

# EEG신호의 파형감지를 위한 Signal Conditioning 필터에 관한 연구

장태규\*, 조재희\*\*, 양원영\*\*

\* 중앙대학교 공과대학 제어계측공학과

\*\* 중앙대학교 공과대학 전기공학과

## Signal Conditioning Filters for EEG Waveforms Detection

Tae G. Chang\*, Jae H. Cho\*\*, Won Y. Yang\*\*

\* Dept. of Control & Instrumentation Engineering, Chung-Ang University

\*\* Dept. of Electrical Engineering, Chung-Ang University

### Abstract

Automated analysis of EEG invariably requires the inclusion of a signal conditioning filter. This paper investigates the EEG waveform distortions caused by the transient responses of the various types of signal conditioning filters. This study explicitly simulates the filter responses to the typical EEG waveform models, and compares the distortions.

### 1. 서론

훈련된 사람의 EEG 해석은 시각적으로 다중채널 신호에 나타나는 파형들을 검출하는데 그 기반을 두므로, 이와 같은 EEG 파형검출이 자동해석에 있어서도 주요한 단계가 된다. [1][2] 따라서 다양한 EEG/EOG/EMG 파형들에 대해 적합한 감지기준치(detection criteria)를 정립하는것은 자동해석에 있어서 매우 중요한 과정이다. 대부분의 EEG 파형들은 그림 1 에서 보는바와 같이 짧은 시구간 (보통 1초이하) 동안 존재하는 Sinusoidal Burst 형태이다. 이러한 파형들을 일컬어 흔히 스핀들 (spindle) 이라 부르며 더욱세분하여 Spindle의 내주기성 (Intra-periodicity)에 따라 Alpha, Beta, Sigma, Theta 스핀들 이라 일컫는다. Delta (델타) 파형은 반파형의 구간성 (half-wave periodicity)에 의해 구분한다.

EEG 파형들은 언제나 배경잡음과 함께 나타난다. 따라서 파형감지를 위해서는 대부분의 경우 배경잡음을 없애주고 원하는 파형을 뚜렷하게 하여주기 위한 목적으로 Signal

※ 본 연구는 한국과학재단 목적기초연구과제 91-01-00-04의 지원에 의하여 이루어 졌음

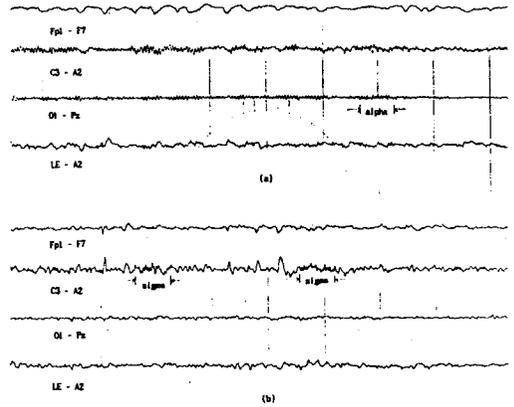


Fig. 1. Multichannel EEG/EOG signal.

(a) EEG/EOG in awake state (b) EEG/EOG in sleep state.

그림 1. 다중채널 EEG/EOG 신호

(a) 깨어있는 상태의 EEG/EOG (b) 잠든 상태의 EEG/EOG.

Conditioning Filter를 사용한다. 이와같은 목적으로 필터를 사용하는 경우 외에도, 데이터를 채집하는 여러과정에 필터가 개입한다. EEG 기계에서 신호를기록할때 과도한 DC 전위가 나타나는 것을 방지하기위해 AC 결합방식의 증폭기를 사용하는 것은 Highpass 필터가 개입된 경우의 예다. 60 Hz의 전력선 잡음을 제거하기 위하여 Notch 필터를 사용하는 것도, 파형감지를 위한 의도적인 Signal Conditioning 목적에 의해 필터가 중간과정에 개입한 예이다.

주목하여야할 점은 이러한 필터들은 원하지않는 주파수성분의 신호들을 제거하는 뿐만 아니라 원하는 파형성분에 왜곡 (distortion)을 가한다는 사실이다. 특히 EEG 파형들은 짧은 시구간동안 존재하는 과도현상적인 신호이기 때문에 필터의 과도현상에 의한 EEG 파형의 왜곡은 심각한 문제에

이다. 따라서 전형적인 EEG 파형 모델, 즉 Sigma 스파이크와 Delta파를 가지고 여러 종류의 필터에 대하여 나타나는 왜곡들을 비교 분석하여 EEG Signal Conditioning 필터를 설계하는데 주요한 지침자료로 사용하고자한다. 또한 이러한 연구 결과는 Signal Conditioning 필터의 설계뿐 만이 아니라 여러 종류의 EEG 파형감지를 위한 Criteria 설정을 위하여서도 중요한 정보이다.

## 2. 필터의 과도응답

대부분의 경우 감지하고자하는 파형성분을 보존하고 원하지않는 배경 및 잡음성분을 제거하기위한 목적으로 Bandpass 형태의 필터를 사용한다. 따라서 해당하는 파형의 내주기성에 의해 Signal Conditioning 필터의 Cutoff 주파수를 결정한다. 이때 이와같은 통과대역은 정상상태에서 필터의 주파수 선택적인 응답특성을 의미한다. 하지만 앞에 언급한 바와 같이 필터는 잡음제거 역할외에 관심대상인 EEG파형 자체도 왜곡 시키며, 이 경우 짧은 시구간에 존재하는 EEG 파형에 대한 왜곡에 주된 영향을 미치는 것은 필터의 과도응답 특성이다.

이러한 영향에 대한 분석목적으로, 여러형태의 Bandpass 필터들을 설계하고 과도현상에 의한 왜곡을 Sigma 스파이크 파형 모델, 즉, 0.5초 구간의 13.5 Hz Sinusoidal Burst를 대상으로 검토하였다. 또한 0.5Hz 사인파의 한주기를 이용하여 Delta파에 미치는 왜곡현상을 여러 형태의 Signal Conditioning 필터에 대하여 검토하였다. 좁은 통과대역 (12 - 16 Hz)과 상대적으로 넓은 통과대역(12 Hz - 36 Hz)을 갖는 2차 및 4차의 Butterworth 필터를 설계하였다. 12 - 16 Hz의 대역폭은 시그마 스파이크의 내주기 범위와 일치한다. 델타 파형에 미치는 왜곡현상을 검토하기 위해서는 통과대역이 각기 0.1 - 2.0 Hz, 0.1 - 10.0 Hz이 되도록 2차 Butterworth 필터들을 설계하였다. 이같이 설계된 아날로그 필터들에 Bilinear Transform 기법을 적용하여 디지털 IIR 필터들을 설계하였다.[3] 이때 필터들의 샘플링 주파수는 시그마 스파이크 필터에 대해선 240 Hz, 델타 필터에 대해선 70Hz로 하였다. 이와 같은 샘플링 주파수들은 스파이크의 내주기성과 주파수 측정오차에 대한 Resolution을 고려하여 설정하였다. 설계한 필터들은 Floating-point 연산을 이용하여 구현하였으므로, 양자화 영향과 Finite Word Length 영향은

고려하지 않았다. Butterworth 필터는 Passband에서 최대로 평활한 특성을 갖는다. 따라서 Chebyshev, Elliptic 필터들은 대등한 Butterworth 필터에 비해 더불리한 과도특성을 보인다. 실시간처리를 위하여 Comb 필터와 Complex Conjugate zero 들을 조합하여 Floating-point 곱셈이 없는 선형위상 Bandpass FIR 필터를 설계하고 이러한 필터의 왜곡현상을 IIR 필터와 비교검토하였다.

## 3. 실험 및 결과

그림 2 에 2차 Butterworth 필터가 델타 입력에 대해 나타낸 출력을 입력과 비교하여 보였다. 델타 Conditioning 필터들은 상당히 많은 파형 왜곡 현상을 야기하는 것을 알 수 있다. 반 주기에 대해 최대 크기기준으로 약 28% 가 감소하였고 주기에 있어 약 16% 의 감소를 보인다.

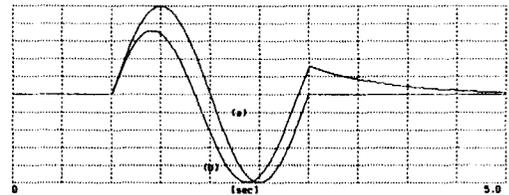


Fig. 2. Output of the 2nd-order Butterworth filter (0.1-10Hz) (a) 0.5Hz sinusoidal input, (b) output of the filter.

그림 2. 2차 Butterworth 필터의 출력 (a) 0.5Hz의 정현파 입력 (b) 필터 출력

그림 3에 시그마 스파이크 입력에 대하여 서로다른 세 필터들에 의해 나타나는 출력들을 나타내었다. 여기서 일반적으로 필터 차수가 증가할수록 왜곡은 커짐을 알 수 있다. 현대적 4차 Butterworth 필터가 가장 심한 왜곡을 보이는 것을 알 수 있다. 이 경우, 첫째 peak의 크기는 입력에 비해 오직 5% 에 불과하는 것을 볼 수 있다. 일곱번째 peak에 이르러서도 약 5% 정도의 크기 감소가 있는 것을 볼 수 있다. 광대역 필터가 일반적으로 좁은대역 필터에 비하여 파형왜곡이 작음을 확인할 수 있다. 선형위상 FIR 필터의 경우가 왜곡현상이 가장 작음을 알 수 있다. 첫째 peak에서 약 38%의 크기 감소가 있고 다음 부터는 크기에 왜곡현상이 없음을 알 수 있다. 그림 4에 필터들의 크기왜곡을 정리하여 보였다.

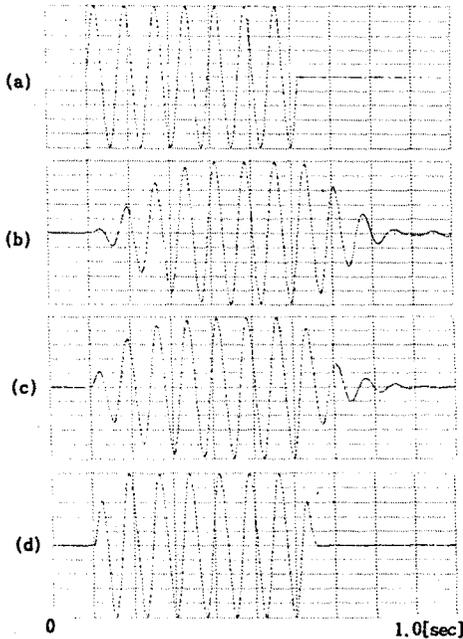


Fig. 3. Outputs of the filters to the 13.5Hz sinusoidal burst. (a) 13.5Hz sinusoidal burst (b) 4th-order Butterworth filter output (12-16Hz) (c) 2nd-order Butterworth filter output (12-16Hz) (d) linear phase FIR filter output (12-36Hz)

그림 3. 13.5Hz의 정현파에 대한 필터의 출력 (a) 13.5Hz의 정현파 (b) 4차 Butterworth 필터의 출력 (12-16Hz) (c) 2차 Butterworth 필터의 출력 (12-16Hz) (d) 선형 위상 FIR 필터의 출력 (12-36Hz)

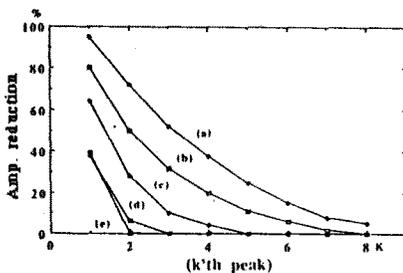


Fig. 4. Summary of distortions in terms of peaks amplitude reduction. (a) 4th-order Butterworth filter (12-16Hz) (b) 2nd-order Butterworth filter (12-16Hz) (c) 4th-order Butterworth filter (12-36Hz) (d) 2nd-order Butterworth filter (12-36Hz) (e) linear phase FIR filter

그림 4. 크기 왜곡 영향에 대한 요약 (a) 4차 Butterworth 필터 (12-16Hz) (b) 2차 Butterworth 필터(12-16Hz) (c) 4차 Butterworth 필터(12-36Hz) (d) 2차 Butterworth 필터 (12-36Hz) (e) 선형 위상 FIR 필터

#### 4. 결론 및 검토

실험 결과로부터 여러 형태의 Signal Conditioning 필터들의 과도현상으로 인해 EEG파형에 나타나는 왜곡현상을 비교검토하였다. 이로 부터 필터의 과도현상에 의해 파형의 크기와 주기에 일반적으로 왜곡이 발생하는 것을 확인하였다. 일반적으로 필터의 통과대역이 클 수록 또한 필터의 차수가 낮을 수록 왜곡현상이 덜 두드러지는 것을 확인 하였다. 파형왜곡에 대해서 선형위상 FIR 필터가 상대적인 IIR 필터에 비해 견실함을 확인 하였다. 이와같은 직접적인 시뮬레이션에 의한 파형왜곡 해석은 파형감지를 위한 Signal Conditioning 필터의 설계뿐만 아니라, 파형 감지 Criteria 설정에 매우 유용한 정보이다.

#### 참고문헌

- [1] J.R. Smith, Automated Analysis of Sleep EEG Data, Handbook of Electroencephalography and Clinical Neurophysiology, Vol. 2, Elsevier Science Publishing Co., Inc., New York, 1986, pp. 131-147.
- [2] T.G. Chang, J.R. Smith, and J.C. Principe, "An Expert System for Multichannel EEG/EOG Signal Analysis," ISA Transactions, Vol. 28, No.1, 1989, pp. 45-51.
- [3] A.V. Oppenheim and R.W. Schaffer, Digital Signal Processing, Prentice-Hall Inc., 1975.