

Time-Frequency Mapping에 의한 뇌파의 변화량 분석에 관한 연구

김 정 환*, 황 민 철**, 임 재 중***

SSORATEK, (주) I.B.M 부설연구소*, 한국표준과학연구원 인간공학연구실**,
인제대학교 보건대학 의용공학과***

A Study for the Analysis of EEG Variation based on Time-Frequency Mapping

J.H. Kim*, M.C. Whang**, J.J. Im*

SSORATEK, I.B.M. Co., Ltd, Technical Research Institute*,
Ergonomics Laboratory, Korea Research Institute of Standards and Science**,
Department of Biomedical Engineering, Inje University***

ABSTRACT

We are exposed to the various external stimuli input from the environment, which cause emotional changes based on the characteristics of the stimuli. Unfortunately, there are no quantitative results on relationship between human sensibility and the characteristics of physiological signals. The objective of this study was to quantify EEG signals evoked by auditory stimulation based on the assumption that the analysis of the variability on the characteristics of the EEG waveform may provide the significant information regarding changes in psychological states of the subject. The experiment was devised with seven experimental conditions, which are control and six different types of auditory stimulation. Six subjects were used to obtain EEGs while introducing auditory stimulation. Wavelet transformation was employed to analyze the EEG signals. The results showed that the reconstructed signals at the decomposition level revealed the different energy value on the EEG signals. Also, general patterns of EEG signals in rest state compare with negative and positive stimulus were found. This study could be extended to establish an algorithm which distinguishes psychophysiological states of the subjects exposed to the auditory stimulation.

서 론

모든 생명체에서는 생체 항상성의 유지를 위한 여러 가지 생리적 현상들이 이루어지는 과정에서 나름대로의 특별한 의미를 가지고 있는 생체신호들이 계속 발생되고 있으며, 이들 신호를 검출하여 신경정신계통의 연구에 이용하고자 하는 움직임들이 많이 진행되고 있다. 그 중에서도 뇌기능에 대한 검사는 환자의 신경정신계통의 이상 유무에 대한 판단 및 심리적인 변화 상태의 추세를 보기 위한 중요한 척도의 하나로 널리 사용되고 있으며

이를 위한 검사들이 개발, 이용되어 왔다. 인간공학 및 감성공학분야 전반에서 볼 수 있는 공통된 사실은 생체신호에 대한 정량적인 측정과 분석을 가장 선행적인 내용으로 다루고 있으며, 그러한 측정 및 분석기술의 축적이 연구성과의 가장 큰 관건이라 할 수 있겠다. 즉, 외부환경의 변화나 오감에 대한 자극의 변화에 따른 인간의 중추신경계와 자율신경계의 통합적 조절능력에 의해 나타나는 생체신호의 변화들은 본 연구에서와 마찬가지로 청각자극에 의한 정서상태의 변화를 객관적으로 평가하기 위해 고려하여야 할 기초적이면서도 큰 비중을 차지하는 요소라 할 수 있다. 그러나, 이러한 사실 또한 인간의 경우 그 반응이 단순하지 않아 개인의 문화적, 사회적 경험 등에 의해 다르게 나타날 수도 있는 특징을 가지고 있다[1-4].

이러한 인간의 높은 수준의 정서상태로 정의되고 인간의 인지과정 또는 정보처리 과정에서 발생하는 정서상태를 대표할 수 있는 생체신호들의 분석은 크게 시간영역의 분석과 주파수영역의 분석들로 많이 소개되어져 왔으나, 이러한 해석법들은 비주기적인 신호라든지 일시적인(transient) 시간영역을 갖는 신호에 포함될 수 있는 정보의 해석에 만족스러운 결과를 보여주지 못하고 있으며 분석이 정량적이지 못하고 전문판독가의 학습경험이나 임상경험에 의존하고 있는 실정이다. 이러한 이유로 신호의 정보손실로 인한 객관적인 판단의 가치는 낮아지게 되었다. 그러므로 시간 및 주파수 영역에서의 분석이 부적절한 특이한 생체신호들의 정보량을 정량화하는 문제에 있어서는 새로운 신호처리 및 분석에 관한 알고리즘의 개발과 적용이 절실히 요구되고 있는 실정이다[5-9].

본 연구는 Time-Frequency 분석의 일종인 웨이브렛변환(wavelet transform)을 통해 청각자극으로 인해서 유발되어지는 EEG신호의 변화량을 시간대역과 주파수대역에서 규명하기 모호한 부분의 정보량들을 분석, 정량화하고자 수행하였다. 이는 환경변화에 의해 유발되어지는 인간의 심리적인 상태의 변화량들을 생체신호의 측정과 정량적으로 분석한다는데 그 의의가 있고 이를 통해 제품, 환경, 작업등의 설계를 위한 선행연구과제에도 크게 응용될 수 있을 것이다.

실험 방법

본 연구는 청각자극에 대한 뇌파를 객관적이고 정량적으로 분석하여 자극에 대한 정서 상태와의 상관성을 파악하는데에 그 중점을 둔다. 본 실험을 위해 청각장애가 없는 20세 전후의 남,녀 6명을 대상으로 청각의 자극제 조건들을 변화하면서 피검자들의 뇌파를 측정하였다. 수집된 데이터들은 기존의 시간영역, 주파수영역 및 시간-주파수영역과 병행하여 wavelet transform algorithm을 적용하여 검출된 뇌파신호의 변화상태를 분석하는데 이용하였다.

청각자극음은 20KHz의 샘플링주파수를 갖는 CD음원에서 선택한 것으로 주파수대역이 1KHz~5KHz인 파도소리, 종소리, 새소리, 아기울음소리, 사슬툽소리, 자동차 충돌소리로 구성하였으며, 오디오시스템(Inkel, AVP-8500G)을 통하여 가로 2.5m, 세로 4.5m, 높이 3m규격의 피검자실 내에서 제시하였다. 본 실험에 들어가기 앞서 피실험자의 참여도와 실험충실도를 높이기 위해 피실험자교육을 실시하였고, 뇌파측정장치는 23개의 다중채널에서 동시에 뇌파의 수집이 가능한 Cadwell Spectrum 32를 사용하였고, 10/20 system에 따른 전극배치가 되어 있는 head cap(S32 HCI)을 사용하였다. 뇌파의 수집에 앞서 피검자의 머리에 부착한 Head cap의 전극부착 적용시간과 피검자실에서의 환경적응시간 등을 고려하였다.

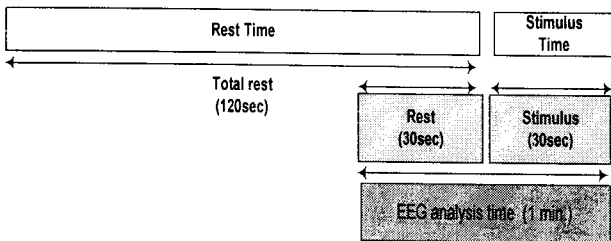


그림 1. 휴식시와 자극시의 뇌파신호의 검출시간.

뇌파는 그림 1에 나타나 있듯이 청각자극이 인가되기 전 휴식시 120초 중 최후의 30초 동안과 자극이 인가되는 30초간을 한 주기로 하여 매번 인가되는 자극에 대해 수집하였다. 샘플링주파수는 204.8Hz로 하고 뇌파의 저주파성분과 고주파성분을 고려하여 0.53Hz와 70Hz의 주파수차단 특성을 갖는 저역차단과 고역차단 디지털필터를 설정하였고, 여파된 뇌파는 다시 100배 증폭하여 실험종료 후 offline processing을 위해 PC에 저장하였다. 또한, 각 실험조건에서는 청각자극에 따른 뇌파의 수집을 마친 후에 설문지를 통하여 제시된 청각자극음에 대한 피검자의 주관적 느낌을 조사하여 그 결과에 따라서 뇌파 데이터를 긍정적반응과 부정적반응의 두 부류로 분류하여 가장 선호한 음에 대한 뇌파를 분류하였다.

본 연구에서는 저장된 신호중에서 primary auditory cortex 부위인 T3, T4, T5, T6의 데이터를 중점적으로 wavelet 변환을 이용하여 처리, 분석하였다. Wavelet이란, $\psi(t)$ 로 정의되는 mother wavelet을 변이시키고, 확대, 축소시킴으로써 얻어지는 함수들의 집합을 말하며, 아래에 wavelet변환의 기본식이 나타나 있다.

$$Wave F(a, b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) f(t) dt. \quad (1)$$

매개변수 a, b 가 실수 ($a, b \in R$ with $a \neq 0$)일 때를 연속 wavelet 변환이라 하고, a, b 가 정수 ($a = a_0^m, b = nb_0 a_0^m$ with $m, n \in Z$ and $a > 1, b_0 > 0$ fixed)일 때 이산 wavelet 변환이라 한다. 이 때 a 는 기저함수의 크기를 조절하는 인자이고, b 는 시간의 위치를 조절하는 인자이다.

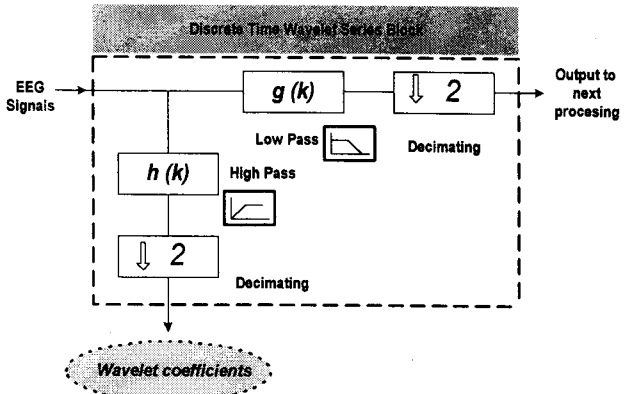


그림 2. 이산 wavelet 변환을 이용한 뇌파의 분할과정 (Discrete Time Wavelet Series Processing Block)

본 실험에서는 wavelet 기저함수 중 Daubechies 2 함수를 사용하였고, 자극의 인가전, 후의 뇌파신호들을 여섯 단계의 주파수대역별로 나누어서 분할처리 하였다.

그림 2는 이산wavelet변환을 이용하여 뇌파를 분할하는 과정의 일례를 나타내고, 최초의 EEG신호 저역통과필터를 통과한 approximation 신호(A1-A6)와 고역통과필터를 통과한 detail 신호(D1-D6)로 분할된다.

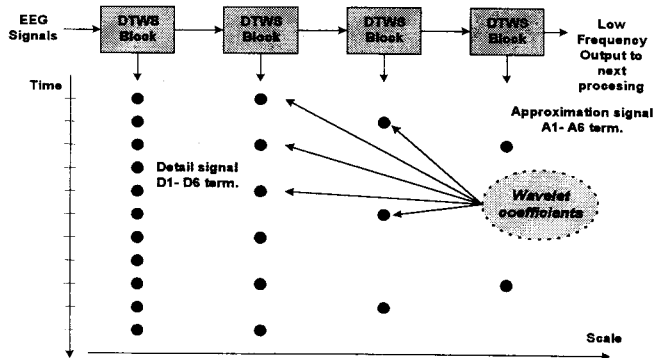


그림 3. Discrete Time Wavelet Series 연산의 block diagram

그리고, 그림 3에서처럼 A1과 D1은 다시 차단주파수가 변경된 저역, 고역통과필터를 거쳐서 A2와 D2로 분할된다. 이때 각각의 분할 과정에 관여하는 필터의 계수값들은 기저함수의 종류에 따라 다르게 결정되고, 분할되는

과정에서 필터성분의 주파수성분 해상도도 달라지게 된다. 결국, Daubechies 2 함수를 이용한 뇌파신호의 wavelet 변환을 통해 분할된 신호들은 highpass filter를 통과한 D1, D2, D3, D4, D5, D6의 값들과 lowpass filter를 통과한 A1, A2, A3, A4, A5, A6로 표현된다. 본 연구에서는 그림 4와 같이 분할되어지는 과정에서 파생되는 wavelet coefficient를 detail성분인 A1-A6과 D1~D6 값을 가지고 긍정자극과 부정자극에 대해서 자극인가전과 자극인가 후를 쌍으로 비교함으로써 시간 및 주파수대역에서의 차이유무를 판정하고자 하였다. 각각의 A1-A6와 D1-D6의 값을 이용하여 긍정반응 및 부정반응시의 뇌파의 분할신호인 wavelet coefficient의 tendency와 dispersion을 살펴 본 결과 지난 번 실험에서와 유사한 경향이 나타남을 관찰 할 수 있었다.[10]

표 1. 긍정반응 및 부정반응시의 뇌파의 분할신호인 Detail5, 6신호의 coefficients의 tendency와 dispersion

변수값 \ 상태	부정반응		긍정반응	
	detail5	detail6	detail5	detail6
Mean	0.02458	0.09561	1.991	1.105
Median	-0.0607	-0.04179	2.004	-1.23
Mode	-1.762	-0.2724	-0.9687	-15.32
Maximum	56.03	67.62	130.1	176.9
Minumun	-49.04	-55.82	-82.47	-118.8
Range	105.1	123.4	212.6	295.7
Standard Deviation	4.014	4.897	26.97	43.22
Median Absolute	1.631	1.942	14.24	26.76
Median Absolute Deviation	2.515	2.896	19.69	33.27

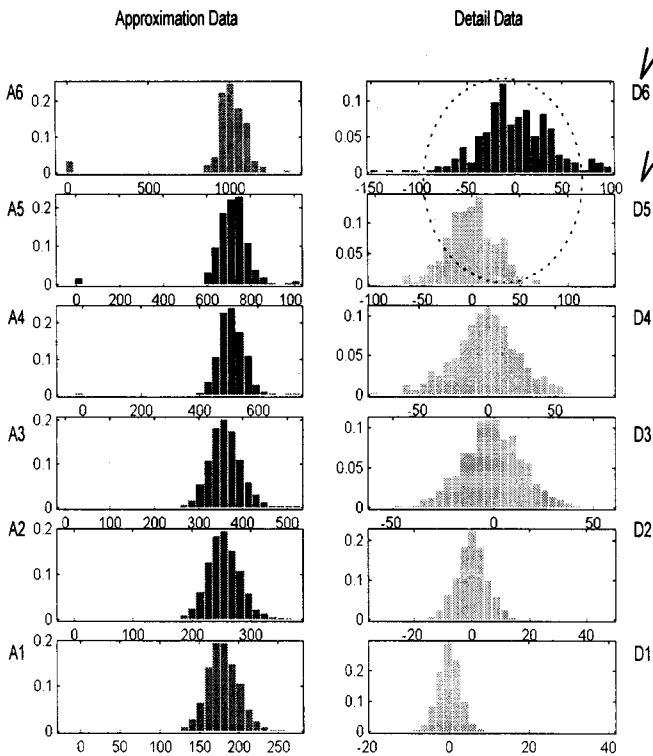


그림 4. 뇌파신호에서의 wavelet coefficient인 A1-A6과 D1~D6

또한 그림 5.에서 처럼 부정적인 자극음이 인가되었을 때는 아래와 같은 pattern의 값들 즉, D5~D6에서 에너지값이 감소한다는 것은 뇌파의 α -wave(4-8Hz)성분이 자극전에 비하여 감소하고 있음을 나타내는 것이다.

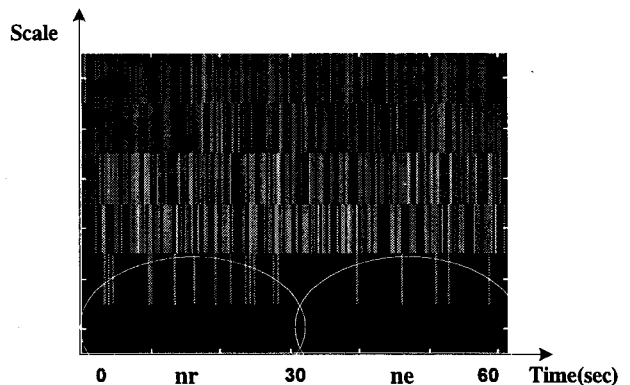


그림 5. 부정적인 자극음의 인가시 T-F Map의 pattern

결과 및 토의

Wavelet 변환을 통해 청각자극음의 인가전과 인가후의 뇌파변화량을 관찰할 수 있었고, 신호의 분할 과정에서 D5, D6 대역의 값들이 유의하게 차이나는 것을 관찰할 수 있었으며, 각 분석에서의 계산되어진 변수의 값들이 표 1에 요약되어 있다.

결론

본 연구에서는 무자극상태에 대해 긍정적인 자극의 인가시 나타나는 wavelet 변환의 시간-주파수공간 표현과 부정적인 자극시 나타나는 시간-주파수공간 표현이 다르게 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 즉, 긍정적인 청각음보다 부정적인 청각음에 대한 뇌파의 변화가 잘 구분되었으며, 자극의 영향은 자극제시후 약 30초간 지속되고 있음을 관찰 할 수 있었다. 이러한 차이로 인해 긍정적인 자극의 뇌파와 부정적인 자극의 뇌파의 구분이 가능

함을 알 수 있었고, 또한 무자극상태와 자극의 인가시 나타나는 시간-주파수영역의 형태에서 시간대역과 주파수대역에서의 값들로 정량화 할 수 있음을 확인하였다. 즉, 본 연구를 더욱 세밀한 단계의 detail 신호의 추출 및 더욱 세분화된 시간축에서의 다양한 변수 추출로 발전시켜 수행한다면 외부자극에 의한 뇌파의 변화량들의 정량화를 위한 알고리즘의 수립에 좋은 자료로서 사용될 수 있을 것이다. 이와 같이 본 연구에서 수행된 wavelet 변환을 이용한 EEG 신호의 특성화 작업은 외부환경변화에 의한 피검자의 심리상태를 분류하는데 유용하게 쓰일 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

- [1] K.H. Chiappa, "Evoked Potentials in Clinical Medicine," New York, RavenPress, 1985.
- [2] N.R. Carson, "Physiology of Behavior," Needham, Massachusetts, Allyn and Bacon, 1991.
- [3] D.E. Hendrickson, "A Model for Intelligence. : The Biological Basis of Intelligence," Part II. Measurement. Berlin, Springer-Verlag, 1982.
- [4] Andreassi, J.L., "Psychophysiology-Human Behavior and Physiological Response," 3rd Ed, New Jersey, Lawrence Elbaum Associates, Publishers, 1995.
- [5] Julius S. Bendat and Allan G. Piersol, "Random data : analysis and measurement procedures," Wiley -Interscience Publication, 1986.
- [6] Robert D. Strum, Donald E. Kirk, "Discrete systems and digital signal processing," Addison Wesley, 1989.
- [7] E. A. Bartnik, K. J. Blinowska, and P. J. Durka, "Single evoked potential reconstruction by means of wavelet transform" Biological Cybernetics. Vol.67, pp. 175-181, 1992.
- [8] P. J. Durka, K. J. Blinowska, "Analysis of EEG Transients by Means of Matching Pursuit," Ann-Biomed-Eng., Vol. 23(5), pp. 608-611, 1995.
- [9] Boris Gramatikov, Sun Yi-chun, Herve Rix, Pere Caminal, Nitish V. Thakor "Wavelet Analysis of the Body Surface ECG Before and After Angioplasty," Ann-Biomed-Eng., Vol. 23(5), pp. 553-561, 1995.
- [10] 김 정환, "Wavelet 변환을 이용한 청각자극에 의해 유발되는 뇌파의 분석에 관한 연구", 인제대학교 대학원 석사학위논문.