

# 웨이브렛 변환을 이용한 태양광 발전시스템의 외란측정에 관한 연구

이정은, 김현복, 이진국, 김일송  
충주대학교 전기공학과

## Study on the power quality measurement in the photovoltaic system using wavelet transformation

Jeong-eun Lee, Hyun-bok Kim, Chin-gook Lhee, il-song Kim  
Department of electrical engineering, chung-ju national university

### ABSTRACT

본 논문에서는 wavelet 변환을 이용하여 태양광 발전 시스템의 외란을 측정하는 방법을 연구하였다. MLD(Multi-Level Decomposition) 기법을 이용하여, 계산량이 적으면서도 빠른 시간내에 외란의 종류와 크기를 알아낼 수 있다. Wavelet 이론 소개와 컴퓨터 모의실험, DSP 제어기를 이용한 실험 결과로서 본 연구의 타당성을 입증하였다.

### 1. 서론

태양광 발전 시스템에 사용되는 계통형 인버터(PCS: Power Conditioning System)는 태양전지에서 발생된 전력을 계통에 연계시키는 장치이다. 태양전지의 출력은 직류이기 때문에 교류인 계통에 연계시키기 위해서는 전력변환장치인 인버터를 필요로 하게 된다. 잘 설계된 인버터는 계통에 규정치 이하의 고조파 노이즈를 발생시킨다. 만약 계통으로 유입되는 전류에 고조파 노이즈가 포함되거나, 서지성의 spike 전류가 발생된다면 큰 문제가 발생하게 된다. 따라서 인버터의 오동작이나 고장으로 인해서 고조파나 스파이크성 전류가 증가할 경우, PCS에서 이러한 상황을 감지하여 발전을 중지하거나 계통에서 분리되어야 한다.

본 논문에서는 wavelet 변환을 이용하여 태양광 발전 시스템의 외란을 측정하는 방법을 연구하였다. MLD(Multi-Level Decomposition) 기법을 이용하여, 계산량이 적으면서도 빠른 시간내에 외란의 종류와 크기를 알아낼 수 있다. Wavelet 이론 소개와 컴퓨터 모의실험, DSP 제어기를 이용한 실험 결과로서 본 연구의 타당성을 입증하였다.

### 2. 웨이브렛 변환의 이론적인 배경

태양광 발전 시스템의 전류는 60Hz 기본 주파수(Fundamental frequency) 정현파 성분과 고조파 하모닉 성분으로 이루어진다. 신호에 포함된 주파수 성분을 알아내기 위해서는 신호의 변환이 필요하다. 변환은 원신호가 포함된 시간영역에서 주파수영역으로 변화시키는 과정을 의미하며, 대표적인 변환으로는 푸리에 변환(Fourier transform), 라플라스 변환(Laplace transform) 그리고 본 논문에서 다룬 웨이브렛 변환(Wavelet transform)이 있다. 이중에서 푸리에 변환은 신호의 주파수 정보를 해석하는 가장 보편적인 변환이다. 신호는 진폭(amplitude) 중속변수와 시간(time) 독립변수로 이루어져 있으며, 대부분의 정보는 주파수 성분으로 신호영역 신호에 포함되어 있다. 따라서 시간 영역시간에서 주파수 성분들을 명확하게 알기 어렵기 때문에 주파수 영역에서 신호를 해석하는 것이 필요하게 된다.

웨이브렛이란 대역폭이 제한된 작은 신호 파형이며, 유한에너지 값을 가지고 있으며 평균이 0 인 함수를 말한다. 연속 웨이브렛 변환(Continuous wavelet transform : CWT)은 창 함수를 만드는 프로토 타입 웨이브렛을 모웨이브렛(mother wavelet)이라 하며, 모웨이브렛을 확장 또는 압축하고, 이동시켜 얻어낸 변환을 말한다.

$$W[f(a,b)] = \langle f, \psi_{a,b} \rangle = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \frac{1}{\sqrt{a}} \psi^* \left( \frac{t-b}{a} \right) dt \quad (1)$$

a 는 scale을 의미하여, b는 transition을 의미한다.

scale은 모웨이브렛의 확장(dilation)이나 축소(compression)을 의미한다. 확장은 낮은 주파수 정보로 신호의 전반적인 정보(approximation)에 해당하고, 축소는 높은 주파수 신호로 신호의 상세정보(detail)에 해당한다. transition은 창 신호의 다른 위치로 이동시키는 것을 의미한다.

DWT는 MLD(Multi Level Decomposition) 알고리즘을 사용할 경우 매우 효율적으로 계산을 수행할 수 있으며, 직교 기저함수를 사용할 경우 중복성이 발생하기 않기 때문에 전력응용 분야에서는 주로 MLD알고리즘을 이용한 DWT를 사용한다. MLD의 분해 레벨은 일반적인 방법은 없으며, 해석하고자 하는 신호와 응용에 의해 임의로 결정되며, 전력응용분야에서는 일반적으로 3~4 레벨 분해가 보편적이다.<sup>[1][2]</sup>

신호에서 저주파 성분들이 신호의 본질(identity)을 가지고 있다. 고주파 성분들은 일종의 노이즈나 음색을 나타낸다. DWT에서는 저주파 성분들을 A(approximation)이라 하고, 고주파 성분들을 D(Detail)이라 한다.

DWT basic level에서의 분해과정은 다음과 같다.

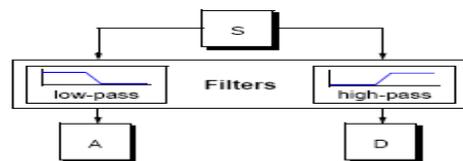


그림1. DWT basic level의 신호 분해과정

원 신호 S 가 저주파 필터와 고주파 필터를 통과하여 A, D라는 두 신호로 분리된다. 신호 샘플수가 두 배로 증가되기 때문에 down sampling을 통해 신호의 수를 절반으로 줄인다.

위의 분리과정은 단계별로 반복될 수 있다. Approximation이 계속해서 분해되어 더욱 낮은 분해능의 성분으로 표시된다. 이것을 MLD(Multi-Level Decomposition)이라 한다. 아래에 wavelet decomposition tree를 나타내었다.

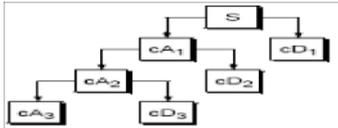


그림2. decomposition tree의 신호 성분 파형

전력용분야에서는 Daubechies 웨이블릿 함수들을 광범위하게 사용된다. wavelet 연구자로 유명했던 Ingrid Daubechies에 의해 발명된 Daubechies 모 웨이블릿 함수는 dBN으로 사용되며(N은 order) dB는 Daubechies 모함수 명이다.

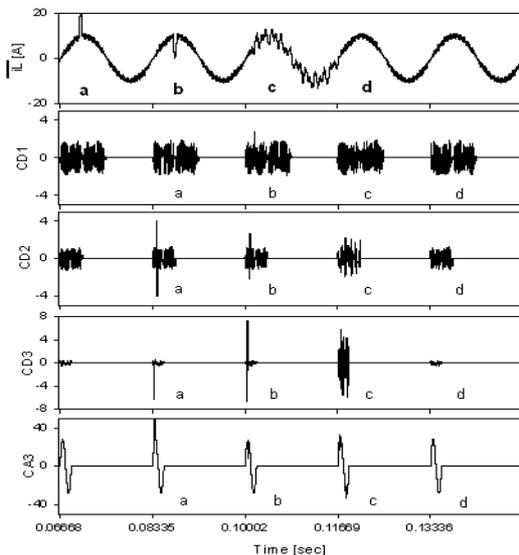


그림3. 웨이블릿 계수 파형

이중 DB4는 가장 간단한 변환이면서 Haar 변환과 동일하고 multi-level 로 쉽게 분해가 가능하다.

PCS를 이용한 simulation을 행하였다. 스위칭 소자의 오동작이나 제어기의 고장을 가정하여 그림 3과 같이 계통으로 전달되는 전류의 파형(iL)에 왜곡이 생긴 경우를 가정하였다. 구간 a는 spike up, 구간 b는 spike down, 구간 c는 고조파 하모닉, 구간 d는 정상동작 구간으로 선정하였다. 각 구간은 60 Hz의 한주기 (16.7ms)이고, 각 구간에서 256개의 샘플(13,360Hz)을 취하여 DWT를 행하였다. 웨이블릿 계수는 한 주기 256개의 샘플이 채워지면 계산되게 된다. 그림 3에 CD1,CD2, CD3, CA3의 웨이블릿 계수 파형이 나타나 있다. 256개의 신호 샘플이 주어졌을 때, DWT의 다운 샘플링에 의해 CD1은 128개, CD2는 64개, CD3와 CA3는 32개의 사이즈를 가지고 있다. CD1 계수는 구간 a, b, c, d에서 거의 변화가 없다. CD2 계수는 구간 a, b에서 짧은 피크 값을 보여주고 있다. CD3 계수는 a, b, c, d 구간에서 현격한 변화를 보여주고 있다. CA3계수는 저주파 특성을 보여주고 있다. 구간에 따른 웨이블릿 계수 차

이를 알아보기 위해 각 계수의 표준편차(Standard deviation)를 도입하였다. n은 샘플 개수로 CD1은 128, CD2는 64, CD3는 32개이다. 각 구간의 표준편차의 차이는  $S_{D3}$  가 가장 크다.

표.1 웨이블릿 계수의 구간별 표준편차

계수 \ 구간	a-구간	b-구간	c-구간	d-구간
$S_{D1}$	0.9868	1.0183	0.9864	0.9969
$S_{D2}$	1.0192	0.8345	0.9306	0.7083
$S_{D3}$	1.1334	1.7631	3.1096	0.2492
$S_{A3}$	21.2208	19.1306	20.3114	19.8811

정상 상태 파형에서 외란이 발생하였을 때의 변화를 알아내는 것이 중요하기 때문에 각 웨이블릿 계수를 d-구간(normal operation)에 대해서 다음과 같이 정규화 시키면

$$\eta_i = \frac{\sigma_i - \sigma_{normal}}{\sigma_{normal}}, \quad \sigma_i = \sigma_{D1}, \sigma_{D2}, \sigma_{D3}, \sigma_{A3} \quad (2)$$

그림 4에 정상상태에 정규화된 각 구간에서의 웨이블릿 계수의 표준편차값을 보여주고 있다. 그림에서 알 수 있는 것처럼,  $\eta_{D3}$  계수는 다른 계수들에 대해서 현격하게 높은 값을 가지고 있어서, 파형의 변화를 알려주는 대표적인 지표가 될 수 있다.

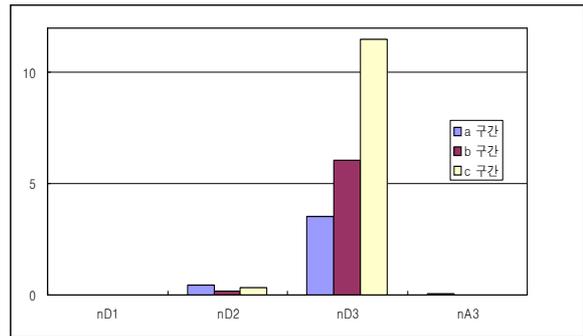


그림4. 웨이블릿 계수의 표준편차값

본 연구는 2009년도 지식경제부의 재원으로 한국 에너지 기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (2008-P-BM-E-15-0000)

### 참 고 문 헌

- [1] S. Santoso, E.J Powers, W.M. Grady "power quality Disturbance Data Compression using wavelet transform methods", IEEE, trans. Power Delivery, Vol. 12. No. 3. pp.782~791. 1997.
- [2] A. M. Gaouda and et al. "power quality Detection and classification using wavelet multiresolution signal Decomposition", IEEE trans. power delivery, Vol. 14. No. 4. pp. 850~858. 1999.