

# 에너지 절약 장치용 실시간 데이터 획득 시스템 구현과 잡음제거에 관한 연구

허 곁, 최 영길\*, 정 원교\*\*, 황 규찬\*\*\*  
한국전기연구원, 한국전기연구원\*, 나인원\*\*, 제일전기\*\*\*

## A Study on Real-time Data Acquisition System and Denoising for Energy Saving Device

Keol Huh, Yong-Kil Choi\*, Won-kyo Jeong\*\*, Chan-ku Hoang\*\*\*  
KERI, KERI\*, NINE ONE\*\*, Cheil-Wiring.co\*\*\*

### Abstract

The paper shows that the combination of the hardware, NI PCI 6110E board and the software, Fourier and continuous wavelet transform(CWT) can be used to implement for extracting the important features of the real-time signal. The results confirmed that CWT produces the fast computation enough for the application of the real-time signal processing except the negligible time delay. In denoising case, because of the lack of translation invariance of wavelet basis, traditional wavelet thresholding leads to pseudo-Gibbs phenomena in the vicinity of discontinuities of signal.

In this paper, in order to reduce the pseudo-Gibbs phenomena, wavelet coefficients are threshold and reconstruction algorithm is implement through shift-invariant gibbs free denoising algorithm based on wavelet transform footprint.

The proposed algorithm can potentially be extended to more general signals like piecewise smooth signals and represents an effective solution to problems like signal denoising.

**Key Words** : Footprints, Denoising, CWT

### 1. 서 론

최근 정보기술의 발달로 데이터의 생성, 처리, 전송, 및 저장 등이 용이하여, 이를 이용하는 응용 기술들이 크게 부각되고 있다. 특히, 시스템, 함수 및 프로세스의 통계적 특성이 시간적으로 변하지 않는 정상신호 보다 시간에 따라 그 특성이 심하게 변동하여 그 해석을 정확히 하기에는 매우 난해한 비정상신호의 응용 분야가 최근 크게 주목받고 있다. 공학분야에 많이 나타나는 랜덤 프로세스는 정상상태에서는 대부분 정상 프로세스이나 초기 과도 상태 동안은 비정상 프로세스로 나타난다. 정상 프로세스 신호는 일반적으로 시간이나 주파수 가운데 어느 한 영역에서만 해석하여도 그 신호의 중요한 정보를 거의 대부분 추출할 수 있으나, 비정상 프로세스 신호는 주파수 정보가 시간의 진행에 따라 변화하기 때문에 반드시 시간-주파수 2차원 평면에서 동시에 표현되어야만 된다. 한가지 해결 방법으로 STFT(Short time Fourier Transform)를 사

용하여 비정상 프로세스 신호의 중요 정보를 분석할 수는 있으나 정확도가 떨어지고 시간과 주파수 해상도가 서로 상충하면서 어느 점에서 서로 타협해야만 하는 단점이 있다.

이에 대한 개선책으로 최근 10여 년 동안 아주 활발히 연구되고 있는 웨이블릿 변환을 비정상 프로세스 신호에 적용하여 STFT가 표현하지 못하는 아주 미세한 신호의 변화 부분도 아주 정확하게 감지 해낼 수가 있다.

신호 잡음제거의 목적은 신호 획득, 처리시 주변 환경과 처리장치 등에서 오염된 신호로부터 원래의 고유 신호를 정확히 복원함으로써 이후 신호처리 과정에서 사용되어질 고유 신호의 특징 추출을 효과적으로 하는데 있다. 신호처리 분야에 웨이블릿 변환이 소개 된 이후, 웨이블릿 임계치 잡음제거에 효과적임이 Donoho와 Johnstone에 의해 증명되었다. 그러나 웨이블릿 임계치 잡음 기법 역시 불연속 주위에서 의사 집스 현상을 일으키는 단점을 가

지고 있다. 이러한 현상을 부분적으로 감소시키기 위해 translation invariant 임계치 알고리즘을 제안되었으나 만족할 만한 의사 깃스 현상을 줄이지는 못했고, 또한 불연속 주위의 Gibbs 현상은 제거되는 반면에 정칙도(regularity)의 부족으로 인해 계단 효과(staircase effect)를 발생 시킨다.

본 논문에서는 먼저 신호의 부드러운 부분에 탁월한 잡음제거 효과를 가지는 웨이블릿 임계치 잡음 제거 기법을 사용하고 후처리 과정으로 Dragotti와 Vetterli에 의해 제안된 웨이블릿 영역에서 시간의 특이점들에 의해 남겨진 흔적이라는 의미를 가지는 웨이블릿 발자국 흔적(Wavelet Footprints)이라는 개념을 도입해 불연속 주위에서 탁월한 잡음제거 효과를 가지고서 의사 깃스 현상을 제거 시켰다.

## 2. 웨이블릿 변환 (Wavelet Transform)

정상 프로세스 신호 처리에 효과적인 푸리에 해석은 복소 지수 함수,  $e^{j\omega t}$ 를 기저함수로 사용하며, 정현파 함수로도 표시된다. 정현파 함수는 아래 Fig.1에서 보는 바와 같이  $+\infty$ 와  $-\infty$ 로 그 구간이 무한대로 확장되어 있고 파형은 매우 부드럽고 예측 가능한 성질을 가지고 있다.

한편, 웨이블릿은 몇 번의 진동과 함께 유한한 구간을 가지며 이를 평균하면 항상 0의 값을 가지게 되고 비교적 불규칙하고 비대칭성을 가진다. 푸리에 변환은 목적신호를 여러 가지의 서로 다른 주파수의 정현파로 분해하는 반면, 웨이블릿 변환은 원래의 부모 웨이블릿의 변이되고 스케일된 모습으로 목적신호를 표현한다.

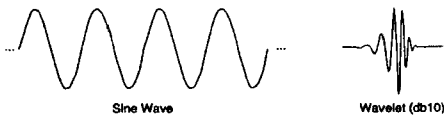


Fig.1 Sine waveform and wavelet waveform

따라서, 짧은 시간동안에 갑자기 변화하는 신호를 분석하는 데는 부드러운 정현파 기저 신호를 사용하는 것보다 불규칙한 웨이블릿 기저 함수를 사용하는 것이 훨씬 효과적이다.

### 2.1 CWT (Continuous Wavelet Transform)

목적 신호의 푸리에 해석은 식1의 푸리에 변환으로 이루어진다.

$$X(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)e^{j\omega t} dt \quad (1)$$

여기서  $x(t)$   $-\infty$ 에서  $+\infty$ 까지 전구간에서 복소 지수 함수,  $e^{j\omega t}$ 와 곱해져서 그 결과로 푸리에 계수,  $X(\omega)$ 를 계산해 낸다.

이는 목적신호,  $x(t)$ 가 어느 특정 주파수  $\omega$ 를 가진 정현파와 곱해졌을 때 원래의 목적 신호  $x(t)$ 내에 존재하는 특정주파수와 같은 정현파 성분을 표시한다.

CWT는 식 2에 보는 바와 같이 목적신호  $x(t)$ 에 부모 웨이블릿 함수  $\psi(t)$ 의 변위이고  $\psi_{j,k}(t)$ 를 모든 구간에서 곱함으로서 정의 되며, 그 결과는 많은 웨이블릿 계수 C로서 나타나며, 이는 스케일과 변위의 함수가 된다.

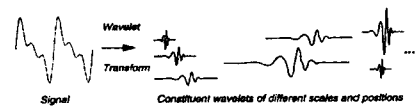
$$C_{(scale, position)} = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)\psi_{(scale, position, t)} dt \quad (2)$$

푸리에 변환과 비슷하게, 각각의 웨이블릿 계수를 특정의 변위되고, 스케일된 웨이블릿과 곱하게 되면, 원래의 목적신호  $x(t)$ 가 내부적으로 가지고 있는 특정 웨이블릿 성분을 표출한다.

이상 푸리에 변환과 웨이블릿 변환을 Fig.2으로 요약한다.



(a) Fourier Transform



(b) Wavelet Transform

Fig.2 Fourier Transform and Wavelet Transform

### 2.2. 웨이블릿 임계치 잡음제거 기법

웨이블릿 변환을 이용하여 잡음을 제거하는 가장 보편적인 방법은 신호를 직교 웨이블릿 기저 함수로 분해하는 강성/연성 임계치 잡음제거이다. 이 기법은 다음의 3단계로 나누어진다.

- 1단계 : 잡음이 있는 신호를 웨이블릿 변환한다.
- 2단계 : 얻어진 계수가 강성/연성 임계치  $\lambda$  값보다 작으면 제거한다.
- 3단계 : 남은 계수를 역변환하여 원신호를 복원한다.

잡음이 없는 원신호  $x$ 에 백색 가우시안 잡음  $\epsilon$

을 첨가한 잡음 신호  $\tilde{x}$ 는 식 3로 모델링 되어진다.

$$\tilde{x} = x + \varepsilon \quad (3)$$

구간  $I=[a, b]$ 에서  $(\psi_{j,n})_{j,n \in \Psi}, (\phi_{j,n})_{j,n \in \Phi}$ 을 웨이블릿과 스케일 함수라 두고 원신호  $x$ 에 백색잡음을 더한 잡음신호  $\tilde{x} \in L^2(I)$ 는 식 4과 같이 표현된다.

$$\tilde{x} = \sum_{(j,n) \in \Psi} \langle \tilde{x}, \psi_{j,n} \rangle \psi_{j,n} + \sum_{(j,n) \in \Phi} \langle \tilde{x}, \phi_{j,n} \rangle \phi_{j,n} \quad (4)$$

Fig.3에서 보는바와 같이, 강성 임계치 연산자는 식 5으로 표시되고

$$\tau(x) = \begin{cases} x & \text{if } |x| \geq \lambda \\ 0 & \text{if } |x| < \lambda \end{cases} \quad (5)$$

연성 임계치 연산자는 식 6로 정의 되어진다.

$$\tau(x) = \begin{cases} x - \text{sgn}(x)\lambda & \text{if } |x| \geq \lambda \\ 0 & \text{if } |x| < \lambda \end{cases} \quad (6)$$

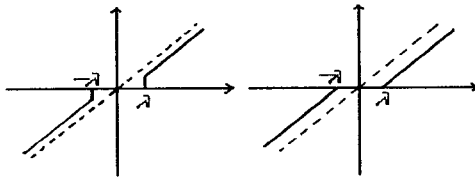


Fig.3 강성/연성 임계치

임계치  $\lambda = \sigma \sqrt{2 \log N}$ 으로 정의되고,  $\sigma$ 는 선택되어진 웨이블릿 계수의 표준편차,  $N$ 은 신호의 샘플수를 나타낸다. 임계치 연산자를 사용하여 잡음이 제거된 신호  $x_0$ 는 식 4와 같다.

$$x_0 = \sum_{(j,n) \in \Psi} \tau(\langle \tilde{x}, \psi_{j,n} \rangle) \psi_{j,n} + \sum_{(j,n) \in \Phi} \langle \tilde{x}, \phi_{j,n} \rangle \phi_{j,n} \quad (7)$$

연성 임계치 기법은 연산자의 연속성 때문에 웨이블릿 계수 구조가 강성 임계치 기법에 비해 잘 보존되는 장점을 가지고 있어 의사 깃스 현상이 감소된다. 그러나 모든 웨이블릿 계수의 값이 작아지고 지역 평균이 보존되지 않아 침투점(erosion)이 손상되는 단점을 가지고 있다.

### 2.3 실시간 데이터 획득 시스템

실시간 데이터 획득 시스템의 개념도를 Fig.4에 나타낸다.

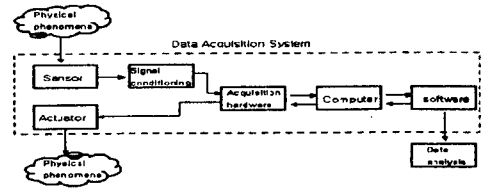


Fig.4 Data Acquisition System

실제 외부신호가 센서에 입력, 조정되어 컴퓨터가 읽어들이 수 있는 비트로 변환되어져 의미 있는 정보를 추출할 수 있도록 분석되어진다. 또한, 컴퓨터 출력 데이터는 아날로그 신호로 변화되고 actuator로 출력되어 외부 환경을 제어할 수 있다. 데이터 획득 시스템의 구성요소와 그의 개략적인 기능을 Table 1에 요약한다.

Table 1. Components of real-time data acquisition system

Sensor	·Accelerometer (Acceleration)
	·Microphone (Pressure)
	·Pressure Gauge (Pressure)
	·Resistance Temperature Device (Temperature)
	·Strain Gauge (Force)
	·Thermocouple (Temperature)
	·Amplification
Signal Conditioning	·Filtering
	·Electrical isolation
	·Multiplexing
	·Excitation source
Acquisition Hardware	·Analog input
	·Analog output
	·Digital input/output
	·Counter/Timer
Computer	·Processor
	·System clock
	·Bus to transfer data
	·Memory and disk space to store data
software	·Driver software
	·Application software

본 실험에서 사용한 소프트웨어 환경을 Fig.5에 나타낸다.

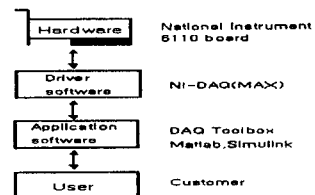


Fig5. DAQ Software System

- \* 드라이버 소프트웨어는 하드웨어를 접근, 제어할 수 있도록 하여주며 주요기능은 다음과 같다.
- 데이터를 보드 안으로 또는 밖으로 이동

- 데이터를 받아들이는 일을 제어
- 데이터 획득 하드웨어와 프로세서 인터럽트, DMA, 메모리 같은 컴퓨터 자원과의 통합
- 데이터 획득 하드웨어와 신호 컨디션닝 하드웨어와의 통합
- 다중 데이터 획득 보드 접근

\* 응용 소프트웨어는 드라이버 소프트웨어의 편리한 "front-end"로서 주요 기능은 다음과 같다.

- 획득한 샘플의 수와 같은 관계 정보를 보고
- 사건을 발생
- 컴퓨터 메모리에 저장된 데이터 운용
- 신호를 조정
- 획득한 데이터를 그림

## 2.4. 발자국 흔적(footprints)

신호의 다항식은 크기 계수들과 그것의 천이-속의해서 확실히 표현되어진다. 영차 모멘트들은 불연속 주위의 많은 non-zero 계수들을 이끌어 낸다. 웨이블릿 계수들의 실례와 불연속을 Fig.6에서 나타낸다.

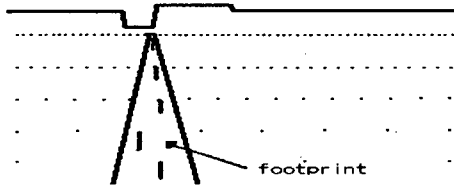


Fig.6 불연속에 위치한 footprints

$\square$ 에서 하나의 불연속을 가지는 구간 상수 신호  $\square$ 가 주어지면, 오직  $\square$ 에서 영향을 받는 웨이블릿 계수들의 집합 중에서 획득되어진 스케일 공간을 벡터를 웨이블릿 발자국 흔적(footprint)  $\mathcal{F}_{b_k}^{(d)}$ 라고 부른다. 여기서  $\|\mathcal{F}_{b_k}^{(d)}\| = 1$  이다.

시간 영역 불연속은 subsampling 후에 필터들의 길이  $L-1$ 에 의해 발자국 흔적이라 불리는  $J$ 사이즈의 응답을 발생한다. 이 발자국 흔적은 불연속의 위치에 의존하고 이 불연속은  $2^J$ 의 발자국 흔적을 가진다. 발자국 흔적은  $\mathcal{F}_{b_k}^{(d)}$ 로서 표현하며 식 8과 같이 나타낸다.

$$\mathcal{F}_{b_k}^{(d)}[n] = \sum_{j=1}^L d_{jk_m} \psi_{jk_m}[n] \quad (8)$$

여기서  $j, k$ 는 시간영역에서 불연속의 위치이며,  $d$ 는 불연속 주위의 두 가지 다항식 중 최대 차수이다.

또한 웨이블릿 발자국 흔적 계수는 식 9과 같이 표현된다.

$$d_{jk_m} = \frac{y_{jk_m}}{\sqrt{\sum_{j=1}^L y_{jk_m}}} \quad (9)$$

여기서,  $y_{jk_m}$ 는 웨이블릿 계수의 집합이다. 고정 위치  $k$ 에서 하나의 불연속을 가지는 구간별 선형 신호를 생각해보자. Fig.7에 4차원 직교 기저 함수를 표시한다.

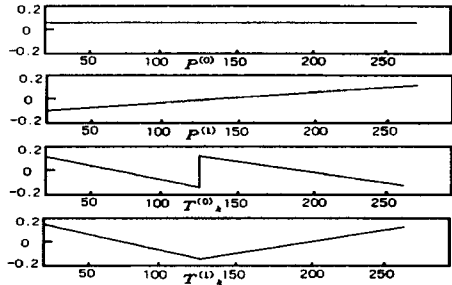


Fig.7  $N=256$ 을 가지는 불연속 위치

$\square$ 를 가지는 선형 신호의 직교 기저

이 기저의 함수는 어떤 신호를 부드러운 부분과 과도 상태 부분을 두 개의 직교 선형 부분공간으로 분해하는 장점이 있으며 이 두 부분 공간을 부드러운 부분공간(smooth sub-space)과 과도상태 부분공간(transient sub-space)라고 부르며,

$$\left( \begin{array}{l} P^{(0)}, P^{(1)} : \text{smooth subspace} \\ T^{(0)}_k, T^{(1)}_k : \text{transient subspace} \end{array} \right)$$

로 표기한다.

신호  $X$ 의  $J$ 단계 웨이블릿 ( $Y=W \cdot X$ )를 생각하자.

신호  $X: (P^{(0)}, P^{(1)}, T^{(0)}_k, T^{(1)}_k)$ 에 대한 기저를 표현하는 4개의 신호들에 웨이블릿 변환을 실행한다. 여기서  $P^{(0)}, P^{(1)}$ 은 스케일링 함수로써 표현되어지는 반면,  $T^{(0)}_k, T^{(1)}_k$ 은 영이 아닌 웨이블릿 계수이다.

$f_{b_k}^{(0)}$ 와  $f_{b_k}^{(1)}$ 은  $T_k^{(0)}$ 와  $T_k^{(1)}$ 에 의해서 생성되는 발자국 흔적이라 부르고, 단위 직교 형태는  $\mathcal{F}_{b_k}^{(0)}$ 와  $\mathcal{F}_{b_k}^{(1)}$ 으로 나타낸다.

어떠한 불연속을 특성화하기 위해서  $2^J$ 쌍의 발자국 흔적이 필요하고 이것을 사전 D라고 부른다.

$X$ 가 위치  $k_1$ 과  $k_2$ 에서 불연속을 가지고, 충분히 떨어져 있으면 발자국 흔적은 중복되지 않고 직교라고 하며 식 10과 같이 표시한다.

$$X = W^{-1}(Y_s + \sum_{d=0}^1 \langle Y, \hat{f}_{p_M}^{(d)} \rangle \hat{f}_{p_M}^{(d)} + \sum_{d=0}^1 \langle Y, \hat{f}_{p_M}^{(d)} \rangle \hat{f}_{p_M}^{(d)}) \quad (10)$$

여기서  $Y_s$ 는  $Y$ 의 스케일링 계수이다. 발자국 흔적은 시간영역 기저의 국부적 표현을 제공하므로 직교 기저로서 더 많은 불연속을 가진 신호  $X$ 를 표현할 수 있다.

최대 차수  $D > 1$ 을 가지는 구간별 다항식 신호로 확장하면, 불연속은  $D+1$  발자국 흔적의 일차 결합으로 설명되어지고, 이 발자국 흔적은 천이불변성이 있으므로 임의의 불연속을 표현하기 위해서는  $(D+1) \cdot 2^J$  발자국 흔적 사전  $D$ 가 필요하다.

본 논문의 잡음 제거 알고리즘은 다음의 같은 순서도를 따른다.

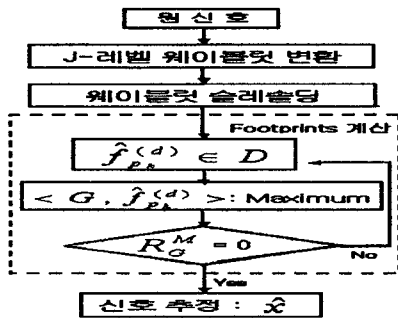


Fig.8 Footprints 잡음제거 알고리즘 순서도

여기서,

$$R_G^M = G - \sum_{d=0}^D \langle G, \hat{f}_{p_M}^{(d)} \rangle \cdot 1 \{ |\langle G, \hat{f}_{p_M}^{(d)} \rangle| > T \} \hat{f}_{p_M}^{(d)} \quad (11)$$

$$\hat{x} = W^{-1} [G_s + \sum_{M=0}^{M-1} \sum_{d=0}^D \langle R_G^M, \hat{f}_{p_M}^{(d)} \rangle \hat{f}_{p_M}^{(d)}] \quad (12)$$

이다.  $M$ 은 전체 반복 횟수이고  $R_G^M$ 은  $M$ 번 반복한 후  $G$ 의 스케일링 계수이다.

### 3. 실시간 신호분석 및 잡음제거

본 실험에 사용한 데이터 획득 툴박스(DAQ Toolbox)의 주요 요소와 주변 환경을 Fig.9에 나타

낸다.

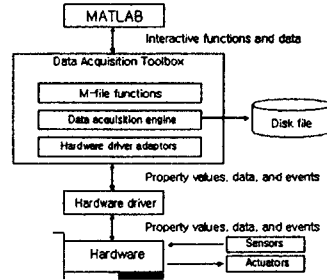


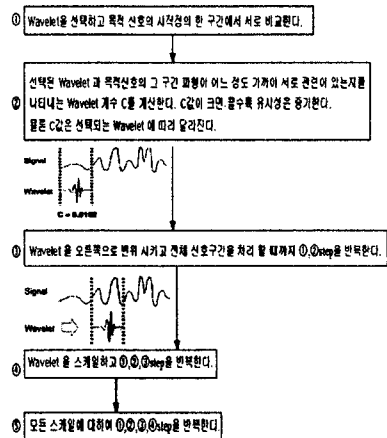
Fig.9 DAQ Toolbox

데이터 획득 과정은 다음 5 단계로 나뉜다.

1. 디바이스 오브젝트를 생성한다.
2. 디바이스 오브젝트에 채널이나 라인을 추가한다.
3. 데이터 획득 응용문제를 제어하기 위해 관련 수치를 조정한다.
4. 데이터를 획득하고 출력한다.
5. 정리한다.

한편, 웨이블릿 변환 환경에서 사용한 CWT 과정을 다음에 표시한다.

### 3.1 CWT 과정



이상의 환경에서 실시간으로 데이터를 획득하고 이를 실시간적으로 CWT를 하는 경우의 실험결과를 살펴보자. x축은 신호(시간)에 따른 위치를 나타내고, y축은 스케일을 표시하고, 각각 (x, y)점의 농도는 웨이블릿 계수의 크기 성분을 나타내고 있다. 먼저 DAQ 툴박스 환경에서 함수 발생기로부터 실시간 정현파와 구형파 신호를 획득하여 CWT한 결과를 Fig.10에 나타낸다.

실시간 효과를 보여주기 위해 몇 개의 프레임 영상으로 표현한다. 이때 사용한 환경변수는 다음과 같다.

목적 신호 주파수 : 정현파, 구형파  
 음성신호 '아'  
 샘플링 주파수 : 44.1kHz  
 사용한 DAQ 보드 : NI 6110E  
 사운드카드

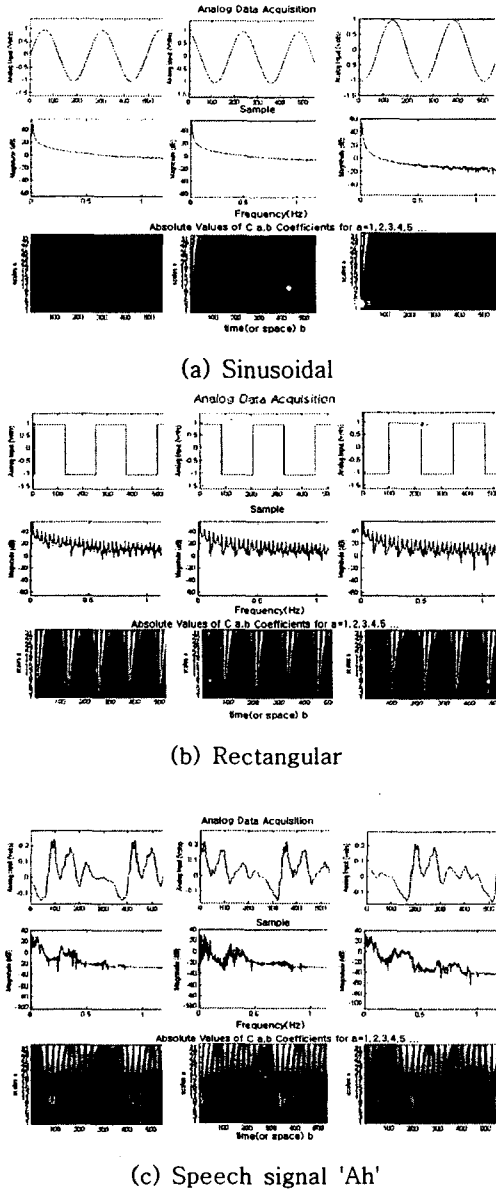


Fig.10 Real-time frame signal

실험 결과, 소요되어지는 시간은 데이터 획득 시 0.08초, CWT처리와 표현까지 0.61초, 총 0.69초가 소요되었다.

이상의 결과로 볼 때 실시간 데이터 획득 및 실시간 웨이블릿 변환 과정이 실시간 응용문제에 시간적인 면에서는 충분히 실 시간적이며 웨이블릿

변화의 정확도 면에서도 정지신호의 결과와 비교해 보아도 충분히 유사함을 실험에서 확인할 수 있다.

### 3.2 발자국 흔적 알고리즘을 이용한 잡음제거

실험 데이터로 1024개 샘플의 구간별 상수 신호인 Blocks과 선형이지만 한 개의 불연속을 가지는 삼각신호를 사용 하였다. 실험의 모든 과정은 Matlab 소프트웨어를 사용하였고, 성능의 척도는 SNR을 사용하였다.

Fig.11과 12은 원신호 데이터에 백색 잡음이 첨가된 신호에서 웨이블릿 연성 임계치, 웨이블릿 강성 임계치, 웨이블릿 발자국 흔적(footprints)의 3가지 알고리즘을 사용하여 잡음을 제거한 비교 결과이다.

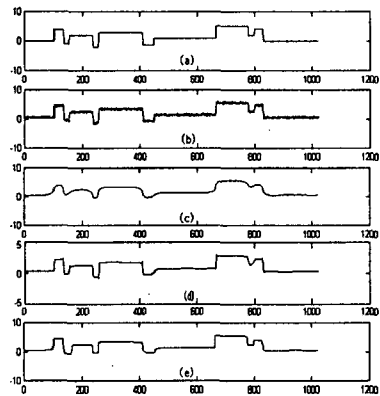


Fig.11 블록 신호 결과 비교

- (a) 원신호(블록 신호)
- (b) 잡음이 첨가된 신호
- (c) 연성 임계치 기법
- (d) 강성 임계치 기법
- (e) Wavelet footprints

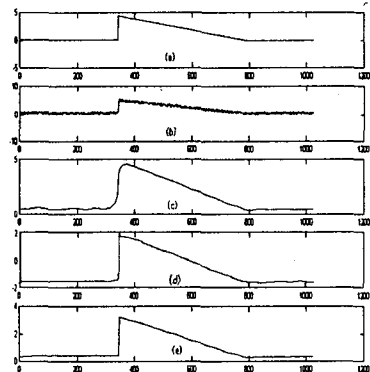


Fig.12 삼각 신호 결과 비교

- (a) 원신호(삼각신호)
- (b) 잡음이 첨가된신호
- (c) 연성 임계치 기법
- (d) 강성 임계치 기법
- (e) Wavelet footprints

Fig.11와 Fig.12의 (c)에서 보는바와 같이 연성 임계치 잡음제거는 불연속 주위에 많은 손실이 발생하였고, (d)의 강성 임계치 잡음제거는 불연속 주위에 의사 깃스 현상이 심한 것을 볼수가 있다.

Fig.11와 Fig.12의 (e)는 본 논문에서 제안한 웨이블릿 발자국 흔적(footprints) 알고리즘을 사용한 결과이다. 기저 함수로 Haar를 사용하였고, 수행 결과 부드러운 영역은 최대한 보존하면서 불연속 주위의 의사 깃스 현상을 현격히 감소 시켰다.

Table 2는 3가지 잡음 제거 기법들의 SNR 결과를 비교한 것이다. 본 논문에서 제안한 기법(footprints)이 연성 임계치 기법보다 7.6024dB 좋은 결과를 가짐을 확인 할 수 있고 강성 임계치 기법보다 17.3656dB 좋은 결과를 가짐으로써 불연속 주위의 의사 깃스 현상을 제거에 많은 효과가 있음을 확인 할 수 있다.

Table 2. SNR 비교표

신 호	Soft	Hard	footprint
Blocks	10.8816	13.1126	19.5655
Triangle	10.0466	13.2080	18.4009

#### 4. 결 론

정보기술의 발달로 실시간 데이터 생성, 전송, 처리 저장, 압축 기법이 그 어느 때보다 산업현장에서 요구된다.

본 실험은 함수 발생기로부터의 정현파, 구형파 신호와 마이크로부터의 음성 신호를 실시간으로 획득하는 실시간 데이터 획득환경을 구현하고, 이렇게 해서 얻어진 실시간 데이터를 실 시간적으로 웨이블릿 변환하여 이를 신호가 가지고 있는 시간-주파수 모든 영역의 주요한 정보를 얻었다. 충분히 실시간 적이라고 사료되며 웨이블릿 변환 정확도면에서도 그림으로 보는 바와 같이 충분히 정확하다고 볼 수 있다.

잡음제거에 있어서 기존의 웨이블릿 임계치 기법을 잡음제거에 각각 독립적으로 적용하면 의사 깃스 현상이나 계단 현상을 발생시키는 단점을 가지고 있었다. 웨이블릿 발자국 흔적(footprints) 알고리즘을 구현하여 본 결과 연성/강성 임계치 잡음 기법보다 SNR이 최대 6.45dB까지 개선되었고 시각적으로도 불연속점 주위의 의사 깃스 현상이나 계단 현상과 같은 단점을 현격히 감소됨을 확인하였다.

향후 과제로 산업현장의 실제 데이터, 즉 기어, 베어링, 회전체운동에 직접 적용, 음성 신호나 심전도 신호와 같은 실시간 데이터 획득 환경을 구성하여 이 환경에서 얻은 잡음 신호를 실시간으로 데이터

의 처리 실험과 2차원 이상의 신호에 대한 확장이 필요하다.향후 연구 과제로는 이를 하여 이의 가능성을 더욱 확장하고자 한다.

#### 참 고 문 헌

- [1] Jaideva C. Goswami, Fundamentals of Wavelets : Theory, Algorithm, and Applications ,1999.
- [2] Paul Samuel, Planetary Gear Box Diagnostics Using Adaptive Vibration Signal representations : A Proposed Methodology, 2001.
- [3] Vinary K. Ingle and John G. Proakis, Digital Signal Processing Using MATLAB, 2000
- [4] C. Sideny Burrus and Ramesh A. Gopinath, Introduction to Wavelet Transform, 1998.
- [5] MATHWORKS Inc, Data Acquisition Tool Box with MATLAB, 2001.
- [6]Stephane Maller, "A Wavelet tour of signal processing", 1999.
- [7]P.L.Dragotti, and M. Vetterli, "Shift-invariant Gibbs Free Denoising Algorithm based on Wavelet Transform Footprints", 2000.
- [8]RR. Coifman, D.L. Donoho, "Translation-Invariant Denoising", 1995.
- [9]R.T.Rockfellar, Convex Analysis", 1972.
- [10]P.Prandoni and M.Vetterli " Approximation and Compression of Piecewise Smooth Functions", 1999.