Journal of the Ergonomics Society of Korea
Vol. 18, No. 1 1999.4

개입모형을 이용한 EEG 신호의 다변량 분석에 관한 연구

Multivariate Analysis of EEG Signal using Intervention Models

임성식*, 김진호**, 김치용*, 황민철***

ABSTRACT

The objective of the study is to discriminate EEG(electroencephalogram) due to emotional changes. Emotion was evoked by the series of auditory stimuli which were selected from the natural sounds in the sound effect collection of compact disc. Seventeen university students participated and experienced positive or negative emotions by six auditory stimuli with intermission between stimuli. Temporal EEG (T_3, T_4, T_5, and T_6) was recorded at the same time and a subjective test was performed on the eleven point scales after the experiment. The maximum and minimum scores of the EEG among six stimuli EEG were analyzed for discrimination of emotion.

The EEG signals were transformed into feature objects based on scalar intervention model coefficients. Auditory stimulus was considered as intervention variable. They were classified by Discriminant Analysis for each channel. The features showed results with the best classification accuracy of 91.2 % in T_4 for auditory stimuli. This study could be extended to establish an algorithm which quantifies and classifies emotions evoked by auditory stimulus using time-series models.

* 서경대학교 이공대학 교수
** 한국표준과학연구원 선임연구원
*** 상명대학교 정보통신공학과 교수

1. 서 론

환경의 변화나 외부로부터의 물리적인 자극에 대한 인체의 반응은 다양하며, 이로 인해 생리 변화가 나타난다. 전기생리학의 발달은 질병진단 및 치료의 목적에서 인간의 신체활동, 인지과정, 감성변화 등을 측정하는 분야까지 많은 영향을 주고 있다. 그러나 개인별로 생리 변화의 차가 매우 크고 신체의 리듬이 변화무상하기 때문에 생리신호의 변화에 대한 객관적인 모형이 구축되지 못하고 있는 실정이다. 생리신호와 관련된 대표적인 신호인 뇌파(electroencephalography, EEG) 신호의 경우, 수많은 신호처리 방법론이 제시되었지만 일관성 있고 신뢰성 있는 방법이 아직까지 개발되어 있지 못한게 현실이다. 다만 정서반응과 인간의 뇌는 깊은 관련이 있으며, EEG 신호를 이용하여 인간의 감성 상태의 변화를 측정하고자 하는 연구들이 보고되고 있다(김지은 등, 1998; 백은주 등, 1998; 최정미 등, 1998; Min Cheol Whang et al., 1996). 또한 말초신경계의 변화인 근전도, 심전도, 안구 운동, 피부전위 변화, 안면근육의 변화, 동공 크기의 변화 등으로 인간의 감성 상태의 변화를 설명하고자 하는 연구들도 보고되고 있다(권의철 등, 1998; 한재현과 정찬섭, 1998).

EEG는 불규칙한 신호이며 그 특성이 시간에 따라 변화하는 비정상성 신호이다. 또한, 눈 움직임이나 근육의 미세한 변화 등과 같은 원치 않는 요인에 의해 잡음(noise)이 EEG 데이터에 영향을 쉽게 미칠 수 있다. EEG로부터 이 잡음을 제거하기에는 불규칙성으로 인해 용이하지 않다. 이와 같은 불규칙성을 나타내는 EEG 신호가 일정한 영역 안에서는 정상성을 만족한다는 가정하에 EEG 신호를 짧은 시간 크기의 분석창으로 나누어 시계열분석을 실시하고 이를 분류하려는 연구가 진행되기도 하였다(Anderson et al., 1997; Andreassi, 1995; Carson, 1991; Jasper, 1958). 이와 같은 시계열분석 과정에서 얻어진 추정값을 다변량분석법인 판별분석법을 적용하여 신호를 분류하는 보고가 있었다(임성식 등, 1998a; 임성식 등, 1998b).

최근 시계열분석법과 주파수분석법을 동시에 고려한 시간-주파수 방법이 관심을 끌고 있으며 그 일종인 웨이브렛 변환도 소개되고 있다. 뇌파측정 신호를 정량화하는 방법으로서 웨이브렛 변환이 적용된 바 있으나 이는 사용할 수 있는 많은 웨이브렛 함수들과 확장 함수들 중 극히 제한된 함수들과 제한된 EEG 신호만을 이용하여 분석하였다(김정환, 1996; 김정환 등, 1997; Jin Ho Kim et al., 1998). 최근에는 비정상적인 신호를 matching pursuit를 거쳐, 시간-주파수 성질에 맞는 waveforms으로 분해하여 해석하는 연구가 소개되기도 하였다(Mallat and Zhang, 1993).

본 연구의 목적은 시계열 자료에서 개입(intervention) 요인이 발생하는 경우, 이를 분석하기에 적합한 개입분석모형을 적용하여 청각자극에 의해 유발된 감성인 EEG 신호를 적절히 판별분류하는 것이다. 이 모형에서는 자극을 제시하기 전의 EEG 신호를 기준으로 자극이 제시된 후의 EEG 신호의 변화를 분석하는 것으로, 청각 자극을 EEG 신호에 영향을 주는 개입요인으로 취급하였다. 2절에서는

EEG 신호를 분류하기 위해 필요한 개입모형과 판별분석에 대한 이론을 소개하고, 3절에서는 2절의 이론을 이용하여 개입분석모형에서 모수를 식별·추정하고, 이들 추정된 모수값의 정보를 이용하여 쾌 또는 불쾌 자극으로 발생되는 EEG 신호가 어떤 자극으로부터 발생된 신호인지를 판별/분류하는 방법을 제시하고 분석하였다.

2. 시계열분석 방법

2.1 개입분석 모형

시계열 자료는 갑작스런 외부 요인들에 의해 종종 영향을 받는데 이런 요인들을 개입(intervention)이라 하며 이들의 효과를 분석하는 방법이 개입분석이다. 개인의 EEG 신호는 외부 환경에 의해 영향을 받을 수 있는데, 본 연구에서는 무자극 상태의 EEG 신호를 기준으로 자극이 제시된 후의 EEG 신호의 변화를 분석하는 것으로, 자극을 EEG 신호에 영향을 주는 개입요인으로 취급하였다.

일반적으로 개입분석을 위해서는 개입요인 변수에 대한 형태를 먼저 정의하여야 한다. 개입요인 변수는 2가지 형태로 이루어져 있는데 그 하나는 개입요인 발생이후 그 효과가 모든 시점에 영향이 지속되는 경우와 개입요인 발생 시점에서만 영향을 미치는 2가지 형태로 T를 개입요인이 발생한 시기라고 할 때 다음과 같이 정의된다.

$$S_t^{(T)} = \begin{cases} 0 & , t < T \\ 1 & , t \geq T \end{cases} \text{와}$$

$$P_t^{(T)} = \begin{cases} 0 & , t \neq T \\ 1 & , t = T. \end{cases} \quad (1)$$

정의된 개입요인의 변수에 따라 개입요인의 효과는 여러 가지 형태로 표현이 가능하며 일반적인 형태는

$$\frac{w(B)B^b}{\delta(B)} S_t^{(T)} \quad \text{또는} \quad \frac{w(B)B^b}{\delta(B)} P_t^{(T)}$$

와 같다. 여기서

$w(B) = w_0 - w_1 B - \cdots - w_s B^s$,

$\delta(B) = 1 - \delta_1 B - \cdots - \delta_r B^r$로 B의 다항식이며 B는 후행연산자(backshift operator)이고, b는 개입효과에 대한 지연시차이고, $w(B)$에서 w_i는 개입의 초기 기대효과를 의미하며, $\delta(B)$는 개입의 영구적 효과를 나타내는 식이다(Abraham and Ledolter, 1983; Box, Jenkins and Reinsel, 1994; Wei, 1990).

따라서 개입분석모형은 다음과 같이 정의된다.

$$Y_t = \sum_{j=1}^{k} \frac{w_j(B)B^{b_j}}{\delta_j(B)} X_{jt} + N_t \quad (2)$$

여기서 $\frac{w_j(B)B^{b_j}}{\delta_j(B)}$는 j번째 개입에 대한 기대되는 개입효과를 의미하고, X_{jt}는 개입변수로서 $S_t^{(T)}$ 또는 $P_t^{(T)}$이며, N_t는 잡음모형이다. 본 연구에서는 $j=1$인 경우로서, 청각 자극을 제시한 이후의 시점에서는 개입요인의 효과가 발생하며 또한 이 효과는 시간의 흐름에 따라 적응으로 인해 효과가 점점 줄어드는 양상을 나타낼 것으로 기대되기 때문에 X_{jt}로서

$P_t^{(T)}$가 적용되었다.

개입모형을 분석하기 위해서는 먼저 개입요인이 발생하기 전 자료 $\{Y_t : t < T\}$를 이용하여 잡음 N_t 모형에 대해 *ARMA*(autoregressive moving average) 모형식별방법인 모형수립 3단계 과정을 통해 모형을 식별하고 추정 및 진단한다. 만일 정상성의 조건을 만족하지 않으면 정상성을 만족하도록 자료를 정상화하여 시계열분석을 하여야 한다. 정상화 방법에는 대수(log)변환, 차분(differencing) 등이 있는데, 분산이 일정하지 않는 경우, 즉 시간이 흐름에 따라 측정값의 변동이 크거나 감소하는 경우로 대수변환 또는 제곱근 변환을 통하여 분산을 안정화시키며, 추세를 갖는 자료는 연속적으로 차분을 실시하여 평균이 일정한 정상 시계열 자료를 얻는 방법이다. 잡음모형이 적합되면 개입요인의 형태와 효과에 의해 적절한 개입모형을 결정하고 개입효과를 나타내는 모수를 추정하여야 한다. 그러나 모형이 적합하지 않다면 적절한 수정을 거쳐 모형수립 3단계 과정을 반복 실시하여 최적의 모형을 선택하게 된다.

2.2 판별분석

판별분석이란 계량적으로 측정된 설명변수들을 이용하여 범주형의 종속변수를 분류하는 방법으로서, 이미 정해진 집단(group)간의 차이를 의미 있게 잘 설명해 줄 수 있는 설명변수들을 찾아내어 이들의 선형결합(linear combination)으로 판별함수를 만든다. 그리고 그 판별함수에 의하여 분류하고자 하는 각 대상들의 특성을 대입하여 각 대상들이 어떤 집단에 속하는가를 판단하는 것이 판별분석의 목적이다.

판별분석에서의 기본가설은 "각 집단간에 평균이 같다는 것"을 검정하는 것으로 나타나며 집단들 간의 차이를 가장 의미 있게 설명해주기 위한 기준으로서 (집단간의 분산)/(집단내의 분산)의 비율을 사용하며, 이를 극대화시키는 설명변수들의 선형결합을 판별함수라 한다. 다시 말하면, 판별함수는 집단내 분산에 비하여 집단간 분산이 최대가 되도록 하는 선형결합을 만드는데, 그 식은 다음과 같다.

$$y = l_1 x_1 + l_2 x_2 + \cdots + l_p x_p \ . \qquad (3)$$

여기서 y는 판별함수에 의한 판별점수(discriminant score)이고, $x_i, i=1,2,\cdots,p$는 판별변수(설명변수)이며, $l_i, i=1,2,\cdots,p$는 판별가중값을 의미한다.

여러 판별함수 중 피셔의 선형판별함수는 두 모집단 각각의 평균 사이의 거리가 최대가 되는 판별가중값과 동일 공분산행렬을 이용하여 함수를 구한 후 두 모집단의 분류기준값을 계산하여 임의의 대상을 판별 · 분류하는 방법이다. 또 일반화된 거리에 의한 판별함수는 한 개체로부터 각 모집단의 중심거리인 공분산행렬에 의해 얻은 사후확률을 이용하여 판별 분류하는 방식이다. 그러므로 새로운 대상이 어떤 집단에 속하는지를 판단하는 기준도, 그 대상의 판별변수들의 값을 판별함수에 대입하여 구한 판별점수에 의해 분류된다.

판별식이 얼마나 대상들을 잘 분류하는가의 지표로 이용되는 통계량으로 적중율(hit

ratio)이 있다(채서일, 1994). 적중률을 평가하기 위한 기준으로서 C_{max}나 C_{pro}를 사용하는데, C_{max}는 전체집단을 표본의 수가 가장 많은 하나의 집단으로 분류하였을 경우의 적중률을 의미하며, C_{pro}는 각 대상을 무작위로 집단의 크기에 의한 사전확률에 따라 분류하였을 경우의 적중률을 의미한다. 여기서 C_{max}와 C_{pro}의 계산식은 다음과 같다.

$$C_{max} = \frac{\text{최대빈도집단의 표본수}}{\text{전체표본수}} ,$$

$$C_{pro} = \sum_{i=1}^{n}\left(\frac{\text{집단 } i\text{의 빈도수}}{\text{전체 표본수}}\right)^2 .$$

따라서 판별식에 의한 적중률은 이러한 C_{max}나 C_{pro} 기준보다 얼마나 정확한 분류를 하였는가를 가지고 평가한다.

3. 뇌파자료에 대한 모형분석

3.1 실험방법

본 연구에서 사용된 실험장비는 크게 감성유발 시스템과 생체 신호측정 시스템으로 구성되어 있다. 감성유발 시스템은 자극을 제시하는 $2\times4.5\times3\,m$ 규모의 시스템으로서, 오디오 시스템과 조명조절 시설을 갖추고 있다. 이 시스템은 환풍 장치와 냉난방 장치를 통해 습도 및 온도가 조절된다. 청각자극은 새소리, 파도소리, 성당의 종소리, 아기 울음소리, 쇠사슬 톱소리, 차 충돌소리 등 CD에 담긴 효과음 여섯 가지를 인켈사의 출력 100W인 오디오(AVP-8500G)를 통하여 제시되었다.

생체신호측정 시스템은 뇌파 등 생체신호를 측정할 수 있는 시스템으로서, 뇌전위는 21채널 스펙트럼32 장비를 사용하여 측정하였다. 뇌전위는 양쪽 귓바퀴를 기준 전극으로 하여 10/20 전극 배치법에 의해 모노폴라 타입으로 21채널 전극을 사용하여 204.8 Hz의 샘플링 주파수로 각각 측정하였다.

각 청각자극에 대하여, 휴식상태에서 청각자극을 제시하기 전 30초동안 EEG 신호를 측정하고, 그 후 30초 동안 6개 자극 중 하나를 선택하여 자극을 제시하고 동시에 EEG 신호를 수집하였다. 다른 자극에 대해서도 같은 방법으로 실험이 실시되었으며, 6개의 자극은 임의로 선정되었다.

본 실험에 참여한 피험자는 충남대학교 학생들로 20-25세의 청각장애가 없는 건강한 남녀 총 17명이었다. 실험이 모두 끝난 후에 피험자에게 자신이 보았던 자극에 대하여 주관적으로 감성 평가를 하도록 지시하였다. 가장 쾌한 것을 5, 가장 불쾌한 것을 -5라고 할 때 자신이 자극에 대해 느낀 쾌, 불쾌 정도를 -5에서 5까지의 11개의 정수값 중의 하나로 표현하는 방법, 즉 11점 법에 의한 주관적인 감성평가를 하였다. 주관적인 평가를 기준으로 개인적으로 6가지 자극 중 가장 긍정적인 반응과 가장 부정적인 반응을 나타내는 뇌파 자료(휴식상태의 30초 자료와 청각자극의 30초 자료)를 분석대상으로 하였다. 이들을 각각 쾌자극, 불쾌 자극이라고 하였다. 따라서 본 연구에서는 각 채널별로 총 34개 ($n=34$)의 EEG 신호 (긍정자극 17개, 부정자극 17개)가 선정되었으며, 이에 대응하여 주관적 평가값이 긍정일 때는 '0', 부정일 때는 '1'이 판별

분석에서 종속변수로서 사용되었다.

3.2 변수의 선택

청각 자극에 가장 많은 영향을 미치는 EEG 신호로는 뇌의 측두엽 즉, 좌우 귀 가까운 위치에 있는 신호로 알려져 있으며, 그림 1에서와 같이 21개 채널중 뇌의 좌측부위는 T_3, T_5, 우측부위는 T_4, T_6가 뇌파를 분석하기 위한 변수로서 선택되었다.

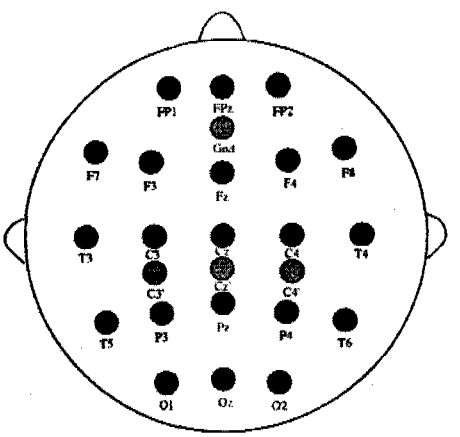

그림 1. 21개 채널에 대한 EEG 자극 단면도

3.3 모형분석

개입효과가 발생하기전 뇌파신호 자료에 시계열모형수립 3단계 과정을 적용하여 ARMA 모형의 차수를 결정해야 하며 분석결과 대부분의 신호자료에 대해 AR(7) 모형이 가장 적합한 모형으로 식별되었다(임성식 등, 1998b). 그리고 자극을 제시한 이후의 시점에서는 개입요인의 효과가 발생하며 또한 이 효과는 시간의 흐름에 따라서 효과가 점점 줄어드는 양상을 나타내므로 다음과 같은 형태를 적용하였다.

$$\frac{wB^{j}}{1-\delta B}P_t^{(T)}, \quad \text{단, } P_t^{(T)}=\begin{cases}0 & , t\neq T\\ 1 & , t=T.\end{cases}$$

따라서 각각의 전극부위와 비교·분석을 위해 개입모형에서 차수가 7인 AR 모형을 이용하여 분석하기로 하였다. 또한 하나의 뇌파 신호에 대하여 쾌 자극과 불쾌 자극의 판별기준 자료로 이용되는 계수들의 값은 개입분석모형에서 얻어진 계수값을 적용하여 판별 분류하였다.

첫 번째 피험자의 불쾌 자극에 대하여 T_3 부위에서 정상뇌파가 어떠한 반응효과를 나타내는가에 대해 모형수립 과정을 살펴보면 그림 2와 같다.

먼저 진폭의 변화를 줄이기 위하여 자연대수 변환을 하였다. 불쾌 자극을 제시하기 전의 휴식상태에서 측정한 자료를 이용하여 잡음(noise)에 대한 모형을 추정하는 것이 타당하며 그림 2에 의하면 잡음(N_t)에 대한 자기상관함수(SACF)와 부분자기상관함수(SPACF)를 살펴보면 자기상관함수는 시차가 증가함에 따라 sine 곡선 형태를 띄면서 지수적으로 감소하는 형태임을 알 수 있다. 이는 모형의 형태가 자기회귀모형이라는 것을 의미한다. 또한 부분자기상관함수를 보면 시차 8부터 절단형태 즉 함수들의 값이 "0"임을 의미하므로 차수가 7인 자기회귀모형이 잠정 모형으로 타당하다고 사료된다.

그리고 잡음(N_t)의 백색잡음에 대한 유의성 검정에서 각 시차별 카이제곱에 대한 검정통계

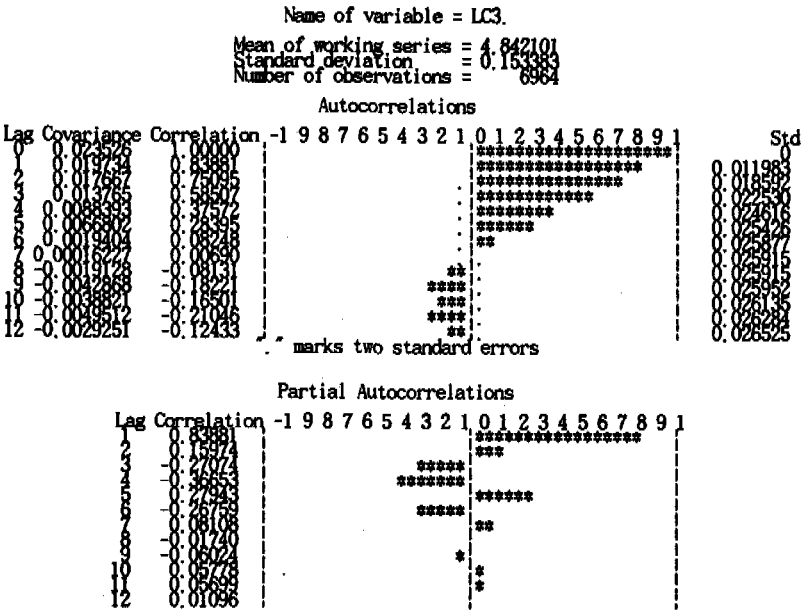

그림 2. N_t 에 대한 자기상관함수와 부분자기상관함수

량의 p-값이 모두 0이므로 통계적으로 유의하다는 것을 그림 3에서 보여주고 있다. 또한 조건부최소제곱법에 의한 AR(7)모형에 대한 계수들의 추정치 역시 통계적으로 유의함을 알 수 있다. 따라서 AR(7)모형이 잡음에 대한 모형으로 식별되었다.

한편, 어떤 한 시점(T)에서 개입효과인 충격(shock)이 가해질 때 그 시점에서부터 개입효과는 갑자기 증가하였다가 시간이 흐름에 따라 효과는 지수적으로 점점 줄어들어 원래의 상태로 수렴하게 되는 반응형태가 $\frac{w}{1-\delta B} P_t^{(T)}$이다(Wei, 1990). 따라서 뇌에 어떤 한 시점에서 쾌-불쾌 청각자극을 제시하였을 때 그 시점부터 개입효과가 상당히 있다가 점차 줄어드는 형태를 가정할 수 있다. 이때 개입반응함수는 $\frac{w}{1-\delta B} P_t^{(T)}$가 되며, 여기서 w는 불쾌 자극의 제시에 따른 효과를 나타내며 δ는 자극의 영구적인 효과를 나타낸다. 따라서 가정된 개입모형은

$$lnY_t = \frac{w}{1-\delta B} P_t^{(T)} + \frac{a_t}{1-\phi_1 B - \phi_2 B^2 - \cdots - \phi_7 B^7}$$

로 주어지며, 모수 추정결과가 그림 4에 주어져 있는데 추정된 모수들은 거의 모두가 유의하며 모형진단결과 모두 만족스럽게 나타났다. 그러므로 적합된 최종모형은

$$lnY_t - 0.95607 = \frac{-0.40797}{1-0.87321 B} P_t^{(6145)} + \frac{a_t}{1-0.84809 B - 0.29360 B^2 - \cdots - 0.08133 B^7}$$

Autocorrelation Check for White Noise

To Lag	Chi Square	DF	Prob	Autocorrelations					
6	1416.31	6	0.000	0.832	0.737	0.562	0.338	0.229	0.025
12	1625.30	12	0.000	-0.053	-0.141	-0.243	-0.232	-0.279	-0.195
18	1907.38	18	0.000	-0.115	-0.032	0.142	0.193	0.329	0.396

Conditional Least Squares Estimation

Parameter	Estimate	Approx. Std Error	T Ratio	Lag
MU	4.84476	0.01044	464.26	0
AR1,1	0.80169	0.03497	22.93	1
AR1,2	0.33016	0.04384	7.53	2
AR1,3	-0.08865	0.04360	-2.03	3
AR1,4	-0.42525	0.04109	-10.35	4
AR1,5	0.35739	0.04364	8.19	5
AR1,6	-0.27439	0.04390	-6.25	6
AR1,7	0.08515	0.03503	2.43	7

Constant Estimate = 1.03631171
Variance Estimate = 0.00418978
Std Error Estimate = 0.06472854
AIC = -2154.5671*
SBC = -2116.8926*

그림 3. N_t 의 추정치와 백색잡음에 대한 유의성 검정

Conditional Least Squares Estimation

Parameter	Estimate	Approx. Std Error	T Ratio	Lag	Variable	Shift
MU	4.84301	0.0041203	1175.40	0	LC3	0
AR1,1	0.84809	0.01195	70.94	1	LC3	0
AR1,2	0.29360	0.01516	19.36	2	LC3	0
AR1,3	-0.13319	0.01458	-9.14	3	LC3	0
AR1,4	-0.40604	0.01384	-29.34	4	LC3	0
AR1,5	0.45691	0.01458	31.33	5	LC3	0
AR1,6	-0.33812	0.01518	-22.28	6	LC3	0
AR1,7	0.08133	0.01196	6.80	7	LC3	0
NUM1	-0.40797	0.06016	-6.78	0	PT	0
DEN1,1	0.87321	0.07019	12.44	1	PT	0

Constant Estimate = 0.95607096

Variance Estimate = 0.00460471
Std Error Estimate = 0.06785803
AIC = -17695.51*
SBC = -17627.026*

그림 4. 개입모형의 모수추정 결과

가 된다. 이제 추정된 모수들 중 우리의 주 관심사인 개입효과를 살펴보면 개입의 초기 기대효과는 $w=-0.40797$ 이고 영구효과는 $\delta=0.87321$ 로서, 시간이 흐름에 따라 개입효과가 서서히 감소하는 모습으로 지속되고 있으므로 가정된 개입모형, 즉 개입반응함수는 타당하다.

나머지 각 전극부위와 다른 피험자들에 대해서도 이와 같은 과정에 따라 적합한 모수를

추정하였다.

개입모형에서 최소제곱추정법에 의해 얻어진 추정된 모수 값, 즉 잡음모형에서 얻어진 계수 추정값 4.84301, 0.84809, 0.29360, -0.13319, -0.40604, 0.45691, -0.33812, 0.08133등과 개입효과 -0.40797, 0.87321들이 판별분석에서 설명변수로 사용되었으며, 이에 대응하여 주관적 평가값이 긍정일 때는 '0', 부정일 때는 '1'이 종속변수로서 사용되었다.

4. 시뮬레이션 결과분석

청각자료의 각 전극부위별로 어떤 공분산행렬이 판별함수 계산에 적합한가를 유의수준 5%에서 검정하기 위한 검정통계량, p-값 및 공분산행렬이 표 1에 주어져 있다. 청각자료 중 좌측 전극부위는 합동공분산행렬이 유의한 것으로 나타났지만, 우측 부위에서는 집단별 서로 다른 공분산이 판별함수의 계산에 이용되는 것으로 나타났다.

청각자료의 쾌 반응과 불쾌 반응을 나타내는 자료들에 대한 각 전극부위별 판별분석 시뮬레이션 결과들이 표 2에 요약되어 있다.

좌측 청각 반응부위에서 쾌 반응과 불쾌 반응의 분석결과를 보면, 먼저 쾌 반응의 T_3, T_5 전극부위 중 T_3는 17명중 5명의 피험자가, T_5 전극부위는 4명의 피험자에서 측정된 EEG 신호가 불쾌 자극반응을 나타내는 신호로 판별 분류되었는데, 이들 좌측 청각부위 중 T_5부위의 분류율이 76.5%로 나타났다.

표 1. 청각 자료의 검정통계량 값

부위	카이제곱통계량	p-값	공분산행렬
좌 T_3	51.5613	0.6068	합동공분산행렬
측 T_5	47.2029	0.7634	합동공분산행렬
우 T_4	76.0614	0.0315*	집단내 공분산행렬
측 T_6	106.4201	0.0001*	집단내 공분산행렬

주) * : 유의수준 0.05에서 유의함을 의미

또한, 불쾌반응을 나타내는 부위중 T_3에서는 17명 중 13명이 정확하게 분류되어 분류율은 76.5%이며 4명의 피험자 EEG 신호가 쾌 자극반응을 보이는 신호로 분류되었다. 또 T_5 전극에서는 6명의 피험자 EEG 신호가 쾌 자극반응을 보이는 신호로 오분류되었다.

한편, 우측 청각전극부위의 쾌 반응부위에서 T_4는 17명중 14명이 쾌반응을 나타내는 신호로 분류되어 분류율이 82.4%로서 좌측 전극부위의 T_3보다는 높게 나타났다. 그러나 T_6 자극에서는 5명의 피험자에서 뇌파신호가 불쾌 자극반응의 신호로 잘못 판별되어 분류율은 70.6%에 불과하였다. 그리나 불쾌반응을 나타내는 부위중에서 T_4, T_6는 100% 정확하게 판별 분류되었다.

또한, 적중률을 평가하기 위한 기준으로 사용되는 $C_{\max}$와 C_{pro}의 값은 0.5로 동일하며, 판별식에 의한 적중률은 이러한 기준값 보다 20-30% 이상이면 분류가 잘되었다고 할 수 있다(채서일, 1994). 각 반응부위별 판별식에 의해 $C_{\max}$와 C_{pro}의 값 0.5에 비해 증가율이 T_5전극부위에서는 41.2%, T_3부위에서는 47.1%, T_6는 70.6%, T_4는 82.4%만큼 분류율이 증가하였음을 보여주고 있으며 그 중

우측 반응부위의 T_4가 분류율이 가장 높으며 또한 높은 정확도를 보여주고 있다. 이 결과 역시 우측 전극부위별 판별분류가 좌측 부위에 비해 분류가 잘 되었음을 보여주고 있다.

표 2. 청각자료에 대한 판별분석 결과

피험자 \ 부위		좌 측		우 측	
		T_3	T_5	T_4	T_6
쾌 반응	1	o	o	o	o
	2	o	*	o	o
	3	*	o	*	o
	4	o	o	o	o
	5	o	o	o	*
	6	o	o	*	*
	7	*	*	o	o
	8	o	o	o	*
	9	*	o	o	o
	10	o	o	o	o
	11	o	*	o	*
	12	o	o	o	o
	13	o	o	o	o
	14	o	o	o	o
	15	*	*	o	o
	16	o	o	o	o
	17	*	o	*	*
	적중율(%)	70.6	76.5	82.4	70.6
불쾌 반응	1	o	o	o	o
	2	o	o	o	o
	3	o	o	o	o
	4	o	*	o	o
	5	o	*	o	o
	6	*	o	o	o
	7	o	o	o	o
	8	*	*	o	o
	9	o	o	o	o
	10	o	*	o	o
	11	*	o	o	o
	12	o	o	o	o
	13	*	*	o	o
	14	o	o	o	o
	15	o	o	o	o
	16	o	o	o	o
	17	o	*	o	o
	적중율(%)	76.5	64.7	100.0	100.0
전체 적중율(%)		73.5	70.6	91.2	85.3

주) o : 올바른 분류 * : 잘못 분류

따라서 판별분석결과 청각자료에서 좌측 전극부위와 우측 전극부위의 분류결과를 비교해 보면 대체적으로 좌측부위 보다는 우측부위에서 훨씬 더 판별분류가 잘되었음을 보여주고 있다. 또한 쾌 반응과 불쾌 반응에서 판별분류 결과는 오히려 불쾌 반응에서 판별분류가 잘됨을 보여주고 있는데, 이는 불쾌 자극반응이 쾌 자극반응에 비해 뇌에 미치는 자극반응이 크게 나타나기 때문으로 판단되나 이에 대한 검증은 필요하다.

5. 결 론

뇌파신호에 대한 분석방법은 최근 많은 연구가 진행되어 왔는데 특히 시계열모형인 ARMA모형을 이용하여 모수를 추정한 뒤 이 추정된 계수값을 이용하여 신경망 이론이나 퍼지이론 등에 적용하는 연구가 있었다.

본 연구에서는 자극을 제시하기전의 EEG 신호를 기준으로 쾌 또는 불쾌 자극이 제시된 후의 EEG 신호의 변화를 분석하는 것으로, 쾌 또는 불쾌 자극을 EEG 신호에 영향을 주는 개입요인으로 취급하였다. 이를 분석하기에 적합한 개입분석 모형을 적용하여 모수를 식별·추정하고, 이들 추정된 모수 값의 정보를 이용하여 쾌 또는 불쾌자극으로 발생되는 EEG 신호가 어떤 자극으로 발생되는 신호인지를 판별/분류하는 분석 방법을 제시하였다.

판별분류에 의한 종합적인 분석결과 좌측 전극부위에서는 약 70-73%, 우측 전극부위에서는 약 85-92%의 높은 분류율을 나타내고 있으며, 그 중 불쾌반응을 보이는 우측부위의 T_4와 T_6는 100%의 판별분류 결과를 보여주고 있다. 따라서 좌측부위와 우측부위의 판

별분류결과를 비교해 보면 대체적으로 좌측부위 보다는 우측부위에서 훨씬 더 판별분류가 잘되었음을 보여주고 있다. 또한 쾌반응과 불쾌반응에서 판별분류결과는 오히려 불쾌반응에서 판별분류가 잘됨을 보여주고 있다.

한편, 차후 연구에서는 쾌, 불쾌 감성을 분류하는데 이용할 수 있는 일반화된 판별함수를 구할 예정이다. 이를 위해서는 더 많은 피험자들에 대한 실험과 일반화할 수 있는 변수를 추출하여 판별모형에 포함시켜야 할 것으로 판단된다. 즉, 물리적 자극에 대한 심리적 또는 생리적 변화는 피험자의 성, 상태, 연령, 성격, 주위 환경, 과거의 습관 등과 같이 개인차에 의해 상당히 다르게 나타날 수 있다. 따라서 개인차에 대한 원인을 분석하고 이들 변수들을 판별모형에 포함시켜야 할 것이다.

본 연구는 인간의 쾌, 불쾌한 감성을 뇌파신호를 통해 객관적으로 정량화하고 이를 분류할 수 있는 방법을 제시하였는데 설문지 등에 의한 기존의 주관적인 감성평가 방법의 문제점을 보완하는데 사용될 수 있을 것으로 기대한다.

참 고 문 헌

(1) 권의철, 김동윤, 김동선, 임영훈, 손진훈, "심박변화 분석을 이용한 장면시자극에 대한 감성측정에 관한 연구," 한국감성과학회지, 1(1), 93-104, 1998.

(2) 김지은, 박연숙, 오애령, 최상섭, 손진훈, "직물촉각자극에 의해 유발된 정서와 EEG 특성," 한국감성과학회지, 1(1), 153-160, 1998.

(3) 김정환, 웨이브렛 변환을 이용한 청각자극에 의해 유발되는 뇌파의 분석에 관한 연구, 석사논문, 인제대학교, 1996.

(4) 김정환, 황민철, 김진호, "인간시각감성에 의한 뇌파의 wavelet 특성," 대한인간공학회 대한인간공학회 추계학술대회, 477-481, 1997.

(5) 백은주, 이윤영, 이배환, 문창현, 이수환, 한의철, "뇌파와 자율신경계반응에 나타난 오랜지향과 valeric acid에 의한 후각 감성," 한국감성과학회지, 1(1), 105-112, 1998.

(6) 임성식, 김진호, 김치용, "EEG신호의 시계열분석에 의한 쾌, 불쾌 감성분류에 관한 연구," 대한인간공학회지, 17(1), 67-77, 1998a.

(7) 임성식, 김치용, 김진호, 생리신호(EEG신호)의 시계열분석에 관한 연구, 서경대학교, 1998b.

(8) 채서일, 사회과학 조사방법론, 학현사, 서울, 1994.

(9) 최정미, 황민철, 배병훈, 유은경, 오상훈, 김수용, 김철중, "단일 전극뇌파에 의한 쾌, 불쾌 감성의 정량화," 한국감성과학회지, 1(1), 59-68, 1998.

(10) 한재현, 정찬섭, "얼굴표정에 의한 내적상태 추정," 한국감성과학회지, 1(1), 41-58, 1998.

(11) Abraham, B. and Ledolter, J., Statistical Methods for Forecasting, New York: John Wiley, 1983.

(12) Anderson, C.W., Atolz, E.A. and Shamsunder,S., Multivariate Autoregressive Models for Classification of Spontaneous Electroencephalogram During Mental Tasks, Colorado State University, 1997.

(13) Andreassi, J. L., Psychophysiology - Human Behavior and Physiological Response, 3rd ed, New Jersey, Lawence Elbaum Associates, Publishers, 1995.

(14) Box, G.E.P., Jenkins, G.M., and Reindel, G.C., Time Series Analysis: Forecasting and Control, 3rd ed. San-Francisco: Holden-Day, 1994.

(15) Carson, N.R., Physiology of Behavior, Needham, Massachusetts, Allyn and Bacon, 1991.

(16) Jasper, H., "The Ten Twenty Electrode System of the International Federation," Electroencephalographic Clinical Neurop hysiology, 10, 1958.

(17) Jin Ho Kim, Min Cheol Whang, and Jeung Hwan Kim, "The Classification of Visual Stimulus Using Wavelet Transform from EEG Signals," Advances in Occupational Ergonomics and Safety, IOS Press, 733-736, 1998.

(18) Min Cheol Whang, Hee Kwan Cho and Chul Jung Kim, "EEG Characteristics of Auditory Comfort Sensitivity," 대한인간공학회지, 15(2), 185-192, 1996.

(19) Mallat, S.G. and Zhang, Z., "Matching Pursuits with Time-Frequency Dictionaries," IEEE Transactions on Signal Processing, 41(12), 3397-3415, 1993.

(20) Wei, W.W.S., Time Series Analysis --Univariate and Multivariate Methods, California: Addison Wesley, 1990.