

# 웨이브렛 변환을 이용한 전력품질 데이터 압축에 관한 연구

論 文

54A-12-1

## Power Quality Data Compression using Wavelet Transform

鄭 英 植<sup>\*</sup>

(Young-Sik Chung)

**Abstract** - This paper introduces a compression technique for power quality disturbance signal via discrete wavelet transform(DWT). The proposed approach is based on a previous estimation of the stationary component of power quality disturbance signal, so that it could be subtracted from the original signal in order to reduce a dynamic range of signal and generate transient events signal, which is subsequently applied to the compression technique. The compression techniques is performed through the difference signal decomposition, thresholding of wavelet coefficients, and signal reconstruction. It presents the relation between compression efficiency and threshold. It shows that the wavelet transform leads to a power quality data compression approach with high compression efficiency, small compression error and good de-noising effect.

**Key Words** : Power Quality, Wavelet Transform, Multi-Resolution Analysis, Data Compression

### 1. 서 론

전력공급자는 전력 산업의 구조개편에 따라 공급 전력의 품질이 전력 공급 회사를 평가하는 중요한 기준으로 사용됨에 따라 전력품질 오염에 대한 원인 파악과 책임규명을 중요시하게 되었다. 이에 따라, 전력품질을 개선시키려는 노력과 더불어 이를 감시할 수 있는 시스템의 개발의 필요성이 요구되었다. 전력품질 신호의 외란 특징과 분류는 IEEE std. 1159 및 519에 정의되어 있다. IEEE std. 1159에서는 전력품질을 "전력계통에서 특정시간에 특정장소에서 전압 및 전류의 특성을 특징지우는 다양한 형태의 전자기적 현상"으로 정의하였다 [1]. 전력시스템의 성능을 분석하고 관리하기 위해 전력시스템의 주요 위치에 디지털 장애기록기(digital fault recorder)를 설치하여 전압과 전류를 모니터링하며 장애 발생 시 데이터를 기록한다. 전력품질 외란으로 인해 전력 소비자 측에 발생한 경제적 손실이나 전력계통 장비에서 발생한 전기적 장애들에 대한 원인 분석은 기록된 데이터를 사용하여 이루어지며, 일반적으로 사고 발생 후 분석이 이루어진다. 따라서 주요 위치에서 수집된 데이터들은 통신채널을 통해 중앙 모니터 센터에 전송되어지며, 추후 분석을 하기위해서 데이터를 저장할 필요가 있다. 전력품질에서 발생하는 외란들은 넓은 범위의 주파수 스펙트럼을 갖고 있으므로 이러한 외란들을 정확하게 기록하기 위해서는 샘플링 주파수가 높아

야 하며, 일반적으로 전력품질 모니터는 1~4 MHz의 샘플링 주파수를 갖는다. 따라서 이러한 모니터로 수집된 데이터의 양은 엄청나며, 이 데이터를 그대로 전송하기에는 비효율적이며, 저장하기위한 메모리 용량이 매우 커야하므로 처리비용도 적지 않게 들것이다. 따라서 기록되는 데이터양을 효과적으로 감소 또는 압축하여 메모리량을 줄이는 데이터 압축방법이 매우 필요하게 되었으며, 이 분야에 대한 연구가 근래에 많이 이루어져 왔다[2,3].

디지털 통신 또는 영상압축과 같은 분야에서 다양한 종류의 데이터 압축 방법들이 사용되어왔으며 표준화되어 있다. 데이터 압축의 주요 목적은 주어진 신호에서 중복성(redundancy)을 제거하여 특징정보를 추출하는 것이다. 일반적으로 전력품질 영역에서 비교하였을 때 다른 분야에서의 데이터 압축과는 다른 특성을 갖고 있다. 전력품질 신호들은 다른 신호와 비교하였을 때 정현파의 기본 신호와 짧은 시간 동안 비정상의 왜곡된 장애를 갖고 있는 차이가 있다. 이러한 장애를 과도현상이라 하며 이 현상의 주파수 스펙트럼은 전 주파수 영역에 걸쳐 퍼질 수 있다. 과도현상을 갖고 있는 전력 외란신호에 대한 압축 방법으로 웨이브렛 변환(wavelet transform, WT)을 사용한 방법들이 최근에 많이 연구되고 있다[4,5,6,7]. 이산웨이브렛 변환(discrete wavelet transform, DWT)은 정규직교(orthonormal) 웨이브렛 기저함수를 갖고, 이 성질은 변환된 신호에서 중복성을 제거하므로 효과적이고 우수한 데이터 압축이 가능함을 다양한 응용들에서 보였다. 각 신호들은 고유한 특성을 가지고 있으므로 압축기법도 그 특성을 고려하여 적용되어야 한다[8,9,10]. 따라서 특정 압축기법이 특정 신호에 대해서는 매우 잘 적용될 수 있으나 다른 신호에도 똑같이 효율적으로 잘 적용되는 것은 아니다. 본 논문에서는 전력품질 신호의 특성을 고려한 웨이브렛 변

<sup>\*</sup> 교신저자, 正 會 員 : 仁川大學校 電氣工學科 教授

E-mail : yscst@incheon.ac.kr

接受日字 : 2005年 7月 26日

最終完了 : 2005年 10月 26日

환을 기반으로 한 데이터 압축 방법을 제안한다.

### 2. 다해상도 분해

DWT는 다해상도 해석(multi-resolution analysis, MRA) 방법이 사용하여 구현되며, 입력신호를 특정 필터를 사용하여 다양한 스케일의 해상도를 갖는 서로 다른 신호들로 분해한다[12]. 주어진 전력품질 신호는 스케일 단계 0에 있으며 부공간(subspace)  $V_0$ 안에 존재한다. 스케일 단계  $J$ 에서  $V_0$ 는 DWT를 사용하여 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$V_0 = V_J \oplus W_J \oplus W_{J-1} \oplus \dots \oplus W_1 \quad (1)$$

이 식은 신호는 DWT를 통해 적절히 선택된 해상도 스케일 단계  $J$ (즉, 부공간  $V_J$ )에서의 근사 계수(approximation coefficients)와 각 스케일 단계  $j$ (즉, 부공간  $W_j$ ,  $1 \leq j \leq J$ )에서 상세 계수(detail coefficients) 또는 웨이블릿 계수들로 정확하게 나타낼 수 있음을 의미한다.

그림 1은 다해상도 분해 과정을 나타낸 것으로 신호  $c_j[n]$ 을 저역통과필터  $h[n]$ 와 고역통과필터  $g[n]$ 을 통해 고주파수 성분  $d_{j-1}[n]$ 과 저주파수 성분  $c_{j-1}[n]$ 의 부분으로 두 단계분리를 하는 것이다.  $d_{j-1}[n]$ 은  $c_j[n]$ 의 상세 부분을 나타내며,  $c_{j-1}[n]$ 은  $c_j[n]$ 의 근사 부분을 나타낸다. 다음 단계에서는  $c_{j-1}[n]$ 이 두 부분으로 분리되는 과정을 거치게 되며, 이러한 과정을 반복한다. 각 분해 단계에서 분해된 신호들의 길이는 이전 단계 신호 길이의 절반이 된다.

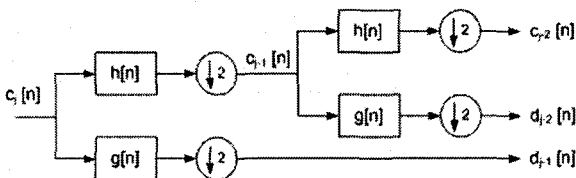


그림 1 두 단계 다해상도 분해  
Fig. 1 Two stage multi-resolution decomposition

웨이블릿 모함수(mother wavelet)가 정규직교함수일 경우 두 필터는 QMF 필터로 다음과 같은 관계를 갖는다.

$$c_{j-1}[n] = \sum_k h[k-2n]c_j[k] \quad (2)$$

$$d_{j-1}[n] = \sum_k g[k-2n]c_j[k] \quad (3)$$

$$g[n] = (-1)^n h[n] \quad (4)$$

전력품질신호에는 일반적으로 기본과와 과도현상들이 결합된 고주파수 성분들이 많이 존재하므로[13], 분해 신호  $d_j[n]$  계수들에는 외란의 특성을 나타내는 비교적 큰 값들의 계수들이 존재하지만 많은 계수들은 0에 가까운 값을 갖거나 매우 작은 값을 갖는다. 이러한 성질을 sparse하다고 하며 전력신호 압축에 활용할 수 있는 유용한 성질이다.

### 3. 전력품질 신호의 데이터 압축

#### 3.1 데이터 압축

데이터 압축의 목적은 신호가 갖고 있는 중복된 정보들을 제거함으로써 신호 정보를 표현하는데 필요한 데이터수를 줄이는 것이다. 따라서 데이터 압축에서 DWT의 성능은 적은 수의 계수들에 신호 전체 에너지의 얼마나 많은 부분이 집중되어 있는가에 따라 결정된다. 외란들에 관련된 DWT 계수들의 크기는 외란이 발생되지 않는 곳의 계수들보다 상대적으로 매우 크며, sparse한 성질 때문에 등성등성 나타난다. 이러한 특징들은 전력품질 외란 데이터를 압축하는 효율적인 방법을 이끌어 낼 수 있다. 압축은 DWT 영역에서 전력 외란들과 관련된 웨이블릿 변환계수들은 보유하고, 상대적으로 매우 작은 계수 값을 갖고 있는 외란이 발생하지 않은 곳의 계수들을 제거함으로써 상당한 양의 데이터 압축을 이룰 수 있다[10].

압축된 신호로부터 외란신호 복구는 DWT 합성을 통해 이룰 수 있다. 문턱 값(threshold) 적용으로 전체 웨이블릿 변환 계수들의 일정 부분들을 제거하는 압축과정은 복원을 하면 일부정보들을 손실하게 한다. 그러나 대부분의 이들 계수들은 잡음과 관련된 계수들이므로 재구성된 신호의 왜곡 정도는 낮다고 할 수 있으며, 외란에 관련된 웨이블릿 변수들이 보존되어 있으므로 외란들은 복원 신호에 잘 나타나 있다. 다해상도 분해에서 문턱 값을 적용하는 두 가지 방법이 있다. 첫 번째 방법은 전역 문턱 값(global threshold)으로 웨이블릿 계수들의 전체에서 문턱 값을 구해 전체적으로 적용하는 방법으로 하나의 문턱 값만 존재한다. 두 번째 방법은 지역 문턱 값(local threshold)으로 각 분해 단계에서 적절한 문턱 값을 적용하는 것으로 스케일 단계의 수만큼 문턱 값들이 존재한다. 웨이블릿 계수들에 적용되는 문턱 값은 식 (5)로부터 얻어 적용한다.

$$n = (1 - \mu) \max\{|d[n]|\} \quad (5)$$

여기서  $\mu$ 는 문턱 값 인수로  $0 \leq \mu \leq 1$ 이며, 만약  $\mu = 0.9$  이면 문턱 값은 절대치  $d[n]$ 의 최대값에 10%에 해당된다.  $n$ 보다 작은 계수들은 제거하고 더 큰 값들만 보유한다. 이런 문턱 값 적용으로 잡음에 의한 계수들을 제거하는 효과도 이룰 수 있으며 외란 신호에서 외란을 판단하는데 필요 없는 계수들을 제거함으로써 상당량의 데이터를 감소시킬 수 있다.

신호  $f(t)$ 을 웨이블릿 변환 후 계수들에 문턱 값을 적용한 후  $N$ 개의 계수를 사용하여 재구성된 신호를  $f_N(t)$ 라 하면 다음과 같은 norm 오차  $e(N)$ 을 갖는다.

$$\|f(t) - f_N(t)\|_2 \sim e(N) \quad (6)$$

만약  $N$ 이 무한대로 모든 계수를 다 사용할 수 있다면  $e(N) = 0$ 이 될 것이다. 하지만 웨이블릿 계수들이 증가하면 그 만큼 압축에서의 효율성은 떨어진다. 또한 어떤 웨이블릿 모함수를 선택했는가에 따라  $e(N)$ 의 값이 달라질 것이다. 그러므로 적절한 웨이블릿 모함수를 찾아 원래의 신호에 가장 근사한 함수를 찾아 압축하는 것이 필요하다.

웨이블릿 변환에 활용할 수 있는 웨이블릿 모함수는 다양하게 있으며, 응용의 성격에 따라 그 결과 역시 다양하다. 전

력품질 응용에서 외란 검출, 국부화(localization) 및 분류에 가장 많이 사용되는 웨이브렛 모함수는 Daubechies 웨이브렛이다. Daubechies 웨이브렛은 정규직교 웨이브렛이며, 다양한 필터 길이를 사용할 수 있다. 참고문헌 [11]에 의하면 Daub4 필터는 필터 길이가 짧으며, 다른 웨이브렛보다 시간상에서 더 잘 국부화하는 것으로 알려져 있다.

그림 2는 본 논문에서 제안하고자 하는 알고리즘을 기본적인 흐름도이다. 적절한 웨이브렛 모함수를 선택하여 적절한 스케일 단계까지 신호의 웨이브렛 계수를 구한다. 해당 신호에 적절한 문턱 값을 선택하여 웨이브렛 계수들에 문턱 값을 적용한다. 문턱 값이 적용된 계수들을 사용하여 전송 또는 저장을 하며, 이 계수들을 사용하여 신호를 복원하기 위해 역 DWT를 적용한다.



그림 2 웨이브렛 변환을 이용한 압축 방법  
Fig. 2 Data compression algorithm by using wavelet transform

전력품질 외란 신호  $f(t)$ 의 특성이 정현파의 기본 신호 즉, 정상상태 신호(stationary signal)  $f_{sig}(t)$ 와 짧은 시간동안 과도현상을 갖는 비정상신호(nonstationary signal)  $f_{dis}(t)$ 을 갖고 있으며, 상용 전력의 경우 진폭과 주파수는 이미 정해져 있다.

$$f(t) = f_{sig}(t) + f_{dis}(t) \quad (7)$$

전력품질 외란 신호는 모니터에 프레임 단위로 버퍼(buffer)에 저장되어진다. 여기서  $f(t)$ 로부터 정상상태 신호를 추정하여, 그림 3과 같이 추정된 정상상태 신호  $\tilde{f}_{sig}(t)$ 을 외란 신호  $f(t)$ 에서 제거하면 과도현상과 추정 오차  $e_{sig}(t)$ 을 함유하고 있는 신호  $\tilde{f}(t)$ 을 얻게 된다.

$$\tilde{f}(t) = f_{dis}(t) + e_{sig}(t) \quad (8)$$

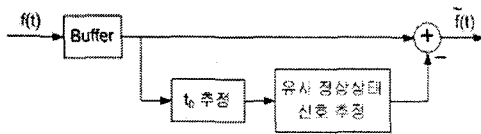


그림 3 DWT 입력 신호  
Fig. 3 Input signal of DWT

이 신호에 DWT와 문턱 값을 적용하여 압축 데이터  $\tilde{f}_{comp}(t)$ 을 얻을 수 있다. 압축 데이터  $\tilde{f}_{comp}(t)$ 에 역 DWT를 적용하면 복원된  $\tilde{f}_{comp}(t)$ 을 얻게 된다. 복원된 외란 신호  $\tilde{f}(t)$ 는 식 (9)와 같이 유사정상상태 신호(pseudo-stationary signal)  $\tilde{f}_{sig}(t)$ 와  $\tilde{f}_{comp}(t)$ 을 더하여 얻을 수 있다.

$$\tilde{f}(t) = \tilde{f}_{sig}(t) + \tilde{f}_{comp}(t) \quad (9)$$

### 3.2 정상상태 신호 추정

정상상태 추정신호  $\tilde{f}_{sig}(t)$ 는 정현파로 고정된 주파수와 진폭을 갖고 있다는 가정 아래 시간 이동을 추정하여 얻을 수 있다. 외란이 존재하지 않은 정상상태 신호는 다음과 같다.

$$f_{sig}(t) = F_m \sin(\omega t + \theta^0) = F_m \sin(\omega(t - t_0)) \quad (10)$$

여기서 시간이동  $t_0$ 는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$t_0 = t - \frac{1}{\omega} \sin^{-1}\left(\frac{f_{sig}(t)}{F_m}\right) \quad (11)$$

왜곡신호  $f(t)$ 는 식 (7)과 같이 과도현상이 포함되어 있으므로 식 (11)을 사용하여 정상상태 신호의 시간이동을 구하기 어렵다. 그러나 데이터 압축의 목적이 신호의 중복 부분(redundancy)을 줄여 처리할 데이터의 동적변화를 줄이는 것이다. 따라서 전력품질의 과도현상이 발생하는 시간과 크기가 정상신호의 것보다 상대적으로 작음을 고려하면 왜곡신호  $f(t)$ 을 사용하여 근사적인 시간이동 값  $\tilde{t}_0$ 을 추론하여 유사 정상신호를 추정할 수 있다.

$$\tilde{t}_0 = t - \frac{1}{\omega} \sin^{-1}\left(\frac{f(t)}{F_m}\right) \quad (12)$$

유사정상신호는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\tilde{f}_{sig}(t) = F_m \sin(\omega(t - \tilde{t}_0)) \quad (13)$$

식 (12)은 시간  $t$ 가 지남에 따라 일정하게 상승하다가 평탄해지는 구간이 주기  $T$ 의 간격으로 반복적으로 발생하는 계단형 파형에 외란현상과 잡음이 반영된 파형으로 나타나 시간이동을 추정하기 위해 그림 4와 같은 방법을 적용한다.

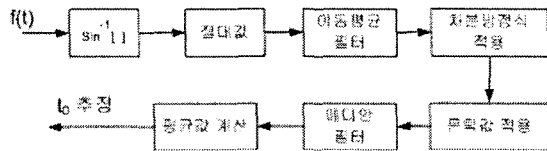


그림 4 시간이동 추정 알고리즘  
Fig. 4 Estimation of time delay

이 알고리즘에 대해 그림 5 (a)의 외란신호에 적용하여 알아보자. 이 신호는 시간이동  $t_0 = 9$  [ms]을 갖고 있는 정현파 정상신호에 백색잡음이 섞인 환경에서 커패시터 스위칭 현상이 0.052초에서 0.059초 사이에 발생한 신호이다. 그림 5(b)는 식 (12)의 결과에 절대 값을 취한 것으로 선형으로 증가하다가 일정한 간격을 유지하고 다시 증가하는 계단 형임을 보여 준다. 추정오차와 외란으로 인해 크지 않은 굴곡들이 선상에 존재하여 평탄하지 않으므로 이동평균 필터(moving-average filter)를 사용하여 평활한 후 후방차분방정식을 적용하였다. 평탄한 부분에서는 그 차이가 적으며, 기울기를 갖고 증가하는 부분에서의 차는 상대적으로 크다. 일정한 값을 갖고 있는 평탄한 부분을 추출하기 위해 문턱 값  $m(t)$ 을 식 (14)과 같이 적용하였으며 그림 5(d)에 나타나 있다.

$$m(t) = \begin{cases} 0 & MA\{|\tilde{t}_0|\} < \theta \\ 1 & MA\{|\tilde{t}_0|\} \geq \theta \end{cases} \quad (14)$$

여기서 문턱 값  $\theta$ 는 표준편차를 사용하였다. 그림 5(d)와

같이 산발적으로 발생하는 0과 1의 부분을 통합하기 위해 메디안 필터(median filter)를 적용하여 평탄부분과 선형적으로 증가된 부분을 구분할 수 있는 그림 5(e)를 얻는다. 여기서 0의 부분에 해당되는  $\tilde{t}_0$ 의 절대 값들의 평균을 구한 후 최소값을 선택한다. 이 예에서 구한 추정 시간이동은  $\tilde{t}_0=9.1$  ms으로 정상신호의 시간이동과 큰 차이가 나지 않는다.

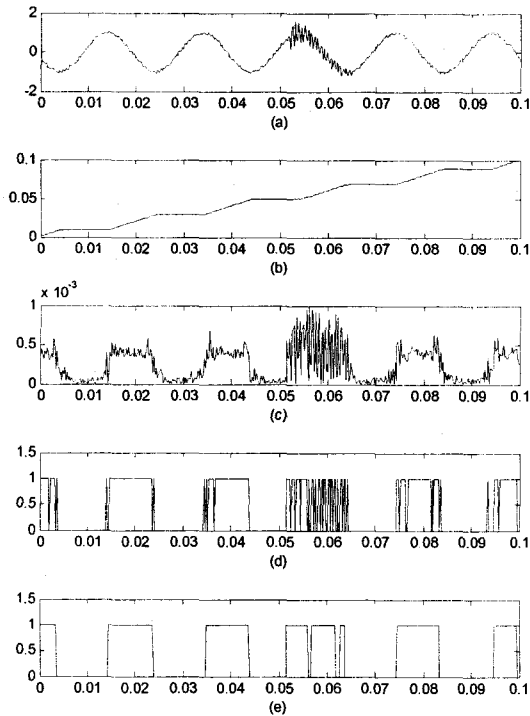


그림 5 (a) 외란신호  $f(t)$  (b) 식 (4)의 결과에 절대 값을 취한 후 이동평균 적용 (c) 후방차분방정식 적용 (d) 문턱 값 적용 (e) 메디안 필터 적용.

Fig. 5 (a) disturbance signal (b) result of applying MA filter to the absolute values of the result of eq. (4) (c) applied backward difference (d) thresholded (e) applied median filter.

### 3.3 압축 지표

데이터 압축의 정도를 나타내는 척도로서 영-비율(zero ratio, ZR)과 압축오차(compression error, CE)를 사용한다. 다해상도 분해와 문턱 값 적용을 통해 가능한 웨이블릿 계수들에서 0의 값이 많을수록 압축률이 더 높으므로 압축 전과 압축 후의 영의 비율로서 압축정도를 나타낸다. 만약 주어진 신호가  $N$ 개의 샘플을 갖고 있고, 압축 후에  $N_0$ 개의 0을 갖고 있다면 영-비율은 다음과 같다.

$$ZR = \frac{N_0}{N} \times 100 [\%] \quad (15)$$

더 높은 영-비율은 더 많은 데이터가 압축되어져서 더 작은 데이터로 신호를 나타낼 수 있음을 의미한다. 만약 영-비율이 70%라면 압축된 데이터는 원래 신호의 전체크기의 30% 만의 데이터가 필요함을 의미한다. 그러므로 영-비율은 압축의 효율을 나타내는 척도라고 할 수 있다.

문턱 값이 적용된 압축 신호로부터 원래의 신호를 완전하게 복원할 수 없으며, 압축오차가 존재한다. 이 압축오차는 원래의 신호와 복원된 신호 사이의 정규화된 평균제곱오차(normalized mean-square error, NMSE)로 정의되며 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$CE = \frac{\|f(t) - \hat{f}(t)\|_2}{\|f(t)\|_2} \quad (16)$$

여기서  $f(t)$ 은 원래의 신호이며  $\hat{f}(t)$ 은 복원된 신호이다. 압축오차가 작을수록 복원된 신호는 원래의 신호에 근접하므로 압축 알고리즘이 더 좋은 품질의 복원신호를 만들 수 있다는 것을 의미한다. 따라서 압축오차는 데이터 압축의 정확성을 나타내는 척도라고 할 수 있다.

높은 압축 효율과 높은 압축의 정확도를 가질 수 있는 것이 데이터 압축의 주된 목적이겠지만 하나를 얻으려면 다른 하나에서 그에 상응하는 비용을 치러야 한다. 따라서 이 두 척도사이에서 허용 가능한 왜곡 수준에서 압축을 한다면 상당히 좋은 압축을 이룰 수 있다.

### 4. 모의실험

실험에 사용되는 그림 6의 전력 외란신호는 임의의 전력계 통에서 얻은 전력외란파형으로 16[ms]에서 50[ms]까지 전압 강하가 20%되었으며 커패시터 스위칭 현상이 52[ms]에서 65[ms]까지 발생하였고 전압상승이 70[ms]에서 90[ms]까지 20% 발생한 신호에 백색잡음이 가해진 신호이다.

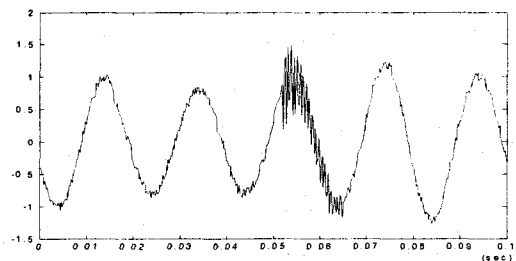


그림 6 전력품질 외란 신호  $f(t)$

Fig. 6 Power quality disturbance signal  $f(t)$

이 모의 데이터는 matlab 프로그램을 사용하여 얻은 것이며, 이 프로그램을 사용하여 알고리즘을 구현하였으며, 샘플링 주파수는 5[kHz]이다. 시간이동  $t_0=9$  [ms]이다. 이 신호에서 구한 유사정상상태 시간이동은  $\tilde{t}_0=9.12$  [ms]으로 나타났으며 그림 6의 신호에서 유사정상상태 신호를 제거한 신호 그림 7의 차이신호에 제안된 압축알고리즘을 적용하였다. 여기에서 사용된 웨이블릿 모함수는 Daubechies 4이다.

데이터 압축에서 문턱 값의 영향을 알아보기 위해 전역 문턱 값을 적용하였을 때 문턱 값 인수  $\mu$ 의 값에 따른 영-비율을 그림 7에 나타내었다. 문턱 값 인수가 작아질수록, 즉 문턱 값이 클수록 더 높은 영-비율을 얻을 수 있다. 인수가 0.9일 때까지 영-비율이 급격히 증가하다가 점점 증가하는율이 적어짐을 볼 수 있다. 이는 최대 웨이브렛 계수의 10%보다 더 작은 0에 근접한 값들을 웨이브렛 계수들이 갖고 있으므로 이 문턱 값으로 높은 압축률을 얻을 수 있음을 의미한다. 문턱 값 인수 0.9보다 클 때, 즉 문턱 값이 최대 웨이브렛 계수의 10%보다 작은 경우, 영-비율은 문턱 값에 민감하다. 인수가 0.9보다 작아지면서 영-비율은 거의 정상상태에 도달하게 된다. 이는 문턱 값이 증가함에 따라 영-비율이 증가하는데 한계가 있음을 보여주며, 이 경우 영-비율은 87.22%에서 거의 일정하게 유지된다. 문턱 값이 클수록 보통 높은 압축오차를 갖게 된다. 그림 8은 문턱 값 인수  $\mu$ 에 따른 압축오차를 나타낸 것이다. 그림 7과 8에서 영-비율의 증가는 압축오차의 증가의 원인이 됨을 알 수 있다. 문턱 값 인수가 0.95일 때 압축오차가  $2.48 \times 10^{-4}$ 로 매우 작다. 인수의 크기가 조금만 줄어들어도 압축오차의 값은 크게 증가함을 볼 수 있다. 또한 영-비율이 정상상태에 도달한다는 것이 압축오차의 크기가 천천히 증가함을 의미하지는 않는다. 그러므로 바람직한 데이터 압축의 질을 추구하기 위해서는 이 두 지표 사이에서 높은 영-비율을 가지면서 상대적으로 적절한 압축오차를 갖고 있는 문턱 값 인수를 구해야 한다. 이 예에서는  $\mu = 0.9$ 가 적절하며, 압축오차는  $1.16 \times 10^{-3}$ 이며 영-비율은 71.5%이다. 그림 9(a)는 문턱 값 인수  $\mu = 0.9$ 를 적용하여 압축데이터에서 복원한 신호를 나타내며, 그림 9(b)는 원래 신호와 복원 신호 사이의 압축 오차를 보여준다. 복원된 신호는 비교적 작은 잡음을 함유하고 있으며 원래 신호의 형태를 잘 유지하고 있음 볼 수 있다. 압축오차 신호는 랜덤신호같이 나타나며, 이 신호의 평균값은  $6.775 \times 10^{-5}$ 으로 거의 0에 가까웠다. 이것은 데이터 압축을 통해 잃어버린 정보가 백색잡음의 특성을 갖고 있음을 유추할 수 있다. 그림 9(b)에서 커패시터 스위칭 현상이 발생된 곳의 압축오차가 다른 부분의 오차보다 상대적으로 작은 것은 DWT 적용할 때 기본파와 과도현상이 결합된 파형에서 고주파 성분들이 존재하는 경우, 해당 부분의 상세계수  $d[n]$ 이 비교적 큰 값으로 나타나며, 정상상태에 근접할수록 계수들은 상대적으로 작은 값을 갖게 된다. 압축을 위해 문턱 값을 적용하면 문턱 값보다 큰 고주파성분에 의한 상세계수들은 유지되며, 정상상태에 가까운 부분의 계수들은 0의 값으로 된다. 파형 복구를 위해 IDWT를 적용하였을 때 고주파 성분들을 나타낸 부분의 계수들은 그대로 사용되기 때문에 계수들이 0으로 되어 복원된 정상상태 부분의 파형보다 압축오차가 줄어들게 되는 것이다. 따라서 데이터 압축을 하여도 원래 신호의 형태에는 작은 영향을 미치며, 어느 정도 필터링 역할까지 하여 원래 신호에서 나타나는 잡음 성분들이 복원된 신호에서는 많이 사라졌음을 볼 수 있다. 문턱 값이 클수록 필터링의 효과는 더 증가되나 반면에 압축오차가 현저하게 증가하여 신호의 형태에 영향을 미친다.

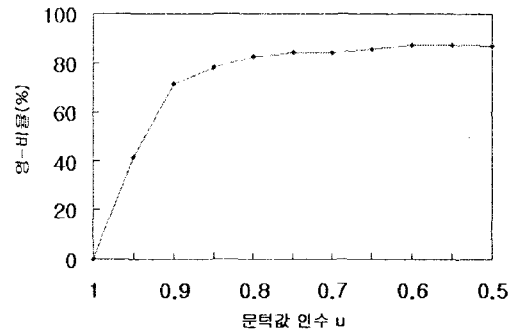


그림 7 문턱 값 인수  $\mu$ 의 값에 따른 영-비율  
Fig. 7 Zero-ratio according to threshold factor  $\mu$

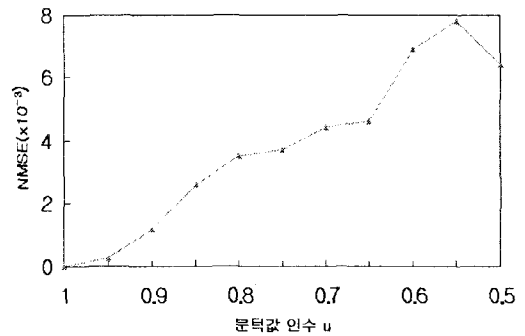


그림 8 문턱 값 인수  $\mu$ 의 값에 따른 압축오차  
Fig. 8 Compression error according to threshold factor  $\mu$

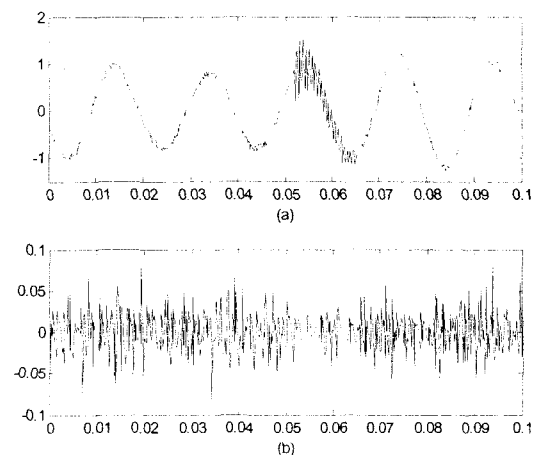


그림 9 (a) 복원된 신호 (b) 압축오차  
Fig. 9 (a) Reconstructed signal (b) Compression error

5. 결 론

많은 양의 데이터가 모니터로부터 얻어져 전력시스템의 분석, 관리 및 제어를 하기 위해 수집, 전송과 저장될 수 있으므로, 전력품질 데이터를 압축하기 위한 방법이 매우 필요하게 되었다. 본 논문은 전력품질 외란신호에서 시간이동을 추정하는 방법을 제안하였으며, 위상오차는 0.12[ms]로 상당히 근접한 결과를 보여주었다. 추정된 시간이동을 사용하여 얻은 유사정상신호를 원래의 신호에서 제거하여 신호의 중복성을 줄여 데이터의 동적변화를 적게 한 차이 신호에 대해 웨이브렛 변환의 다해상도 해석을 수행한 압축 알고리즘을 제안하였다. 압축의 질을 나타내는 지표로서 영-비율과 압축오차를 사용하여 문턱 값과의 관계를 해석하였으며, 영-비율이 높아질수록 압축률은 높아지나 압축오차는 더 커지므로 전력품질 외란 신호의 성질에 따라 문턱 값 설정이 달라져야 될 것이다. 압축 과정에서 나타나는 잡음제거 효과를 얻을 수 있었다. 따라서 전력품질 외란 신호의 압축에서 웨이브렛 변환을 적용하여 높은 압축효율과 작은 압축오차를 가지며 잡음제거 효과를 얻을 수 있음을 알 수 있다.

감사의 글

본 연구는 2004년도 인천대학교 연구비 지원에 의하여 이루어진 연구결과입니다.

참 고 문 헌

[1] IEEE, IEEE Recommended Practices for Monitoring Electric Power Quality, IEEE Standard 1159-1995, 1995.  
 [2] K. B. Metha, B. D. Russell, "Data Compression for Digital Data from Power System Disturbances: Requirements and Technique Evaluation", IEEE Trans. on Power Delivery, vol. 4, no. 3, pp. 1380-1689, July 1989.  
 [3] M. V. Ribeiro, J. M. T. Romano, C. A. Duque, " An Improved Method for Signal Processing and Compression in Power Quality Evaluation", IEEE Trans. Power Delivery, vol. 19, no. 2, pp. 464-471, April 2002.  
 [4] S. Santos, E. J. Powers, and W. M. Grady, "Power Quality Disturbance Data Compression using Wavelet Transform Methods," IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 12, pp. 1250-1256, July 1997.  
 [5] T. B. Littler and D. J. Morrow, "Wavelets for the Analysis and Compression of Power System Disturbances," IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 14, pp. 358-362, April 1999.  
 [6] E. Y. Hamid, Z. I. Kawasaki, "Wavelet-based Data Compression of Power System Disturbances using the Minimum description length Criterion", IEEE Trans. Power Delivery, vol. 17, no. 2, pp. 460-466, April 2002.  
 [7] L. Shang, J. jaeger, R. Kerbs, "Efficiency Analysis of Data Compression of Power System Transients using Wavelet

Transform", IEEE Bologna PowerTech Conference, June 23-26, Bologna, Italy.

[8] C. H. Kim, R. Aggarwal, "Wavelet Transform in Power System. I. General Introduction to the Wavelet Transform", Power Engineering Journal, pp. 81-87, April 2000.  
 [9] C. H. Kim, R. Aggarwal, "Wavelet Transform in Power System. II. Examples of Application to Actual Power System Transients", Power Engineering Journal, pp. 193-202, August 2001.  
 [10] M. Vetteri, "Wavelets, Approximation, and Compression," IEEE Signal Processing Magazine, pp. 59-73, Sept. 2001.  
 [11] N. S. D. Brito, B. A. Souza, F. A. C. Pires, "Daubechies wavelets in Quality of Power", 8th International Conference on Harmonics and Quality of Power, Athens, Greece, Oct. 1998 pp.511-515.  
 [12] M. V. Wickerhauser, Adapted Wavelet Analysis from Theory to Software, IEEE Press, New York, USA, pp. 237-298, 1994.  
 [13] G. T. Heydt, A. W. Galli, "Transient Power Quality Problems Analyzed Using Wavelet", IEEE Trans. Power Delivery, vol. 12, no. 2, April 1997.

저 자 소 개

정 영 식 (鄭 英 植)



1958년 2월 14일생. 1983년 인하대 전기공학과 졸업. 1990년 Univ. of Pittsburgh 전기공학과 졸업(공박), 2000~2001년 Virginia Tech 교환교수. 1990년~현재 인천대학교 전기공학과 교수.