

Wavelet변환을 이용한 청각자극에 의해 유발되는 뇌파의 분석에 관한 연구

김정환*, 유일희*, 신정욱*, 임재중*, 황민철**, 김철중**
인제대학교 보건대학 의용공학과*, 한국표준과학연구원 인간공학연구소**

A Study for the Analysis of EEG Signals Evoked by Auditory Stimulus using Wavelet Transformations

J.H. Kim*, I.H. Yoo*, J.W. Shin*, J.J. Im*, M.C. Whang**, C.J. Kim**

Department of Biomedical Engineering, Inje University*

Ergonomics Laboratory, Korea Research Institute of Standards and Science**

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. Twenty 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.

된 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 조절 능력에 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[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].

서론

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[1-3].

본 연구는 웨이블릿변환(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 생리신호의 측정과 정량적으로 분석한다는데 그 의의가 있고 이를 통해 제품, 환경, 작업등의 설계를 위한 선행연구과제에도 크게 응용될 수 있을 것이다.

인간공학 및 감성공학분야 전반에서 볼 수 있는 공통

실험 방법

본 연구는 청각자극에 대한 뇌파를 객관적이고 정량적

으로 분석하여 자극에 대한 정서 상태와의 상관성을 파악하는데 그 중점을 둔다. 본 실험을 위해 청각장애가 없는 20세 전후의 남녀 17명을 대상으로 청각의 자극 제시 조건들을 변화하면서 피검자들의 뇌파를 측정하였으며, 그림 1에 전체적인 실험환경에 대한 구성도가 나타나 있다. 수집된 데이터들은 기존의 시간영역, 주파수영역 및 시간-주파수영역과 병행하여 wavelet transform algorithm을 적용하여 검출된 뇌파신호의 변화상태를 분석하는데 이용하였다.

청각자극

청각자극음은 20KHz의 샘플링주파수를 갖는 CD음원에서 선택한 것으로 주파수대역이 1KHz~5KHz인 파도소리, 종소리, 새소리, 아기울음소리, 사슬톱소리, 자동차 충돌소리로 구성하였으며, 오디오시스템(Inkel, AVP-8500G)을 통하여 가로 2.5m, 세로 4.5m, 높이 3m규격의 피검자실 내에서 제시하였다.

데이터수집

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 환경 적용시간 등을 고려하였다.

뇌파는 그림 2에 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 주

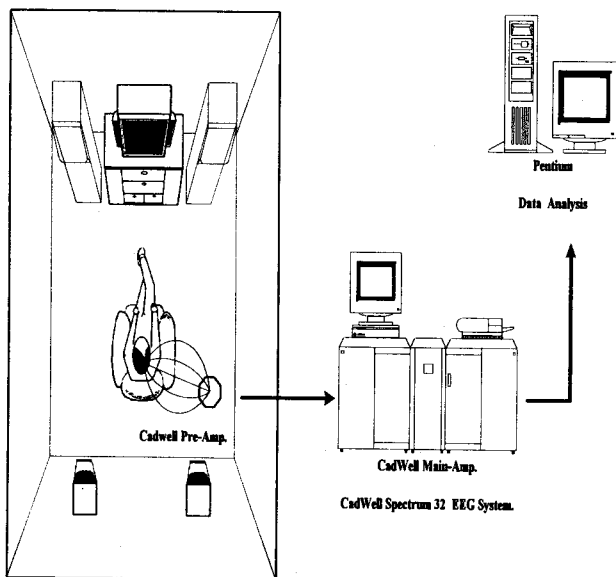


그림 1. 전체적인 실험환경 Setup.

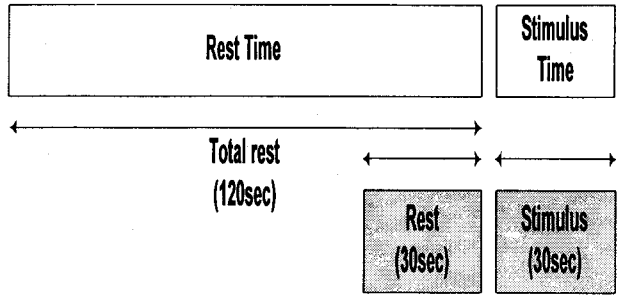


그림 2. 휴식시와 자극시의 뇌파신호의 검출시간.

파수차단 특성을 갖는 저역차단과 고역차단 디지털필터를 설정하였다. 그리고, 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 분류하였다.

데이터 처리 및 분석

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 wavelet변환이라 하고, a, b 가 정수($a = a_0^m, b = nb_0a_0^m$ 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.

본 실험에서는 wavelet 기저함수 중 Haar 함수를 사용하였고, 자극의 인가전과 인가후의 뇌파신호들을 다섯 단계의 주파수대역별로 나누어서 분할처리 하였다. 그림 3은 신호를 분할하는 과정의 일례를 나타낸다. 즉, 최초의 신호 S는 저역통과필터를 통과한 approximation 신호(cA_1)와 고역통과필터를 통과한 detail 신호(cD_1)로 분할된다. 그리고, cA_1 은 다시 차단주파수가 변경된 저역, 고역통과필터를 거쳐서 cA_2 와 cD_2 로 분할된다. 이때 각각의 분할 과정에 관여하는 필터의 계수값들은 기저함수의 종류에 따라 다르게 결정되고, 분할되는 과정에서 필터성분의 주파수성분 해상도도 달라지게 된다. 결국, Haar wavelet 함수를 이용한 뇌파신호의 wavelet 변환을 통해 분할된 신호들은 highpass filter를 통과한 $d1$,

Wavelet변환을 이용한 청각 자극에 의해 유발되는 뇌파의 분석에 관한 연구

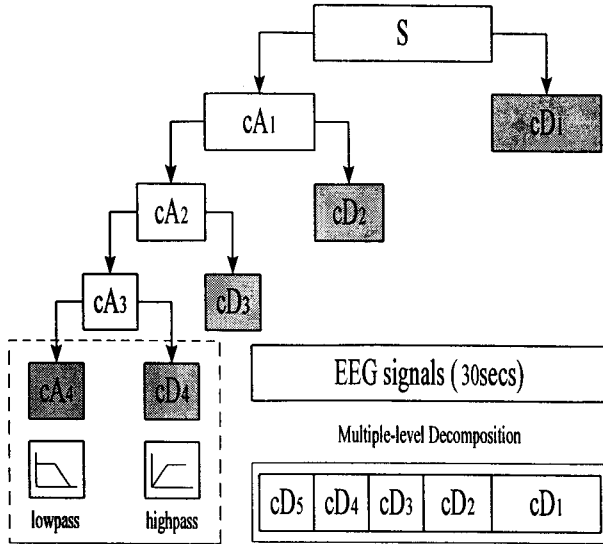


그림 3. 뇌파신호의 분할 과정.

d2, d3, d4, d5의 값들과 lowpass filter를 통과한 a1, a2, a3, a4, a5로 표현된다. 본 연구에서는 분할되어진 detail 성분인 d1~d5 값들을 가지고 긍정자극과 부정자극에 대해서 자극인가 전과 자극인가 후를 쌍으로 비교함으로써 시간 및 주파수대역에서의 차이유무를 판정하였다.

각 실험조건에서의 분할된 뇌파신호들이 그림 4와 그림 5에 나타나 있다. 그림 4는 부정적인 자극의 인가전과 인가후에 검출된 뇌파의 detail 신호성분들을 보이고 있으며, d4의 초기 10초정도에서 진폭의 현저한 감소현상을 관찰 할 수 있다. 반면에 긍정적인 자극의 인가전, 후의 detail 성분을 나타내는 그림 5에서는 그다지 큰 변화를 보이고 있지 않음을 알 수 있다. 즉, 이러한 사항들을 토대로 자극의 인가전과 후의 뇌파의 변화량을 조사하기 위하여 detail 신호성분(d1~d5)값들의 면적을 변수로 계산하였다. 이때 계산된 변수는 긍정자극과 부정자극에 있어서 자극전의 상태에 대한 자극전후의 차이값으로서 아래의 식과 같이 계산되었다.

$$Diff_{avg} = \sum_{i=1}^N \frac{[A_{pre}(i) - A_{post}(i)] / A_{pre}(i)}{N} \quad (2)$$

결국, $Diff_{avg}$ 값이 0.5보다 크게되면, 파형의 진폭이 절반 이상으로 감소하였음을 나타내게 된다.

결과 및 토의

Wavelet 변환을 통해 청각자극음의 인가전과 인가후의 뇌파변화량을 관찰할 수 있었고, 신호의 분할 과정에서 d4, d5 대역의 값들이 유의하게 차이나는 것을 관찰

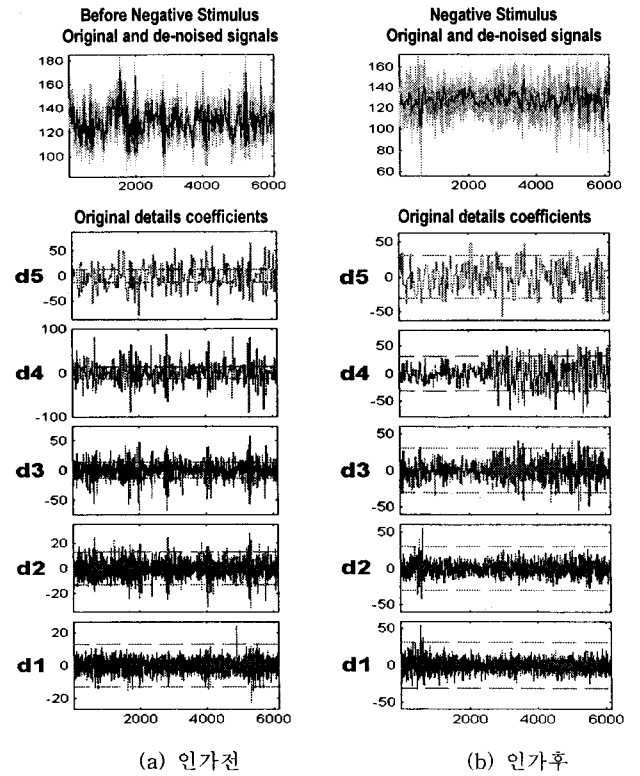


그림 4. 부정자극 인가전과 인가후의 분할된 뇌파신호의 변화.

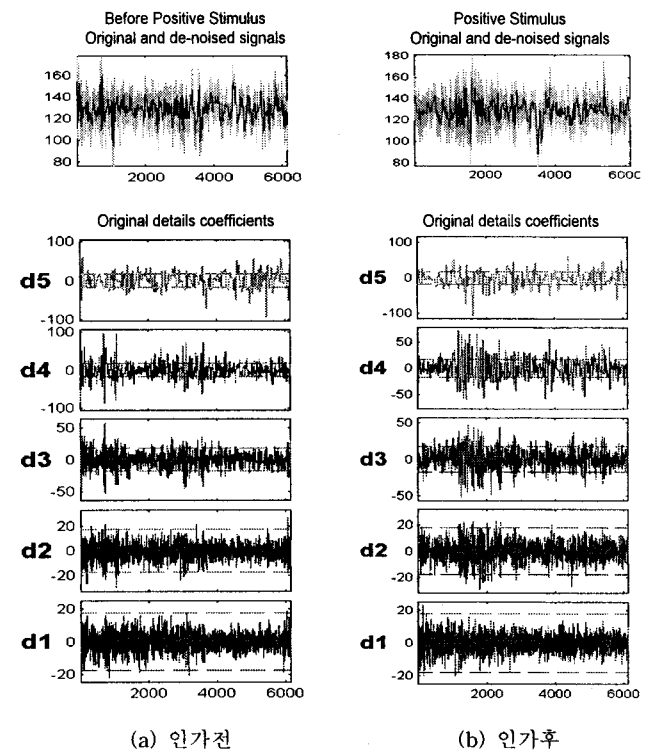


그림 5. 긍정자극 인가전과 인가후의 분할된 뇌파신호의 변화.

할 수 있었으며, 각 실험조건에서의 추출된 변수의 값들이 표 1에 요약되어 있다. 이 때 30초동안 수집된 뇌파는 시간에 따라 다섯등분(seg1~seg5) 함으로써 각 segment는 6초간의 신호량을 포함하게 된다. 이는 자극이 주어진 후에, 제시된 자극의 영향이 얼마만큼 지속되는가를 관찰하고자 함이었다.

표에서 볼 수 있듯이 부정적인 자극음이 인가되었을 때는 변수의 값들이 seg1과 seg2에서 전반적으로 증가함을 나타내고 있다. 특히, d4에서는 모든 전극의 위치에서 0.5를 넘는 변수값, 즉 자극전과 자극후의 detail 신호의 진폭이 절반 이상으로 감소함을 보이고 있다. 그리고, seg3~seg5(자극제시로부터 12초 경과후)에서는 자극후에 오히려 진폭이 증가하는 음(-)의 값을 보이는 등 일관성있는 추세를 보이지 않음을 알 수 있었다. 이는 주어지는 자극에 대한 반응이 대략 10초 후에는 적응(adapt)되기 때문인 것으로 유추되어 질 수 있을 것이다. 반면에, 긍정적인 자극이 주어졌을 때는 모든 시간영역과 detail 신호에서 일정한 규칙성을 보이고 있지 않았다. 결국, 부정적인 자극이 인가되었을 때 d3~d4에서 에너지값이 감소한다는 것은 뇌파의 α -wave 성분이 자극전에 비하여 감소하고 있음을 나타내는 것이다.

결 론

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 10초간 지속되고 있음을 관찰 할 수 있었다. 이러한 차이로 인해 긍정적인 자극의 뇌파와 부정적인 자극의 뇌파의 구분이 가능함을 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 감성상태의 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

표 1. 각 실험조건에서 구해진 분할된 detail신호(d3, d4, d5)의 에너지의 차이

부 위	시 간	부정 자극음			긍정 자극음		
		d3	d4	d5	d3	d4	d5
T3	seg1	0.20	0.46	0.18	0.18	0.58	-0.02
	seg2	0.38	0.67	0.34	-0.87	-1.27	-0.11
	seg3	-0.22	-0.08	-0.16	0.27	0.36	0.12
	seg4	-0.07	-0.12	0.18	-0.34	-0.38	-0.22
	seg5	-0.20	-0.04	-0.27	-0.09	-0.04	0.14
T4	seg1	0.03	0.38	0.18	0.21	0.49	-0.04
	seg2	0.32	0.65	0.33	-0.92	-0.62	0.12
	seg3	0.05	0.22	0.09	0.17	0.15	0.08
	seg4	-0.12	-0.08	0.11	-0.21	-0.72	0.05
	seg5	-0.01	-0.12	-0.03	-0.01	-0.49	0.05
T5	seg1	0.34	0.45	0.22	0.26	0.57	0.00
	seg2	0.51	0.71	0.34	-0.92	-1.65	-0.16
	seg3	-0.14	0.01	0.04	0.26	0.28	0.04
	seg4	-0.15	0.10	0.36	-0.38	-0.59	-0.12
	seg5	-0.23	0.11	0.06	0.06	-0.04	0.17
T6	seg1	0.14	0.68	0.28	0.17	0.38	-0.09
	seg2	0.47	0.70	0.28	-1.00	-0.76	-0.26
	seg3	0.06	0.14	-0.06	0.18	0.20	0.21
	seg4	-0.40	-0.44	0.17	-0.44	-0.82	0.05
	seg5	-0.03	0.18	0.03	0.15	-0.10	0.19

[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 PhysiologicalResponse," 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. 17 5-181, 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.