

웨이브렛 변환을 이용한 망막전도 신호의 잡음제거

서정익*, 박은규

대구보건대학교 안경광학과, 대구 702-722

투고일(2012년 5월 3일), 수정일(2012년 6월 8일), 게재확정일(2012년 6월 16일)

목적: 다른 생체신호와 마찬가지로 망막전도(electroretinogram, ERG) 신호도 측정시 잡음이 발생한다. 이 잡음을 효과적으로 제거하여 망막관련 진단의 정확도를 높이고자 하였다. **방법:** ERG 신호에 60 Hz 잡음과 백색잡음을 발생시켜 샘플링 신호를 만들었다. 웨이브렛 변환과 대역통과 필터를 이용하여 잡음을 제거하였다. 푸리에 변환 스펙트럼을 이용하여 제거된 주파수를 비교하였다. 신호대잡음비(signal to noise ratio, SNR)를 이용하여 제거된 잡음을 수치적으로 비교하였다. **결과:** 푸리에 변환 스펙트럼을 비교한 결과 웨이브렛 변환에서는 60 Hz 잡음은 완전히 제거되었으며 백색잡음도 많이 제거되었다. 대역통과필터에서는 60 Hz와 백색잡음 남아 있었다. 신호대잡음비를 비교한 결과에서는 웨이브렛 변환은 22.8638, 대역통과 필터는 4.0961로 나타났다. **결론:** 웨이브렛 변환을 이용하여 잡음 제거시 신호의 왜곡을 적게 발생시켜 제거할 수 있었다. 망막전도 신호를 이용한 망막 진단에 정확도를 높일 수 있을 것으로 기대된다.

주제어: 망막전도, 웨이브렛, 잡음

서 론

망막전도(electroretinogram, ERG)는 눈에 광 자극을 주었을 때 발생하는 미세한 전위차를 기록한 신호이다. 이를 이용하여 망막색소변성증, 당뇨망막병증 등 여러 망막에 관련된 진단할 수 있다. 망막전도는 비롯한 다른 생체신호에서와 마찬가지로 측정할 때 여러 가지 잡음이 발생하게 된다.^[1]

잡음의 발생 원인은 전원선에 의한 고주파 잡음, 근전도에 의한 저주파 잡음, 그리고 백색잡음으로 나눌 수 있다. 측정할 때 근전도 잡음은 측정상에서 어느 정도 제거가 가능하다. 하지만, 고주파잡음과 백색잡음은 측정상에서 제거가 불가능하여 필터를 이용하여 제거한다. 고주파잡음과 백색잡음은 기존에는 대역통과 필터를 사용하여 제거하였다. 대역통과 필터의 경우 고주파잡음에서는 어느 정도 효과가 있으나 백색잡음 제거에서는 좋은 효과를 기대하기 어렵다. 그리고 대역통과 필터는 약간의 신호의 왜곡을 일으키는 단점도 있다.

본 연구에서는 고주파잡음과 백색잡음에서 좋은 효과를 기대할 수 있고, 신호의 왜곡도 거의 일어나지 않는 웨이브렛 필터를 사용하였다. 이는 진단의 정확도를 높이는데 효과를 기대할 수 있다. 웨이브렛은 신호의 분석에서 다양

한 스케일에 대응하는 분석 능력이 뛰어나다. 망막전도 신호를 6개의 휘도를 이용하여 초기 광수용기 응답을 분석한 논문도 발표되고 있다.^[2] 본 논문에서는 웨이브렛을 이용하여 ERG 신호를 각 주파수로 분해한 뒤 잡음을 제거하였다. 웨이브렛 변환은 잡음 제거할 때 신호의 변형 특히 진폭의 변화를 작게 발생시킬 수 있는 장점 때문에 심전도(electrocardiogram, ECG) 잡음제거에서도 많이 이용되고 있다.^[3-5]

이 론

1. 망막전도 신호

망막전도 검사는 망막의 기능을 객관적으로 측정하는 비침습성의 검사이다. 1853년 Holmgren이 망막에서 전위도가 존재한다는 사실을 발견하였다. 1877년 Dewar가 최초로 인간의 망막전도를 측정하였다.^[6] 현재 국소적인 망막 기능 이상을 발견할 수 있어 널리 이용되고 있다.^[7] 망막전도 기록은 암순응 후 측정하게 된다. 높은 강도의 빛을 조명하였을 때 눈에 나타나는 전위 차이를 측정하는 것이다. 각막에 있는 콘택트렌즈의 전극을 기준전극으로 이마에 부착된 전극을 활성전극으로 하여 측정한다. Fig. 1에서 망막전위도는 최저점의 잠복기인 음성 전위와 최고점의

*Corresponding author: Jung-Ick Seo, TEL: +82-53-320-1864, E-mail: raphael@dhc.ac.kr

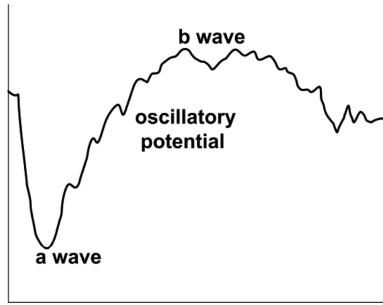


Fig. 1. Eelectroretinogram(ERG) signal.

양성 전위로 구성되고, 음성 전위를 a파, 양성 전위를 b파라고 하며 망막세포층의 추체와 간체에서 발생하는 a파와 양극세포와 신경절 세포에서 발생하는 b파 사이의 4~5개의 작은 전위를 oscillatory potential이라 한다.^[8] 망막의 기능은 a파와 b파 그리고 oscillatory potential 로 측정하게 된다.

2. 웨이브렛 변환

웨이브렛 변환은 기본 함수로 sin, cos 함수 이외의 웨이브렛 모함수를 사용하여, 시간과 주파수의 국부성을 이용한 신호를 저역통과 필터(low pass filter)와 고역통과 필터(high pass filter)에 적용한 후, 다운 샘플링(down sampling)을 행하고, 다해상도로 분해한 후 신호를 분석 및 제거한다. 다해상도 표현과 연관된 wavelet 변환의 정의는 식 (1)과 같다.^[9]

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

$\psi(t)$ 는 원형 wavelet이고 $\psi(t)$ 를 b만큼 이동하고, a만큼 확장하여 주파수 영역에 따른 다해상도(multi-resolution)를 가진다. 즉, 지속시간이 짧은 고주파신호에 대해서는 짧은 윈도우 함수를 사용하고 지속시간이 긴 저주파 신호에 대

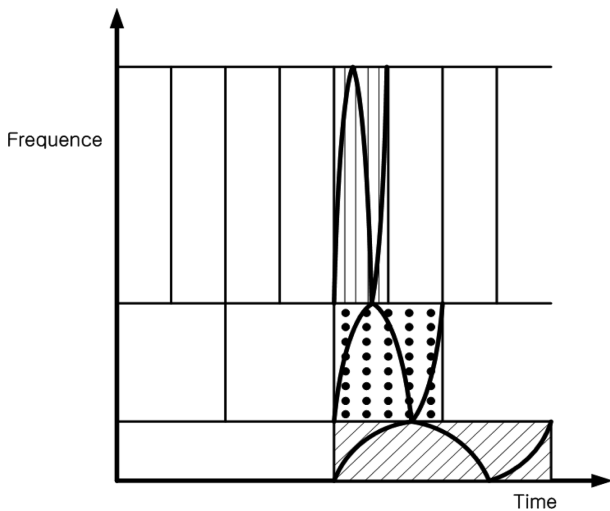


Fig. 2. Mutiresolution wavelet transforms.

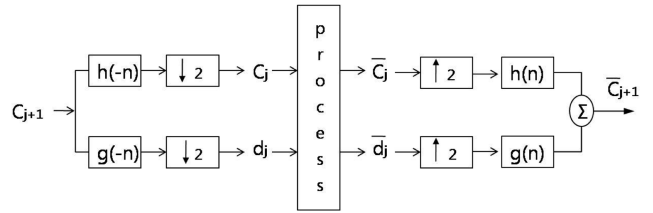


Fig. 3. Signal resolved and composed using wavelet transforms.

해서는 긴 윈도우 함수를 사용하여 주파수 영역에 따른 다중해상도를 가지게 된다.^[10] Fig. 2는 다해상도 웨이브렛 형태를 나타낸다. 신호의 주파수 특성에 맞추어 효율적으로 웨이브렛 계수를 조절할 수 있기 때문에 주파수 및 시간영역에 대한 분해능이 서로 다른 형태를 나타내면서 신호를 다양하게 관측할 수 있는 필터 구조를 가진다.^[11]

Fig. 3은 웨이브렛 변환에서의 신호 분해 및 복원 과정을 나타낸 것으로 입력신호 C_{j+1} 을 2개의 대역으로 직교 분해하여 적절한 처리를 거쳐 복원한다. $h(n)$ 은 저역통과 필터, $g(n)$ 은 고역통과 필터이다. 여기에서 $-n$ 은 다운 샘플링(down sampling)을, n 은 업 샘플링(up sampling)을 의미한다.

실험방법

본 연구에서 신호처리를 위해 matlab(version 7.10.0, MathWorks, 미국) 프로그램을 사용하였다. 실험데이터는 샘플링 주파수가 400 Hz인 망막전도(ERG) 데이터를 사용하였다. 실험 데이터는 수학적 모형으로 제작하였다. 이는 잡음제거 결과를 객관적으로 비교하기 위해서 사용되는 SNR을 계산하기 위해서이다. 그리고 이 수학적 모형 망막전도 데이터에 60 Hz의 노이즈와 백색잡음을 인위적으로 추가하기 위해 60 Hz의 sin파와 무작위(random) 주파수를 합성하여 본 실험에 사용할 샘플파형을 제작하였다.

웨이브렛 변환의 설정조건으로는 모함수 다우비치7(db7,

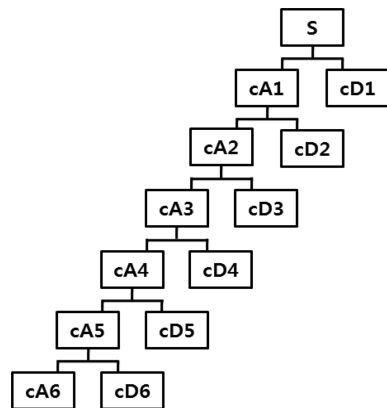


Fig. 4. Frequency resolved process using wavelet transforms.

Table 1. Frequency resolved unit: Hz

| | Approximation | Detail |
|----------|---------------|---------|
| Original | 400 | |
| 1 | 0~200 | 200~400 |
| 2 | 0~100 | 100~200 |
| 3 | 0~50 | 50~100 |
| 4 | 0~25 | 25~50 |
| 5 | 0~12.5 | 12.5~25 |
| 6 | 0~6 | 6~12.5 |

Daubechie7)을 사용하여 6 단계(level)까지 분해하였다. Fig. 4는 웨이브렛을 이용한 망막전도 주파수의 분해를 표현한 것이고, Table 1은 6 단계까지 분해하였을 때 샘플링 주파수에 따른 주파수 분해도를 보여준다. 잡음을 제거하기 위해 3 단계에서 6 단계의 고주파 대역인 상세계수(detail coefficient) 부분을 문턱치(thresholding) 처리하였다.

웨이브렛 변환에 의한 필터링 성능 결과치를 비교하기 위한 필터로는 일반적으로 많이 사용하는 대역통과 필터를 사용하였다.

두 필터의 성능과 신호왜곡 정도를 평가하기 위해 각 필터를 이용하였을 때 파형 결과치의 신호대잡음비(SNR, signal to noise ratio)를 구하여 비교하였다. 신호대잡음비를 구하는 공식은 식 (2)와 같다.^[12]

$$SNR = \log_{10} \left(\frac{\sum_{i=1}^N (x')^2}{\sum_{i=1}^N (x-x')^2} \right) \quad (2)$$

여기서 x' 는 비교대상 신호를 의미하고 x 는 원신호를 의미한다.

결과 및 고찰

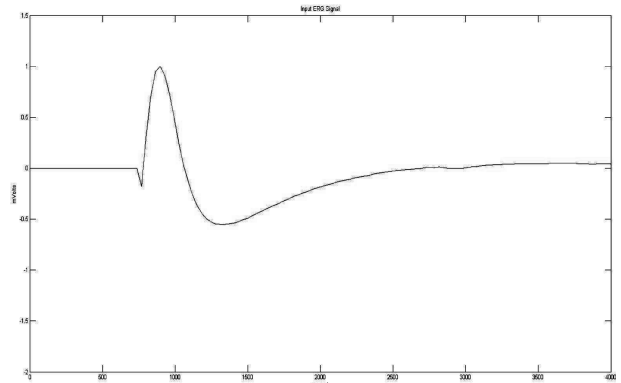
1. 출력 파형 비교

Fig. 5는 샘플링 신호와 60 Hz 및 백색잡음이 추가된 신호의 파형을 나타낸 것이다.

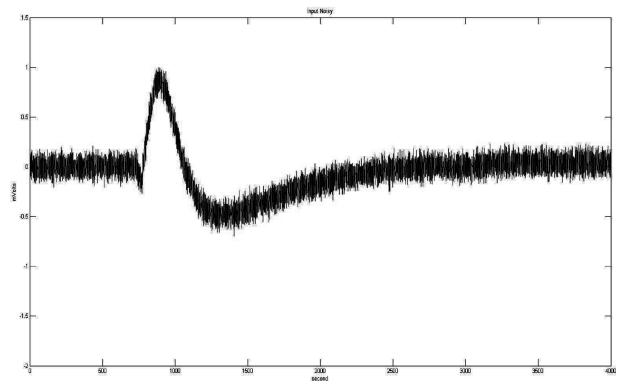
Fig. 6는 웨이브렛 변환과 대역통과 필터를 이용하여 잡음을 제거한 결과이다. 웨이브렛을 이용한 경우 대역통과 필터를 이용한 경우보다 60 Hz 잡음제거도 많이 되고, 망막전도 신호의 왜곡도 적게 나타났음을 알 수 있다.

2. 푸리에 변환 스펙트럼 비교

Fig. 7은 푸리에 변환(Fourier transform) 스펙트럼을 나타낸 것이다. (a)는 샘플링 망막전도 신호를 분석한 것으

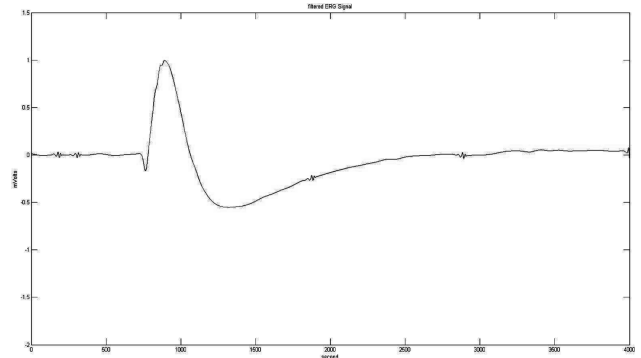


(a) Sampling ERG.

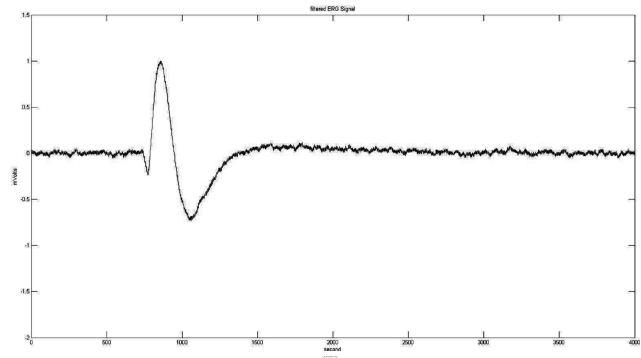


(b) Noisy ERG.

Fig. 5. Sampling and noisy ERG.



(a) Wavelet transforms



(b) Bandpass filter

Fig. 6. Filtering results.

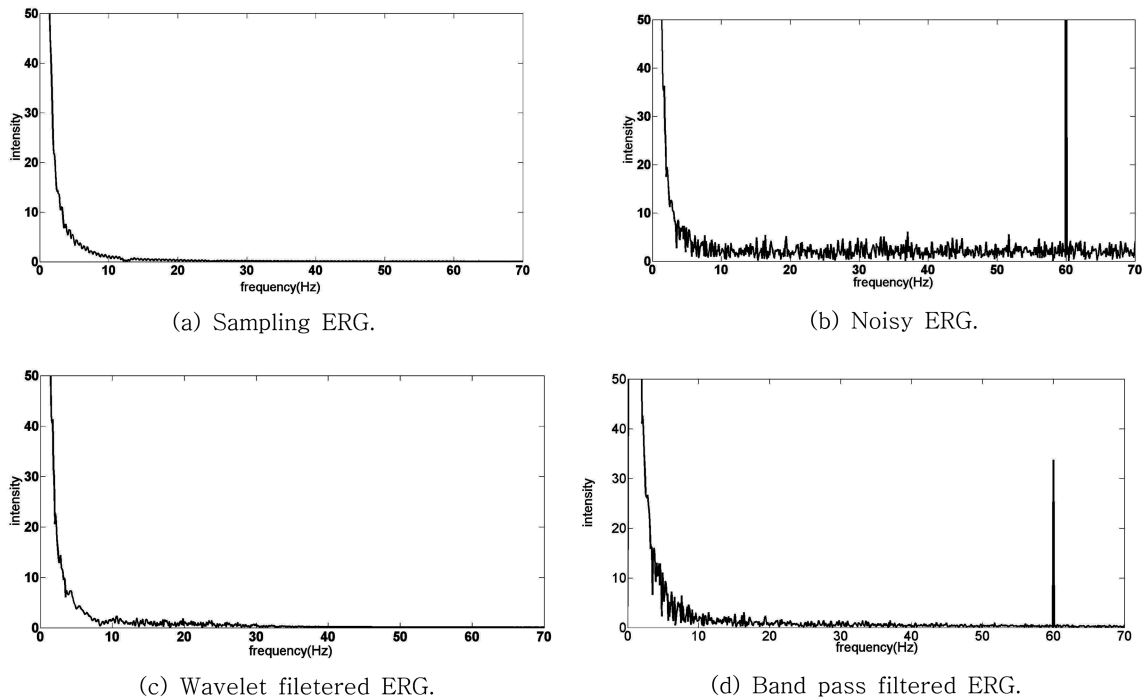


Fig. 7. Fourier transform spectrum.

Table 2. SNR value

| | Wavelet | Bandpass filter |
|--------|---------|-----------------|
| Noisy | 8.5772 | 8.5772 |
| Filter | 31.4410 | 12.6463 |
| SNR | 22.8638 | 4.0691 |

로 저주파에 신호가 들어있다. (b)는 noisy 망막전도 신호를 분석한 것으로 60 Hz 노이즈가 발생되어 있고 전체 주파수에 걸쳐 백색잡음이 작은 크기로 발생되어 있다. (c)는 웨이브렛을 이용하여 필터링한 것으로 60 Hz는 완전히 제거하였고, 백색잡음도 상당부분 제거되어 있음을 알 수 있다. (d)는 대역통과 필터를 이용하여 필터링 한 것으로 60 Hz도 완전히 제거 되지 않고 남아있고, 백색잡음도 상당부분 남아 있음을 알 수 있다.

3. 신호대잡음비(SNR) 비교

Table 2는 각 필터에 대한 잡음제거 성능을 객관적으로 평가하기 위하여 신호대잡음비(SNR)을 비교한 결과이다. 웨이브렛 변환은 SNR값이 22.8638, 대역통과 필터는 4.0691로 측정되었다. 대역통과 필터의 경우 ERG 신호의 왜곡으로 인하여 신호대잡음비(SNR) 값이 적게 측정되었다.

결론

생체신호 잡음 제거에 관련된 연구는 심전도 신호에서

웨이브렛을 이용하여 활발하게 이루어지고 있다. 하지만, 망막전도 신호에서는 웨이브렛을 이용한 잡음 제거 연구가 많이 이루어지지 않고 있는 실정이다. 이에 웨이브렛을 이용한 잡음 제거에 망막관련 질환 진단의 자료로 활용되고 있는 망막전도 신호 측정시 진단의 오류를 발생시킬 수 있는 잡음을 효과적으로 제거하기 위한 신호처리 방법으로 수학적으로 샘플링 된 표준파형에 인위적인 잡음을 추가하고 웨이브렛 변환을 이용한 신호처리와 대역통과 필터를 이용한 결과를 비교분석 하였다. 그 결과 현재 일반적으로 사용되고 있는 대역통과 필터에 비해 원파형의 왜곡이 적고 신호대잡음비(SNR)의 값이 더 좋은 결과를 나타내었다. 신호대잡음비(SNR) 값을 비교하면 웨이브렛 변환은 22.8638, 대역통과 필터는 4.0691값을 보여주었으며, 이 차이는 대역통과 필터에서 a파의 왜곡으로 발생한 결과이다. 푸리에 변환 스펙트럼 비교에서도 대역통과 필터에서 제거되지 않은 60 Hz와 백색잡음이 웨이브렛 변환을 이용하였을 때 상당부분 제거된 결과를 나타내었다. 하지만, 아직 백색잡음의 제거 부분과 본 연구에서 제시한 방법을 이용하여 실측된 파형에 대한 적용사례 부문에서 더 많은 연구가 필요한 것으로 사료된다.

REFERENCES

[1] Komaromy AM, Brooks DE, Dawson WW, Kallberg ME, Ollivier FJ, Ofri R. Technical issues in electrodiagnostic recording. *Veterinary Ophthalmology*. 2002;5(2):85-91.
 [2] Barraco R, Persano Adorno D, Brai M. ERG signal analy-

- sis using wavelet transform. *Theory Biosci.* 2011;130(3): 155-163.
- [3] Alfaouri M, Daqrouq K. ECG signal denoising by wavelet transform thresholding. *American Journal of Applied Sciences.* 2008;5(3):276-281.
- [4] Umamaheswara Reddy G, Muralidhar M, Varadarajan S. ECG de-noising using improved thresholding based on wavelet transforms. *International Journal of Computer Science and Network Security.* 2009;9(9):221-225.
- [5] Han JY, Lee SK, Park HB. Denoising ECG using translation invariant mutiwavelet. *International Journal of Electrical and Electronics Engineering.* 2009;3(3):138-142.
- [6] Dewar J. The physiologic action of light. *Nature.* 1877;15: 433-435.
- [7] On YH, An YS. Clinical applications of multifocal electroretinography (mfERG). *Journal of Korean Ophthalmological Society.* 2002;43(10):1901-1917.
- [8] John GW. *Medical instrumentation: Application and design*, 4th Ed. New Jersey: John Wiley&Sons Inc., 2011; 160-162.
- [9] Lee SH, Yoon DH. *Introduction to the wavelet transform*, 2nd Ed. Seoul: Jinhon books, 2003:51-53.
- [10] Choi CH, Kim YJ, Kim TH, Ahn YH, Shin DR. Information processing and interdisciplinary technology; analysis of QRS-wave using wavelet transform of electrocardiogram. *Journal of Biosystems Engineering.* 2008;33(5): 317-325.
- [11] Kang HB, Kim DK, Seo JG. *Wavelet theory and its applications.* 1st Ed. Seoul: Acanet, 2001;2-6.
- [12] Chinchkhede KD, Yadav GS, Hirekhan SR, Solanke DR. On the implementation of FIR filter with various windows for enhancement of ECG signal. *International Journal of Engineering Science and Technology.* 2011;3(3): 2031-2040.

De-Noising of Electroretinogram Signal Using Wavelet Transforms

Jung-Ick Seo* and Eun-Kyoo Park

Dept. of Ophthalmic Optics, Daegu Health College, Daegu 702-722, Korea
(Received May 3, 2012; Revised June 8, 2012; Accepted June 16, 2012)

Purpose: Electroretinogram(ERG) signal noise as well as conducting other bio-signal measurement were generated. It was intended to enhance the accuracy of retinal-related diagnosis with removing signal noise. **Methods:** Sampling signal was made with generating 60 Hz noise and white noise. The noise were removed using wavelet transforms and bandpass filter. De-noising frequency was compared with Fourier transform spectrum. Removed noises were compared numerically using SNR(signal to noise ratio). **Results:** The result compared Fourier transform spectrum was showed that 60 Hz noise removed completely and most of white noise was removed by wavelet transforms. 60 Hz and the white noise remained using bandpass filters. The result compared SNR showed that wavelet transforms was 22.8638 and bandpass filter was 4.0961. **Conclusions:** Wavelet transform showed less signal distortion in removing noise. ERG signal is expected to improve the accuracy of retinal-related diagnosis.

Key words: Electroretinogram, Wavelet, Noise