 결합을 측정한 결과이다. 전기적 방전 개시전압은 4.2 kV였으며, AE센서는 약 5 kV부터 간헐적으로 측정되었으며, 7 kV이상부터 파형의 변화가 확인하였다.

Case 2의 경우는 Case 1의 경우와 비교하여 거리가 가까워졌으나, 이 결합은 외합과 침 끝단과 Conductor와 접속되는 침과 불완전하게 접속되어 일어나는 부분방전에 기인한 것으로 보인다. 이 실험 후에 침의 상태를 확인한 결과, 침과 Conductor가 불완전하게 접속되어 있었다.



(a) PD detector 파형(IEC270)



(b) AE 센서 출력 파형

그림 6. Case 2의 출력 파형 8 kV

그림 6은 인가전압 8 kV에서 측정된 AE센서의 신호이다. 이 경우에는 AE센서의 감도가 우수하게 측정이 되었다. 이는 AE센서의 측정범위는 센서부인 압전체에 수직으로 좌우 15° 정도의 범위에서 측정감도가 우수한 것으로 측정된 것으로 유추할 수 있다.

그림 7의 경우는 인가전압 8 kV에서 300 주기의 파형의 ϕV_{AE-n} 분포를 나타내고 있다. 그림에서와 같이 정의 반주기에서 방전이 활발히 발생하였다.

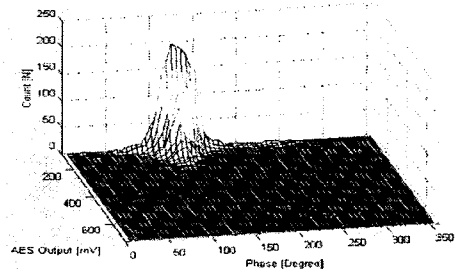
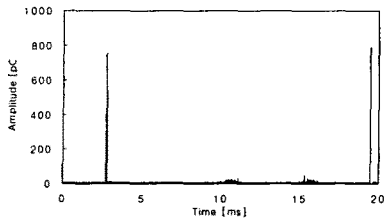


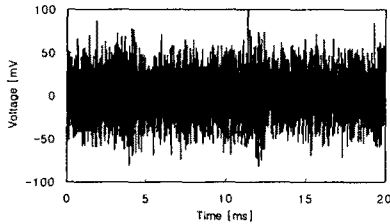
그림 7. Case 2의 ϕV_{AE-n} 분포(8 kV, 300 cycle)

2.4.3 Case 3

Case 3의 경우 전기적 방전개시전압은 4 kV이며, AE센서에서 8 kV부터 간헐적으로 측정할 수 있었다. 하지만, 검출신호가 너무 작아서 300주기 당 총 발생빈도수는 약 40 개 미만이었으며, 그 크기도 상당히 미약하였으나, 간헐적으로 약 200 mV크기의 펄스도 발생되었다.



(a) PD detector 파형(IEC270)



(b) AE 센서 출력 파형

그림 8. Case 3의 출력 파형 8 kV

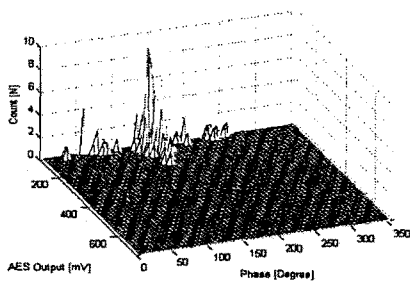
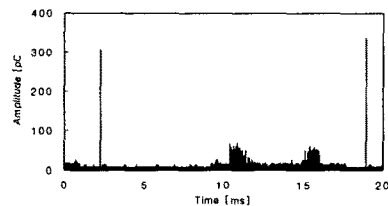


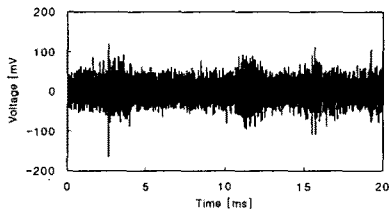
그림 9. Case 3의 $\Phi-V_{AE-n}$ 분포(8 kV, 300 cycle)

Case 3의 경우에 대하여 그림 8과 그림 9에 나타내었다. 그림 9에서는 Case3에 대한 $\Phi-V_{AE-n}$ 분포를 타나내고 있으며, 정의 반주기에 펄스가 집중된 모습을 나타내고 있다.

2.4.4 Case 4



(a) PD detector 파형(IEC270)



(b) AE 센서 출력 파형

그림 10. Case 4의 출력 파형 8 kV

Case 4의 경우가 부분방전이 발생하는 결함에 직각으로 센서를 위치시켰을 때이며, 이 경우에 전기적인 신호와 AE센서의 신호의 측정이 동시에 될 수 있었다.

이 결함은 4 kV에서 부분방전이 발생하였으며, AE센서도 이 전압에서 부분방전을 검출하였다.

그림 11에서와 같이 정의 반주기에서는 부분방전 펄스가 발생빈도수는 작지만, 그 크기가 크며, 부의 반주기는 발생빈도수는 많지만 AE센서의 출력크기는 작았다.

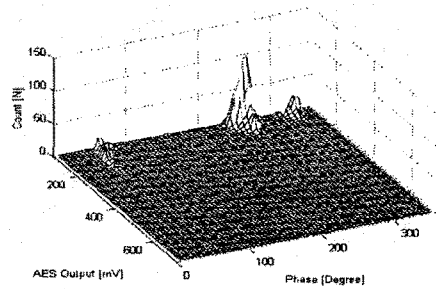


그림 11. Case 3의 $\Phi-V_{AE-n}$ 분포(8 kV, 300 cycle)

3. 결 론

본 실험에서는 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) AE센서 자체에 부착된 Pre Amp. 만으로는 출력이 낮아서 측정이 어려우며, Post Amp.에서 증폭을 하여야 양호한 출력을 얻을 수 있다. 본 실험에서는 Post Amp.에서 AE신호를 증폭을 행하게 되면 60Hz의 Noise가 혼재하게 되는데, 이를 제거하기 위하여 BPF를 이용하여 제거하였다.

2) 전기적인 신호의 패턴분석기법인 PRPDA(Phase Resolved Partial Discharge Analysis)를 AE센서에 적용하여 본 결과, 전기적인 신호와 유사하게 측정되었다. 실제로 부분방전이 발생할 때마다, AE센서의 출력파형이 Peak를 나타내지는 않기에 때문에 전기적 부분방전과 갈을 수는 없지만, 유사성 및 재현성을 가지고 있어서, 이 방법으로서 전기적인 패턴분석이 가능할 것으로 생각된다.

3) 현재까지의 실험으로서는, C-GIS의 외함 외부에 센서를 부착하여 실험하였을 때, 부분방전에 의한 AE센서신호를 검출할 수 없었으며, AE센서를 C-GIS의 내부에 설치하였을 경우에는 측정감도가 양호하게 측정되었으므로, AE센서를 내부에 설치하였을 때의 AE센서의 열화 특성에 대한 연구가 필요할 것으로 생각된다.

4) 전자기파의 영향을 최소화 할 필요가 있으며, 이를 위하여 장비와 lead wire의 shield처리가 필요하다.

5) AE센서의 측정부인 압전체는 방전원과 직각이 될 경우에 최상의 감도를 나타내었으며, 직각에서 좌우 15° 이상이 넘어갈 경우는 측정감도가 불량하였다.

[참 고 문 헌]

- [1] 구경철, 이상우, 이동인, 이광식, 김민식, 김이국, 신용철, "운전중인 물드형 전력변압기의 음향방출신호에 대한 주파수 스펙트럼 특성", 한국조명, 전기설비학회 학술대회 논문집, 2000.11.1
- [2] Md. Enamul; Haque, Ahmad Bin Darus, M.M.Yaacob, Feroz Ahmed, "Diagnosis of GIS Based on Acoustic Sensing Technique", APSCOM-97 conf. pp. 556-558
- [3] H. D. Schlemper, K. Feser, H. Blaum, P. Kirchesch, "Sensitivity of acoustic PD detection in GIS Laboratory experiments and on-site experience", IEEE EI. conf 1996, June 16
- [4] 2001년 전력기기 절연진단기술, 한국 전기연구원, Vol.4, No.5, pp. 109-161
- [5] L.E. Lundgaard, M. Runde, B. Skyberg, "Acoustic Diagnosis of Gas Insulated Substations : A Theoretical and Experimental Basis", IEEE, PD, Vol.5, No.4, November 1990.