

뇌파 비교를 통한 안정 상태평가에 관한 연구

서인석*

요약

본 논문에서는 전두엽과 두정엽의 4채널 뇌파를 이용하여 인간의 쾌적성 평가를 위한 알고리즘을 개발하고자 한다. 알고리즘은 선형 예측 분석과 신경회로망으로 구성되며, 많은 피검자들의 템플릿(template)을 활용한다. 먼저 다양한 실험 환경을 조성하여 쾌적 및 불쾌적인 상태의 뇌파를 수집하였다. 그리고 나서 개발된 알고리즘을 이용하여 쾌적성 평가 실험을 수행하였으며, 전두엽의 α 파 전력비(power ratio)를 이용한 기존의 감성 평가 방법과 성능을 비교해 보았다. 온도와 습도를 이용한 쾌적성 평가를 위해 여러 방법으로 수집된 뇌파를 통해 적은 채널을 이용하면서 감성을 평가할 수 있는 전극의 위치를 확인하고자 실시한 여러 가지 조합의 2채널, 4채널 실험에서는 쾌적성 평가 결과가 제시한 task와 80%가 일치하여 Heller의 감정 모델에 근거한 4채널이 가장 변별력을 나타내는 전극의 위치임을 알 수 있었다. 또한 기존의 α 파 전력을 통하여 뇌의 활성 영역을 구분하여 감성을 평가하는 방법에서는 상당히 저조한 성능을 나타내어 감성과의 상관성을 확인할 수 없었다.

A Study of Stability Evaluation Method Using EEG

In-Seok Seo*

Abstract

This paper proposes an algorithm for human sensibility evaluation using 4-channel EEG signals of the prefrontal and the parietal lobes. The algorithm uses an artificial neural network and the multiple templates. The linear prediction coefficients are used as the feature parameters of human sensibility. Comfortableness and temperature/humidity are evaluated. Many conventional researches have emphasized that a wave of left prefrontal lobe is activated in case of positive sensibility and that of right prefrontal lobe is activated in case of negative sensibility. So the power ratio of a wave is obtained from FFT computation and the results are compared.

The results of the comfortableness evaluation for temperature and humidity showed that the outputs of the proposed algorithm coincided with corresponding sensibilities depending on the task of the temperature and the humidity. The conventional method using a wave is hardly related with comfortableness. And it is also observed that the uncomfortable state due to the high temperature and humidity can be easily changed to the comfortable state by small drop of the temperature and the humidity.

Key words : sensibility evaluation, 4-channel EEG signals

1. 서론

감성공학은 인간이 외부의 자극을 감지하여 반응하면서 마음으로 느끼는 복합 감정의 속성인 감성(sensibility)을 해석하고, 과학적으로 분석한 후 공학적으로 적용하여 인간의 감성을 정성, 정량적으로 측정 평가하고, 이를 제품설계에 응용하여 궁극적으로 인간의 삶을 보다 편리하고 쾌적하게

하고자 하는 학문이다. 감성을 평가하는 접근 방식은 피검자의 주관적인 평가를 토대로 하는 심리적 평가 방법과 생리 신호를 이용하는 생리적 평가 방법으로 나눌 수 있다. 여기서 이용되는 생리 신호는 자율 신경계에 의한 혈압, 심전도, 맥박, 피부 온도 등과 중추 신경계의 뇌파(electroencephalogram, EEG) 등이 있는데, 감정(emotion)에 대한 연구에서는 뇌파가 가장 많이 이용되고 있다. 이는 뇌파가 두뇌 활동에 대하여 방대한 정보를 포함하고 있으므로 정신적 활동, 감정 상태 등에 대한 정보를 얻어낼 수 있기 때문이다.

Davidson은 비디오를 보여주면서 뇌파를 기록하여 α 파의 좌우차를 이용하여 긍정 감성에서는 좌

※ 제일저자(First Author) 서인석

접수일 2005년 8월 27일, 완료일 2005년 12월 12일

*청주대학교 전자정보공학부 겸임교수

sis0017@paran.com

측 전두부가 활성화되고, 부정 감성에서는 우측 전두부가 활성화된다는 연구 결과를 발표하였고, 소아의 경우에도 여성의 웃는 얼굴을 볼 때에는 좌측의 뇌파 활동이 강하고, 슬픈 얼굴을 보면 뇌파 활동에 좌우차가 없었다고 하는 연구 결과도 발표하였다[1]. 또한 Yoshida는 앞쪽 Fp1, Fp2의 2채널에서 뇌파의 α 파 fluctuation을 이용하여 쾌적성과 각성도를 구분하였고[2], Heller는 2개의 정신적 감성의 차원과 뇌의 활성 영역을 결합하여 감정 모델을 제안하였다[3].

반면에 Musha 등은 여러 위치의 10채널 뇌파를 이용하여 주파수 대역의 상호상관계수(cross-correlation coefficients)를 특징 파라미터로 하면서 감정으로 사상시키는 ESAM(emotion spectrum analysis method)을 개발하여 감정을 정량화할 수 있다고 하였고[4], Anderson은 가운데와 뒤쪽에서 검출한 6 채널의 뇌파를 이용하여 AR(auto-regressive) 모델링하고, 수학 연산, 편지 쓰기 등의 정신적 작업을 분류하는 연구를 하였다[5]. 이들 연구들은 의미있는 성과를 얻었지만, 피검자의 수를 밝히지 않는 경우가 많아 통계적 의미에서 의문이 있을 수 있으며, 실험의 복잡성과 방법의 한계, 또한 급격한 신호의 특징 변화 등으로 인해 재연성도 거의 기대하기 어려울 것이다. 그러나 감성에 따른 뇌파의 비대칭성과 주파수 대역의 발생 차이는 공통적인 결론으로 받아들여지고 있어서 많은 학자들이 이들 연구 결과를 토대로 각자의 연구 접근방식을 설정하기도 한다.

본 연구에서는 전두엽과 두정엽의 뇌파를 이용하여 인간의 쾌적성을 평가하기 위한 알고리즘을 개발하고자 한다. 알고리즘은 선형 예측 분석과 신경회로망으로 구성되며, 많은 피검자들의 템플릿(template)을 활용한다. 먼저 다양한 실험 환경을 조성하여 쾌적 및 불쾌적인 상태의 뇌파를 수집하였다. 그리고 나서 개발된 알고리즘을 이용하여 쾌적성 평가 실험을 수행하였으며, 전두엽의 α 파 전력비(power ratio)를 이용한 기존의 감성 평가 방법과 성능을 비교해 보았다.

2. 뇌파 신호처리 및 신경회로망

2.1 특징 파라미터 추출 및 감성 평가신경회로망
본 연구에서는 뇌파의 발생 과정을 그림 1과 같

이 전극(all-pole) 시스템인 AR(autoregressive) 모델로 가정하여 선형 예측 계수를 감성의 특징 파라미터로 이용하였다. 생체 시스템은 비선형적이지만, 적절한 차수의 선형 예측 분석은 시스템을 근사하게 표현할 수 있을 것이다.

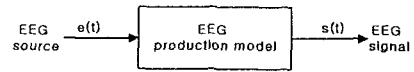


그림 1 선형 뇌파 발생 모델

선형 예측 분석을 위한 방법은 블록 추정이나 회귀적 추정에 의해 공식화된다. 블록 추정에서는 입력 데이터가 어느 정도의 안정성(stationarity)이 있다고 보는 길이의 블록 단위로 처리되고, 회귀적 추정에서는 매개변수가 매 샘플마다 갱신된다. 본 연구에서는 블록 추정의 한 방법인 Burg 알고리즘을 6차로 구성하여 이용하였다[7].

이렇게 추출된 뇌파의 특징 파라미터를 이용한 감성 평가 단계를 위해서는 그림 2과 같은 다층 퍼셉트론(multi-layer perceptron, MLP) 형태의 신경 회로망을 활용하였다.

다층 퍼셉트론은 입력층(input layer)과 출력층(output layer) 사이에 하나 이상의 은닉층(hidden layer)이 존재하는 신경회로망으로서, 비선형적 사상(nonlinear mapping)의 특성을 활용한 패턴 분류에 많이 사용된다. 본 연구에서는 신경 회로망을 감성의 정도를 나타내는 출력단으로 사용하며, 학습에는 역전파 학습 규칙(back propagation learning rule)을 사용하였다.

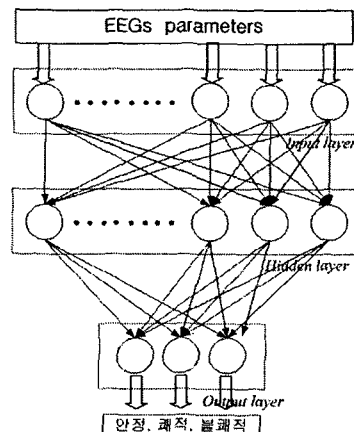


그림 2 신경회로망의 구조

본 연구를 위한 신경회로망의 구조에서 입력층은 24개(6차×4채널), 출력층은 3개(안정, 불쾌적, 쾌적)로 결정되지만, 은닉층의 노드수를 최적으로 결정하기 위하여 노드의 수를 12, 18, 24, 30, 36, 42, 48로 변화시키면서 수렴성능을 확인하였다. 노드의 수가 48개일 때가 가장 먼저 수렴하였으나, 24개의 경우도 거의 비슷한 성능을 나타내고, 수렴 시간에서만 근소한 차이를 나타내었기 때문에 더 간단한 구조인 24개로 결정하였다.

2.2 디지털신호필터링

뇌파 신호는 수십 μV 정도의 미약한 신호이므로 외부의 전자파 간섭, 전원 등의 잡음이나 근전도(electromyogram, EMG), 눈 깜박임 등과 같은 생체 아티팩트(artifact)에 매우 민감하다. 특히 전원 잡음과 눈 깜박임은 큰 걸림돌이다. 본 연구에서는 감성과는 무관한 것으로 알려진 δ 파 성분과 30Hz 이상의 고주파 성분은 제거하기로 하고, 4Hz의 차단 주파수를 갖는 고역통과 필터(highpass filter, HPF)와 30Hz의 차단 주파수를 갖는 저역통과 필터(lowpass filter, LPF)를 4차 IIR로 설계하여 이용하였다. 식 (1)과 (2)는 설계된 고역통과 필터와 저역통과 필터의 전달함수이다.

$$H(z) = \frac{z^{-2} - 2z^{-1} + 1}{0.842z^{-2} - 1.981z^{-1} + 1.177} \cdot \frac{z^{-2} - 2z^{-1} + 1}{0.914z^{-2} - 1.981z^{-1} + 1.105} \quad (1)$$

$$H(z) = \frac{0.821(z^{-2} - 2z^{-1} + 1)}{0.281z^{-2} - 0.357z^{-1} + 3.362} \cdot \frac{0.821(z^{-2} - 2z^{-1} + 1)}{0.915z^{-2} - 0.357z^{-1} + 2.728} \quad (2)$$

2.3 전처리방법

그림 3과 같은 눈 깜박임 검출 과정을 적용하여 검출된 구간을 제거하였으며, 이는 아래와 같다. 읽어들이는 데이터 전체의 평균값을 계산하고, 평균값의 4배를 눈 깜박임 신호와 뇌파 신호의 구분을 위한 문턱값으로 설정하였다. 눈 깜박임 부분을 찾기 위해서 먼저 눈 깜박임 부분의 피크값을 검출한다. 이를 위하여 읽어들이는 데이터를 절대값으로 바꾼 후에, 현재 포인트를 기준으로 뒤로 2포인트에서의 기울기가 +, 앞으로 2포인트에서의 기울기가 -인 지점을 찾는다. 그리고 그 피크가 뇌파의 피크인지 아니면 눈 깜박임 신호에서 발생한 피크인지 구별하기 위해서 문턱값과 비교한다. 즉, 검출된 피크값이 문턱값보다 크다면 눈

깜박임 신호로 간주하고, 그렇지 않으면 신호라고 본다. 눈 깜박임 신호가 끝나는 지점을 찾기 위해서는 눈 깜박임 피크 지점에서부터 부호가 두 번 바뀌는 지점을 찾는다. 이 위치를 눈 깜박임의 끝으로 볼 수 있지만, 남아있는 영향을 고려하여 눈 깜박임 신호의 평균 구간인 32포인트를 더 건너편 지점을 새로운 뇌파 처리를 위한 시작점으로 설정하고, 검출된 구간은 신호를 제거한다.

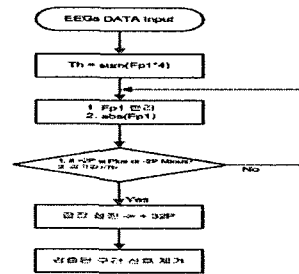


그림 3 눈깜박임 검출

3. 감성평가

3.1 소수 전극의 뇌파를 이용한 감성 공학

뇌파를 이용한 감정 또는 감성의 연구에서는 최소한 2채널의 전극을 사용하던가 아니면 6채널 이상의 많은 전극을 이용하는 경우가 많았다. 그러나 많은 전극을 이용하면 전극 캡의 사용으로 인해 번거롭고, 캡의 압박감으로 인해 피검자가 감성에 충실하기 어려울 것이다. 따라서 본 연구에서는 기존의 연구에서 비교적 정설로 받아들여지고 있는 전극 위치에 대한 연구 결과를 검토하고, 이를 토대로 하여 감성 평가 알고리즘을 개발하였다. 기존의 연구에서는 감성이 전두엽의 비대칭성과 관련된다는 것이 중요성 결과였고, 긍정 감성의 경우 좌측 전두엽, 부정 감성의 경우 우측 전두엽이 활성화된다는 것이다. 또한 Heller는 그림 4와 같이 2개의 감성 축을 기반으로 한 감정 모델을 제시하였고[4], 이후 이와 유사한 감성 공간의 개념이 많은 연구자들에 의해 연구되었다.

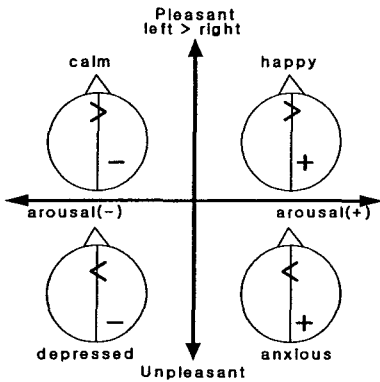


그림 4 Heller의 감정모델 [4]

본 연구에서는 Heller의 감정 모델에서 사용하는 전극의 위치를 기준으로 삼아 감성 평가 알고리즘을 개발하였으며, 전두엽의 α 파 전력에서 비대칭성이 있다는 연구 결과와 성능을 비교하였다. 이를 위하여 좌측 전두엽(Fp1)과 우측 전두엽(Fp2)에서 식 (3)에 의해 α 파 전력비를 계산하였다.

$$\alpha\text{파} = \frac{\sum_{f=8}^{13\text{Hz}} |X(f)|^2}{\sum_{f=1}^{30\text{Hz}} |X(f)|^2} \times 100 \quad \text{power ratio} \quad (3)$$

여기서, $X(f)$ 는 주파수 f 에서의 FFT 스펙트럼을 나타낸다.

3.2 다수의 템플릿을 이용한 감성 평가 기술

뇌파의 특징 파라미터를 추출한 후 이를 신경 회로망의 패턴 분류 능력을 이용하여 감성 평가를 하고자 하는 것이므로 뇌파 파라미터의 변화가 지나치게 크면 성능을 보장할 수 없다. 그런데 뇌파는 피검자, 주위 환경 등에 따라 변화가 심하며, 심지어 동일인도 실험 시점에 따라 전혀 다른 형태를 띄기도 한다. 따라서 음성 인식에서 화자 적응 기법으로 이용되는 여러 방법 중에서 다수의 템플릿을 이용하는 방법을 본 연구의 시스템에 맞게 수정하여 적용하였다. 즉, 여러 피검자의 뇌파를 이용하여 신경 회로망을 학습시키고, 그 가중치(weight)들을 템플릿으로 하여 저장한다. 그리고 감성 평가를 할 때에는 초기에 피검자에게 안정하도록 주문하고, 그 때의 뇌파를 이용하

여 저장되어 있는 다수의 템플릿에서 가장 근사한 템플릿을 선택해 낸다. 선택된 템플릿을 실험 시점에 피검자의 감성 상태와 가장 근사한 것으로 간주하고, 이를 신경 회로망의 가중치로 하여 감성 평가를 하게 된다. 그림 5는 본 연구에서 제안한 쾌적성 평가 방법의 구성도이다.

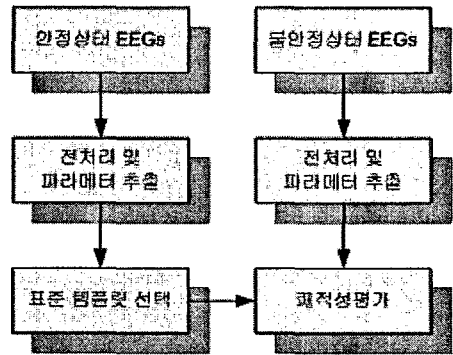


그림 5 제안한 쾌적성 평가 과정

4. 실험 결과 및 고찰

4.1 실험

본 연구에서는 쾌적성 평가를 위한 뇌파 데이터 수집을 위하여 데이터 수집 시스템을 구축하였고, 전극 캡, 뇌파 증폭기, A/D 변환기, 컴퓨터로 구성되어 있다. 전극 캡을 이용하여 피검자의 머리로부터 검출된 뇌파 신호는 뇌파 증폭기를 이용하여 증폭한 후, 쾌적성 평가를 위하여 A/D 변환되어 컴퓨터에 입력된다.

그림 6에서 보는 바와 같이, 개발된 쾌적성 평가 기술과 일반적으로 많이 사용되는 방법을 비교하기 위하여 전두엽의 FFT 스펙트럼을 활용하여 α 파 전력비를 구하여 결과를 분석하였다.

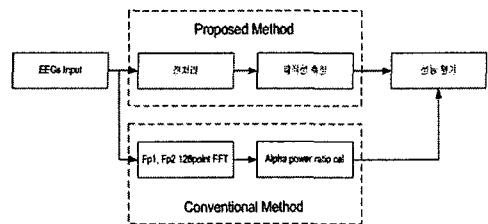


그림 6 성능평가실험

의자 쾌적성 평가를 위한 뇌파 수집은 일반인 10

명을 대상으로 하였다. 4~5일의 간격으로 3회씩 반복 실험하여 30회분의 뇌파 데이터를 수집하였다. 의자를 이용한 실험에서는 가장 감성이 잘 나타나는 시점에 5분간 뇌파를 기록하였다.

4.2 쾌적성 평가 실험 결과

쾌적성 평가를 위한 신경 회로망의 학습에 사용된 데이터는 주관 평가 설문지를 참고하여 한 피검자당 3회분의 데이터 중에서 가장 실험이 잘 되었다고 평가한 날의 데이터를 사용하였다. 5분의 뇌파 데이터에서 초기 20 프레임을 건너뛰어 이어지는 20 프레임의 데이터를 이용하여 학습하였고, 쾌적성 평가 실험에서는 그 다음 40 프레임을 테스트하였다. 한 프레임은 1초간의 데이터이고, 50%를 중첩하여 처리하였다. 쾌적성 평가 실험을 할 때에는 안정 상태의 처음 10 프레임을 이용하여 테스트 대상의 뇌파와 가장 근사한 템플릿, 즉 신경회로망의 가중치를 골라내어 신경회로망의 각 링크(link)에 적용한 후 쾌적성을 평가하게 하였다. 사용 전극의 위치는 기존 연구를 토대로 하여 가장 변별력이 우수한 곳을 찾기 위해 전두엽(Fp1, Fp2, F3, F4, F7, F8) 부분의 2채널 또는 4채널, 그리고 두정엽(P3, P4) 부분을 포함하는 4채널 등 많은 시도를 하였다. 신경회로망의 출력 쾌적을 관찰하여 구분 가능한 정도의 곡선을 나타내면 해당 감성을 잘 표현하는 것으로 판단한다. 이와 같은 의자를 이용한 쾌적성 평가의 실험 결과를 표 1에 나타내었다.

표 1 의자를 이용한 쾌적성 평가 실험 결과(단위 : %)

사용 전극	2채널			4채널		
	Fp1, Fp2	F3, F4	F7, F8	Fp1, Fp2, F3, F4	Fp1, Fp2, F7, F8	Fp1, Fp2, P3, P4
일치율	27.1	41	28.2	45.3	38.6	81

표 1에서 보는 바와 같이, 2채널만 이용한 실험과 4채널에서도 전두엽만 이용한 실험 결과는 아주 저조한 성능을 나타내고 있으며, Heller의 감정 모델에서 사용하는 위치인 전두엽과 두정엽을 포함하는 4채널은 양호한 성능을 나타내었다. 또한 실험의 결과만 볼 때에는 전두 부분의 뇌파만으로는 정확한 감성 평가가 어려울 것이라고 판단할 수 있다. 그림 7은 본 연구의 쾌적성 평가 알

고리즘을 사용하여 의자의 사용 쾌적성을 평가한 실험 결과의 한 예이다. 그림에서 위에 표시한 내용은 입력된 뇌파의 감성 상태를 나타내고, 왼쪽에 나타낸 내용은 신경회로망 출력인 감성 지표를 나타낸다. 이상적으로는 안정의 경우 1열 1행, 쾌적의 경우 2열 2행, 불쾌적의 경우 3열 3행이 큰 값을 나타내어야 한다.

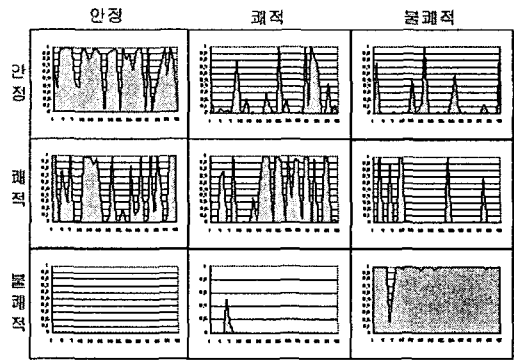


그림 7 의자 쾌적성 평가 결과의 예

실험 결과에서 알 수 있듯이, 안정에 해당하는 신경회로망의 출력값이 쾌적과 불쾌적의 출력값과 비교하여 크게 나타남을 볼 수 있다. 이는 피검자의 초기 안정 상태의 뇌파를 이용하여 가장 근사한 템플릿을 선택하므로 안정에 해당하는 신경회로망의 출력값이 대체로 크게 나타나는 것이다. 쾌적한 감성의 뇌파가 들어올 때 불쾌적에 해당하는 시스템 출력도 증가하였으나, 쾌적에 해당하는 출력에 큰 피크 하나가 발생한 것을 알 수 있고, 불쾌적인 감성의 뇌파가 들어올 때에는 쾌적에 해당하는 시스템 출력은 사라지고, 불쾌적에 해당하는 출력이 크게 증가하였음을 알 수 있다. 의자 쾌적성 평가 실험에서 쾌적의 task가 제시되면 쾌적에 해당하는 신경회로망의 출력이 크고, 불쾌적에 해당하는 출력은 작으며, 반대로 불쾌적 task가 제시되면 불쾌적에 해당하는 출력이 높고, 쾌적에 해당하는 출력이 작게 나타남을 볼 수 있다. 그러나 어떤 경우에는 쾌적과 불쾌적에 신경회로망의 결과 중 하나는 특별한 반응이 없고, 하나만 일치하는 결과를 나타내는 경우도 있었으나 이 경우에도 감성의 상태는 판단할 수 있었다.

6. 결론

본 연구에서는 전두엽과 두정엽의 4채널 뇌파에서 선형 예측 계수를 추출하여 감성의 특징 파라미터로 이용하고, 신경회로망과 다수의 템플릿을 기반으로 한 감성 평가 알고리즘을 개발하였다. 개발된 방법의 성능을 평가하기 위해 의자와 온도습도를 변화하면서 쾌적과 불쾌적인 환경에서의 실험을 수행하였고, 기존의 방법과 성능을 비교하였다.

편안한 의자와 아주 불편한 의자를 이용하여 수집된 뇌파를 이용하여 적은 채널을 이용하면서 감성을 평가할 수 있는 전극의 위치를 확인하고자 실시한 여러 가지 조합의 2채널, 4채널 실험에서는 쾌적성 평가 결과가 제시한 task와 80%가 일치하여 Heller의 감정 모델에 근거한 4채널이 가장 변별력을 나타내는 전극의 위치임을 알 수 있었다. 또한 기존의 α 파 전력을 통하여 뇌의 활성 영역을 구분하여 감성을 평가하는 방법에서는 상당히 저조한 성능을 나타내어 감성과의 상관성을 확인할 수 없었다.

또한 실험 과정에서 부수적으로 쾌적성과 온도습도의 관계를 관찰해 본 결과, 불쾌적인 환경을 조성할 때 습도를 계속 증가시키다가 거의 포화되어 거의 그 상태로 유지되고 있을 때 불쾌감을 표현하지 않던 피검자가 온도가 지속적으로 증가하자 시간이 지날수록 피검자가 가장 불쾌하다는 표시를 빈번히 하는 것을 확인할 수 있었다. 이 결과를 볼 때 습도가 어느 정도에 이르면 이후에는 온도의 증가가 불쾌적 감성에 더 큰 영향을 주는 것으로 이해할 수 있다. 그리고 다시 쾌적한 환경으로 복원하려고 온도와 습도를 낮출 때에는 온도와 습도의 작은 감소에도 쉽게 쾌적해지는 것을 확인할 수 있었다.

참고문헌

[1] R. J. Davidson, "Anterior cerebral asymmetry and the nature of emotion," *Brain and Cognition*, vol. 20, pp. 125-151, 1992.

[2] T. Yoshida, "The estimation of mental stress by 1/f frequency fluctuation of EEG," *Brain*

topography, pp. 771-777, 1998.

[3] W. Heller, J. B. Nitschke, M. A. Etienne, G. A. Miller, "Patterns of regional brain activity differentiate types of anxiety," *Journal of abnormal psychology*, vol. 106, pp. 376-385, 1997.

[4] T. Musha, S. Kimura, K. I. Kaneko, K. Nishida, K. Sekine, "Emotion spectrum analysis method(ESAM) for Monitoring the effects of art therapy applied on demented patients," *CyberPsychology & Behavior*. vol. 3, no. 3, pp. 441-446, 2000.

[5] C. W. Anderson and Z. Sijercic, "Classification of EEG signals from four subjects during five mental tasks," In *Solving Engineering Problems with Neural Networks : Proceedings of the Conference on Engineering Applications in Neural Networks(EANN)*, pp. 407-414.

[7] S. J. Orfanidis, *Optimum Signal Processing : An Introduction*, 2nd ed., Macmillan Publishing Co., 1988.

[8] 이구형, "감성과 감정의 이해를 통한 감성의 체계적 측정 평가," *한국감성과학회지*, vol. 1, no. 1, pp. 113-122, 1998.

[9] C. W. Anderson, E. A. Stolz, S. Shamsunder, "Discriminating mental tasks using EEG represented by AR models," *IEEE Conference on Engineering in Medicine and Biology Society*, vol. 2, pp. 875-876, 1995.

[10] R. Waldstein, W. J. Kop, L. A. Schmidt, A. J. Haufner, D. S. Krantz, N. A. Fox, "Frontal electrocortical and cardiovascular reactivity during happiness and anger," *Biological Psychology*, vol. 55, pp. 3-23, 2000.

서인석

1999년 청주대학교 전자공학과
2001년 청주대학교 일반대학원
전자공학과 석사
2004년 청주대학교 일반대학원
전자공학과 박사수로
현재 청주대학교 전자정보공학부
겸임교수

