

다중해상도 분해에 의한 부분방전 신호의 특징에 관한 연구

이 현동* 김충년* 이광식* 이동인* 최상태** 이동현***
 *영남대학교 전기전자공학부 **경주대학교 컴퓨터정보공학부 ***구미1대학 전기과

A Study on the Characteristics of Partial Discharge Signal
 by Multiresolution Decomposition

Hyun-dong Lee* Chung-nyun Kim* Kwang-sik Lee* Dong-in Lee* Sang-tae Choi** Dong-heon Lee***
 *Yeungnam University **Kyong-ju University ***Kumi College

Abstract - This paper deals with the multiresolution analysis of wavelet transform for partial discharge(PD). PD is an electrical discharge that only partially bridges the insulation performance of electrical equipment in high voltage.

PD signal is very sensitive and difficult to suppress strong noises such as narrow-band radio frequency noise and random noise.

In recently, wavelet transform has become a powerful tool to analysis and process signals in various science and techology fields. In this paper, daubechies family is adopted for the research of the characteristics of PD signals. The results show that the kurtosis is increased with discharge process and skewness is decreased with discharge process, but when PD occurred positive range then skewness is increased. Segment 7, 8, 9, 10, 11 values is increased with discharge process, so phase distribution is characterized by 210~330 ranges.

1. 서 론

부분방전은 swarm에 의한 다체충돌적인 문제로 반복적이고 확률적인(stochastic) 현상으로 특징지어지며, 그 신호는 아주 미약하고 주변환경의 여러잡음에 쉽게 영향을 받기 때문에 잡음과의 판별은 극히 난이하다.⁽¹⁾⁽²⁾

신호의 분석은 크게 시간영역(time domain)의 분석과 주파수 영역(frequency domain)의 분석들로 많이 소개되어져 왔으며,⁽³⁾⁽⁴⁾ 얻어진 데이터에 대하여 정확한 처리를 위한 여러 가지의 방안이 제시되고 있다.⁽⁵⁾⁽⁶⁾ 그러나, 부분방전 신호와 같이 비주기적인 신호, 일시적인 시간영역을 갖는 신호에 포함될수 있는 정보의 해석에 만족스러운 결과를 보여주기에는 한계가 있으며, 분석이 정량적이지 못하고 전문가적 인 경험에 의존하고 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 칩대평판전극을 이용한 부분방전을 모의하여 부분방전 펄스전류를 전기적 방법으로 측정 한 후, 기존의 단시간 푸리에 변환에 있어서 한정된 크기의 분석창으로 인해 신호분석에 있어서 낮은 주파수 분해능을 가진다는 단점을 보완하고 시간축 및 주파수축에서 동시에 높은 해상도를 제공하고, 짧은 시간영역에서 신호의 갑작스런 변화량도 정량적으로 분석할 수 있는 웨이브렛 변환을 이용하여 부분방전시 발생하는 방전 펄스의 변화량을 시간대역과 주파수대역에서 규명하기 모호한 부분의 정보량을 분석하고자 한다.

2. 본 론

2.1 웨이브렛 변환(Wavelet Transform)

웨이브렛 변환은 푸리에 변환이 함수 $e^{-j\omega t}$, 즉 사인

(sine)과 코사인(cosine)기저함수의 팽창(dilation)을 이용하여 주어진 신호를 표현하는 것과는 달리 일정한 시간-주파수 정보를 가지는 하나의 고정된 함수인 모웨이브렛 함수(mother wavelet function)와 스케일링 함수(scaling function)를 기저함수로 사용한다.

웨이브렛 변환식은 다음과 같다.

$$(W_{\psi} f)(b, a) = |a|^{-\frac{1}{2}} \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \overline{\psi\left(\frac{t-b}{a}\right)} dt.$$

여기서 변수 a는 scale parameter, b는 position parameter, f(t)는 측정된파형, W_{ψ} 는 기본 웨이브렛(basic wavelet) ψ 에 관한 IWT((integral wavelet transform)이다.

WT의 역변환이 존재하기 위해선 다음의 조건이 성립하여야 한다.

$$C_{\psi} = \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{|\hat{\psi}(\omega)|}{|\omega|} d\omega < \infty$$

이 조건은 허용(admissibility)조건으로, 모든 웨이브렛 함수는 이 조건을 만족해야 하며, square-integrable한 함수에서 이 조건은 웨이브렛 함수의 평균값이 0 임을 의미한다.⁽⁷⁾

2.2 실험장치

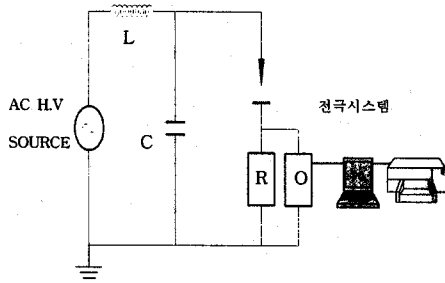


그림 2.1 실험 회로도

Fig. 2.1 Experimental setup diagram

그림 2.1은 부분방전시의 방전펄스 전류를 측정하기 위해 사용한 실험회로도이다. 본 회로도는 다음과 같이 구성되어 있다. 전압원으로서 교류고전압 발생장치(입력 : AC 220[V]1 ϕ , 60[Hz], 출력 : AC 30[kV], Pultec Electronics Co. Ltd.), 전극 시스템(칩대 평판전극, gap: 20[mm], 칩단 곡률반경: 0.11[mm], 직경 0.84[mm], 평판전극 직경: 45[mm], 전극재료: SUS304), 정합용 무유도 저항 R(50[Ω], 전극시스템의 방전 펄스에 의해 야기되는 전압펄스가 양단에 걸린다.), 결합콘덴서 C(고주파 전류펄스를 빨리 방출시키기 위함), 오실로스코프 O(Lecroy 9350AL, 500[MHz]), 측정된 방전펄스의 파형의 데이터는 GPIB를 통하여 PC 및 출력가능한 측정시스템이다.

2.3 데이터 수집 및 처리

전극시스템에 전압을 인가하여 방전시의 무유도 저항 양단의 전압파형을 측정하고, 전압의 인가를 서서히 증가하면서 변화하는 신호를 디지털 오실로스코프의 샘플링 주파수를 5MS/s로 하여 전압의 한 주기 동안의 데이터(83333point)를 획득한 후 웨이블릿 변환을 이용하여 방전펄스 신호를 분할·재구성하였다. 신호의 분석에 사용된 모웨이브릿(mother wavelet)은 'Daubechies family' 중 db4를 이용하였고, 이 PD신호를 4단계의 주파수 대역별로 나누어서 분할처리 하였다. 즉 이산 웨이블릿 변환(Discrete Wavelet Transform: DWT)을 이용하여 PD신호를 저역통과 필터를 통과한 신호(A1, A2, A3, A4)와 고역통과필터를 통과한 신호(D1, D2, D3, D4)로 분할하였다. A1~A4는 저주파성분이며, 원신호의 불확실한 형태를 표현하며, D1~D4는 고주파성분으로 고주파 대역에서 신호의 특성과 에너지를 나타낸다.

2.4 변수추출

그림 2.2와 같이 이산 웨이블릿 변환(DWT)을 통하여 고주파필터 통과신호와 저주파필터 통과신호로 분리된 부분방전 신호중 저주파 필터 통과신호, 즉 detail성분값들을 가지고 부분방전신호를 전압대별로 비교함으로써 시간 및 주파수대역에서의 차이유무를 판정하고자 시간축상에서 12segment로 분할한 후, 각 segment의 면적값을 변수로 추출하였다.

$$PD_{ij} = \sum_{seg} |D_i| \quad : \text{부분방전 신호의 } i \text{ 레벨의 details}$$

$$i=1,2,3,4 \quad j=1,2,3,\dots,12.$$

또한 방전신호가 background신호에 대한 각 seg에서의 증가율을 변수로 추출하였다.

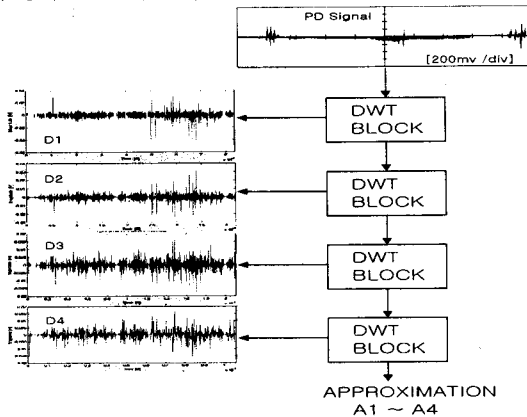


그림 2.2 다중해상도 분해
fig 2.2 Multiresolution decomposition

3. 결과 및 검토

3.1 방전전류파형

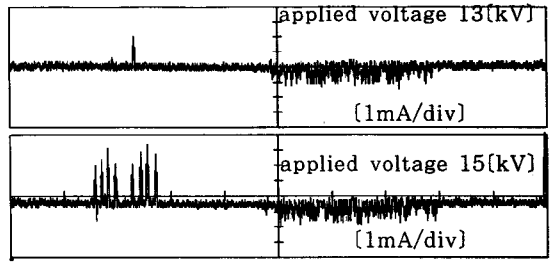
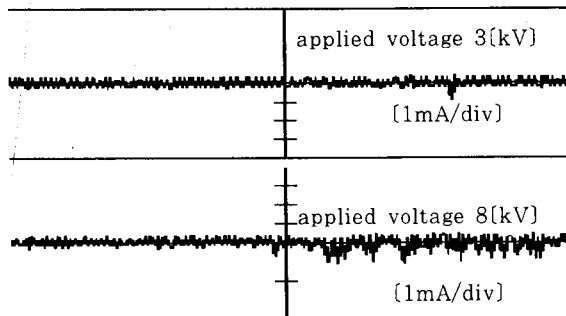


그림 3.1 방전전류파형
fig 3.1 discharge current waveform

그림 3.1은 인가전압의 증가에 따른 전극시스템에서의 방전전류파형이다. 방전의 개시는 인가전압의 부의 위상영역 270[°]부근에서 일어나며 인가전압의 증가에 따라 펄스군의 영역이 부의 위상전역으로 확대되며 인가전압의 정의 위상영역에서 정펄스발생이후 정펄스군이 발생되었다.

3.2 방전전류의 통계연산

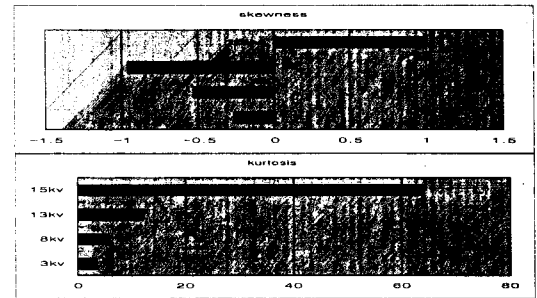
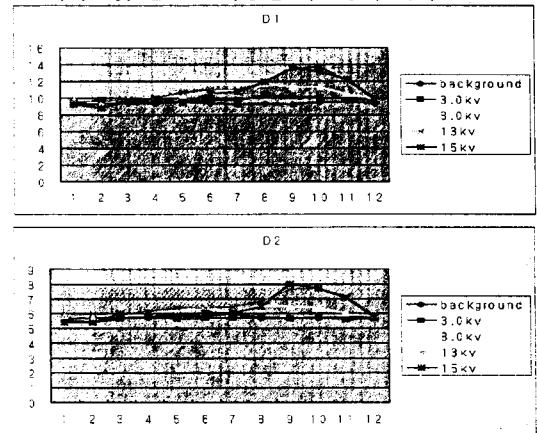


그림 3.2 방전전류의 통계치
fig 3.2 Statistics of discharge current

그림 3.2는 방전전류에 대한 통계연산 결과이다. 측정값들의 분포가 대칭적인가 비대칭적인가를 나타내는 지수인 왜도(skewness)는 정펄스군의 발생전까지 음의 값을 가지고 그 절대치가 증가하므로 우측비대칭성이 증가한다. 또한 측정값들이 중앙값 주위에 얼마나 퍼져있는가를 나타내는 지수인 첨도(kurtosis)는 방전전전에 따라 그 값들이 증가한다. 이는 방전이 일정한 위상영역에서 집중하여 일어나는 것이 아니라 넓게 퍼져있음을 나타낸다.

3.3 웨이블릿 변환을 이용한 시간영역 해석



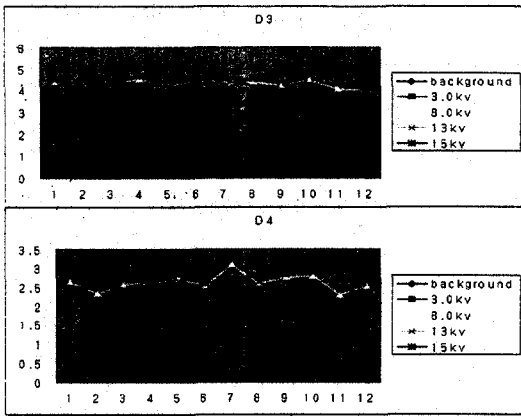


그림 3.3 방전신호의 시간영역 분석
fig 3.3 Time domain analysis of PD signal

그림 3.3은 부분방전신호를 4단계의 고주파필터 통과신호 (approximation)와 저주파필터 통과신호 (detail)로 분해한 후 detail신호들로부터 설정된 변수추출에 의해 통계처리하여 나타낸 것이다.

방전신호가 아주 미약하게 발생되는 방전초기과정에서는 저단계 즉 원신호의 저주파대역폭에서는 특징을 구별할 수 있고, 방전진전에 따라 고주파대역폭에서 특징을 구별할 수 있다. 고주파대역폭에서는 방전의 진전에 따라 시간영역의 값들이 증가하며, 특히 부의 펄스군이 형성되어지는 seg9에서 최대값을 가지며, seg7~seg11사이에서 그 특징을 명확히 할 수 있다.

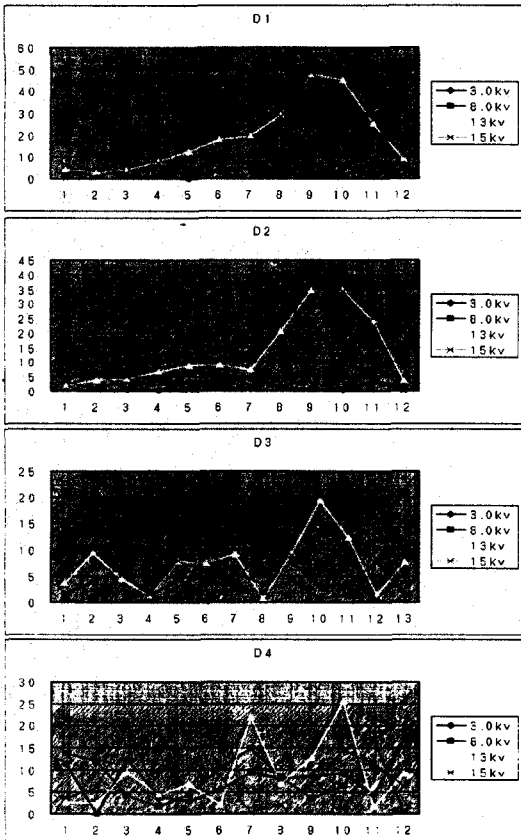


그림 3.4 방전신호의 상대적 증가율
fig 3.4 Relative power for discharge signal

그림 3.4는 방전신호의 background신호에 대한 에너지 증가율을 나타낸 것이다. 방전신호와 background신호에 대한 상대적인 에너지의 증가율은 고주파대역폭인 D1, D2에서는 대체로 시간영역 전체에서 방전의 진전에 따라 증가율이 증가하며, 부의 펄스군이 형성되는 영역인 seg6~seg11의 시간영역에서는 전압의 증가에 대하여 증가율이 고주파대역폭에서는 높게 나타났다. 방전이 개시되는 인가전압의 부의 위상영역인 270°인 seg9에서 최대증가율을 이루며 고주파 대역폭이며 저주파대역폭으로 갈수록 증가율이 저하하며 그 특징을 추출하기가 어렵다. 방전신호의 특징추출을 위해서는 3단계 분해과정을 가져도 충분하다고 사료된다.

4. 결 론

비주기적이고 일시적인 시간영역을 갖고며, 주변잡음에 대하여 상당한 영향을 받는 부분방전 신호를 정량적으로 해석하기 위해 전기적 방법으로 측정된 방전펄스 신호를 웨이블릿 변환을 이용해 부분방전 신호를 분석하였다.

인가전압증가에 따라 방전신호의 통계연산자에 의한 통계치는 방전신호는 비대칭적이며 방전의 진전에 따라 우측 비대칭적에서 좌측 비대칭적 경향을 보이고 있으며, 첨도는 방전의 진전에 따라 증가하였다.

방전 신호의 분할 과정에 있어서 고주파 대역인 D1에서 저주파 대역인 D4로 갈수록 방전신호의 값들이 줄어들고, background신호에 대한 증가율도 고주파대역에서 저주파대역으로 갈수록 줄어들음을 알 수 있었다.

방전이 진전됨에 따라 seg 7, seg 8, seg 9, seg 10, seg 11의 값이 증가함을 알 수 있었다. 그러므로 방전이 가지는 위상각의 분포가 210°~330°의 범위내의 신호로 특징지을 수 있다.

방전진전에 따라 방전신호의 주파수대역폭은 저주파 주파수대역폭에서 고주파 주파수 대역폭으로 확대됨을 알 수 있었다.

본 연구를 더욱 세밀한 단계의 detail 신호의 추출 및 더욱 세분화된 시간축에서의 다양한 변수 추출로 발전시켜 수행한다면 방전신호의 정량화를 위한 알고리즘의 수립에 좋은 자료로서 사용될 수 있을 것이다.

(참 고 문 헌)

- [1] F.H Kreuger, Partial Discharge Detection in HV Equipment, 1969, Heywood London, 1989, Butterworths, London.
- [2] Kopf U, Feser K, "Rejection of Narrow-band Noise and Repetitive Pulses in On-site PD measurement", IEEE Trans. on Elect. Insul., Vol.30, No 6, 1180~1191,1995
- [3]Jen-shin Chang, "Electromagnetic Emission from Atmospheric Pressure Gas Discharge", IEICE Trans. Comun. Vol.E79-B, No.4 pp447~456, April 1996.
- [4] A.Krivda "Automated Recognition of Partial Discharges", IEEE Trans. on Elect.Insul.,Vol.2 No5,pp796~821,1995
- [5] Yonghong Cheng, Hengkun Xie, Xiang Zhen,"Preliminary Study on the Methods for Suppressing Background Interference in Ultra-Wideband Partial Discharge Detection", ISEIM, pp.693~696, 1998.
- [6] 岡本達希, "絶縁計測におけるコンピュータ應用の最近の動向", 電學論A, 116卷 6号, pp481~487, 平成8年
- [7] Charles K.Chui, An Introduction to Wavelets, 1992