

## 부분방전신호로부터 노이즈의 제거를 위한 웨이블릿필터링 기법의 적용

이강원, 박철현\*, 강성화\*\*, 임기조\*  
한국철도기술연구원, 충북대학교\*, 충청대학\*\*

### Application of wavelet filtering for Suppression of noise from PD signals

K. W. Lee, C. H. Park\*, S. H. Kang\*\*, K. J. Lim\*  
KRRI, Chungbuk National University\*, Chungcheong College\*\*

**Abstract** - PD(Partial Discharge) signal have the range from several kHz to several GHz. External noises don't give any interference to discerning PD signals with high frequency bandwidth between several hundreds MHz to several GHz but, in the range between several decades kHz to several MHz, are big obstacles to prevent from discriminating PD signals. Therefore, selecting appropriate filter to decrease the influence of noise is important problem. PD signals have the characteristics both short duration and non-continuous pulse train. For separating PD signals from External noises, some different filtering methods different from conventional ones are needed and wavelet filtering method was convinced to be suitable filtering method in various investigations. This paper has simulated PD signal and various noises and investigated the influences for the performance of wavelet filter by varying the components relative to designing of wavelet filter and constructed suitable one. For the purpose of convincing the performance of wavelet filter, real PDs were produced in needle to plane electrode structure. This small PD signal was mixed with external noises and filtered with wavelet filter. We have obtained apparent PD signals and noises are well suppressed by wavelet filter.

## 1. 서 론

고전압기기의 절연은 전기적, 기계적 및 환경적 요인에 의하여 성능이 저하되며 성능저하가 심해지면 결국에는 절연파괴에 이르게 된다. 이러한 절연파괴에 이르기 전에 절연상태를 평가하는 기술은 절연파괴에 의한 사고를 미연에 예방하기 위해 매우 중요한 과정중에 하나이며, 또한 절연상태를 평가하기 위하여 부분방전현상을 관찰하는 것은 절연물의 열화정도에 대한 많은 정보를 얻을 수 있게 하지만, 전기적인 방법에 의하여 검출된 부분방전신호는 크기가 매우 미약(수 $\mu$ V - 수mV)하고, 주변의 전기적 환경에 의한 간섭을 받기 쉬우므로 실제로는 부분방전신호를 측정하는 일은 매우 어려우므로, 이러한 외부에서의 전기적 간섭을 제거하는 일은 매우 중요한 문제이다.[1-2] 일반적으로 부분방전신호에 영향을

주는 노이즈는 방송국등에서의 공중파, 주변 전력기기에 의한 스위칭 및 공기중의 코로나등이 있으며, 이러한 노이즈를 제거하기 위하여 여러 필터링 기법들이 사용되었다.[3] 이들중 현재 웨이블릿 변환에 위한 노이즈제거 기술은 부분방전신호처리분야에서 매우 널리 연구되고 있는 기술이지만, 다양한 노이즈환경하에서의 웨이블릿 필터 성능의 파악과 이러한 필터의 웨이블릿 기저함수의 선택은 아직까지 연구중이다. 본 논문에서는 다양한 노이즈환경(정현파노이즈, 진폭변조노이즈, 백색노이즈)하에서 침대 평판전극구조에서의 부분방전에 의한 방사전자기파를 UHF센서를 이용하여 측정된 신호파형과 유사한 지수함수형태의 모의방전신호를 구별하기 위한 웨이블릿 필터기법의 성능을 확인하였고 상호상관계수 비교법을 이용하여 웨이블릿 필터의 웨이블릿 기저함수를 선택하여 웨이블릿 필터에 적용한후 노이즈제거성능을 확인하였고, 이러한 모의실험결과로부터 웨이블릿 필터성능을 확인한후 실제 노이즈가 혼합된 부분방전신호에 적용하여 그 결과를 검토하였다.

## 2. 본론

### 2.1 웨이블릿 변환

함수  $f(x)$ 의 연속 웨이블릿 변환은 식(1)과 같이 주어진다.

$$w_f(a, b) = \langle f, \Psi_{a,b} \rangle = \int_{-\infty}^{\infty} f(x) \Psi_{a,b}^*(x) dx \quad (1)$$

여기서,  $a$ 는 스케일 변수(scale variable)이고,  $b$ 는 이동변수(transition variable)이며, 웨이블릿 함수  $\Psi_{a,b}(x)$ 는 모웨이블릿(mother wavelet)으로부터 구해지고 식(2)와 같이 주어진다.

$$\Psi_{a,b}(x) = |a|^{-1/2} \psi\left(\frac{x-b}{a}\right) \quad (2)$$

웨이블릿 변환을 샘플링된 데이터에 적용하는 방법으로서는,  $a = 2^j$ 이고,  $b = n \times 2^j$  ( $j, n \in \mathbb{Z}$ , 정수의 집합)을 이용한 DWT(discrete dyadic wavelet transform)의 다해상도 분해기술을 이용한다. 다해상도 분해기술이란 모웨이블릿과 모웨이블릿의 스케일을 변화시킨 것을 이용하여 주파수 영역에서 일정한 상대적인 대역폭(중심주파수

와 주파수 대역폭의 비율)을 가진 대역통과필터들에 샘플링된 데이터를 통과시켜 그들의 적당한 주파수 부밴드(sub-band)로 분해하는 기술을 말한다. 수학적으로 DWT은 다음 식들과 같이 정의될수 있다.

$$c_j(n) = \sum_i h(i-2n)c_{j-1}(i) \quad (3)$$

$$d_j(n) = \sum_i g(i-2n)c_{j-1}(i) \quad (4)$$

여기서,  $c_j(n)$ 과  $d_j(n)$ 은  $j$  번째 DWT의 출력이고,  $h(i)$ 와  $g(i)$ 는 임펄스 응답인 경우, 각각 저주파 대역 통과 필터와 고주파 대역 통과 필터를 나타내며, 그림 1과 같이 트리구조로서 표현될 수 있다.

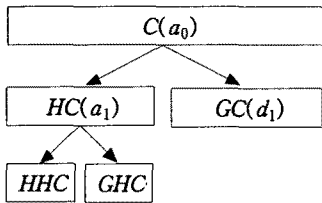


그림 1 웨이블릿 변환의 트리구조

### 2.2 실험방법

웨이블릿 필터의 부분방전신호에 대한 노이즈제거 성능을 파악하기 위하여 먼저 부분방전신호와 다양한 노이즈를 컴퓨터를 이용하여 모의하였다. 이러한 모의신호와와는 별도로 실제 노이즈가 첨가된 부분방전신호를 만들기 위하여 UHF antenna(30kHz - 2GHz)를 이용하여 그 1m 떨어진 거리에서 전압(5kV)이 인가된 침대 평판전극구조로부터 방사된 전자기파를 측정하였고, 측정된 파형을 디지털 오실로스코프(2Gs/s)를 통하여 저장한후, 저장된 파형을 컴퓨터를 이용하여 분석하였다.

### 2.3 실험결과 및 고찰

부분방전신호는 수 ns - 수 us 정도의 짧은 상승시간과 하강시간을 가진 펄스형태의 파형이며, 그 형태는 방전원의 형상, 주위환경등의 물리적인 요인에 의하여 매우 다양하게 나타날 수 있다. 실제로 UHF antenna에 의하여 측정된 파형을 그림 2에 나타내었다.

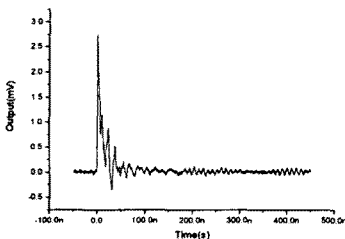


그림 2 실제 측정된 부분방전파형의 예

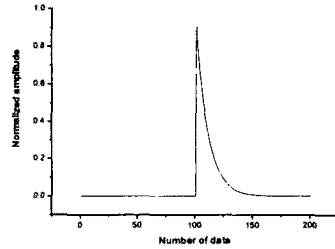
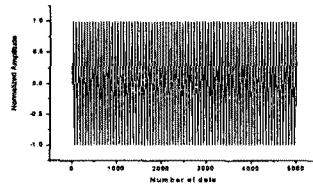


그림 3 모의된 부분방전신호

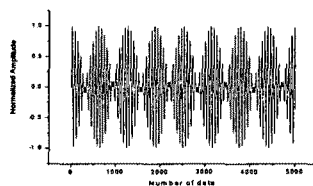
그림 2에서 보여지는 파형은 어느정도 노이즈를 갖고 있으나 거의 빠른 상승시간(약 5 ns)과 지수함수적으로 감소하는 신호의 형태를 가지고 있지만 진폭의 크기는 최대 3mV정도로 매우 작다는 것을 알수 있다. 이러한 신호파형의 형태를 보다 간략히 표현하기 위하여 부분방전신호파형을 시간에 따라 감소하는 지수함수의 형태(그림 3)로 나타냈으며, 다음 식(1)과 같이 표현될수 있으며, 그림 3과 같이 그려진다.

$$y(t) = \begin{cases} e^{-(t-t_1)/\tau} & t \geq t_1 \\ 0 & t < t_1 \end{cases} \quad (5)$$

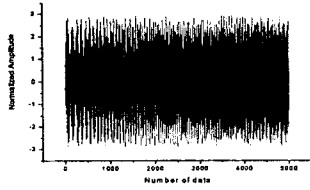
이러한 부분방전신호를 노이즈의 영향이 적은 실험실이 아닌 실제 현장에서 측정하는 경우에는 주위 고전압기기의 작동에 의한 노이즈와 방송국의 전파와 같은 공중파 노이즈등에 의하여 영향을 받기 쉬우며, 이러한 노이즈 환경하에서의 부분방전신호의 측정은 매우 어렵게 된다. 주위환경에 의한 노이즈는 주로 백색잡음의 형태로서 나타나며, 공중파인 경우에는 AM(Amplitude Modulation)과 또는 FM(Frequency Modulation)파의 형태로서 나타나게 되므로, 이러한 노이즈를 그림 4와 같이 정현파노이즈, 진폭변조노이즈, 백색노이즈의 3개에 대하여 모의하였다.



(a) 정현파 노이즈



(b) AM 변조파



(c) 백색노이즈

그림 4 모의된 노이즈

이렇게 모의된 부분방전신호와 노이즈는 웨이블릿 필터에 적용하기전에 정현파노이즈, 진폭변조노이즈 및 백색노이즈등의 모의된 부분방전신호에 대한 신호대 잡음비는 각각  $-27.4\text{dB}$ ,  $-24.4\text{dB}$ ,  $-32.2\text{dB}$ 로서 혼합되었다. 웨이블릿 필터링을 위한 웨이블릿의 종류는 상당히 많으므로, 필터링에 적합한 웨이블릿의 선정은 매우 중요한 일이며, 선정에 사용되는 방법중 하나는 웨이블릿 기저함수의 신호의 분해성분들과의 유사성을 밝히는 것이다.[4]

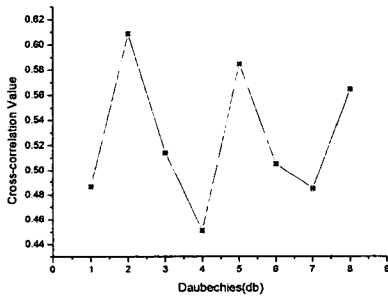
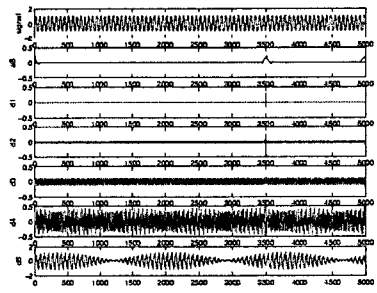


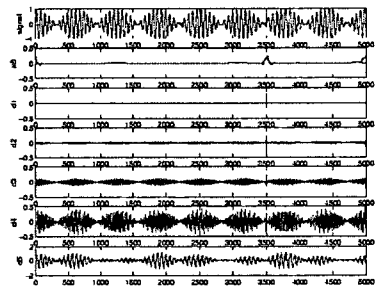
그림 5 각 웨이블릿에 대한 상호상관계수의 비교

본 논문에서 사용된 웨이블릿 필터의 웨이블릿으로서는 Daubechies 웨이블릿(db1~9)을 사용하였으며, 필터링에 적합한 웨이블릿을 선택하기 위하여 부분방전신호에 대한 필터링으로부터 구해진 저주파대역의 결과에 대하여 원래의 부분방전신호와와의 상호상관계수(cross correlation)를 구하였고, 그 결과를 그림6에 나타내었다. 표1에서 보듯이 가장 상호상관계수값이 0.6087로 다른 웨이블릿에 비해 큰 db2 웨이블릿을 이용하여 각 노이즈에 대하여 필터링을 행하였고, 행해진 결과는 각각 그림 7에 각각 나타내었다. 부분방전파형보다 저주파인 경우, 즉 정현파노이즈와 진폭변조노이즈인 경우에는 저대역 필터의 경우보다 고대역필터에 의하여 매우 잘 감소된다는 것을 알수있었다. 그러나 백색노이즈에 대한 필터링의 경우 웨이블릿 기저함수로서 db2를 사용하면, 노이즈 제거이외에 저주파대역에서 왜곡된 결과가 발생을 하였으며, 원래의 신호를 구분하기가 매우 어려웠다. 이것은 백색노이즈에서 저주파성분이 모의된 부분방전신호와 혼동되어 발생한 것이므로, 이를 해결하기 위하여 db2 다음으로 상관계수가 큰 db6를 이용하여 웨이블릿 필터링을 행하였고 그결과를 그림 6(c)에 나타내었다. 그러므로 부분방전파형보다 고주파인 경우, 즉 백색노이즈인 경우에는 고대역필터의 경우보다 저대역 필터에서 상당히 노이즈가 억제되었고 부분방전신호와 잘 구분된다는 것을 확인하였다.

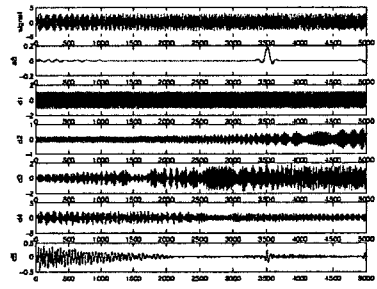
그림 6(a) 정현파와 노이즈가 혼합된 경우



(a) 정현파와 노이즈가 혼합된 경우



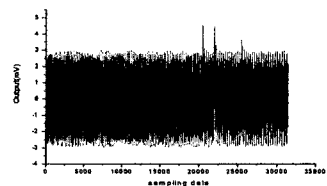
(b) 진폭변조노이즈가 혼합된 경우



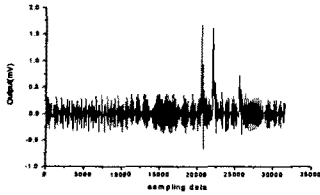
(c) 백색노이즈가 혼합된 경우

그림 6 노이즈가 혼합된 모의 부분방전신호

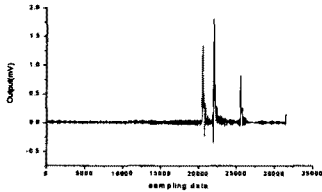
그러므로 웨이블릿 필터는 부분방전신호에 대한 노이즈의 영향을 상당히 억제할 수 있는 특징을 가지고 있다는 것을 알 수 있다.



(a) 측정된 부분방전신호



(b) db2를 이용한 웨이블릿 필터링 결과



(c) db6를 이용한 웨이블릿 필터링 결과

그림 7 실제 측정된 부분방전신호에 대한 웨이블릿 필터링 결과

이러한 모의된 실험결과로부터 실제 노이즈가 혼합된 부분방전신호를 대상으로 웨이블릿 필터링을 적용하였으며, 그림 7(a)는 노이즈가 혼합된 실제로 측정된 부분방전신호를 보여주며, 그림 7의 (b)와 (c)는 웨이블릿 기저함수로서 db2와 db6를 각각 이용하여 웨이블릿 필터링을 행한 결과이며, 이 결과는 백색노이즈가 혼합된 모의 부분방전신호에 대한 경우와 매우 유사하므로 노이즈가 제거된 저주파대역의 파형을 보여주기 위하여 a6부분의 파형을 취하였다. 그림 7의 결과에서도 알수있듯이 db2와 db6를 이용한 두 경우 모두 노이즈를 효과적으로 제거하였음을 확인할 수 있었다.

### 3. 결론

부분방전신호는 빠른 상승시간과 하강시간을 가지고 있는 펄스파로서 시간에 대해 매우 불규칙적으로 발생하는 신호이므로 일반적인 대역필터등을 이용하여 노이즈에 혼합된 부분방전신호를 필터링하는 것은 매우 어려운 일이다. 그러나 웨이블릿 필터는 이러한 임펄스와 같이 불규칙적인 급변파형을 구별하는데 있어 매우 좋은 성능을 보여주는 필터이다. 본 논문에서는 다양한 노이즈환경을 모의하였고, 실제적인 부분방전신호와 매우 유사한 지수함수적 파형을 만들어 노이즈가 혼합된 파형에서 웨이블릿 필터를 이용한 노이즈제거성능을 확인하였고, 이러한 결과를 바탕으로 실제 노이즈에 의해 부분방전신호의 식별이 어려운 파형으로부터 웨이블릿 필터를 적용하여 효과적으로 노이즈성분을 제거하였고, 혼합된 신호파형으로부터 성공적으로 부분방전신호를 추출하였다. 이러한 결과는 부분방전신호에 대한 노이즈제거기법으로서 웨이블릿 필터링 기법이 매우 우수하다는 것을 보여준다.

#### [참고문헌]

- [1] Barry H.Ward, "A survey of New Techniques in Insulation Monitoring of Power Transformers", IEEE Electrical Magazine, Vol.71, No.3, May/June 2001, p16-23
- [2] U.Kopf, K.Feser, "Rejection of Narrow-band Noise and

Repetitive Pulse in On-site PD Measurements", IEEE Transaction on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol.2, No.6, Dec. 1995, p1180-1191

[3] V.Nagesh, B.I. Gururaj, "Evaluation of Digital Filters for Rejection Discrete Spectral Interference in On-site PD measurements", IEEE Transactions on Electrical Insulation, Vol.28, No.1, Feb, 1993, p73-85

[4] K.N.Smith, R.A.Perez, "Locating Partial Discharges in a power generating system using neural networks and wavelets", IEEE conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena, p458-461. April. 2002