

마더 웨이브렛에 따른 RMS값 계산의 정확도 검토에 관한 연구

오경성*, 김철현*, 박남옥**, 이동준**
 성균관대학교*, 한국전기연구원**

A study on the Precision of RMS value calculation using Mother Wavelet

K.S. Oh*, C.H. Kim*, N.O. Park**, D.J. Lee**
 SungKyunkwan University*, KERI**

Abstract - The wavelet transform(WT) has been extensively applied in solving many problems in applied science and engineering following its introduction in early 1980's. The WT analyzes a signal in a changeable frequency range by employing a moving window whereby along time window is used to obtain low frequency information and short time window is used to obtain high frequency information. In this paper, after various fault types in 154 KV transmission system was simulated by using EMTP, and the RMS values by changing Mother wavelet was calculated by applying mother wavelet transform to the simulated voltage and current signal[1][2].

1. 서 론

전력계통 연구의 도구로서 웨이브렛의 출현은 다양한 외란의 해석, 분류 그리고 요약에 대한 새로운 방법들의 개발을 가능케 하였고, 그리고 전력계통 외란의 검출을 위한 웨이브렛 변환은 하드웨어의 사용으로 실현되었다. 웨이브렛 변환이 localization 특성을 포착하는 능력 때문에 전력계통 연구의 표준 도구의 하나로 된 이후, 웨이브렛 영역에서의 전압과 전류의 실효치 계산과 같은 기초적인 계산의 수학적 해석에도 적합하다.

이 논문에서는, 전력계통 연구에서의 웨이브렛 응용을 실효치 계산의 관점에서 접근하였다. 그리고 어떤 마더 웨이브렛이 실효치 계산에 가장 적절한지에 대해서도 연구하였다. 전력계통 외란 신호가 웨이브렛 변환에 의해 분해되어지고 해석되어질 때, 각각의 분해레벨에서의 계수들의 집합을 얻을 수 있다. 이러한 계수들은 주파수 영역에서 푸리에 급수를 사용하는 것과 유사한 방법으로 RMS값을 계산하는데 사용되어질 수 있다.

이 논문에 나타나 있는 식들은 거리계전기의 고장전압 파형에 기초로 하여 표현하였다. 전압 파형은 기본 주파수의 1 cycle 의 moving-window상에서 웨이브렛을 사용하여 먼저 분해되고, 그리고 그에 상응하는 방식으로 RMS값을 계산한다.

2. WAVELET TRANSFORM

2.1 이산 웨이브렛 변환

일반적으로 연속 웨이브렛 변환을 수행하게 되면 많은 양의 데이터가 산출되고 분석시간도 길어지므로 문제가 된다. 따라서 2의 멱승 형태에 기초한 scale과 shift를 선택한다면 분석은 더욱 효율적으로 수행되며, 이러한 분석은 이산 웨이브렛 변환을 통해서 구현된다. 이산 웨이브렛 변환은 다음 식 (2-1)로 나타낼 수 있다.

$$DWT(m, k) = \frac{1}{\sqrt{a_0^m}} \sum_n x(n)g\left(\frac{k - nb_0 a_0^m}{a_0^m}\right) \quad (2-1)$$

여기서, scale을 나타내는 변수는 a_0^m 이고 shift를 나타내는 변수는 $nb_0 a_0^m$ 이다. $\frac{1}{\sqrt{a_0^m}}$ 은 마더 웨이브렛과 같은 크기의 에너지를 유지시키기 위한 에너지 정규화 성분이다. 또한, $g()$ 는 마더 웨이브렛이고 k 는 입력 신호에서 특정한 샘플치를 나타내는 정수이다.

2.2 웨이브렛 필터뱅크

일반적으로 신호에 대한 저주파 성분은 신호의 고유한 특성을 나타내고 고주파 성분은 신호에 대한 미세한 특성을 나타낸다. 웨이브렛 변환에서는 이와 같은 특성을 Approximation(A)와 Detail(D)로 칭한다[3]. Approximation은 고차 스케일을 통해서 얻어지며 신호의 저주파 성분을 나타낸다. 따라서, 이산 웨이브렛 수행과정은 고역 필터(D)와 저역 필터(A)의 2가지 필터링의 개념으로 해석된다.

웨이브렛 다분해능(Multiresolution Analysis:MRA)은 신호를 여러 형태의 고역필터 성분들로 나누기 위해서 웨이브렛 필터 뱅크를 사용한다. 즉, 저역필터를 통해서 얻어지는 신호는 또 다른 두 개의 저역필터(cAn)와 고역필터(cDn)로 분해되고, 이 저역 필터를 통과한 신호는 다시 두 개의 필터로 분해되며, 이러한 과정은 Detail 성분이 한 개의 샘플로 구성될 때까지 계속 수행된다.

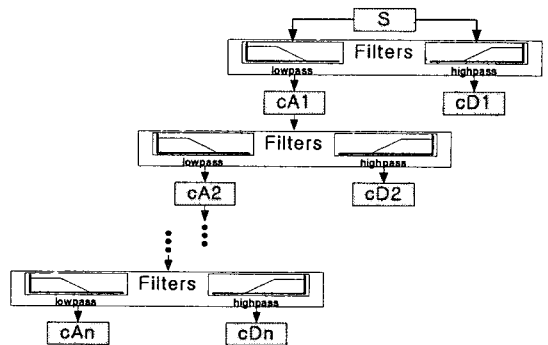


그림 1. 고역과 저역필터로 구성된 필터 뱅크

그림 1은 여러 개의 고역필터(D1,D2,D3,...,Dn)와 저역 필터(A1,A2,A3,...,An)로 구성된 웨이브렛 필터 뱅크를 보여준다. 신호 S는 다음 식(2-2)와 같이 재구성될 수 있다.

$$S = D1 + D2 + D3 + \dots + Dn + An \quad (2-2)$$

이산 웨이브렛을 수행하는 과정은 저역 분해 필터와 고역 분해 필터로 수행되며, 이러한 여러 개의 필터를 연속적으로 구성한 것을 웨이브렛 필터 뱅크라 한다.

2.3 Down-sampling

필터에서 얻은 데이터의 양을 줄이기 위해서 down-sampling이라는 기법을 사용한다. Down-sampling은 고역 필터와 저역 필터에 입력될 데이터를 매 2번째 샘플점마다 통과시키는 원리이다[4]. 따라서, 웨이브렛 필터뱅크를 사용하는 이산 웨이브렛 변환의 가장 중요한 장점중의 하나는 down-sampling을 통해서 얻어지는 낮은 연산량이므로 더 신속하게 처리 할 수 있다.

예를들면, 그림 2는 입력되는 신호를 3단계 분해하는 과정에서 이산 웨이브렛 변환의 down-sampling의 개념을 나타내고 있다[5]. 입력 신호 V_3 는 $h1$ 의 고역 필터를 통과한 $W_2(D1)$ 와 $h0$ 의 저역 필터를 통과한 $V_2(A1)$ 로 분해되며 이러한 과정에서 down-sampling이 도입된다. $V_2(A1)$ 는 다시 고주파 성분 $W_2(D1)$ 와 저주파 성분 $V_1(A2)$ 으로 분해되며, 최종적으로 $W_0(D3)$ 와 $V_0(A3)$ 성분이 남게 된다.

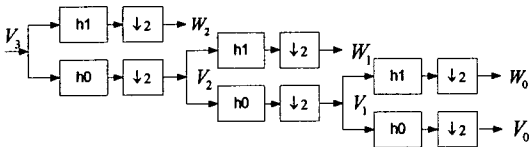


그림 2. Down-sampling의 개념도

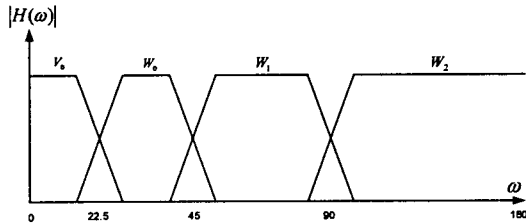


그림 3. 주파수 대역

그림 3은 그림 2에서 각 성분들의 주파수 대역을 나타내고 있다. 전체 샘플링 주파수가 $f_s[Hz]$ 일 경우 W_2 는 $f_s/2 \sim f_s/4[Hz]$ 까지의 성분을 나타내고, W_1 은 $f_s/4 \sim f_s/8[Hz]$, W_0 는 $f_s/8 \sim f_s/16[Hz]$ 성분을 나타낸다.

즉, n 단계까지 수행하였을 때 Detail 계수가 나타내는 주파수 분포는 다음 식(2-3)과 같다.

$$D_{nf} = \frac{F_s}{2^n} \sim \frac{F_s}{2^{n+1}} [Hz] \quad (2-3)$$

3. 시뮬레이션 결과 및 고찰

3.1 시뮬레이션 방법

3.1.1 고장 모의

그림 4는 본 논문에서 모의한 모델 계통도이다. 154[KV]의 전원을 가지고 용량은 100[MVA]이다.

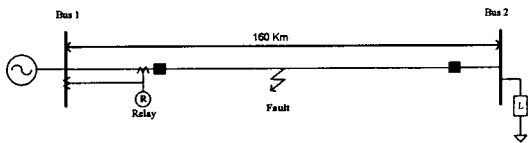


그림 4. 모델 계통도

그림 4의 모델 계통에 고장의 종류(1선 지락, 선간 단락, 3상 고장), 고장각($0^\circ, 90^\circ$) 및 고장거리(10%, 50%, 90%)가 각각 다른 총 18가지의 고장을 EMTP를 이용하여 모의하였다. 이때 모의한 샘플링 주파수는 7680[Hz], 즉 한 주기당 128샘플로 샘플링 하였다.

3.1.2 웨이브렛 분해 및 실효치 계산

EMTP로 모의된 고장전압 신호를 웨이브렛 변환을 사용하여 레벨 8의 Approximation계수와 Detail계수로 분해한다. 일반적으로 신호의 저주파수 성분은 그 신호의 고유한 특성을 가지고, 고주파수 성분은 그 신호의 미세한 특성을 가진다. 그렇기 때문에 Approximation 계수만을 가지고 실효치를 계산한다.

연속시간에서 실효치 계산 공식은 다음식(3-1)과 같다.

$$V_{rms}(t) = \sqrt{\frac{\int_{t-T}^t [V(k)]^2 dk}{T}} \quad (3-1)$$

이산 시간에서 한 주기의 샘플 수가 S 개일 때의 실효치를 계산하는 공식은 다음식(3-2)와 같다[4].

$$V_{rms}(n) = \sqrt{\frac{\sum_{k=0}^{S-1} [V(n-k)]^2}{S}} \quad (3-2)$$

일반적인 거리 계전기 모델에서 사용되는 2차 Butterworth Low Pass 필터(cutoff frequency : 360 Hz, sampling frequency : 8760 Hz)를 사용하여 구한 실효치를 기준값으로 정한다. 이 기준값과 웨이브렛 변환을 사용하여 구한 값과 비교하여 가장 적합한 마더 웨이브렛을 구한다.

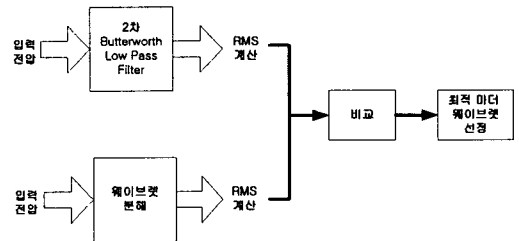


그림 5. 최적 마더 웨이브렛 선정 과정

3.1.3 최적 마더 웨이브렛의 선정

마더 웨이브렛은 대부분 짧고 진동적인 함수로서 척분 값이 0이며, 양끝에서 급격히 감쇄하는 형태를 가진다. 이러한 마더 웨이브렛과 원 신호와의 유사성을 비교하여 웨이브렛 변환을 수행하게 된다. 웨이브렛에는 여러 가지의 마더 웨이브렛이 존재한다. 본 논문에서 적용된 마더 웨이브렛은 Haar, Daubechies(db N), Coiflets(Coif N), Symlets(Sym N), Biorthogonal(Bior N)의 총 28 가지의 마더 웨이브렛을 사용하여 총 18가지의 고장에 대해 실효치를 계산하였다.

그림 6은 그림 4의 모델계통에서 고장각 90° , 고장거리 10%인 3상고장에 대해 실효치를 구한 결과이다. 그리고 그림 7은 그림 6에 대한 상대오차를 구한 그림이다. 여기서 보면 정상상태 기간에서는 두 방법 다 거의 동일한 값이 나오지만 고장에 의한 과도상태 기간에서는 약간의 오차가 발생하는 것을 알 수 있다. 그래서 본 논

문에서는 고장구간에서의 두 방법 사이의 최대오차를 계산하고 그 표준편차를 구하였다.

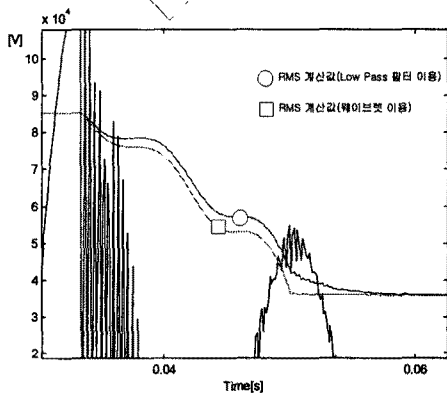
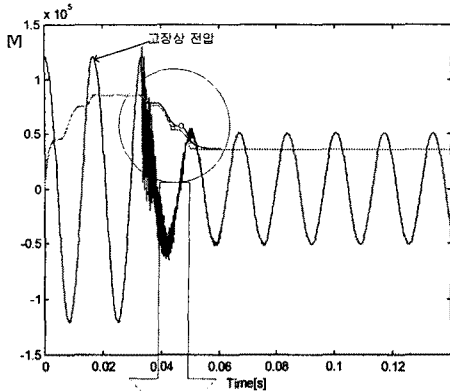


그림 6. 3상고장(고장각:90°, 고장거리:10%)에 대한 실효치

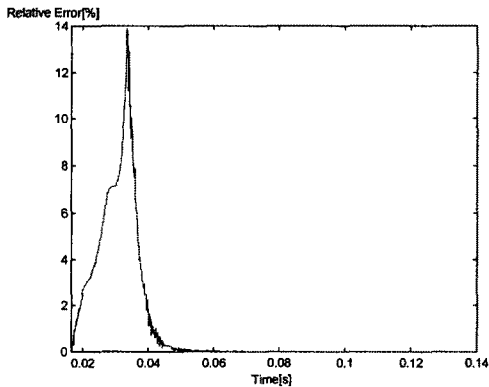


그림 7. 3상고장(고장각:90°, 고장거리:10%)에 대한 상대오차

표 1은 모의한 각각의 마더 웨이브렛의 표준편차들을 나타내었다. 표 1에서 보면 db4 마더 웨이브렛이 가장 낮은 표준편차를 가지고 있다. 그러므로 실효치 계산에 비교적 우수한 편을 가지고있는 마더 웨이브렛은 db4 웨이브렛이라는 것을 알 수 있다. 표 1에서 나타난 바와 같이 마더 웨이브렛의 특징은 모두 다르며, 적용되는 마더 웨이브렛에 따라 실효치 계산에 약간의 차이가 발생한다. 따라서 실효치 계산에 적절한 마더 웨이브렛을 선정하는 것이 무엇보다도 중요하다.

표 1. 각 마더 웨이브렛의 표준편차

harr	3.762799195	coif5	4.581051709
db2	3.912364143	sym2	3.912364143
db3	3.780793097	sym3	3.780793097
db4	3.662724579	sym4	4.014928537
db5	3.800504992	sym5	4.693686652
db6	4.162132918	sym6	4.330696868
db7	4.738157691	sym7	4.238096707
db8	5.05519146	sym8	4.542700879
db9	4.934498368	bior1.3	4.379554653
db10	4.590811178	bior2.2	3.900042483
coif1	3.701271828	bior3.3	4.111159611
coif2	3.891134791	bior4.4	3.735068889
coif3	4.209803732	bior5.5	3.848680017
coif4	4.428413506	bior6.8	4.126301547

4. 결 론

웨이브렛 변환은 근세기 들어 가장 주목 받고 다양한 분야에서 발전을 거듭하고 있는 이론이다. 이러한 웨이브렛 변환은 다양한 전력계통 외란들의 자동화된 검출, 분류 그리고 측정에 도움을 주고있다.

본 논문은 이러한 웨이브렛의 다양한 응용분야중에서, EMTP를 이용하여 154 kV의 계통을 모델링하고 모의한 고장전압 파형을 웨이브렛 변환을 사용하여 여러 가지의 고장 전압 파형의 실효치를 계산하였다. 그리고, 어떤 마더 웨이브렛이 웨이브렛을 이용한 실효치 계산에 가장 적절한지를 제시하였다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단의 특장기초 프로그램을 통한 지원으로 이루어졌으며 이에 감사를 드립니다

[참 고 문 헌]

- [1] M. Kawada, Z.I. Kawasaki, K. Matsu-Ura, "Time-Frequency analysis of E-M signals emitted from a partial discharge occurring in GIS using wavelet transform", Conference Record of the 1998 IEEE International Symposium on Electrical Insulation, pp. 57-60, June 1998.
- [2] C.H. Kim, R.K. Aggarwal, Wavelet Transforms in Power System, Part 1. General Introduction to the Wavelet Transforms, *Power Engineering Journal*, IEE, Vol. 14, No. 2, pp. 81-87, April, 2000.
- [3] M. Misiti, G. Oppenheim, "Wavelet Toolbox", The MATH WORKS Inc. 1996.
- [4] S. Santos, "Power Quality Distance Data Compression using Wavelet Transform Methods", *IEEE Trans. on Power Delivery*, Vol.12, pp. 1250-1257, July 1997.
- [5] C. Sidney Burrus, Ramesh A. Gopinath, Haitao Guo, "Introduction to Wavelet and Wavelet Transform", Prentice hall, 1998.
- [6] David C. Robertson, Octavia I. Camps, Jeffrey S. Mayer, William B. Gish, "Wavelet and Electromagnetic Power System Transients", *IEEE Trans. on Power Delivery*, Vol. 11, No. 2, pp. 1050-1058, 1996.