

# 웨이블릿 변환을 이용한 태양광 발전시스템의 고장진단에 관한 연구

李貞恩\*, 金一松†

## A Study on the Fault Detection Technique of the Grid-Connected Photovoltaic System using Wavelet Transformation

Jeong-Eun Lee, and Il-Song Kim

### 요 약

본 논문에서는 웨이블릿(Wavelet) 변환을 이용한 태양광 발전시스템의 고장진단에 관한 연구를 수행하였다. 기존에는 추가적인 하드웨어와 센서를 사용하여 인버터의 고장을 진단하는 방법으로, 단가가 상승하고 사양이 바뀔 경우 재설계를 해야 하는 문제점이 있었다. 제안된 방식은 인버터 전류나 전압과 같은 상태변수들을 다단계 변환을 통해 얻어낸 웨이블릿 계수들의 변화를 감지하여 고장의 종류와 부위를 인식하는 방법이다. 정규화 표준 편차를 이용하여 웨이블릿 계수의 변화로부터 정확하고 신속한 고장 진단이 가능하다. 이 방법은 간단한 계산과 고장 유형을 정확하게 예측할 수 있는 장점이 있다. 컴퓨터 시뮬레이션과 제어기 제작을 통한 실험 결과로서 연구의 타당성을 입증하였다.

### ABSTRACT

The fault detection technique of the grid-connected photovoltaic system using wavelet transform has been suggested in this paper. The additional hardware and sensors are required to detect the inverter failure in the conventional method, and it has the disadvantage of high cost and re-design problem if the inverter specification has been changed. The suggested method used the inverter voltage and current waveform to detect the failure and the location by the wavelet coefficients variations. The prompt and accurate diagnostic function is possible using the normalized standard deviation method. The merit of the proposed method is the simple calculation and precise diagnostic capabilities of the fault detection. The computer simulation is performed and the experimental result verifies the validity of the proposed method.

**Key Words** : Wavelet transformation, MLD, fault detection, PCS, Photovoltaic system

## 1. 서 론

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. 인증 규격에 따르면 계통에 유입되는 고조파 전류는 5% 미만으로 규정되어 있다. 만약 계통으로 유입되는 전류에 고조파 노이즈가 포함되거나,

†교신저자 : 정희원, 충주대 전기공학과 조교수

E-mail : iskim@cjnu.ac.kr

\*학생회원, 충주대 전기공학과 석사과정

접수일자 : 2010. 9. 3

1차 심사 : 2010. 10. 6

2차 심사 : 2010. 11. 17

심사완료 : 2010. 11. 30

서지성의 스파이크(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.

기존의 인버터 고장을 감지하는 연구는 주로 하드웨어적인 소자나 센서를 부착하여, IGBT와 같은 스위칭 소자의 고장을 감지하였다. 또는 인버터 전류나 전압의 푸리에 변환을 이용하여 제어기의 이상이나, 기타 소자들의 고장을 검출하였다. 이러한 방법들의 단점은 추가의 하드웨어를 필요로 하게 되며, 인버터 사양이나 용량이 바뀔 때마다 소자 값이나 센서 값이 바뀌어야 하는 문제점을 포함하고 있다. 푸리에 변환을 이용한 방법은 과도한 계산량으로 인해 인버터 제어기와 고장 진단용 제어기를 별도로 설계하여야 하므로 원가 측면에서 불리한 점을 가지고 있다.

본 논문에서는 기존 연구와는 전혀 새로운 접근 방식을 취하여 태양광 발전 시스템의 고장을 검출하는 방법에 대해서 연구하였다. 기존 시스템에 추가의 하드웨어나 부가적인 장치를 추가하지 않고서 알고리즘 추가만으로 인버터의 가능한 모든 고장을 알아내고 고장 부위를 검출할 수 있다. 또한 푸리에 변환과 같이 과도한 계산량을 필요로 하지 않고 시간 상관(time-correlation)에 의한 곱셈과 덧셈만으로 계산을 마칠 수가 있다[1]. 웨이블릿 변환을 사용하여 단계별로 신호를 분리하여 각 단계에서의 계수들 값의 변화에 의해 태양광 발전 시스템의 고장이나 외란을 인식하는 기법을 사용하였다[2]. MLD(Multi-Level Decomposition) 기법을 이용하여, 계산량이 적으면서도 빠른 시간 내에 외란의 종류와 고장의 부위를 알아낼 수 있었다. 웨이블릿 이론 소개와 컴퓨터 모의실험, DSP 제어기를 이용한 실험 결과로서 본 연구의 타당성을 입증하였다.

## 2. 웨이블릿 변환의 이론적인 배경

태양광 발전 시스템의 인버터 출력전류는 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 다룰 웨이블

릿 변환(Wavelet transform)이 있다. 이중에서 푸리에 변환은 신호의 주파수 정보를 해석하는 가장 보편적인 변환이다. 신호는 진폭 종속변수와 시간 독립변수로 이루어져 있으며, 대부분의 정보는 주파수 성분으로 신호영역 신호에 포함되어 있다. 따라서 시간 영역시간에서 주파수 성분등을 명확하게 알기 어렵기 때문에 주파수 영역에서 신호를 해석하는 것이 필요하게 된다.

푸리에 변환은 신호를 서로 다른 주파수를 갖는 정현파들의 합으로 분리하는 것으로 다음의 수식으로 주어진다.

$$X(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)e^{-j2\pi ft} dt \quad (\text{continuous})$$

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n)e^{-j2\pi kn/N}, \quad (\text{discrete}) \quad (1)$$

수식 (1)에서  $k = 0, 1, 2, \dots, N-1$  의 범위를 갖는다.

신호는 정상신호(stationary signal)와 비정상신호(non-stationary signal)로 분류된다. 정상신호는 신호의 주파수 성분이 주기 안에서 변화하지 않는 신호로 모든 주파수 성분들이 한 주기 내에 존재하며, 비정상신호는 신호의 주파수 성분이 주기 시간 안에서 변화하는 신호로 주파수 성분들이 주기 내에 존재하지 않는 신호이다. 정상신호에 대해서는 푸리에 변환이 잘 적용되지만, 비정상신호에 대해서는 잘 적용되지 않는다. 또한 푸리에 변환은 신호에 존재하는 주파수 정보를 얻을 수 있지만, 시간에 대한 정보를 얻을 수 없다. 대부분의 신호들은 비정상 신호이며, 비정상 신호의 어떤 시간대에 어떤 주파수 성분이 존재하는 알고자 할 경우에는 신호의 시간-주파수 표현이 필요로 하게 된다.

시간-주파수 표현 방법으로 단시간 푸리에 변환이 있다. 신호의 작은 부분만을 해석하기 위해 윈도우를 적용한 푸리에 변환이다. 이 방법은 고정된 사이즈의 윈도우를 사용하여 폭의 크기에 따라 해상도(resolution)가 달라지게 된다. 좁은 윈도우에서는 열악한 주파수 해상도를 가지며 넓은 윈도우에서는 열악한 시간 해상도를 가지게 된다. 따라서 시간 또는 주파수 영역에서 더욱 정확하게 창크기를 변화시킬 수 있는 방법이 요구되며 웨이블릿 변환이 대표적인 예이다. 웨이블릿이란 대역폭이 제한된 작은 신호 파형이며, 유한에너지를 가지고 있으며 평균이 0 인 함수를 말한다.

연속 웨이블릿 변환(Continuous wavelet transform : CWT)은 창 함수를 만드는 프로토 타입 웨이블릿을 모웨이블릿(mother wavelet)이라 하며, 모웨이블릿을 확장 또는 압축하고, 이동시켜 얻어낸 변환을 말한다.

$$W[f(a,b)] = \langle f, \psi_{a,b} \rangle \tag{2}$$

$$= \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \frac{1}{\sqrt{a}} \psi^* \left( \frac{t-b}{a} \right) dt$$

수식 (2)에서 a 는 scale을 의미하여, b는 transition 을 의미한다. scale은 모웨이블릿의 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 창을 신호의 다른 위치로 이동시키는 것을 의미한다.

CWT는 중복성이 높아, 신호인식 및 분류에 너무 많은 정보를 제공하여 오류가 발생할 가능성이 높다. 모든 scale에서 웨이블릿 계수를 계산하는 것은 많은 계산량과 데이터를 필요로 하게 된다. 이러한 단점을 극복하기 위해 dyadic scale과 position을 사용하게 되는데, 이것은 2의 배수 시스템을 의미하며 이산 웨이블릿 변환(DWT: Discrete wavelet transform)이라 한다. DWT는 MLD 알고리즘을 사용할 경우 매우 효율적으로 계산을 수행할 수 있으며, 직교 기저함수를 사용할 경우 중복성이 발생하지 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. DWT 방식은 전력시스템의 이상이나 고장원인을 파악하는데 사용되거나[3-6], 전동기 시스템의 고장진단에 사용되고 있다.[7-9]

신호에서 저주파 성분들이 신호의 본질을 가지고 있다. 고주파 성분들은 일종의 노이즈나 음색을 나타낸다. DWT에서는 저주파 성분들을 A (Approximation)이라 하고, 고주파 성분들을 D(Detail)이라 한다. DWT 기준 레벨에서의 분해과정은 그림 1에 표시되어 있다.

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. 그림 2에 cA, cD 신호를 얻어내는 과정을 표시하였다.

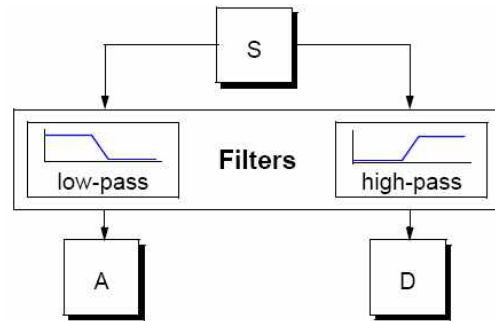
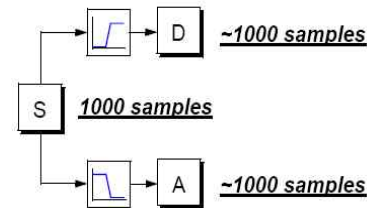
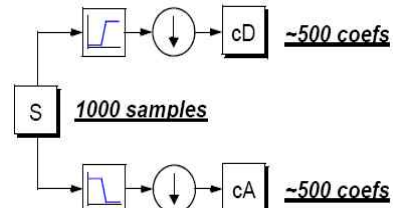


그림 1 DWT 분해 과정  
Fig. 1 DWT filtering process



(a) DWT 분해 과정



(b) 다운샘플링 과정

그림 2 다운샘플링 과정  
Fig. 2 Down sampling process

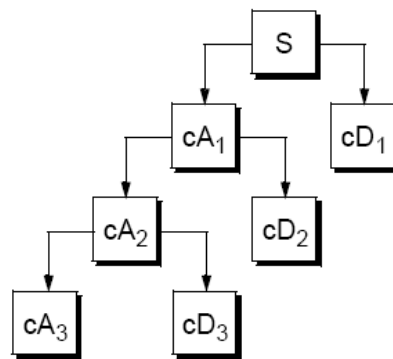


그림 3 웨이블릿 다분해 트리  
Fig. 3 Wavelet decomposition tree

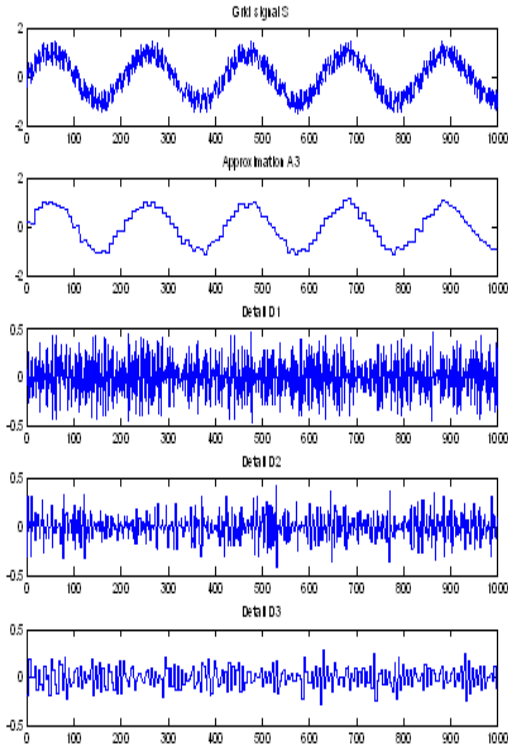


그림 4 MLD를 이용한 인버터 전류 분해 파형  
Fig. 4 Grid current decomposition waveform using MLD

위의 분리과정은 단계별로 반복될 수 있다. Approximation이 계속해서 분해되어 더욱 낮은 분해능의 성분으로 표시된다. 이것을 MLD라 한다. 그림 3에 웨이블릿 다분해 트리(wavelet decomposition tree)를 나타내었다.

노이즈가 포함된 인버터 출력 전류를 이용하여 웨이블릿 다분해 트리의 신호 성분을 파형으로 나타내면 그림 4와 같다. 웨이블릿 변환이 응용에 잘 적용되기 위해서는 모웨이블릿 선택이 매우 중요하며 가장 적절한 모웨이블릿은 일반적으로 신호의 형태를 닮은 것을 선택한다. 적절한 모웨이블릿을 선택한 경우 근접하게 일치하는 곳은 매우 큰 웨이블릿 계수들이 나타나며, 그렇지 않은 경우에는 영에 가까운 계수들이 나타난다. 이 성질을 이용하여 신호의 인식이나 분류하는데 사용된다. 전력응용분야에서는 Daubechies 웨이블릿 함수들을 광범위하게 사용된다. 웨이블릿 연구자로 유명했던 Ingrid Daubechies에 의해 발명된 Daubechies 모웨이블릿 함수는 dBN으로 사용되며(N은 order) dB는 Daubechies 모함수 명이다. 그림 5에 아홉 개의 dBN 모웨이블릿 함수를 보여주고 있다.

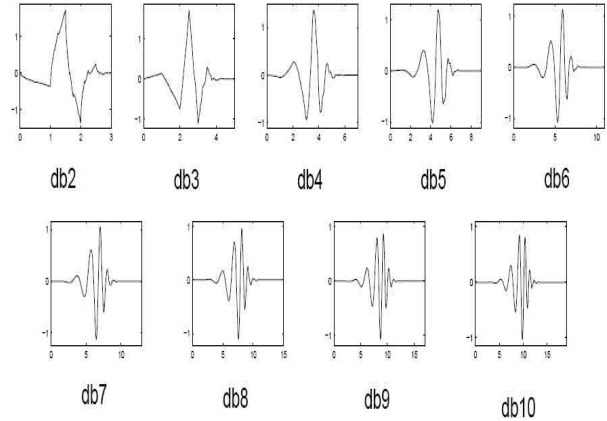


그림 5 Daubechies 웨이블릿  $\psi$  함수들  
Fig. 5 Wavelet functions  $\psi$  of Daubechies

dBN에 대한 저주파 필터 계수(L[n])들은 표 1과 같다.

표 1 저주파 필터 계수들  
Table 1 Low frequency filter coefficients

	저주파 필터 계수 (L[n])
dB1	0.7071, 0.7071
dB2	-0.1294, 0.2241, 0.8365, 0.4830
dB3	0.0352, -0.0854, -0.1350, 0.4599, 0.8069, 0.3327
dB4	-0.0106, -0.0329, 0.0308, 0.1870, -0.0280, -0.6309, 0.7148, -0.2304

고주파 필터 계수(H[n])는 다음과 같이 저주파 계수로부터 얻어진다.

$$h[L-1-n] = (-1)^n L[n] \quad (3)$$

여기에서 L은 filter length이다. 이중 DB4는 가장 간단한 변환이면서 Haar 변환과 동일하고 다중 레벨로 쉽게 분해가 가능하다.

### 3. MLD를 이용한 시뮬레이션

태양광 발전 시스템의 인버터 전류를 MLD를 이용하여 시뮬레이션을 행하였다. 스위칭 소자의 오동작이나 제어기의 고장을 가정하여 그림 6과 같이 계통으로 전달되는 전류의 파형( $i_L$ )에 왜곡이 생긴 경우를 가정하였다. 구간 a는 spike up, 구간 b는 spike down, 구간 c는 고조파 하모닉, 구간 d는 정상동작 구간으로 선정하였다.

n은 샘플 개수로 CD1은 128, CD2는 64, CD3는 32개이다. 각 구간의 표준편차의 차이는  $\sigma_{D3}$ 가 가장 크다.

표 2 웨이블릿 계수의 구간별 표준편차  
Table 2 Standard deviation for a wavelet coefficients

구간 계수	a-구간	b-구간	c-구간	d-구간
$\sigma_{D1}$	0.9868	1.0183	0.9864	0.9969
$\sigma_{D2}$	1.0192	0.8345	0.9306	0.7083
$\sigma_{D3}$	1.1334	1.7631	3.1096	0.2492
$\sigma_{A3}$	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 다음과 같이 표현된다.

$$\eta_i = \frac{\sigma_i - \sigma_{normal}}{\sigma_{normal}}, \sigma_i = \sigma_{D1}, \sigma_{D2}, \sigma_{D3}, \sigma_{A3} \quad (5)$$

그림 6 MLD를 이용한 인버터 전류의 시뮬레이션 파형  
Fig. 6 Simulation waveform of grid current using MLD

각 구간은 60 Hz의 한주기 (16.7ms)이고, 각 구간에서 256개의 샘플(15,360Hz)을 취하여 DWT를 행하였다. 웨이블릿 계수는 한 주기 256개의 샘플이 다 채워지면 계산되게 된다. 그림 6에 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 차이를 알아보기 위해 각 계수의 표준편차(Standard deviation)를 도입하였다.

$$x_{mean} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}$$

$$\sigma_i = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^n (x_k - x_{mean})^2}{n}} \quad (4)$$

그림 7에 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.

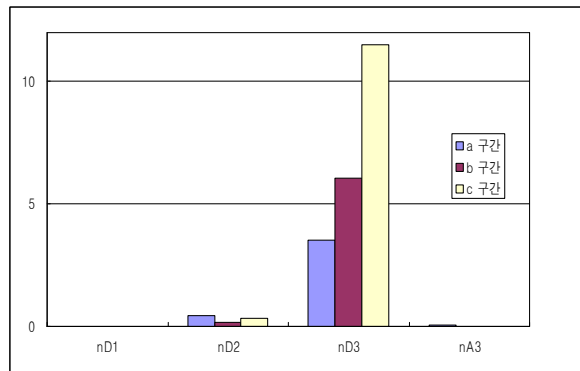


그림 7 각 구간별 정규화 표준편차 계수  
Fig. 7 Normalized standard deviation for each stages

그림 8 다운 스위치 개방 고장일 경우 계수 파형  
 Fig. 8 Coefficients waveform for DOWN switch open fail

그림 8에 인버터 스위치의 고장이 발생했을 때의 시뮬레이션 파형이 표시되어 있다. IGBT 스위치가 단락 고장일 경우, 퓨즈가 용착되어 과전류 보호가 되지만, 개방고장일 경우, 그림과 같이 인덕터 전류파형에 왜곡이 생기게 된다. 다운 스위치가 고장일 경우와 업 스위치가 고장일 경우의 파형이 그림 8, 9에 나타나 있다. 웨이블릿 계수 CD1, CD2, CD3 파형은 두 경우에 대칭으로 나타난다. 그림 10, 11에서 알 수 있듯이 정규화 계수는 두 경우에 거의 비슷하게 나와서 구별이 어렵다. 그러나, 스위치 개방고장은 각 계수의 부호가 음의 값으로 나오는 것으로 판별이 가능함을 알 수 있다. CD1, CD2, CD3 값의 크기가 작기 때문에, 판별의 대표값으로 판정하기는 어렵고, CA3 값이 정상상태값의 절반 정도로 나타나게 된다. 스위치가 개방고장일 경우 전류가 반주기만 흐르기 때문에, 저주파 특성을 나타내는 CA3 값이 정상 상태값의 절반만 보여지게 된다. 스위치 고장일 경우, CA3의 평균값을 이용하여 평균값이 양수 일 경우 다운스위치 고장이고 음수일 경우 업스위치 고장임을 판별할 수 있다.

그림 9 업 스위치 개방 고장일 경우 계수 파형  
 Fig. 9 Coefficients waveform for UP switch open fail

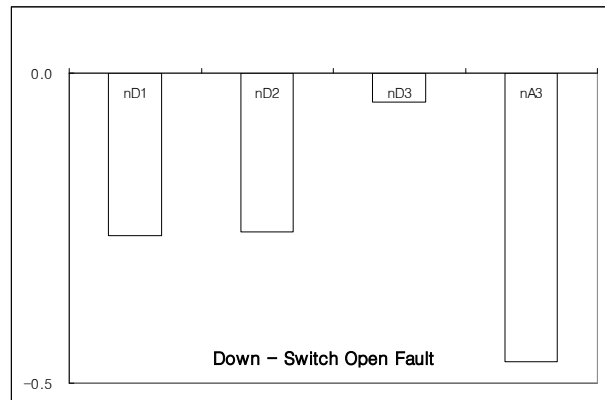


그림 10 다운 스위치 개방 고장일 경우 정규화 계수  
 Fig. 10 Normalized coefficients for DOWN switch open fail

#### 4. 실험 결과

이론적인 해석과 시뮬레이션에서 얻어진 결과를 입증하기 위해서 그림 12의 구성을 가지는 시스템으로 실험하였다. 제어기는 32-bit 부동소수점 DSP인

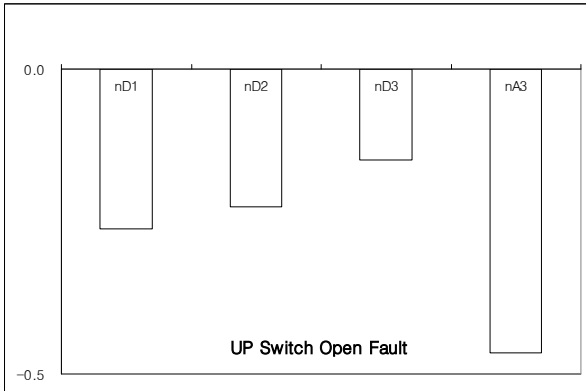


그림 11 업 스위치 개방 고장일 경우 정규화 계수  
Fig. 11 Normalized coefficients for UP switch open fail

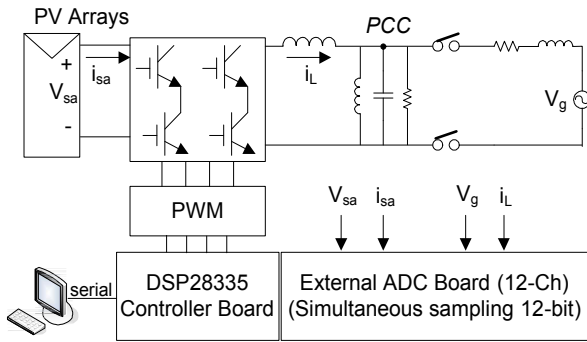


그림 12 실험 세트 구성도  
Fig. 12 Experimental Setup configuration

TMS320F28445를 사용하여 실시간으로 매 샘플링 기간 동안에 웨이블렛 계수를 얻어낼 수 있었다.

그림 13에 정상상태의 인덕터 전류를 웨이블렛 변환한 결과가 나타나 있다. 첫 번째 파형이 인덕터 전류  $i_L$ , 두 번째 파형이 웨이블렛 계수 CD2, 세 번째 파형이 CD3, 네 번째 파형이 CA3를 나타내고 있다. 정상상태의 인덕터 전류는 고조파가 5% 미만으로 포함되어 있기 때문에, Detail 함수의 웨이블렛 결과는 거의 0이다. 3단계의 Approximation CA3는 원 신호의 1/8 주기로 압축한 파형을 보여준다.

그림 14에 업스위치가 개방고장일 경우의 웨이블렛 파형을 보여주고 있다.

표준 편차를 이용한 계수들의 변화를 고속 시리얼 통신을 통해 PC에서 저장한 결과가 그림 15에 나타나 있다. 그림에서 고장 발생시점에서  $s_{A3}$ ,  $s_{A1}$ 과 같은 approximation 계수들의 표준편차 값은 절반으로 줄어들지만  $s_{D1}$ ,  $s_{D3}$ 와 같은 detail의 값은 거의 변화가 없는 것을 알 수 있다. 따라서, 이론적인 해석결과와 시

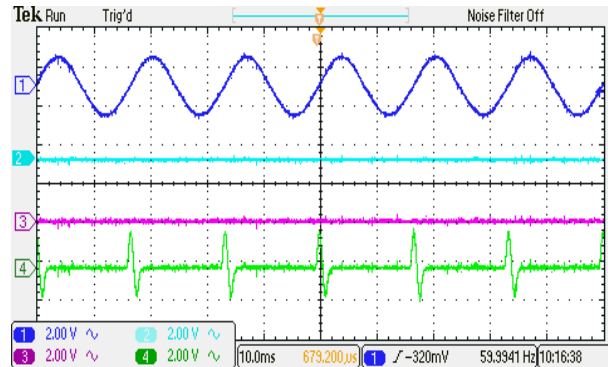


그림 13 정상 상태 인덕터 전류의 웨이블렛 파형  
Fig. 13 Wavelet waveform during normal operation

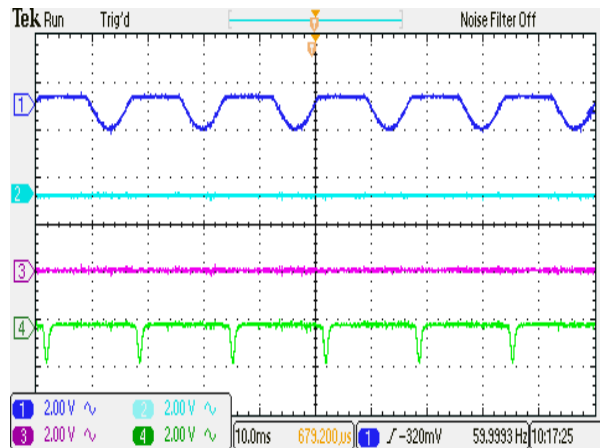


그림 14 IGBT 가 개방고장일 경우 웨이블렛 파형  
Fig. 14 Wavelet waveform during open fail IGBT switch

물레이션에 제시한 것처럼 IGBT 스위치 고장의 경우 Approximation 값의 변화를 관찰함으로써 고장 위치와 종류를 알아낼 수 있다는 것이 입증되었다.

그림 16에 고조파 하모닉이 발생하였을 경우의 웨이블렛 파형을 보여주고 있다. 기본파 성분 대비 20%의 11차 하모닉과 20%의 19차 하모닉이 인덕터 전류에 포함되어 있다(Ch1). CD2 계수(Ch2), CD3 계수(Ch3), CA3 계수(Ch4)의 파형들이 시물레이션에서 보여준 바와 동일하게 나타난다.

표준 편차를 이용한 계수들의 변화를 PC에서 저장한 결과가 그림 17에 나타나 있다. 그림에서 하모닉 발생 시점에서  $s_{A3}$ ,  $s_{D2}$ 과 같은 계수들의 표준편차 값은 변화가 크지 않지만  $s_{D3}$  값은 상대적으로 크게 변함을 알 수 있다. 따라서, 이론적인 해석결과와 시물레이션에 제시한 것처럼 하모닉 성분의 증가는 CD3 값의 변화를 관찰함으로써 검출할 수 있다.

그림 15 고장 발생시의 웨이블릿 표준편차 값 파형  
 Fig. 15 Wavelet std. waveform when the fault has occurred

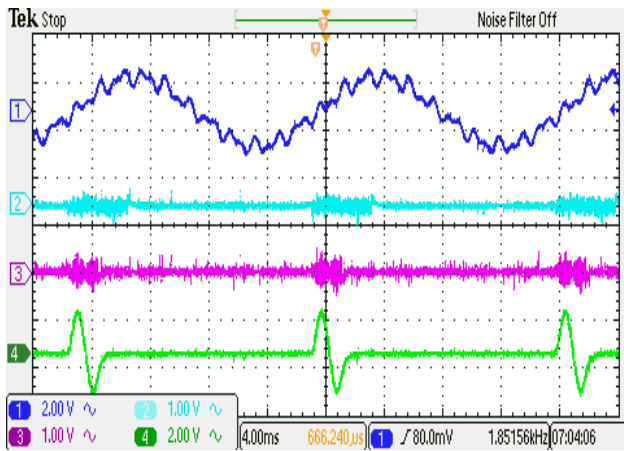


그림 16 고조파 하모닉 발생시의 웨이블릿 파형  
 Fig. 16 Wavelet waveform during harmonic generation

### 5. 결 론

본 연구에서는 PCS에서 실시간으로 고장의 종류와 위치를 알아내는 방법을 알아보았다. 고성능 DSP 프로세서를 이용하여 PCS 기본 성능 구현과 MLD 웨이블릿 계수 계산을 수행하였으며, 시뮬레이션과 실험을 통해 결과의 타당성을 입증하였다.

실시간으로 얻어진 웨이블릿 계수들을 이용하여 다양한 범위의 고장진단과 예측이 가능하다. 제안된 방식의 장점은 추가의 하드웨어가 전혀 필요 없기 때문에 기존의 시스템에 소프트웨어 추가만으로도 적용이

그림 17 하모닉발생시의 웨이블릿 표준편차 값 변화파형  
 Fig. 17 Wavelet std. change when the harmonic has occurred

가능하며, 또한 계산량이 간단하여 제어기에 부담을 주지 않는다는 점이다.

이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2010-0018150).

### 참 고 문 헌

- [1] R. Hartley, K. Welles, "Recursive computation of the fourier transform", *IEEE Int. Symposium on circuit and system*, Vol. 3, pp. 1792-1795, 1990.
- [2] Chul Hwan Kim and Raj Aggarwal, "Wavelet transform in power systems", *Power Engineering Journal*, pp. 81-87, 2000, Apr.
- [3] A.M. Gaouda, M.M.A.Safama and et al, "Power quality detection and classification using wavelet-multi resolution signal decomposition", *IEEE Trans. Power Delivery*; Vol. 14, No. 4, pp. 1469-1476, 1999, Oct.
- [4] Tongxin Zheng, Elham B. Makram, A.G. Girgis, "Power system transient and harmonic studies using wavelet transform", *IEEE Trans. Power Delivery*, Vol. 14, No. 4, pp. 1461-1468, 1999, Oct.
- [5] W.A. Wilkinson, M.D. Cox, "Discrete wavelet analysis



of power system transients", *IEEE Trans. Power Delivery*, Vol. 11, No. 4, pp. 2038-2044, 1996, Nov.

- [6] 이진목, 김홍균, 최재호, 이상훈 "이산 웨이블렛 이용한 전력의란 측정 시스템", *전력전자학회 논문지*, 제11권, 제 6호 pp. 527-533, 2003. 12.
- [7] Dong-Eok Kim and Dong-Choon Lee, "Fault diagnosis of three-phase PWM inverters using wavelet and SVM", *Journal of Power Electronics*, Vol. 9, No.3, pp. 377-385, 2009, May.
- [8] 김장목, 김영준, 안진우, 김홍균, 정태욱, "이산 웨이블렛 변환을 이용한 동기발전기 회전자 층간단락 진단에 관한 연구", *전력전자학회 논문지*, 제11권, 제6호, pp. 570-576, 2006. 12.,
- [9] 김학원 "전압원 인버터의 간단한 스위치 개방 고장 감지 방법", *전력전자학회 논문지*, 제13권, 제6호, pp. 430-438, 2008. 12.

## 저 자 소 개



### 이정은(李貞恩)

1983년 5월생. 2009년도 충주대 전기공학과 졸업. 2010년 충주대 전기공학과 석사과정.



### 김일송(金一松)

1968년 7월 3일생. 1991년 연세대 공대 전자공학과 졸업. 1994년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(석사). 2005년 동 대학원 졸업(공학박) 2007년 3월~현재 충주대 전기공학과 조교수.