

Wavelet변환을 이용한 시각자극에 의해 유발되는 뇌파의 분석에 관한 연구

김정환*, 황민철**, 임재중***

SSORATEK(주) 항공기술연구소*, 한국표준과학연구원 인간공학연구실**,
인제대학교 보건대학 의용공학과***

A Study for the Analysis of EEG Evoked by Visual Stimulation using Wavelet Transformation.

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

SSORATEK, Co., Ltd, Chang-gong Technical Research Institute*,
Ergonomics Laboratory, Korea Research Institute of Standards and Science**,
Dept. 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 visual 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. Seven university students were participated in this study. The experiment was devised with eleven experimental conditions, which are control and ten different types of visual stimulation based on IAPS (International Affective Picture Systems). Wavelet transformation was employed to analyze the EEG signals. Most positive and negative emotional response were compared in pairs. 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 positive and negative stimulus were found. This study could be extended to establish an algorithm which distinguishes psychophysiological states of the subjects exposed to the visual stimulation.

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.

최근 인간의 감성을 정성적·정량적으로 평가하고자 하는 측정·평가기술은 기계중심적 제품에서 인간중심적 제품개발의 시대가 도래하면서 인간공학 및 감성공학분야 전반에서 볼 수 있는 공통된 주 관심사가 되고 있고, 과거 주관적 평가기술에서 나아가 객관적 기술개발인 생체신호에 의한 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 시각자극에 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[1-3].

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[4-8].

본 연구에서는 Time-Frequency 분석의 일종인 웨이블릿변환(wavelet transform)을 통해 시각자극으로 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 선행연구과제에 도 크게 응용될 수 있을 것이다.

실험 방법

본 연구는 시각자극에 대한 뇌파를 객관적이고 정량적으로 분석하여 자극에 대한 정서 상태와의 상관성을 파악하는데 그 중점을 둔다. 본 실험을 위해 시각장애가 없는 20세 전후의 7명의 대학생들을 대상으로 시각의 자극제시 조건들을 변화하면서 피검자들의 뇌파를 측정하였다. 수집된 데이터들은 기존의 시간영역, 주파수영역 및 시간-주파수영역과 병행하여 wavelet transform algorithm을 적용하여 검출된 뇌파신호의 변화상태를 분석하는데 이용하였다.

실험시스템은 자극제시시스템과 데이터 수집 및 분석 시스템으로 구성되어 있고, 자극제시시스템은 피실험자실과 인간감성유발을 위한 자극제 및 자극제시를 위한 시스템으로 구성되어 있다. 자극제시를 위해 가로 2m, 세로 4.5m, 높이 2.5m 규격의 피검자실을 마련하였고, 자극제시는 빔 프로젝터(Epson, EMP-3300)를 이용하여 전면 스크린(1.5m×1.5m)에 제시하였다. 실험에 들어가 앞서 피실험자의 참여도와 실험충실도를 높이기 위해 피실험자교육을 실시하였고, Lang에 의해 개발된 IAPS (International Affective Picture Systems)의 사진을 이용하여 감성을 유발시켰다. 뇌파측정장치는 23개의 다중채널에서 동시에 뇌파의 수집이 가능한 Cadwell Spectrum 32를 사용하였고, 10/20 system에 따른 전극 배치가 되어 있는 head cap(S32 HCI)을 사용하였다. 뇌파의 수집에 앞서 피검자의 머리에 부착한 Head cap의 전극부착 적응시간과 피검자실에서의 환경적응시간 등을 고려하였다.

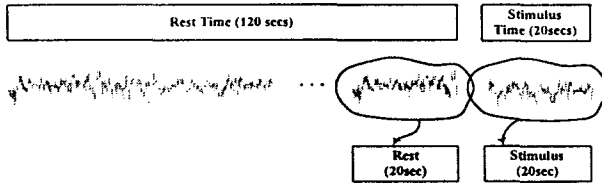


그림 1. 휴식시와 자극시의 뇌파신호의 검출시간.

뇌파는 그림 1에 나타나 있듯이 시각자극이 인가되기 전 휴식시 120초 중 최후의 20초 동안과 자극이 인가되는 20초간을 한 주기로 하여 매번 인가되는 자극에 대해 40초간 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 시각자극에 따른 뇌파의 수집을 마친 후에 설문지를 통하여 '불쾌하다-성쾌하다, 불만스럽다-만족스럽다, 불안하다-편안하다, 괴롭다-즐겁다, 싫어한다-좋아한다'와 같이 5항목으로 제시되어지는 자극이 가장 좋았을 때 +5까지, 가장 나빴을 때 -5, 보통일 때 0으로 평가하도록 하였다. 그 결과에 따라서 뇌파 데이터를 가장 선호한 긍정적 반응과 부정적 반응의 두 부류로 분류하였다. [9]

본 연구에서는 저장된 신호중에서 visual function을 관찰하는 Occipital 부위인 O1, O2와 Frontal 영역인 F3, F4의 데이터를 중점적으로 주관적 평가를 고려하여 긍정, 부정의 뇌파를 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 ($a = a_0^m, b = nb_0 a_0^m$) 일 때 이산 wavelet 변환이라 한다. 이 때 a 는 기저함수의 크기를 조절하는 인자이고, b 는 시간의 위치를 조절하는 인자이다.

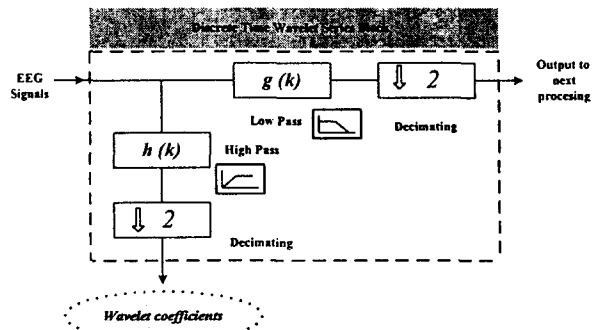


그림 2. 이산 wavelet 변환을 이용한 뇌파의 분할과정

분석에서는 여러 wavelet 기저함수 중 Haar-Daubechies 1 함수를 사용하였고, 자극의 인가전, 후의 뇌파 신호들을 여섯 단계의 주파수대역별로 나누어서 분할처리 하였다.[10] 그림 2.는 이산wavelet변환을 이용하여 뇌파를 분할하는 과정의 일례를 나타내고, 최초의 EEG 신호 저역통과필터를 통과한 approximation 신호(A1-A6)와 고역통과필터를 통과한 detail 신호(D1-D6)로 분할된다.

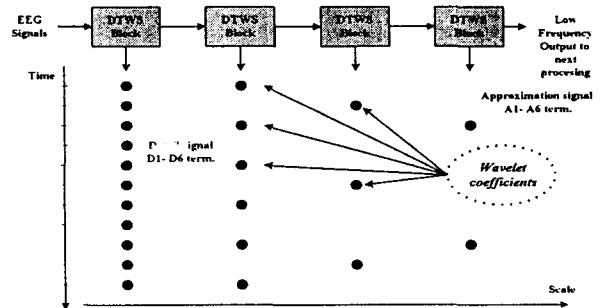


그림 3. Discrete Time Wavelet Series 연산의 block diagram

그리고, 그림 3.에서처럼 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 1 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.

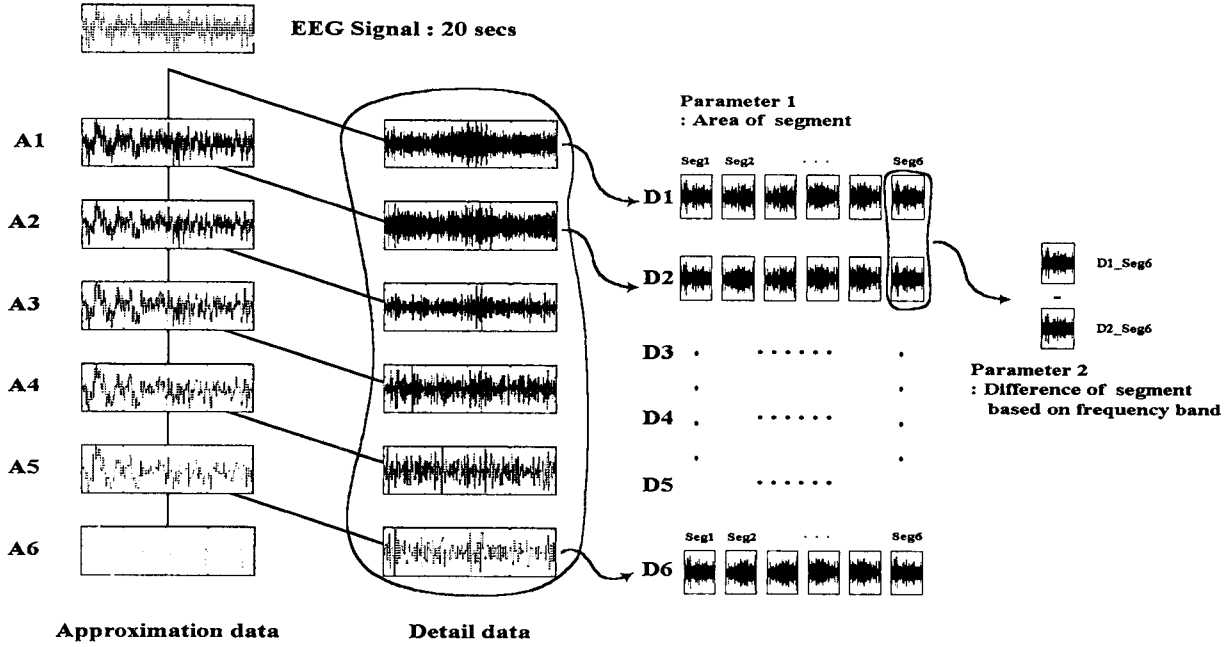


그림 4. EEG 신호의 Wavelet 변환을 통한 변수설정 과정.

그림 4. 와 같이 분할되어지는 과정에서 파생되는 highpass filter를 통과한 성분인 D1~D6까지의 주파수 영역을 각각 6개의 segment로 분할하여 cell단위로 (2)와 같이 변수로 설정, 시간영역의 뇌파 변화량을 관찰하였고,

filter coefficient가 다른 segment들을 detail 단계 즉, 주파수 영역별로 그 변화량의 차이를 비교하여 (3)과 같이 변수로 설정, 주파수영역의 뇌파 변화량을 관찰하였다.

$$Area_{Time Domain} = abs([\frac{(Stim. - Rest)}{Rest} \times 100]) \quad (2)$$

$$Area_{Frequency Domain} = Area_{Detail i} - Area_{Detail j} \quad (3)$$

(i = 1, 2, 3, 4, 5, j = 2, 3, 4, 5, 6)

표 1. 자극 전후의 뇌파 변화량에 대한 증가율. (%)

Level	Position	F3		F4		O1		O2	
		Negative	Positive	Negative	Positive	Negative	Positive	Negative	Positive
Detail 1	Seg1	9.91	9.90	7.70	6.13	6.39	4.56	2.26	7.21
	Seg2	9.42	26.98	4.29	12.49	21.62	16.52	20.35	27.35
	Seg3	6.34	13.01	15.36	19.92	19.74	20.59	24.93	22.65
	Seg4	2.31	5.09	9.33	9.38	8.59	9.02	11.76	7.05
	Seg5	30.37	11.40	9.38	5.83	19.52	20.79	18.92	20.26
	Seg6	9.30	21.39	1.56	6.29	21.42	0.52	23.61	2.80
Detail 2	Seg1	3.82	14.23	8.26	17.13	21.44	37.90	18.49	37.59
	Seg2	15.34	39.56	14.50	24.89	29.98	35.62	31.38	45.38
	Seg3	16.96	25.18	21.18	36.70	29.19	55.09	34.59	58.79
	Seg4	7.00	16.71	15.60	21.38	18.60	11.09	22.19	33.34
	Seg5	27.55	14.06	3.31	2.96	30.88	49.66	32.59	50.96
	Seg6	12.84	22.10	0.18	6.20	30.53	5.73	35.33	16.11
Detail 3	Seg1	17.70	39.74	22.82	45.49	37.53	70.95	33.23	67.41
	Seg2	27.06	40.02	27.42	31.90	44.06	68.13	42.66	66.26
	Seg3	21.88	41.73	26.95	51.12	49.94	116.92	48.46	107.61
	Seg4	22.46	35.34	25.89	33.09	37.19	41.15	37.29	64.73
	Seg5	14.08	23.09	19.59	22.08	42.74	89.78	43.94	94.59
	Seg6	1.38	12.28	10.77	2.15	39.04	15.93	45.80	39.83
Detail 4	Seg1	36.58	46.16	35.00	40.50	39.84	93.90	32.01	71.24
	Seg2	29.73	36.19	35.57	45.48	40.25	67.09	40.47	51.12
	Seg3	32.72	60.89	37.33	76.77	51.82	136.48	56.02	138.53
	Seg4	28.97	51.54	33.10	55.11	30.53	51.91	33.91	69.51
	Seg5	8.77	26.03	19.60	26.94	40.33	91.88	37.92	83.10
	Seg6	2.99	6.71	3.04	3.57	33.42	22.02	40.45	34.76
Detail 5	Seg1	10.07	23.06	6.85	15.37	12.27	5.88	7.29	9.54
	Seg2	12.24	3.70	18.28	11.05	19.48	7.57	10.51	3.36
	Seg3	7.75	12.62	7.08	11.20	13.49	26.45	22.45	16.08
	Seg4	18.02	42.53	13.73	30.29	4.84	6.13	0.79	10.95
	Seg5	15.20	29.54	13.85	29.77	33.41	7.84	49.18	9.95
	Seg6	8.24	8.91	11.83	1.25	4.18	9.76	9.15	8.62
Detail 6	Seg1	27.72	44.09	26.11	37.66	1.74	1.27	3.77	28.50
	Seg2	25.61	7.53	32.54	19.53	23.13	20.77	19.67	13.92
	Seg3	17.90	17.09	18.25	6.54	3.31	26.45	6.42	23.15
	Seg4	38.35	96.78	39.67	127.38	11.07	23.91	22.18	6.26
	Seg5	15.82	23.19	4.40	14.21	62.44	3.12	62.79	10.06
	Seg6	27.21	5.67	22.57	1.03	15.68	32.19	4.09	24.37

표 2. 자극 전후의 Detail 단계 차이의 뇌파 변화량에 대한 증가율(%)

Level	Position	F3		F4		O1		O2	
		Negative	Positive	Negative	Positive	Negative	Positive	Negative	Positive
Detail 1,2	Seg1	88.00	2.71	106.80	24.17	101.88	88.80	140.39	83.30
	Seg2	12.37	7.96	72.61	33.78	38.70	53.07	65.49	30.83
	Seg3	43.20	19.91	13.57	38.00	71.51	117.06	66.94	112.00
	Seg4	44.16	28.58	15.24	25.02	71.28	85.32	71.19	88.02
	Seg5	43.62	0.29	46.48	18.21	83.31	77.75	160.18	83.88
	Seg6	2.29	18.72	9.16	6.67	61.22	19.82	93.58	41.63
Detail 2,3	Seg1	47.07	38.09	69.32	51.76	1279.18	83.13	1021.15	45.72
	Seg2	65.95	38.16	117.18	1.03	287.50	70.20	188.89	35.50
	Seg3	0.50	20.47	11.80	17.16	886.80	107.41	3153.55	119.05
	Seg4	87.16	30.31	74.41	22.18	833.10	81.62	444.90	78.37
	Seg5	339.13	68.46	146.50	54.03	710.17	165.96	906.96	182.57
	Seg6	63.40	48.97	60.84	19.13	222.46	51.62	255.94	84.37
Detail 3,4	Seg1	121.10	26.21	73.82	60.28	28.48	4.73	37.73	1.39
	Seg2	17.32	51.88	10.35	4.88	59.52	74.31	54.29	170.90
	Seg3	30.93	6.24	28.41	15.61	42.63	52.91	6.17	26.55
	Seg4	5.81	11.89	2.07	22.87	56.10	7.21	47.48	46.57
	Seg5	29.45	12.09	19.58	4.88	52.85	78.67	67.15	178.25
	Seg6	15.25	27.17	35.08	4.55	55.62	11.01	63.61	67.40
Detail 4,5	Seg1	91.33	540.45	85.40	327.42	71.10	396.96	63.15	266.71
	Seg2	71.60	276.38	65.93	190.53	55.53	146.44	60.61	124.06
	Seg3	77.27	410.46	84.00	664.29	79.34	467.13	81.77	538.29
	Seg4	54.95	90.46	76.94	265.21	56.34	152.17	64.39	219.66
	Seg5	64.50	445.25	81.84	688.79	77.80	396.47	78.38	381.32
	Seg6	14.74	0.77	26.94	14.98	59.62	89.59	67.99	143.03
Detail 5,6	Seg1	151.85	32.29	159.67	39.46	40.93	26.76	17.49	54.56
	Seg2	61.96	32.35	45.11	6.49	0.58	47.93	47.19	32.99
	Seg3	216.66	13.04	558.19	122.67	46.76	26.46	66.30	17.82
	Seg4	121.01	60.96	163.30	121.51	15.47	38.44	134.39	20.79
	Seg5	12.99	52.78	47.52	69.02	43.69	43.97	5.00	9.39
	Seg6	111.40	40.57	43.53	7.58	84.33	658.17	55.52	120.45

결론 및 토의

Wavelet 변환을 통해 시각자극의 인가전과 인가후의 뇌파변화량을 관찰할 수 있었고, 대체적으로 전 시간대와 전 주파수대역에 걸쳐 자극에 의한 뇌파의 변화량들이 나타난 것으로 관찰되어졌다. 각 분석에서의 계산되어진 변수값들이 표 1. 과 표 2.에 증가율로 요약되어 있다

특히, 신호의 분할 과정에서는 고주파대역인 D1에서 저주파대역인 D6으로 갈수록 뇌파의 변화량들이 증가함을 볼 수 있고, D3, D4 (δ, α)대역 값들의 변화량이 전두엽보다는 후두엽에서 많은 것으로 관찰할 수 있었으며, 부분적으로 전두엽에 걸쳐 D5, D6(θ, δ)대역 값들의 변화량이 크게 나타나고 있음을 알 수 있다. 좌·우 반구를 비교해 볼 때에도 자극에 의한 변화량들이 골고루 나타나는 것을 관찰할 수 있었지만, 우반구의 변화량이 상대적으로 크게 나타나고 있음을 알 수 있다.

본 연구에서는 무자극상태에 대해 긍정적인 자극의 인가시 나타나는 wavelet 변환의 시간-주파수공간 표현과 부정적인 자극시 나타나는 시간-주파수공간 표현이 다르게 나타나는 것을 뇌파의 변화율의 증감으로 확인할 수 있었다. 즉, 긍정적인 시각자극보다 부정적인 시각자극에 대한 뇌파의 변화가 잘 구분되었으며, 자극의 영향은 자극제시후 각 주파수 영역별로 다르지만, 전시간대에 걸쳐 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 뇌파의 변화량들을 시간-주파수영역의 형태의 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

[1] K.H. Chiappa, "Evoked Potentials in Clinical Medicine." New York, Raven Press,1985.
 [2] N.R. Carson, "Physiology of Behavior," Needham, Massachusetts, Allyn and Bacon, 1991.
 [3] J.L. Andreassi, "Psychophysiology-Human Behavior and Physiological Response," 3rd Ed, New Jersey, Lawrence Elbaum Associates, Publishers, 1995.
 [4] J.S., Bendat, A.G., Piersol, "Random data : analysis and measurement procedures," Wiley Interscience

Publication, 1986.
 [5] R.D., Strum, D.E., Kirk, "Discrete systems and digital signal processing," Addison Wesley, 1989.
 [6] E.A., Bartnik, K.J., Blinowska, P.J., Durka, "Single evoked potential reconstruction by means of wavelet transform," Biological Cybernetics. Vol., 67, pp. 175-181, 1992.
 [7] 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.
 [8] Boris Gramatikov, Sun Yi-chun, Herve Rix, Pere Caminal, N.V., Thakor "Wavelet Analysis of the Body Surface ECG Before and After Angioplasty," Ann-Biomed-Eng., Vol. 23(5), pp. 553-561, 1995.
 [9] 이만영, 이홍철, "형용사 서술 의미의 구조에 관한 연구:정서관련어휘를 중심으로," 한국심리학회지, Vol. 2, pp. 118-138, 1990.
 [10] 김 정환, "Wavelet변환을 이용한 청각자극에 의해 유발되는 뇌파의분석에 관한 연구", 인제대학교 대학원 석사학위논문. 1997.