

## 침-평판 전극 구조에서 기중 부분방전의 Wavelet 해석

강성화\*, 박영국, 이동준, 신달우, 임기조, 박대희\*\*  
 충북대 전기공학과, \*충청전문대 산업안전과, \*\*원광대 전기공학부

### Wavelet Analysis of Partial Discharges in Needle-Plane Air Gap

S.H.Kang, Y.G.Park, D.J.Lee, D.W.Shin, K.J.Lim and D.H.Park  
 Dept. of Electrical Engineering, Chungbuk Nat'l Univ.  
 \*Dept. of Industrial Safety Engineering, Chungcheong College  
 \*\*Dept. of Electrical Engineering, Wonkwang University

**Abstract** - Partial discharges(PD) in air insulated electric power systems cause power loss, produce interfering electromagnetic radiation, and can indicate incipient failure. An understanding of PD in air gap is clearly important.

The Wavelet transformation is an extended method of fourier transformation. The fourier method is a powerful tool for signal analysis, but it can't include informations for time. However the wavelet transformation analysis can include on the informations of time and frequency at the same time.

In this paper we apply the wavelet transformation to the PD signals in needle-plane air gap for the purpose of analysis of developing aspects of PD.

We can analyze the developing aspects of PD, namely, PD current, repetition rates, width of pulse distribution region, pulseless region and frequencies distribution of PD pulses.

#### 1. 서론

기중에서의 부분방전은 전력 손실, 전자기 간섭을 일으키고, 파괴의 전조를 나타낼 수 있으며, 공기 상태, 전극 배치 및 인가전압의 파형 등에 의존하여 다른 양상을 보인다[1]. 기중에서의 부분방전의 형성은 전자사태, 국부적인 스트리머 방전 및 고체 표면에서의 연면 방전등이며, 침-평판 구조인 경우 방전은 침전극에서 발생되며, 에벌런취가 그라운드에 도달하지 않는 불평등 전계하에서 전자사태 과정에 의해 발생된다[2].

Wavelet해석 기법은 지진 진동파의 해석, 구조물의 기계적 결함 해석 및 석유탐사 등에서 신호처리 기법으로 사용되어 왔다[3]. 부분방전 펄스는 시간적 및 공간적으로 변화하는 신호이다. 정현파 등의 신호를 제외하고는 일반적으로 전기 신호를 함수로 간단히 표현하기는 불가능하므로 그 성질을 파악하기는 곤란하다. 기존의 전기 신호 표현 방법은 시간 영역에서 신호를 표현하는 기법과 주파수 영역에서 신호를 나타내는 신호 해석 기법인 Fourier Transform의 기법이 있으며, 시간영역에서의 신호 표현 기법은 신호가 갖는 주파수 특성을 알 수 없고, Fourier해석에서는 모든 정보를 주파수 정보

로 변환하기 때문에 주파수 변동이 일어난 시점에 관한 정보를 알 수 없는 단점이 있다. 이에 반해 Wavelet 해석에서는 시간 영역 및 주파수 영역에서의 신호표현 기법을 동시에 적용한 것이며, 임의의 시점에서 나타난 신호의 주파수를 알 수 있는 장점이 있다[4]. 따라서 전기공학에서의 응용은 절연 열화 진단 등의 경시 변화를 관찰할 때 적당한 것으로 고려되고 있다.

본 연구에서는 기중 절연 시스템에서의 방전 특성을 검토 하고자 기중에 침-평판 전극을 설치하고 상용 교류 전압을 인가하여 발생하는 부분방전 펄스를 Wavelet해석하였다.

#### 2. 실험

본 실험에서 사용한 실험 장치는 그림 2.1과 같이 구성하였다. 사용 전극은 침-평판 구조를 선정하였으며 평판 전극을 접지측 전극으로 하였다. 고전압 전원으로는 PD free형 전원 공급 장치를 사용하여 침전극에 고전압을 인가하면서 침-평판 전극간에 발생하는 부분방전을 검출기를 통하여 컴퓨터로 데이터를 받아 들었다. 컴퓨터1은 방전 전류 및 발생 빈도수를 검출하기 위한 것이고, 컴퓨터2는 디지털 오실로스코프의 출력을 받아들여 부분방전 발생 펄스폭 및 Wavelet 해석을 위한 것이다. 실험시 전극 간격은 10cm 온도는 23℃, 습도는 75%RH이었다.

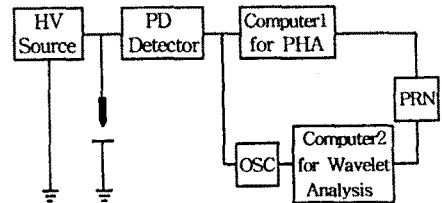


그림 2.1 부분 방전 측정 및 Wavelet 해석 시스템

#### 3. 실험 결과 및 고찰

펄스형 부극성 부분방전은 음극 근처에 존재하는 공간 전하에 의한 주기적인 전계의 감소에 의하여 발생한다. 교류전압에서 이러한 펄스형 방전은 인가 전압이 다음의 전자사태를 일으키기 위해 필요한 임계 전압 즉 방전 계시

전압을 넘을 때 발생한다. 침전극으로 부터의 거리  $x$ , 침-평균 전극간 거리  $a$ , 인가 전압  $V$ , 침 전극의 곡률 반경  $r$  이라 하면 침-평균 전극 구조에서 축방향 전계는 다음식 3.1과 같이 근사화 될 수 있다[5].

$$E(x) = \frac{2V}{\ln(4a/r)2x+r-x^2/a} \quad \text{--- (3.1)}$$

단일 방전 펄스가 부의 반주기에서 나타날 때의 인가 전압을 방전 개시 전압  $V_0$ 로 정의하며, 인가 전압이  $V_0$ 와 같을 때 PD 펄스는 정현파의 최대치에서 나타난다.

그림 3.1은 컴퓨터1에서 받아들인 PD펄스를 히스토그램으로 나타낸 일례이다. 그림 3.1에서 방전 전류, 최대 방전 전하량 및 부분방전 발생 빈도수를 계산할 수 있다.

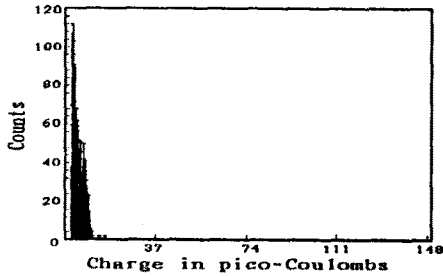


그림 3.1 PD펄스의 히스토그램

그림 3.2는 관측된 방전전류를 나타낸 것이며 인가 전압을 상승시키면 급격히 증가하고, 전압이 11kV인 경우에 최대치를 나타내며 전압을 더욱 상승시키면 감소하는 경향을 보인다. 또한 인가 전압이 24kV 이상인 경우에는 거의 일정한 경향을 보인다. 본 실험에서 인가된 최고 전압은 45kV이었다. 그림 3.3은 부분방전의 발생 빈도수를 나타낸 것이며 방전전류와 비슷한 특성을 나타내고 있음을 알 수 있다.

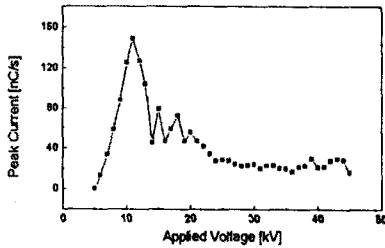


그림 3.2 인가전압-방전 전류의 관계

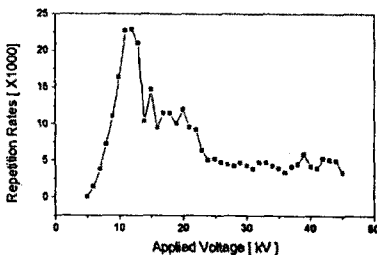


그림 3.3 인가전압-부분방전 발생 빈도수

그림 3.4는 디지털 오실로스코프를 통하여 컴퓨터2로 받아들인 부분방전 펄스의 발생 양상이다. 방전 개시전압은 5kV이었고 부분방전의 발생 양상은 그림(a)와 같으며, 인가 전압의 부(-)의 최대치에서 발생함을 알 수 있다. 그림 (b)는 인가 전압이 10kV인 경우이며 펄스의 발생 위상각이 넓어졌음을 알 수 있다. 그림 (c)는 인가 전압이 45kV인 경우이며 펄스의 발생 위상각은 (b)의 경우보다 넓어졌음을 알 수 있고, 방전 펄스가 없는 영역이 존재한다.

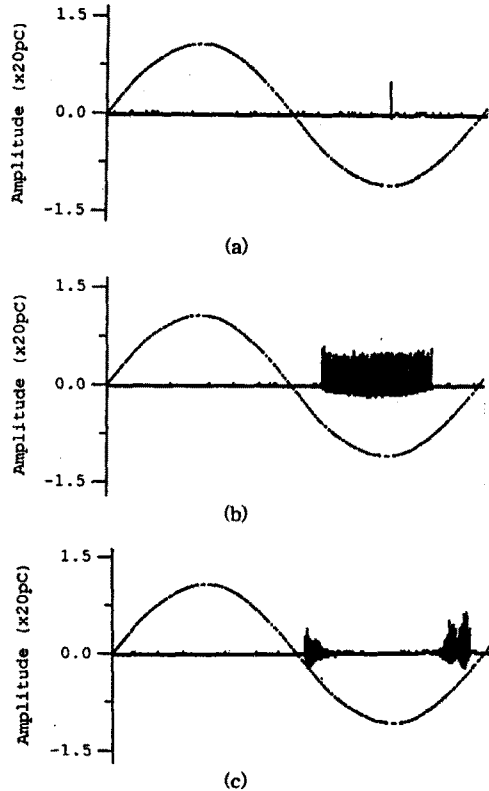


그림 3.4 관측된 PD펄스

그림 3.5는 그림 3.4에서 얻은 데이터에서 계산된 부분방전의 발생 위상각 폭을 나타낸 것이며, 인가전압이 10kV가 될 때까지는 급격히 넓어지고, 전압을 더욱 상승시키면 포화하는 경향을 나타낸다.

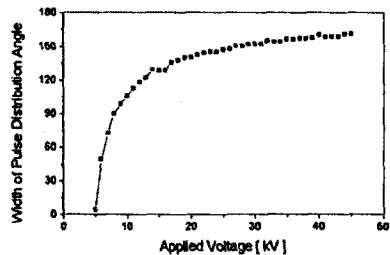


그림 3.5 PD펄스의 위상각 분포

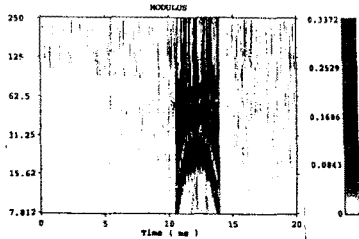
그림 3.6은 오실로스코프에서 받아들인 PD 데이터를

Wavelet해석한 것이다. 변환하려는 신호를  $x(k)$ 라 할 때 Morlet Wavelet 변환은 3.2식과 같이 표현된다[6].

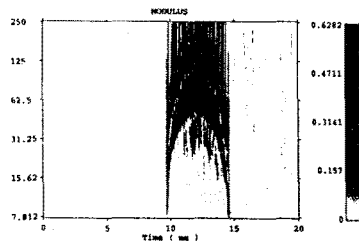
$$W_x(n, a) = \sum_{k=0}^{N_x-1} x(k) \psi^*(k-n) \quad \text{--- (3.2)}$$

$$\psi(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} e^{ix_0 t/a} e^{-t^2/2a^2\sigma^2}$$

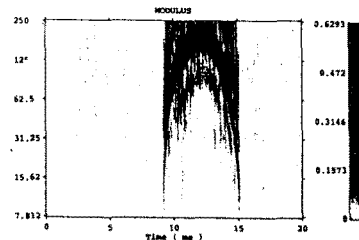
윗 식에서  $a$ 는 스케일 변환자,  $k$ 는 파형 shift 변환자이다.  $\psi(t)$ 는 Analysing Wavelet 변환자라고 하며 상호 상관(correlation) 기준 신호로써 국부적으로 존재하고 적분하면 0, 즉 직류 성분을 갖지 않아야 한다.  $\psi(t)$ 의 선정은 임의로 하여도 되나 일반적으로 시간 원점에서 큰正的 피크를 갖고, 그 양측에서 負의 값을 갖는 함수가 주로 사용된다.



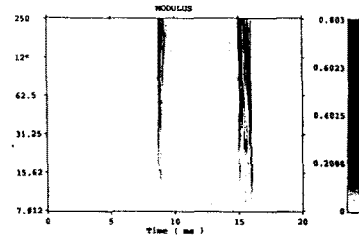
(a)



(b)



(c)



(d)

그림 3.6 Morlet Wavelet변환된 PD 펄스[주파수단위:kHz]

그림 3.6 (a), (b), (c), (d)는 인가 전압이 각각 7kV, 10kV,

15kV, 42kV일 때 발생한 PD펄스를 Wavelet변환한 것이다.

각각의 그림에서 x축은 시간을 나타내고 y축은 해석된 신호의 주파수를 나타낸다. 각각의 결과를 검토해 보면 인가전압의 증가에 따라 펄스의 발생 시간은 증가하는 경향을 나타내고 있으며 발생 펄스의 양상은 12.5ms(정현파 전압의 부의 최대치에 상응함)를 중심으로 좌우 대칭을 이루고 있다. 또한 인가 전압의 증가에 따라 저주파 펄스는 감소하고 고주파 펄스는 증가하는 경향을 보이고 있으며, (d)의 경우는 PD펄스 발생의 중앙 부위는 무펄스성 방전 현상을 나타내고 있다.

저기압에서 발생하는 글로우 방전일 때 무펄스성 글로우 방전의 특징은 이온 충돌에 의한 캐소드에서의 매우 안정한 전자 방출이다. 비교적 높은 인가 전압에서 일어난 이러한 안정한 방전 조건은 이온성 공간 전하를 제거하는데 인가된 전계가 매우 유효하다는 것으로 설명될 수 있다. 부극성의 이온성 공간 전하는 캐소드 근처에 충분히 축적되지 않기 때문에 캐소드 전계를 증가시키지 않는다. 따라서 이온화를 감소시킨다. 이러한 방전 기구의 해석은 부 이온성 공간 전하의 제거 및 생성 사이의 단기간의 평형을 나타내는 Trichel 스트리머 전류와 광 펄스에서 안정 영역의 존재로 가능하게 된다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 기중 절연 시스템에서의 방전 특성을 검토 하고자 기중에 침-평판 전극을 설치하고 상용 교류 전압을 인가하여 발생하는 부분방전 펄스를 Wavelet해석하였다.

- 방전 전류의 경우 방전 개시 전압의 약 2배에서 최대치를 갖으며, 20kV 이상에서는 파괴 직전까지 거의 일정한 값을 유지하였다.
- 발생 빈도수의 경우 방전 전류와 유사한 경향을 보였다.
- 부분방전 펄스군의 폭은 인가전압의 증가에 따라 급격한 증가 경향을 나타낸 후 포화하는 경향을 나타내었다.
- 인가전압이 높은 경우(본 연구에서는 24kV이상)에는 무펄스성 방전 영역이 존재하였다.

본 연구는 한국전력공사의 지원에 의하여 수행되었음

#### References

- [1] N.Giao Trinh, IEEE EI Mag, Vol.1, No.2, pp23-29, 1995.
- [2] N.L.Allen, IEEE Trans. on EI, Vol.28, No.2 pp183-191, 1993
- [3] 榑原進, 東京電機大學出版局, pp2-24,1995
- [4] K. Arii, proceedings of PRL&DT on PAS, May 26-27, 107-110, 1995
- [5] B.Florkowska, IEEE Trans. on EI, Vol.28, No.6 pp932-940, 1993.
- [6] 山田道夫, 數理科學, No354, pp11-17, 1992.