

論文2000-37TE-3-11

정량화된 감성지표 측정을 위한 파라미터 개발 (Development of Parameter for Measuring Quantitative Engineering Ergonomics Character)

俞炳旭*, 印俊煥**, 金承謙***, 金昌錫****

(Byong-Wook Yoo, Jun-Hwan In, Seung-Keyum Kim, and
Chang-Seok Kim)

요 약

유발뇌파의 감성지수파라미터를 뇌파의 지속시간과 크기로 설정하고 감성지표화하려는 뇌파에 Prony 모델을 적용하여 감성의 지속시간과 크기를 추정하였다.

Prony 모델을 적용하여 유발뇌파를 실험분석한 결과 대역별특성을 분석할 수 있었고, 감성평가지수 파라미터인 감성지속시간과 크기를 추정함으로써 안타까움, 분노 및 공포의 감성을 감성평가지수로 분류할 수 있었으며, 추정된 파라미터가 감성평가지수로서 적합함을 확인하였다.

Abstract

In this paper, assuming the ergonomics estimate index parameter from the evoked potential of the object stimulation by the continuance time and the amplitude of the ergonomics, the continuance time and the amplitude of the ergonomics were estimated by applying the Prony model to ergonomics.

As a result of analyzing ergonomics, band characteristics could be classified, ergonomics of the impatient, rage and fear could be classified by assuming the continuance time and the amplitude of ergonomics, the estimated parameter could be practicable to the ergonomics estimate index.

I. 서 론

* 正會員, (주) 데이터시큐어 情報技術研究所
(DataSecure Co., Information of Ins.)

** 正會員, 明知專門大學 電子工學科
(Dept. of Electronic Engineering, Myongji College)

*** 正會員, 天安工業大學 電子工學科
(Dept. of Electronic Engineering, Chonan Technical College)

**** 正會員, 明知大學校 電子工學科
(Dept. of Electronic Engineering, Myongji University)

※ 본 논문은 97년 한국학술진흥재단 연구비지원을
받아 수행되었음

接受日字: 2000年 2月 24日, 수정완료일: 2000年 3月 10日

인간의 시각은 감각기관 중에서 가장 많은 정보를 제공하므로 인간의 감성요소에 많은 영향을 주는 주요 기관이다. 그러나 이러한 시각자극에 대한 객관적 감성 평가지수(感性評價指數: ergonomics estimate index) 추정에 대한 연구는 미비한 실정이다. 이를 객관적으로 평가하기 위해서는 시각자극에 대한 생체신호의 정량적인 측정방법이 필요하다.

외부자극들에 의해 발생하는 인체의 반응들은 중추 신경계인 뇌의 지배를 받고, 뇌에서 전달된 정보에 의해 신경계, 내분비계, 심혈관계 등에 반응이 일어난다. 이처럼 감성과 인간의 뇌는 깊은 관련이 있지만 인간

의 경우 직접적인 실험이 불가능하므로 뇌전위 (electroencephalography: EEG)를 이용하여 인간의 감성평가지수를 측정하고자 하는 연구들이 보고되고 있다.^[1,2]

최근에 들어와서 인간의 시각자극에 의한 뇌파의 분석과 인체의 감성에 대한 신체의 변화를 규명하기 위해 비선형적인 알고리즘을 적용한 연구가 이루어지고 있지만 아직 감성측정지표로 사용하기에는 매우 미흡하다. 심리학적인 면에서의 측정기술은 확보되어 있지만 공학적 측정을 통한 분석은 주파수 성분 조사 정도이므로 감성지속시간과 크기, 느낌의 분류를 위한 타당한 파라미터 개발에는 미흡하다. 따라서 시각 감성측정에서 객관적이고 정량화된 공학적 감성지표를 대표할 타당한 파라미터 개발이 시급하다.

본 논문에서는 유발뇌파의 정량화된 감성지표를 설정하기 위하여 물체자극에 의해 발생된 유발뇌파에서 뇌파의 감성평가지수를 추정하는 방법을 제안한다. 제안 방법은 감성지표화하려는 뇌파에 Prony 모델을 이용하여 대뇌자극의 감성의 지속시간과 크기를 추정함으로써 정량화된 감성평가지수를 추정하는 방법이다.

본 연구에서는 외부의 물리적 시각자극의 한 방법으로 장면자극에 대한 인간내부의 생리적변화를 측정하며, 이로부터 장면자극에 대한 생체신호의 파라미터를 추정하고자 한다.

측정한 유발뇌파를 FFT 방법을 적용하여 뇌파의 알파대역과 베타대역의 대역별 특성을 분석하였으며, 자극별 뇌파의 배경뇌파와 유발뇌파의 차분데이터를 알파대역과 베타대역별로 분석한다. 또한 Prony 모델을 적용하여 자극별로 뇌파의 감성자극 지속시간과 크기를 추정하였으며, 감성평가지수로서 타당함을 확인하였다.

II. 유발뇌파의 감성평가지수

대뇌피질(cerebral cortex)의 표면에는 신경세포의 활동(neuronal activity)에 의해서 불규칙한 전위의 변동이 발생한다. 이러한 전위의 변동현상을 전기적인 신호로 측정하여 기록한 것을 뇌파라 한다. 뇌파는 대뇌피질이나 두피상에 전극을 장착하여 검출하는데 전위변동의 크기는 정상인의 경우 10~200[μ V] 정도이다.

Prony 모델에 의한 유발뇌파의 분석에서는 모델의 입력은 백색잡음으로 뇌는 모든 진동자들의 집합체로 보고, 모델의 출력을 복소수주파수들의 선형조합으로

이루어졌다고 가정한다.

본 연구에서는 Prony 모델을 이용하여 Prony 모델의 파라미터인 주파수와 감쇠인자 및 진폭으로 감성자극의 지속시간과 감성자극의 크기를 구하고자 한다.

1. 유발뇌파

진폭과 주파수가 대뇌피질의 의식에 따라서 다양하게 변화하는 뇌파는 외부로부터 생체에 가해지는 자극에 의해 나타나는 유발뇌파와 자연정상적으로 나타나는 배경뇌파로 구분된다. 정상인의 후두부에서 도출한 뇌파는 그 주파수에 따라 δ 파(1~3.99[Hz]), θ 파(4~7.99 [Hz]), α 파(8~12.99 [Hz]), β 파(12~30 [Hz])로 구분된다. 사람의 두피상의 전극을 장착하여 전기현상을 측정하면 8~13[Hz]의 전위변동이 얻어진다. 이것을 α 파 또는 α 리듬이라 한다. 그런데 α 파를 갖는 경우가 많기 때문에 주성분은 α 파로 알려져 있다.^[3-7]

뇌파의 형태는 사람에 따라 다르지만 대부분의 경우 일정한 형태를 유지한다. 정상아인 경우 생후 30~40일 이후에 뇌파와 비슷한 곡선이 나타나며, 생후 3개월 정도까지는 불규칙하고, 후두부 쪽의 진폭이 다른데 비해 약간 큰 뇌파가 나타난다. 6개월이 경과하면 주파수가 5[kHz] 정도가 되고, 1년 후에는 약 7[Hz]의 파가 주류를 이룬다. 1~3세에는 14[Hz] 미만의 파가 잠재하며, 4~6세에는 7~9[Hz]의 정상파가 후두부에 형성되며, θ 파도 잠재해서 나타난다. 대체로 5세까지는 δ 파와 θ 파의 대역의 파가 잠재한다. 11~14세에서는 진폭이 낮지만 비교적 성년의 뇌파와 비슷해지고, 주류를 이루는 기본파는 8~10[Hz], 13~14[Hz]가 된다. 정상적인 성인의 뇌파와 같이 규칙적인 리듬을 갖는 정상파는 13세 이후에 나타난다. 이러한 파는 청년기, 장년기에 계속해서 나타난다.

유발전위는 자극의 종류에 따라 구분된다.^[8,9] 즉 말초신경의 전기자극에 의해 유발되는 체성감각유발전위(somatosensory evoked potential), 시각자극에 유발되는 시각유발전위(visual evoked potential), 음자극에 유발되는 청각유발전위(auditory evoked potential) 등이 있다.

본 연구에서는 Prony 모델을 사용하여 유발뇌파의 특징 파라미터인 주파수, 위상, 진폭 및 감쇠인자를 추정하여 유발뇌파의 분석을 정량화 하고자 하였다.

2. Prony 모델의 최적차수결정

유발뇌파분석시 Prony모델의 최적차수를 결정하기 위하여 본 연구에서는 Akaike의 정보표준법(AIC: Akaike information criterion)을 사용하였다.^[10]

유발뇌파의 복소수 데이터가 $x(1), x(2), x(3), \dots, x(n)$ 일 때 Prony모델은 다음과 같다.^[11-13]

$$\hat{x}(n) = \sum_{k=1}^p A_k e^{(\lambda_k + j2\pi f_k)(n-1)T + j\theta_k}, 1 \leq n \leq N \quad (1)$$

여기서 T 는 초[sec]당 샘플간격이고, A_k, f_k, λ_k 및 θ_k 는 Prony모델의 파라미터로서 A_k 는 진폭, λ_k 는 감쇠인자, f_k 는 주파수, θ_k 는 초기위상이다.

유발뇌파의 시계열데이터가 $x_0, x_1, x_2, \dots, x_{n-1}$ 일 때 전선형예측은 다음과 같다.

$$e(pn) = x(n) - \hat{x}(n) = \sum_{k=0}^p a(pk)x(n-k) \quad (2)$$

이고 여기서 $a(p0) = 1$, $x(n)$ 은 관측된 유발뇌파이고, $\hat{x}(n)$ 은 전선형예측이고, 전선형오차에너지 $E_e(p)$ 는 다음과 같다.

$$E_e(p) = \sum_n |e(pn)|^2 = \sum_n \left| \sum_{k=0}^p a(pk)x(n-k) \right|^2 \quad (3)$$

후선형예측오차 $v(pn)$ 는 다음식과 같다.

$$v(pn) = \sum_{k=0}^p a^*(pk)x(n-p+k), p \leq n \leq N-1 \quad (4)$$

여기서 $a(p0) = 1$, $a^*(pk)$ 는 $a(pk)$ 의 공액복소수이며, 전후선형인 선형예측오차에너지 $E(p)$ 는 식 (3), (4)로부터 다음과 같다.

$$E(p) = \sum_{n=p}^{N-1} |e(pn)|^2 + \sum_{n=p}^{N-1} |v(pn)|^2 \quad (5)$$

식 (5)의 $E(p)$ 는 예측계수에 대한 함수이므로 최소사승 알고리즘으로서 $E(p)$ 를 최소화한다.

$$\frac{\partial E(p)}{\partial a(pi)} = 2 \sum_{j=0}^p a(pj) \gamma_p(i, j) = 0 \quad (6)$$

여기서 $i = 1, 2, 3, \dots, p$ 이며, $\gamma_p(i, j)$ 는 다음과 같다.

$$\gamma_p(i, j) = \sum_{k=0}^{N-p-1} [x(k+p-j)x^*(k+p-j) + x(k+i)x^*(k+j)] \quad (7)$$

따라서 최소예측오차에너지 $\bar{E}(p)$ 는 다음과 같다.

$$\bar{E}(p) = \sum_{j=0}^p a(pj) \gamma_p(0, j) \quad (8)$$

식 (8)은 다음과 같은 행렬식으로 나타낼 수 있다.

$$\bar{E}(p) = A(p)R(p) \quad (9)$$

여기서 각 행렬은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\bar{E}(p) = \begin{bmatrix} \bar{E}(p) \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix}, \quad A(p) = \begin{bmatrix} 1 \\ a(p1) \\ \vdots \\ a(pp) \end{bmatrix}$$

$$R(p) = \begin{bmatrix} \gamma_p(0,0) & \dots & \gamma_p(0,p) \\ \vdots & \dots & \vdots \\ \gamma_p(p,0) & \dots & \gamma_p(p,p) \end{bmatrix} \quad (10)$$

따라서 식 (10)에서 최소예측오차에너지 $\bar{E}(p)$ 값을 계산할 수 있으며, 예측오차 에너지값이 최소일 때의 차수 p 가 모델의 최적차수이다. Akaike는 최대공산법을 사용하고, 정보이론함수를 최소화하여 모델의 최적차수를 결정하는 식 (11)의 AIC 방법을 제안하였다.[10] 식 (9)에서 최소예측오차에너지 $\bar{E}(p)$ 의 값을 식 (11)에 대입함으로써 $AIC(p)$ 가 가장 적은 값의 차수를 최적차수 p 로 결정한다.

$$AIC(p) = \ln \bar{E}(p) + 2(p+1)/N \quad (11)$$

3. Prony모델의 파라미터추정

본 연구에서는 진폭의 크기, 주파수 및 감쇠인자를 이용하여 감성지속시간과 크기를 구하기 위하여 Prony 모델의 파라미터를 추정해야 한다. 유발뇌파가 복소지수함수들의 선형조합과 백색잡음으로 이루어져 있다고 가정하면 뇌파의 표시식은 진폭의 크기, 위상, 주파수, 감쇠인자를 갖는 복소지수의 합으로 나타낼 수 있고, p 개의 복소지수의 합으로 이루어져 있다면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$x(n) = \sum_{k=1}^p h_k z_k^{n-1} \quad (12)$$

여기서 h_k 는 시간과 무관한 파라미터를 나타내는 복소수이며, z_k 는 시간에 의존하는 복소수파라미터로서 다음과 같이 표시된다.

$$h_k = A_k e^{j\theta_k} \quad (13)$$

$$z_k = e^{(\lambda_k + j2\pi f_k)T} = e^{\lambda_k T} e^{j2\pi f_k T} \quad (14)$$

식 (12)에서 $2p$ 개의 복소데이터 $x(1), x(2), \dots, x(2p)$ 가 $2p$ 개 복소수파라미터 h_1, h_2, \dots, h_p 와 z_1, z_2, \dots, z_p 에 지수파라미터를 적용시키기 위하여 $1 \leq n \leq p$ 에 대하여 다음과 같이 행렬형태로 표현될 수 있다.

$$\begin{bmatrix} z_1^0 & z_2^0 & \dots & z_p^0 \\ z_1^1 & z_2^1 & \dots & z_p^1 \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ z_1^{p-1} & z_2^{p-1} & \dots & z_p^{p-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h_1 \\ h_2 \\ \vdots \\ h_p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x(1) \\ x(2) \\ \vdots \\ x(p) \end{bmatrix} \quad (15)$$

여기서 식 (15)를 분리에 의해서 복소수파라미터 z 요소들을 결정할 수 있다면 미지의 진폭을 구할 수 있는 선형연립방정식의 집합으로 표현된다.

분리방법은 식 (12)를 임의의 차분방정식의 계수로 풀이하는 것으로서 이 차분방정식의 형태를 알기 위하여 복소수파라미터 z_k 를 근으로 하는 다항식 $\phi(z)$ 를 다음과 같이 정의한다.

$$\phi(z) = \prod_{k=1}^p (z - z_k) \quad (16)$$

식 (16)이 곱의 멱급수로 확장이 된다면 $a(0) = 1$, $a(m)$ 을 계수로 하여 다음과 같이 표현된다.

$$\phi(z) = \sum_{m=0}^p a(m) z^{p-m}, \quad a(0) = 1 \quad (17)$$

식 (17)에서 n 을 $n-m$ 으로 하고, 계수 $a(m)$ 을 적용하면 다음과 같다.

$$a(m)x(n-m) = a(m) \sum_{k=1}^p h_k z_k^{n-m-1} \quad (18)$$

식 (18)을 $a(0)x(m), \dots, a(n-m)x(n-m-1)$ 으로 확장하면 다음식을 얻는다.

$$\begin{aligned} \sum_{m=0}^p a(m)x(n-m) &= \sum_{i=0}^p h_i \sum_{m=0}^p a(m) z_i^{n-m-1} \\ &= \sum_{m=0}^p a(m) \sum_{k=1}^p h_k z_k^{n-m-1} \end{aligned} \quad (19)$$

식 (19)에서 $z_i^{n-m-1} = z_i^{n-p} z_i^{p-m-1}$ 로하면 다음과 같이 된다.

$$\begin{aligned} \sum_{m=0}^p a(m)x(n-m) &= \sum_{i=0}^p h_i z_i^{n-p} \sum_{m=0}^p a(m) z_i^{p-m-1} \\ &= h_0 z_0^{n-p} \sum_{m=0}^p a(m) z_0^{p-m-1} + \dots \\ &\quad + h_p z_p^{n-p} \sum_{m=0}^p a(m) z_p^{p-m-1} \end{aligned} \quad (20)$$

식 (20)에서 우변의 합은 식 (16)에 의해 정의된 다

항식으로 볼 수 있으므로 다음과 같이 쓸 수 있으며

$$\sum_{m=0}^p a(m)x(n-m) = \prod_{k=1}^p (z - z_k) = 0 \quad (21)$$

따라서 식 (21)으로부터 근 z_i 를 계산할 수 있다.

식 (21)을 만족시키는 p 개의 방정식은 다음과 같이 $p \times p$ 행렬방정식으로 나타낼 수 있다.

$$\begin{bmatrix} x(p) & x(p-1) & \dots & x(1) \\ x(p+1) & x(p) & \dots & x(2) \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ x(2p-1) & x(2p-2) & \dots & x(p) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a(1) \\ a(2) \\ \vdots \\ a(p) \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} x(p+1) \\ x(p+2) \\ \vdots \\ x(2p) \end{bmatrix} \quad (22)$$

식 (22)는 식 (12)에서 주어진 해를 가진 선형차분방정식이며, $2p$ 개의 데이터를 갖고있으므로 복소파라미터 h_k 와 z_k 의 곱의 수를 줄일 수 있다. 시변요소인 복소수 파라미터 z_k 의 다항식의 계수 $a(1), a(2), a(3), \dots, a(p)$ 는 데이터간의 선형예측관계를 형성한다.

$2p$ 개의 데이터에 p 개의 지수로 모델링하는 Prony 모델은 먼저 다항식의 계수를 식 (22)에서 구하고, 식 (17)에 의해서 다항식의 근을 계산한다.

따라서 Prony모델의 파라미터인 감쇠인자 λ_i 와 주파수 f_i 는 지금까지의 방법을 적용하여 식 (14)로부터 구할 수 있다.

$$\lambda_i = \ln \frac{z_i}{T} [\text{sec}^{-1}] \quad (23)$$

$$f_i = \frac{1}{2\pi T} \tan^{-1} \frac{\text{Im} z_i}{\text{Re} z_i} [\text{Hz}] \quad (24)$$

또한 진폭 A_i 와 초기위상 θ_i 를 구하기 위해서는 p 개의 복소수 파라미터 $h(1), h(2), h(3), \dots, h(p)$ 를 구해야하며, 이것을 구하기 위해서는 식 (21)에 의해서 구해진 z_i 의 근을 적용한다. 진폭 A_i 와 초기위상 θ_i 는 식 (13)로부터 다음과 같이 구해진다.

$$A_i = |h_i| \quad (25)$$

$$\theta_i = \tan^{-1} \frac{\text{Im} h_i}{\text{Re} h_i} [\text{rad}] \quad (26)$$

실제 관측데이터의 개수가 많을 것이므로, 데이터의 개수가 차수보다 큰 $p+1 \leq n \leq N$ 인 경우 선형예측오차는 다음과 같다.

$$\sigma(n) = \sum_{m=1}^p a(m)x(n-m) \quad (27)$$

식 (27)의 각 LPC $a(m)$ 은 순방향 선형예측오차방정식과 동일하다. 감쇠인자 λ_i 와 주파수 f_i 를 구하기 위

하여 LPC $a(m)$ 은 $p+1 \leq n \leq N$ 에서의 선형예측자승 오차를 최소화함으로써 구할 수 있다. 즉, LPC $a(m)$ 으로부터 구성된 다항식의 근은 식 (23)과 (24)를 사용 해서 각 지수에 대한 감쇠인자 λ_i 와 주파수 f_i 를 추정 할 수 있다.

$$\hat{\rho} = \sum_{n=p+1}^N |\sigma(n)|^2 \quad (28)$$

또한 $z_1, z_2, z_3, \dots, z_p$ 가 최소자승 선형예측해석과 다항식인수분해에 의해서 결정한 후 식 (12)의 지수근 사식 $\hat{x}(n)$ 은 파라미터 $h_1, h_2, h_3, \dots, h_p$ 로부터 선형 이 된다. 진폭 A_i 와 초기위상 θ_i 를 구하기 위하여 h_k 의 각 파라미터에 대해 자승오차를 최소화하여 복소수 값 $p \times p$ 행렬표준방정식을 구한다.

$$[Z^H Z] h = [Z^H X] \quad (29)$$

여기서 Z 와 h 및 X 는 다음과 같이 정의된다.

$$Z = \begin{bmatrix} 1 & 1 & \dots & 1 \\ z_1 & z_2 & \dots & z_p \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ z_1^{N-1} & z_2^{N-1} & \dots & z_p^{N-1} \end{bmatrix}, \quad h = \begin{bmatrix} h_1 \\ h_2 \\ \vdots \\ h_p \end{bmatrix}$$

$$Z^H = \begin{bmatrix} 1 & z_1 & \dots & z_1^{N-1} \\ 1 & z_2 & \dots & z_2^{N-1} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ 1 & z_p & \dots & z_p^{N-1} \end{bmatrix}, \quad X = \begin{bmatrix} x(1) \\ x(2) \\ \vdots \\ x(N) \end{bmatrix} \quad (30)$$

따라서 식 (30)에 의하여 식 (29)를 계산하면 지수 근사식 $\hat{x}(n)$ 의 파라미터 $h_1, h_2, h_3, \dots, h_p$ 를 구할 수 있다. 즉, 계산된 의 값은 식 (25)와 (26)에 적용함으로써 진폭 A_i 와 초기위상 θ_i 를 추정할 수 있다.

III. 실험 및 결과

1. 유발뇌파추정

그림 1은 본 연구에서 유발뇌파의 감성평가지수 추

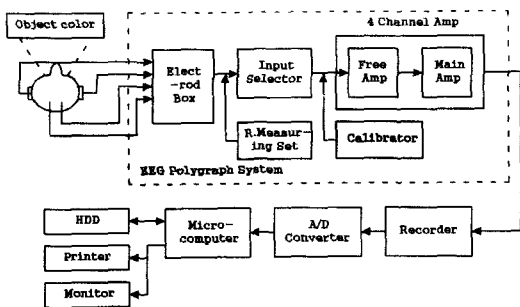


그림 1. 유발뇌파 측정시스템 구성도

정을 위하여 구성된 실험시스템 구성도이다.

정신적, 신체적 건강한 20세 이상의 성인 남녀 13명 에게 국제정서사진체계 IAPS(international affective picture system)^[14]의 14장을 자극 슬라이드로 제시하고 뇌파를 측정하였다. 그림 2는 뇌파 자극에 사용된 14가지 슬라이드 중에서 분노, 기쁨, 공포, 잔인한 것만 을 표현하는 사진이다.

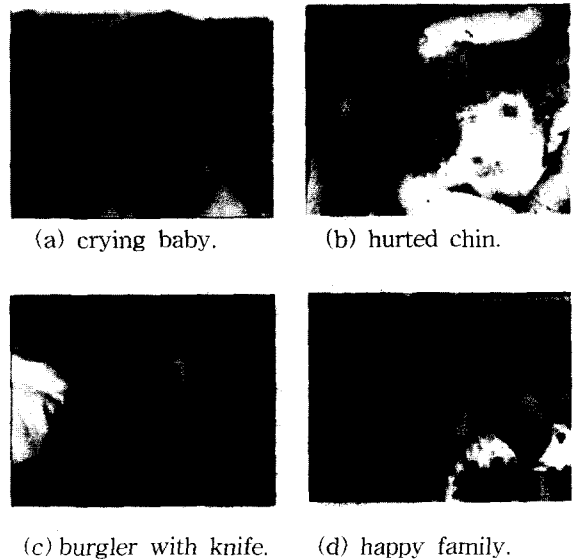


그림 2. IAPS 사진

배경뇌파를 측정하기 위하여 눈을 감은 후 60[sec] 동안 실시하며, 다시 30[sec]동안의 눈을 뜬 상태에서 뇌파를 측정한다. 또한 유발뇌파를 측정하기 위하여 14 가지 자극슬라이드를 60[sec]동안 보여준 상태에서 뇌 파를 측정한다. 유발뇌파 각각의 자극마다 측정후 30[sec]동안의 휴식시간을 갖는다.

본 연구에서는 가장 자극에 민감하게 반응하는 후두 엽부위에서 측정된 뇌파 중에서 눈을 감고 측정한 배경뇌파 60[sec]동안과 14가지 슬라이드 자극에 의한 유발뇌파 60[sec]동안의 데이터 중에서 초기 1[sec]동안의 데이터를 실험데이터로 사용하였다. 또한 1[sec] 당 63개로 샘플링을 하였다.

2. 유발뇌파의 특성분석

측정된 뇌파의 대역별 특성분석을 하기 위하여 FFT 를 적용한다. 배경뇌파와 유발뇌파의 차분데이터를 사 용하여 기존에 알려졌었던 대역별 특성과 비교하였다.

측정된 60[sec]간의 배경뇌파 데이터를 1[sec]씩 60개 데이터로 분리한 뒤 1[sec] 동안의 60개의 배경뇌파와 14가지 유발뇌파를 가지고 8~64[Hz]의 BPF를 통과시킨 후 식 (31)과 같은 Hamming창 함수를 적용하여 FFT를 처리한다.

$$w(n) = 0.54 + 0.46 \cos\left(\frac{\pi n}{N}\right) \quad (31)$$

여기서 $n = 0, \dots, N - 1$ 이다. 또한 각 1[sec]간의 FFT 데이터를 0에서 1사이로 정규화시킨다. 정규화시킨 배경뇌파와 유발뇌파 FFT 결과 데이터의 차분의 값에서 각각의 대역별(α 와 β 대역) 평균을 구한다. 그림 3은 배경뇌파와 유발뇌파의 대역별 특성분석을 위한 실험흐름도이다.

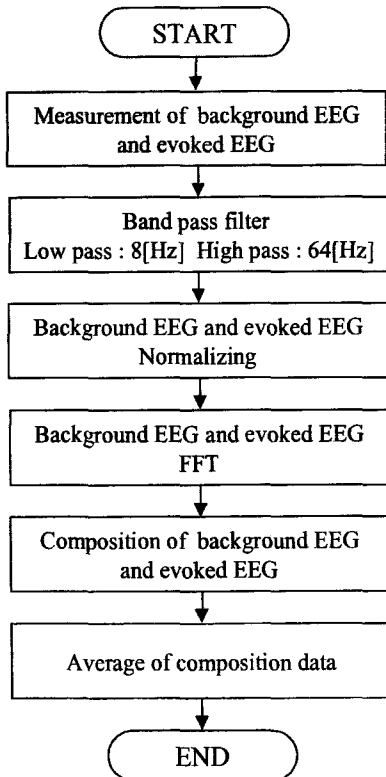


그림 3. 대역별 특성분석을 위한 흐름도

그림 4는 뇌파의 실험값을 나타낸 것으로서 x축을 14가지의 자극으로, y축을 실험대상인 사람 15명으로, z축을 정규화된 평균값으로 한 3차원의 형태이며 그림 4 (a)는 3차원의 α 의 값이고, 그림 4 (b)는 3차원의

β 의 값을 표현한 것이다.

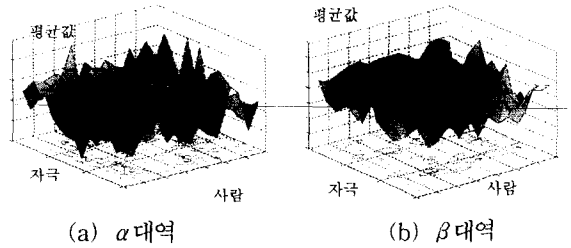


그림 4. 차분데이터의 평균값

그림 4에서와 같이 α 대역은 사람마다 자극에 따라 불규칙하게 양과 음에 전체적으로 분포되어 있으며, β 대역에서는 개인마다 자극에 따라 평균값이 0 이하의 값에 대체로 안정적으로 분포되어 있다. 따라서 배경뇌파 - 유발뇌파의 차분데이터의 대역별 분석은 전반적으로 β 대역의 데이터들이 시간과 자극에 상관없이 대체적으로 0 이하의 값으로 안정적으로 분포되어 있으며, 반대로 α 대역은 개인차가 큰 값들을 갖음을 알 수 있다.

또한 측정된 뇌파의 14가지 자극별 특성분석을 위하여 그림 4에서와 같은 실험방법을 사용하였다. 부분별 특성분석을 위하여 시간별(1[sec]간격) 평균값을 사용하였다. 그림 5와 6은 자극별로 분석하여 x축을 시간 60[sec]로, y축을 실험대상인 사람 15명으로, z축을 시간별 평균값으로 3차원의 형태로 나타낸 것이다.

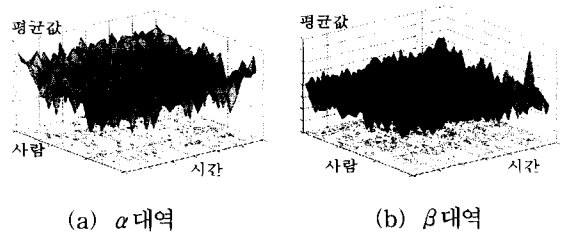


그림 5. 9번 자극슬라이드의 차분데이터의 평균값

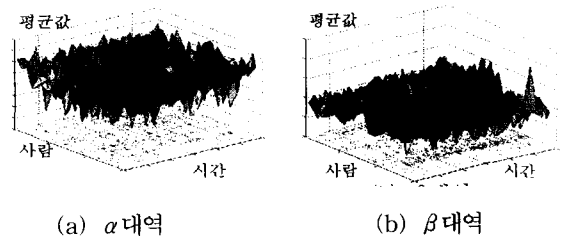


그림 6. 11번 자극슬라이드의 차분데이터의 평균값

표 1. 자극별 평균과 표준편차

	Average of α band	Standard variation of α band	Average of β band	Standard variation of β band
1	-0.0812	0.0341	-0.0091	0.0111
2	0.0575	0.0430	0.0592	0.0122
3	-0.0603	0.0389	-0.0531	0.0079
4	0.0465	0.0368	-0.0504	0.0102
5	0.1148	0.0426	-0.0725	0.0097
6	0.0081	0.0363	-0.0466	0.0103
7	0.0210	0.0513	-0.0210	0.0092
8	-0.0065	0.0416	-0.0663	0.0107
9	0.0347	0.0381	-0.0425	0.0107
10	0.0205	0.0445	-0.0262	0.0082
11	0.0159	0.0503	-0.0341	0.0114
12	0.0491	0.0497	-0.0224	0.0158
13	0.0217	0.0391	-0.0481	0.0130
14	0.0399	0.0422	0.0331	0.0101

보다 정확한 분석을 위하여 표 1과 같이 각 자극별 데이터들의 평균과 표준편차의 값을 대역별로 구하였다. 표 1을 살펴보면 먼저 α 대역과 β 대역의 표준편차에서 큰 차이를 나타낸다. β 대역의 표준편차의 값이 α 대역의 표준편차의 값보다 작음을 알 수 있다. 여기서 α 대역이 β 대역보다 보다 더 개인차가 심함을 알 수 있으며, 또한 시간의 변동에 따라 차분의 값이 큼을 알 수 있다. α 대역에서는 7번 자극과 11번 자극에서 표준편차의 값이 보다 더 커서 개인차가 심함을 알 수 있으며, β 대역에서는 3, 5, 7, 10번 자극에서 표준편차의 값이 적어서 개인차가 적음을 알 수 있다.

표 1의 평균부분을 살펴보면 α 대역에서는 몇 개의 자극을 제외하고서는 양의 값을, β 대역에서는 전 자극에 걸쳐서 음의 값을 갖고 있다. 특히 α 대역에서는 2번 자극과 5번 자극에서 큰 양의 값을 가지며, β 대역에서는 5번 자극과 8번 자극에서 큰 음의 값을 보이고 있다. 이것은 차분데이터의 평균값이 크다는 것을 의미하며, 또한 자극에 대한 반응이 크게 나타났음을 의미한다. 따라서 5번 자극에 의해 측정된 뇌파는 α 대역과 β 대역에 걸쳐서 큰 반응을 보였음을 알 수 있으며, β 대역의 표준편차의 경우에는 거의 모든 시간과 실험 대상자에 걸쳐서 큰 자극을 나타냈음을 알 수 있다.

3. 유발뇌파의 파라미터 추정

그림 7은 Prony 모델의 파라미터 추정을 위한 흐름도

로서, 측정된 유발뇌파를 가지고 먼저 Prony 모델의 차수를 결정하고 결정된 차수를 이용하여 Prony 모델의 파라미터를 추정한다. 추정된 Prony 모델의 파라미터에서 주파수 f , 감쇠인자 λ , 및 진폭 A 를 계산하여 감쇠지수인 감쇠지속시간과 크기를 추정한다.

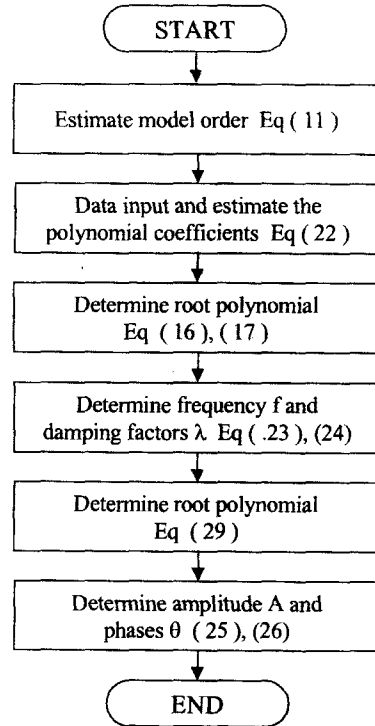


그림 7. Prony 모델의 파라미터 추정을 위한 흐름도

1) Prony 모델의 최적차수 p 설정

먼저 식 (11)을 이용하여 측정신호인 유발뇌파에서 Prony 모델의 최적차수를 결정한다. 표 2는 측정된 유발뇌파의 AIC(p) 값을 나타낸 것이며, AIC(p) 값이 최소인 값은 1.4392로서 이때의 차수 6이므로 본 연구에서는 최적차수를 6차로 하였다.

표 2. 차수 p에 따른 평균 AIC(p) 값

order p	AIC(p)	order p	AIC(p)
1	2.3047	9	4.0231
2	3.3431	10	2.9335
3	2.8614	11	4.4798
4	2.5331	12	2.3928
5	1.5259	13	3.3690
6	1.4392	14	3.9012
7	1.9486	15	2.2627
8	2.1543		

2) 주파수 f_i 와 감쇠인자 λ_i 추정

최적치수 6차로 결정된 후 식 (22)를 이용하여 LPC $a(1), a(2), \dots, a(p)$ 값을 구한다. 계산된 LPC를 식 (16)과 (17)에 대입하여 Prony모델의 파라미터 z_i 의 값을 추정하며, 추정된 z_i 의 값을 가지고 식 (23)과 (24)로부터 감쇠인자 λ_i 와 주파수 f_i 를 추정한다. 추정된 감쇠인자 λ_i 를 표 3에 나타내었다.

표 3. 14가지 유발뇌파의 평균 감쇠인자 λ_i

	α band	β band
1	-3.1737939	-2.3081768
2	-5.8238651	-4.5331306
3	-2.6603607	-3.0336461
4	-2.6732307	-1.9348239
5	-5.9378496	-2.5559735
6	-2.8700553	-3.3459587
7	-3.5795246	-3.5387185
8	-5.6571958	-3.5459335
9	-3.2684181	-2.8187399
10	-3.6307427	-3.3407377
11	-9.9575155	-4.0827571
12	-3.5051223	-5.7158168
13	-5.9064303	-4.8834220
14	-4.1039218	-3.1313398

3) 감성평가지수 크기 A_i 추정

감성평가지수 크기 A_i 를 추정하기 위하여 Prony모델의 파라미터인 h_i 를 추정하여야 한다.

Prony모델의 파라미터 h_i 는 추정된 z_i, A_i 의 값을 가지고 식 (25)로부터 감성지수 크기 A_i 의 값을 추정하며, 추정된 평균감성크기 A_i 는 표 4와 같다.

표 4. 14가지 유발뇌파의 평균감성크기 A_i

	kind of stimulation	α band	β band
1	impatient	0.16871209	0.16114920
2	brutality	0.31277645	0.27199993
3	brutality	0.31418151	0.25551863
4	rage	0.25186417	0.17040511
5	brutality	0.34590577	0.11067452
6	sexual stimulation	0.28002540	0.24569809
7	joy	0.33600336	0.15884583
8	rage	0.21833751	0.15379543
9	brutality	0.30101638	0.23240909
10	brutality	0.20083485	0.28544029
11	fear	0.74802532	0.33271414
12	impatient	0.22126669	0.29090597
13	sexual stimulation	0.62345718	0.28707768
14	joy	0.27506011	0.13797952

4) 감성지속시간 t 추정

본 연구에서 추정하고자 하는 감성지수인 감성지속시간 t 는 표 3에 나타낸 λ_i 의 값과 식 (32)를 이용하여 α 대역과 β 대역의 감성지속시간 t 를 구한다.

$$e^{\lambda_i t} \leq 0.05 \tag{32}$$

식 (32)는 식 (12)로부터 유도된 감쇠함수이며, 감쇠인자 λ_i 와 감성지속시간 t 에 의하여 Prony모델이 0.05(95[%])까지 감쇠한 경우로서 자극을 받은 감성이 없어지는 것으로 가정하였다. 추정된 평균 감성지속시간 t 는 표 5와 같다.

표 5. 14가지 유발뇌파의 평균 감성지속시간 t

	kind of stimulation	α band [sec]	β band [sec]
1	impatient	0.51228942	0.59441667
2	brutality	0.32510483	0.35605000
3	brutality	0.26261683	0.34801667
4	rage	0.39795258	0.53218333
5	brutality	0.37719117	0.47219167
6	sexual stimulation	0.35007200	0.33836667
7	joy	0.26652008	0.37809167
8	rage	0.37657283	0.43112500
9	brutality	0.32500183	0.36874167
10	brutality	0.39896025	0.37461667
11	fear	0.27570275	0.27017500
12	impatient	0.30917692	0.33892500
13	sexual stimulation	0.28147733	0.31491667
14	joy	0.27073175	0.43819167

5) 감성평가지수 평가

Prony모델에 의한 감성평가지수인 감성크기 A_i 와 감성지속시간 t 의 타당성을 검토하기 위하여 감성이 분류되는지 확인해 본 결과 표 4와 5에서 각 자극을 6가지 감성을 유발하는 자극으로 즉, 안타까움(1, 12), 잔인함(2, 3, 5, 9, 10), 분노(4, 8), 성적자극(6, 13), 기쁨(7, 14), 공포(11)로 분류되었으며, 또한 6가지 감성을 쾌자극(성적자극, 비쾌자극)과 불쾌자극(안타까움, 잔인함, 분노, 공포)로 분류되었고, 분류된 감성별자극의 평균 감성지속시간과 평균 감성지수크기를 표 6과 7에 나타내었다.

표 6과 7에서의 평균 감성지속시간과 크기를 각 감성별로 분석하기 위하여 α 대역, β 대역으로 그림 8과 9에 나타내었다. 그림 8과 9의 범례는 다음과 같다.

범례 : ■ impatient, ◆ brutality, ▲ rage, ○ fear, × sexual stimulation, ● joy

표 6. 감성별 유발뇌파의 평균지연시간 t

kind of emotion		α band	β band
displeasure stimulation	impatient	0.405	0.46
	brutality	0.332	0.37
	rage	0.38	0.48
	fear	0.275	0.27
average		0.348	0.395
pleasure stimulation	sexual stimulation	0.315	0.32
	joy	0.265	0.4
average		0.29	0.36

그림 8과 9를 고찰하면 감성지속시간과 크기를 가지고 감성을 분류할 수 있다는 것을 알 수 있다. 즉, 각 감성별로 감성지속시간과 감성지속크기의 특징을 가지고 있음을 의미한다.

특히 분노와 안타까움의 자극은 감성지속시간은 크나 크기는 작음으로서 자극은 작게 받았으나 그 자극의 지속시간은 오래 남았음을 알 수 있다. 또한 공포 자극같은 경우에는 감성지속시간은 작고, 크기는 큼으로서 자극은 크게 받았지만 그 자극은 오래 남지 않았음을 알 수 있다.

표 7. 감성별 유발뇌파의 평균진폭 A_i

kind of emotion		α band	β band
displeasure stimulation	impatient	0.19	0.225
	brutality	0.292	0.228
	rage	0.23	0.16
	fear	0.74	0.33
average		0.363	0.2357
pleasure stimulation	sexual stimulation	0.45	0.26
	joy	0.3	0.14
average		0.375	0.2

IV. 결론

본 연구에서는 유발뇌파의 정량화된 감성을 평가하는 지수를 설정방법을 연구한 결과 다음의 결론을 얻었다.

Prony모형을 적용하여 유발뇌파 감성평가지수인 파라미터를 추정할 수 있었으며, 추정된 감성평가지수 파라미터에 의해서 감성지속시간과 크기를 추정할 수 있었으며, 감성평가지수 파라미터인 감성지속시간과 크기를 추정함으로써 안타까움, 분노 및 공포의 감성을 감성평가지수로 분류할 수 있었으며, 추정된 파라미터가 감성평가지수로서 적합함을 확인하였다.

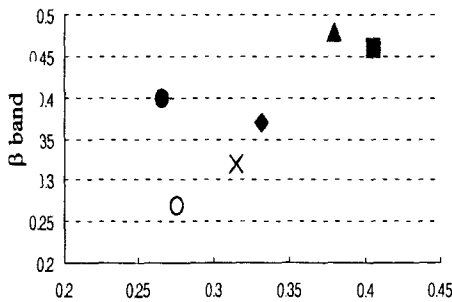


그림 8. 감성별 유발뇌파의 평균감성지속시간 t

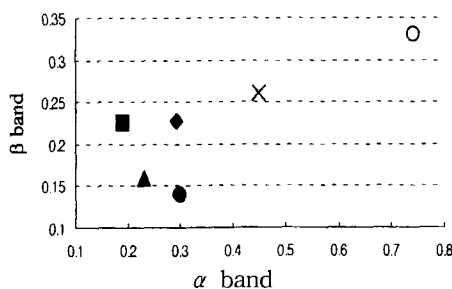


그림 9. 감성별 유발뇌파의 평균진폭 A_i

참고 문헌

- [1] Steven L., "Alteration in EEG Amplitude, Personality Factors, and Brain Electrical Mapping after Alpha-Theta Brainwave Training : A Controlled Case Study of an Alcoholic in Recovery", Clinical and Experimental Research, Vol.16, No.3, pp. 547-552, 1992.
- [2] Georg Stenberg, "Personality and the EEG : Aroual and Emotional Arousability", Personality and Individual Diff., Vol.13, No. 10, pp.1097-1113, 1992.
- [3] 최갑석, "EEG計測 시스템과 信號處理", 전자공학회지, 제13권, 제3호, pp.20-28, 1986
- [4] 최갑석, "Pisarenko harmonic Decomposition에 의한 배경뇌파 파워 스펙트럼에 관한 연구", Journal of KOSOMBE, Vol.8, No.1, Jun. 1987

[5] 최갑석, "LMS PHD에 의한 배경뇌파 파워 스펙트럼 추정", Journal of KOSOMBE, vol.9, No.1, 1988

[6] G. G. Inbar, "Signal Analysis and Pattern Recognition in Biomedical Engineering", John Wiley & Sons, New York. 1974.

[7] 최갑석, 황수용, "A Study on Analysis of Evoked Potential by Stimulus in Object color", Korea-Japan Joint conference on MBA. 1989

[8] 최갑석, "AR 모델에 의한 시각유발뇌파의 Bicoherence 분석에 관한 연구", Journal of KOSO-MBE, Vol.8, No.2, 1987

[9] Naohiro Ishi, Minoru Muto, Masanori Takahashi, Akira Iwata, Nobuo Suzumura, "On Response of Evoked Potential by Photic Stimulation", MBE, Vol.28, pp.33-40, 1981.

[10] Richard W. Kulp, "An Optimum Sampling Procedure for Use with the Prony Method", IEEE. Trans. on Electromagnetic compatibility, Vol. EMC-23, No.2, pp. 67-71, May. 1981.

[11] K. Inomoto, S. Hattori, "Prony's method applied to estimate noise source locations and their sound powers", Journal of Sound and Vibration, pp. 509-517, 1983.

[12] Homer P. Bucker, "Comparison of FFT and Prony algorithm for bearing estimation of narrow band signals in a realistic ocean environment", J. Acoust. Soc. Am., Vol.61, No.3, pp. 756-762, March. 1977.

[13] D. H. Trivett, "Modified Prony method approach to echo-reduction measurements", J. Accoust. Soc. Am., Vol.70, No.4, pp. 1166-1175, Oct. 1981.

[14] Margaret M., Baradley and Peter J. Lang, "Measuring Emotion : The Self-Assessment Manikin and Semantic Differential", J. Behav. Ther. & Exp. Psychiat.

저 자 소 개

俞炳旭(正會員) 第36卷 T編 第4號 參照
 현재 (주)데이터씨큐어 정보기술연구소장

印俊煥(正會員) 第36卷 T編 第4號 參照
 현재 명지전문대학 전자과 교수



金承謙(正會員)
 1954년 3월17일생. 1980. 2명지대학교 전자공학과 (공학사). 1982. 8 명지대학교 대학원 전자공학과(공학석사). 1994. 2 명지대학교 대학원 전자공학과(공학박사). 1984. 12~현재 천안공업대학 전자과 교수. 주관심분야는 음성인식, VoIP, CAD/CAM

金昌錫(正會員) 第36卷 T編 第4號 參照
 현재 명지대학교 전자공학과 교수