

맥파를 이용한 감성평가 및 바이오피드백 시스템 개발

論 文

57-6-28

Development of a Human Sensibility Evaluation and Biofeedback System using PPG

李賢民* · 金東浚[†]
(Hyun-Min Lee · Dong-Jun Kim)

Abstract - This study describes a system for human sensibility evaluation using PPG(photoplethysmogram) signal and biofeedback algorithm to respond the bad(negative) mood. For this objective, PPG signals for two emotional states(positive/negative) are collected. To evoke the test emotions, happy(or joyful) and sad(or irritating) movie files are collected and played in subjects' monitor. From the acquired PPG signal, the heart rate variability(HRV) is calculated. Using the HRV and its FFT spectra, the human sensibility is evaluated. Since the heart is a representative organ which is controlled by the autonomic nervous system(ANS), the ANS may reflect the changes in emotion. The biofeedback algorithm is designed with motion image player interacting with the results of the sensibility evaluation. It was shown that HRV was changed according to the subject's emotions. Accordingly, the sensibility evaluation test showed feasibility of the our method.

Key Words : PPG, HRV, Human sensibility evaluation

1. 서 론

높은 수준의 기술과 의학의 발달은 국민 소득의 증가와 더불어 사람들의 건강에 대한 관심을 증가시켰고, 고령화 사회 진입으로 인한 노인 인구의 증가 등으로 의료복지에 대한 수요를 급증하게 만들었다. 이에 따라 일반인, 환자, 노인 등의 건강관리의 필요성이 대두되고 있으며, 특히 육체적 건강에 대한 관심뿐만 아니라 정신적인 외로움, 우울증과 같은 정서 및 감성에 대한 관심이 집중되고 있다. 이에 따라, 종래의 기능 중심의 제품 개발보다는 사용자의 감성 기능을 고려한 감성 제품의 개발이 불가피하게 되었다. 이러한 흐름에 따라 삶의 질 향상을 위한 인간 중심의 제품 및 환경 설계를 연구하기 위한 감성공학(human sensibility ergonomics) 기술이 태동하였다. 감성의 변화는 신경계 반응으로 나타나며, 외부의 자극에 대한 인간의 중추신경계(central nervous system; CNS)와 자율신경계(autonomic nervous system; ANS)의 통합적 조절에 의해 나타나는 것으로서 이것을 정량화하려는 많은 연구들이 진행되어 왔다. 그 중에서 자율신경계를 통해 생리적 반응을 측정하는 방법에는 심전도(electrocardiogram, ECG)가 주로 이용되고 있으며, 이는 측정 부담감을 최소화하여 공학적 응용의 의미를 높일 수 있는 방법으로 손이나 발에서 측정 가능한 자율신경계 반응을 사용하기 때문이다. 그러나, 심전도를 이용한 측정은

정확성을 보장받을 수 있는 장점이 있긴 하지만, 가슴, 손, 발 등 여러 신체 부위에 측정 전극을 부착해야 하는 번거로움이 있기 때문에 감성의 제품 개발의 측면에서 보다 소형화되고 간편함을 추구하는 소비자의 욕구를 충족시키기에는 어려움이 따른다. 이에 비해 맥파(photoplethysmography; PPG)는 심장의 수축·확장과 동시에 발생하는 말초정동맥계의 박동 현상을 그래프로 나타낸 것으로서, 심전도와 같이 자율신경계를 통해 생리적 반응을 측정하는 신호이지만, 손가락에 센서 하나만 부착시키면 되기 때문에 상대적으로 신호의 측정이 용이하고 간편하다는 장점을 가지고 있다.

심박을 이용한 감성평가의 방법 중 하나로는 심박변이도(heart rate variability; HRV)가 있다. HRV는 자율신경계의 상태를 측정하기 위한 비침습성의 도구이며, 특수한 생리학적 요소와 주파수 스펙트럼간의 일치를 보인다. 그렇기 때문에 이러한 HRV를 생체의 신경·생리상태 등을 자극정보로 바꾸어서 그 생체에 전달하는 조작인 바이오피드백(biofeedback)에 적용한 연구들이 활발히 진행되고 있다 [1-4]. 이러한 연구들은 많은 결과를 보고하였고, 지금도 새로운 시도들에 의한 결과들이 보고되고 있지만, 개인차가 크고 피검자의 정신 상태 및 환경의 영향에 의한 변화가 심하기 때문에 많은 한계를 나타내고 있다. 그러나 HRV의 주파수 스펙트럼에 따른 LF(low frequency)/HF(high frequency)의 비율이 감성의 변화에 의해 나타나는 자율신경계의 활동과 밀접한 관계가 있다는 비교적 공통적인 결론을 내리고 있다. 이에 따라, 최근의 많은 연구자들은 이런 연구 결과를 토대로 HRV를 이용한 감성평가 연구를 진행 중에 있으며, 심전도 측정에 따른 손이나 발 등 여러 신체 부위에 측정 센서를 부착해야 하는 번거로움을 보완하기 위한 각자의 연구 방향을 설정하고 있다.

* 學生會員 : 淸州大 工大 電子工學科 博士課程

[†] 敎師, 正會員 : 淸州大 工大 電子工學科 敎授 · 工博

E-mail : djkim@cju.ac.kr

接受日字 : 2008年 4月 15日

最終完了 : 2008年 5月 8日

본 연구에서는 심전도보다 측정이 간편한 맥파를 이용하여 HRV를 검출하고, 이를 이용하여 인간의 감성을 평가하는 기술을 개발하고, 감성 평가의 결과에 따라 시청각을 이용하여 감성을 조절할 수 있는 바이오피드백 기술을 개발하고자 하였다. 이를 위하여 피검자들을 선정하고, 그들로부터 맥파를 수집하여 HRV를 추출하였으며, 주파수 영역에서의 분석 방법으로 LF/HF의 비율을 통한 부정적 상태와 긍정적 상태를 구분하는 실험을 하였고, 그 결과에 따라 개발된 바이오피드백 기술을 적용하여 피검자들의 감성이 개선되는지를 확인하고자 하였다.

2. 감성평가 알고리즘

일반적인 성인의 맥박률은 약 60~80bpm(beats per minute)이며, 이는 약 1~1.33Hz에 해당되므로 주기는 약 0.75~1초 이상이 되어야 한다. 주기 검출에 사용되는 윈도우의 길이는 어떤 알고리즘을 이용하더라도 계산량과 거의 직접적으로 비례하여야 하며, 추출된 주기의 정확성과 상충되므로 신중하게 설정하여야 한다. 보통 한주기 이상으로 설정하며, 주기의 급격한 변화에 대처하기 위해 몇 주기 구간을 더 이용하기도 한다. 이렇게 PPG 신호로부터 피크값을 검출하고, 검출된 피크값과 피크값의 간격을 심박 주기(heart rate)라 하며, 그 간격들의 연속적인 변화가 심박변이도이다[5]. HRV를 추출하기 위해서는 우선적으로 심박 주기를 구해야 한다. 심박 주기를 구하기 위해서 PPG 신호로부터 피크값을 검출하였고, 피크값들이 나타난 시간들로부터 심박 주기를 결정하는 방법을 사용하였다.

2.1 피크 검출

PPG 신호는 주기 부분에서 비교적 큰 피크를 가지나, 미약한 신호인 경우에는 작은 피크들로 구성되므로 매우 신중한 처리 과정이 요구된다. 이는 비정상적인 PPG 신호에서 주기가 잘못 검출되어 정상적으로 검출되는 것처럼 나타나면, 이후 행해질 감성평가에서 감성의 변화가 없는 것처럼 나타나거나 전혀 다른 감성상태를 나타낼 수 있기 때문이다. 따라서 본 연구에서는 주기성이 매우 뚜렷해서 강한 PPG 신호라고 판단되는 경우에만 심박 주기를 결정할 수 있도록 하였으며, 주기 피크 검출 후에도 심박 주기 계산에 현재 프레임과 전·후 프레임의 결과를 활용하여 결정하는 과정을 제안하고자 한다.

일반적인 피크 검출 방법은 피크 검색 구간에서 가장 큰 피크만을 검출하는 방식이므로 주변 잡음과 제 2 피크의 영향이 나타날 수도 있는 PPG 신호에서는 잘못된 주기 피크를 검출하는 오류가 발생할 수 있으므로 적합하지 않다. 따라서 본 연구에서는 피크의 평균 높이와 피크를 구성하는 전·후 밸리의 사이의 간격을 파라미터로 이용하여 주기에 해당하는 피크의 검출이 쉽지 않은 경우에도 정확한 주기 피크를 검출할 수 있도록 하였으며, 이 때 사용되는 파라미터는 그림 1과 같다.

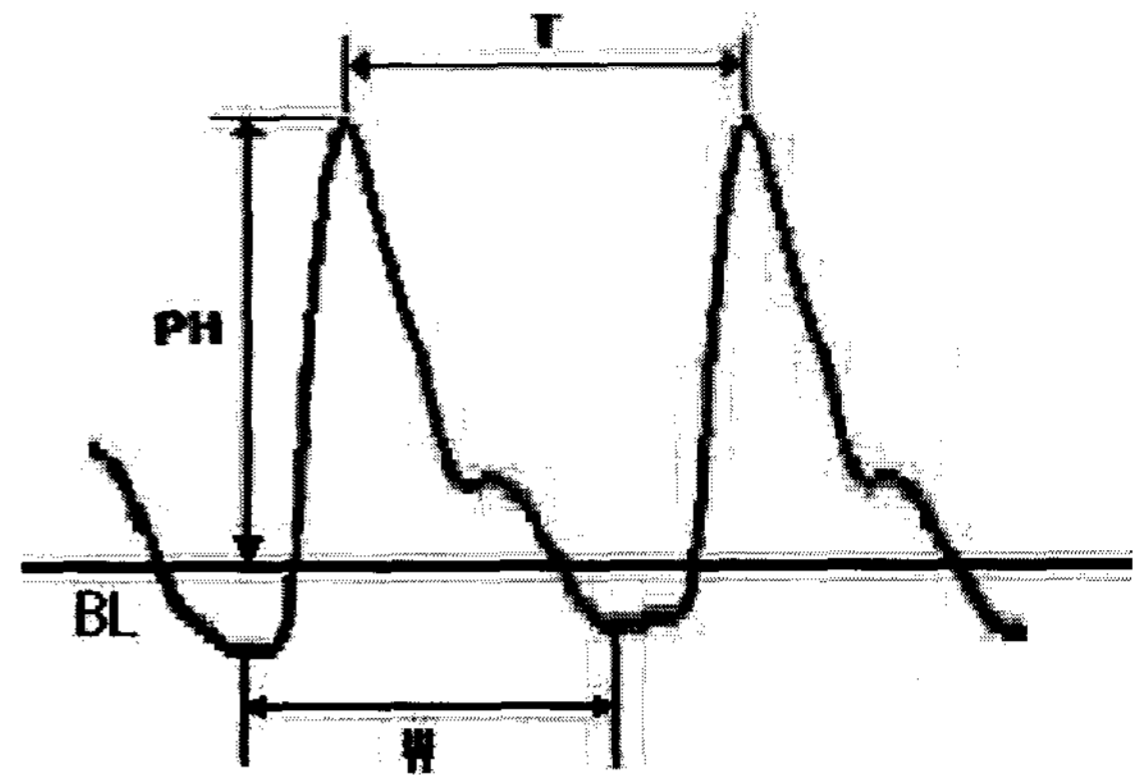


그림 1 피크 검출에 사용되는 파라미터
Fig. 1 Parameters for peak detection

PH는 피크의 전·후 밸리 부분으로부터의 평균 높이이고, W는 피크가 나타나는 전·후 밸리 상이의 간격을 나타낸다. 그리고 구하고자 하는 심박 주기를 T로 나타내었다. 피크 검출은 피검자의 심박 주기를 고려하여 심박 주기가 존재할 것으로 예상되는 구간(0.25~1.49 sec)내에서 기울기가 +에서 -로 바뀌고, PH가 실험적으로 정한 문턱치(문턱값1=1mV, 문턱값2=5mV)의 범위안에 해당하는 지점을 피크들에 대하여 크기 및 위치, 전·후 밸리의 위치를 순차적으로 저장한다. 저장된 피크들의 크기를 비교하여 가장 큰 피크값의 95% 이내 피크들 중 전·후 밸리 사이의 간격(W)이 가장 큰 것을 일단 주기로 인정한다. 그리고 이를 위해 그림 2의 흐름도와 같은 피크값 검출 기법을 개발하여 사용하였다.

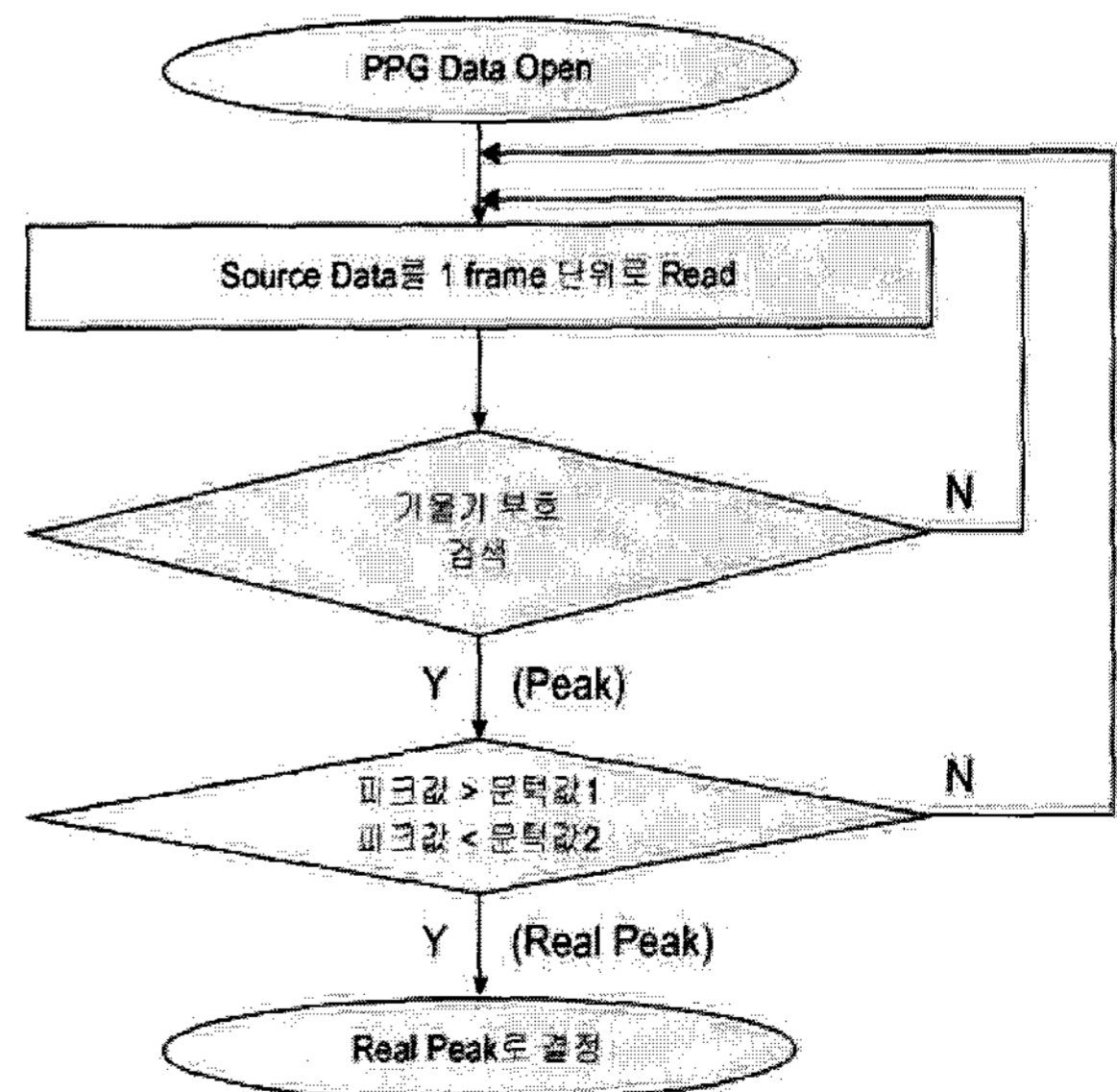


그림 2 피크값 검출 알고리즘
Fig. 2 Peak detection algorithm

2.2 심박 주기 결정

연산 프레임의 길이가 2초이므로 연산된 한 프레임 내에서 적어도 1개 이상의 주기가 검출될 수 있다. 그러므로 본 연구에서는 한 프레임에서 두 개의 주기를 검출하기로 하고, 첫 번째 검출된 주기의 시점에서 0.25초 후부터 프레임의 끝까지 같은 방법으로 주기에 해당하는 피크를 검출한다. 검출된 두 개의 주기는 주기값 간의 차이의 비교를 통해 실험적으로 설정한 허용오차 θ 이내의 차이를 나타내면 해당 프레임에서 주기가 검출된 것으로 하고, 그렇지 않으면 검출되지 않은 것으로 한다. 즉, $|P1-P2| < \theta$, ($\theta=0.5$ sec)인 경우 주기가 검출된 것으로 한다. 그림 3은 주기 피크 검색 과정을 설명하는 것이다.

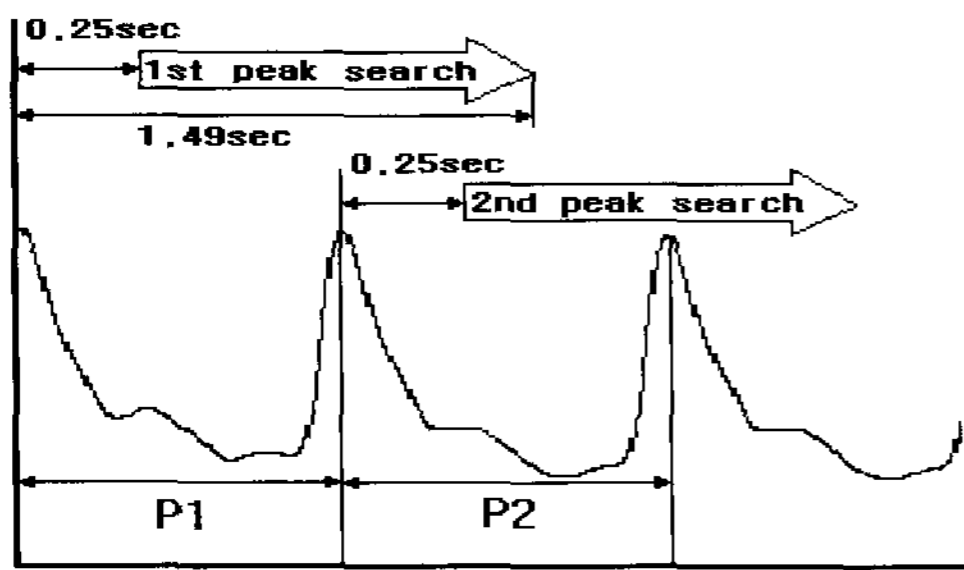


그림 3 피크 검색 구간
Fig. 3 Peak searching sections

보통의 경우 심박 활동은 한 프레임의 시간동안 급격히 변하지 않을 것으로 생각할 수 있으므로, 본 연구에서는 주기 검출 알고리즘의 오류 가능성을 줄이기 위하여 앞·뒤 프레임의 주기정보를 활용하여 최종적으로 심박 주기를 결정한다. 그림 4는 심박 주기를 결정하는 과정을 나타내는 순서도이다.

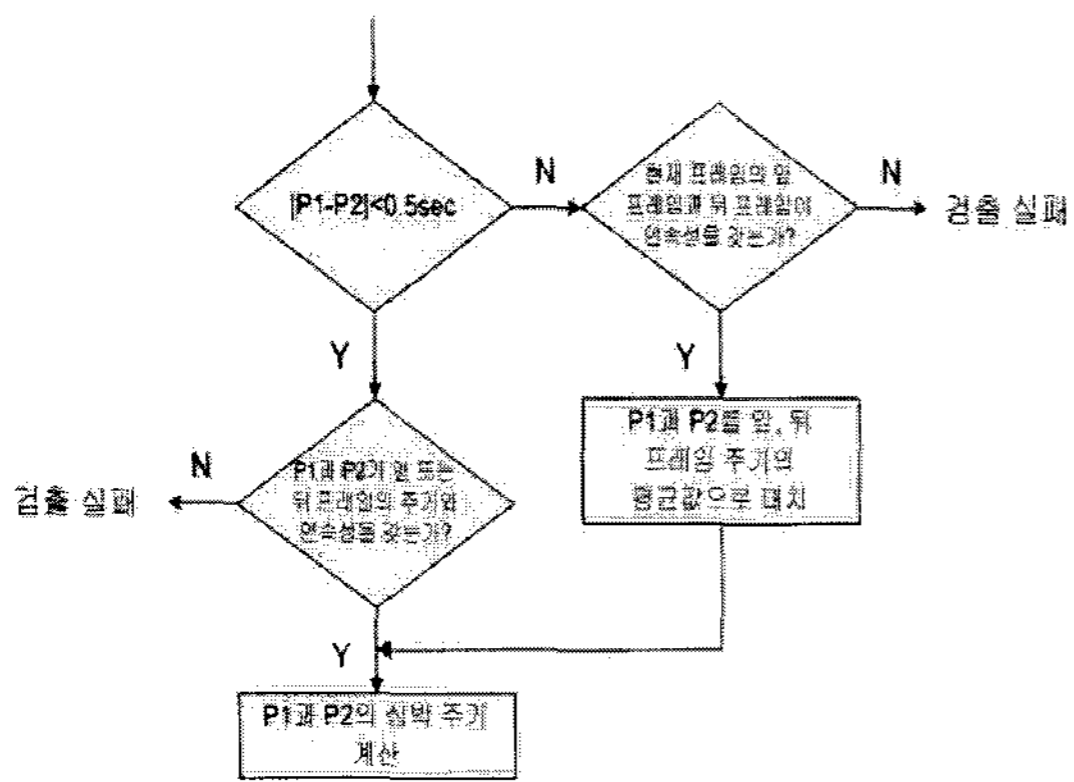


그림 4 심박 주기 결정 알고리즘
Fig. 4 Heart rate decision algorithm

정상적으로 검출되다가 한 프레임에서 주기가 검출되지 않거나, 비정상적인 값의 주기가 검출되면, 앞·뒤 프레임에서 검출된 주기를 참조하여 심박 주기를 결정한다. 이와 같이 앞과 뒤의 주기도 참조하기 위해서는 현재 처리되고 있

는 시점의 프레임에서 심박 주기를 바로 결정하지 않고, 이후 한 프레임의 연산이 더 진행된 후 결정한다. 즉, 한 프레임에서 검출되는 두 개의 주기가 앞·뒤 프레임의 P1, P2와 연속성을 가지면, 주기가 양호하게 검출되는 부분이고, 현재 프레임에서는 검출되지 않거나 비정상적인 주기가 검출되지만, 앞·뒤 프레임의 주기가 검출되어 P1, P2의 값에서 큰 차이(0.05 sec 이하)를 나타내지 않으면, 현재 프레임도 검출된 것으로 간주하고, 그 주기는 앞·뒤 값의 평균으로 한다. 이 과정을 통해 최종적으로 결정된 심박 주기는 순차적으로 저장된다. 그림 5는 순차적으로 저장되는 심박 주기를 나타낸 것이다.

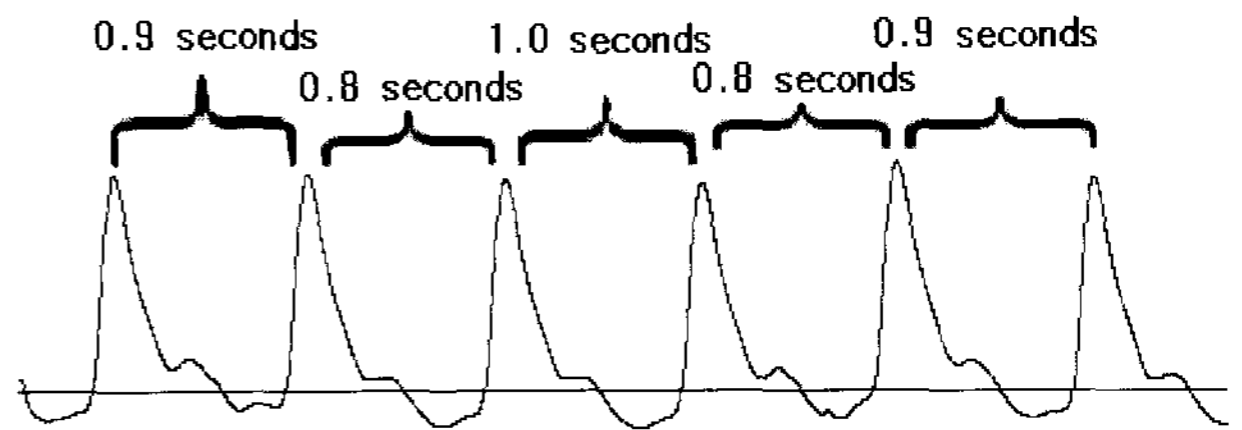


그림 5 심박 주기
Fig. 5 Periods of heart rate

2.3 HRV 추출

심박 주기의 변화량을 연속적으로 나타낸 그래프를 HRV라 한다. 이러한 HRV를 추출하기 위해서 PPG 신호로부터 피크값을 구하고, 심박 주기를 결정하는 과정을 거쳤다.

식 (1)은 PPG 데이터에서 n 번째 피크값의 위치를 R_n 이라 하고, 심박 주기를 T_n 이라 할 때, HRV_n 을 수식으로 표현하였다.

$$T_n = R_{n+1} - R_n, T_0 = T_1$$

$$HRV_n = T_k, R_k \leq n\Delta T \leq R_{k+1} \quad (n, k=1,2,3 \dots)$$

첫 번째 피크값에서 두 번째 피크값의 차를 n 시점에서의 심박 주기로 결정하고, 현재 처리되고 있는 시점의 프레임에서 심박 주기를 바로 결정하지 않고, 이후 한 프레임의 연산이 더 진행된 후 결정하기 때문에 T_0 에 T_1 을 대입해 준다. 또한, 실제 심박 주기가 나타나는 시간의 위치는 첫 번째 피크값의 위치보다 크고, 두 번째 피크값의 변화량보다 작게 나타난다. 추출된 HRV는 그림 6과 같이 그래프로 나타낼 수 있으며, 그림 6의 그래프는 그림 5의 심박 주기로부터 얻어진 것이다.

HRV를 구하고 나면, FFT를 이용하여 주파수 스펙트럼을 관찰하게 되고, 주파수 분석을 통해 감성을 평가할 수 있다. HRV는 피검자들의 개인차가 심하게 나타날 수도 있을 뿐더러, 같은 피검자라도 주위 환경이나 심리적 상태 등 외부의 요인에 의해 쉽게 영향을 받을 수 있다. 또한, 그 값의 변화가 아주 미세하게 나타나기도 하기 때문에 심박 주기를 정확하게 결정하지 않으면 거의 변화를 관찰할 수 없다.

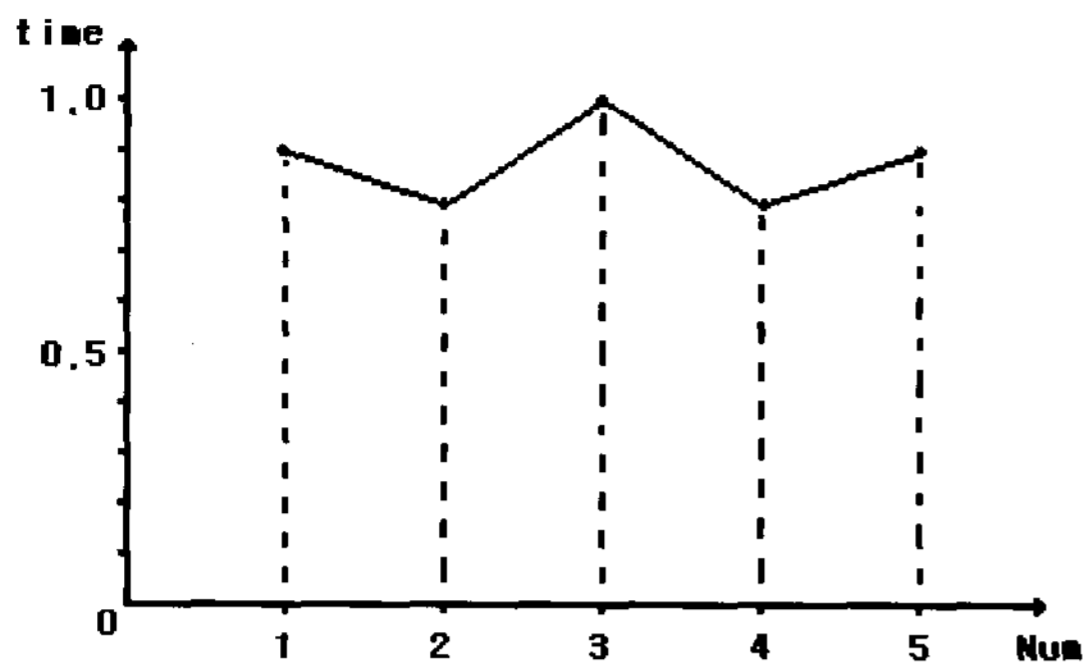


그림 6 HRV 그래프
Fig. 6 Graph of HRV

2.4 HRV의 주파수 분석 및 감성평가

주파수 영역분석에는 고속푸리에 변환(fast Fourier transform; FFT)를 이용하여 전력 스펙트럼 밀도(power spectrum density)를 봄으로써 교감신경과 부교감신경의 활성 정도를 볼 수 있다. Power spectrum density를 이용하여 주파수 대역별로 에너지의 크기를 볼 수 있으며, 에너지 대역별 크기의 변화율은 곧 자율신경계의 갈항 작용을 나타내 준다. 표 1은 HRV의 주파수 영역에 따른 분석을 나타낸다.

표 1 HRV의 주파수 영역에 따른 분석
Table 1 Frequency domain analysis of HRV

Variable	Units	Description	Frequency range
Total power	ms^2	Variance of NN intervals	approximately <0.4 Hz
ULF	ms^2	Power in the ultra low frequency range	≤ 0.003 Hz
VLF	ms^2	Power in the very low frequency range	$0.003 \sim 0.04$ Hz
LF	ms^2	Power in the low frequency range	$0.04 \sim 0.15$ Hz
HF	ms^2	Power in the high frequency range	$0.15 \sim 0.4$ Hz
LF/HF	-	Ratio $LF[ms^2]/HF[ms^2]$	

HRV 스펙트럼은 세 가지의 주요한 피크를 가지고 있는데 0.04Hz 이하에서 주로 나타나는 초저주파 성분(VLF) 성분은 체온조절, 혈관운동, 그리고 다양한 심폐 메카니즘 등에 관여하며, 0.04~0.15Hz에서 나타나는 저주파 성분(LF)은 교감신경계의 활동과 혈압 조절 메카니즘과 관계 있는 압수용체 반사(baroreflex)를 나타내고, 0.15~0.4Hz에서 고주파 성분(HF)은 부교감신경계 특히, 미주신경의 활동과 호흡 활동에 대한 정보를 가지는 것으로 알려져 있다. 그림 7은 HRV의 스펙트럼을 나타낸다.

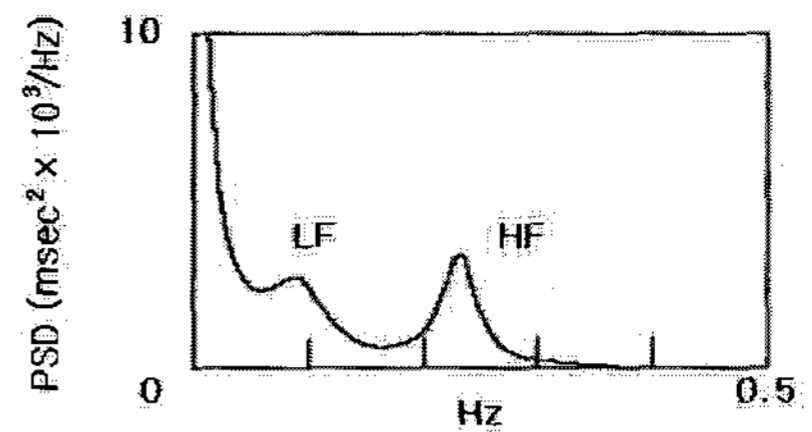


그림 7 HRV의 주파수 스펙트럼
Fig. 7 Frequency spectrum of HRV

본 연구에서는 HRV를 이용한 감성평가를 위해 주파수 영역에서의 분석만을 사용하였으며, 표 1과 같이 유럽심장학회 및 북미학회에서 제시한 기준으로 분석했다. 또한, 자극에 따른 피검자의 상태를 긍정적 상태와 부정적 상태로 나누어서 구별하였으며, 교감신경계와 부교감신경계의 우세 정도를 나타내기 위하여 LF/HF라는 변수를 정의하고, 자극에 따른 LF/HF의 변화를 파악하고자 하였다.

피검자의 긍정적 상태와 부정적 상태를 비교하였을 때, HRV 스펙트럼으로부터 얻어진 LF/HF의 값이 커지면 LF의 값이 상대적으로 커졌음을 나타내며, 이것은 부교감신경이 우세하게 작용했다고 볼 수 있다. 그러므로 피검자의 상태가 불쾌하거나 기분이 가라앉았다고 볼 수 있으므로 부정적 상태로 판단한다. 반대로 LF/HF의 값이 작아지면 HF의 값이 상대적으로 커졌음을 나타내며, 교감신경의 작용이 우세하게 작용했다고 볼 수 있다. 이는 피검자의 상태가 쾌적하거나 기분이 좋아졌음을 의미한다고 볼 수 있으므로 긍정적 상태로 판단한다. 그림 8은 LF/HF의 비율에 따른 피검자의 상태를 평가한 것이다. 긍정적 상태에서 첫 번째 피크가 나타나는 부분이 약 0.09Hz이므로 LF성분으로 볼 수 있고, 두 번째 피크는 약 0.23Hz에서 나타나므로 HF의 성분으로 볼 수 있다. 그리고 LF/HF의 비율을 보면 HF성분이 약간 더 우세하므로 긍정적 상태라 판단하였다. 부정적 상태를 보면 첫 번째 피크는 약 0.1Hz에서 나타났으므로 LF 성분으로 볼 수 있고, 두 번째 피크는 약 0.25Hz에서 나타났으므로 HF 성분으로 볼 수 있다. 두 성분의 LF/HF의 비율을 살펴보면 LF 성분이 월등히 높음을 알 수 있다. 그러므로 부정적 상태로 판단하였다.

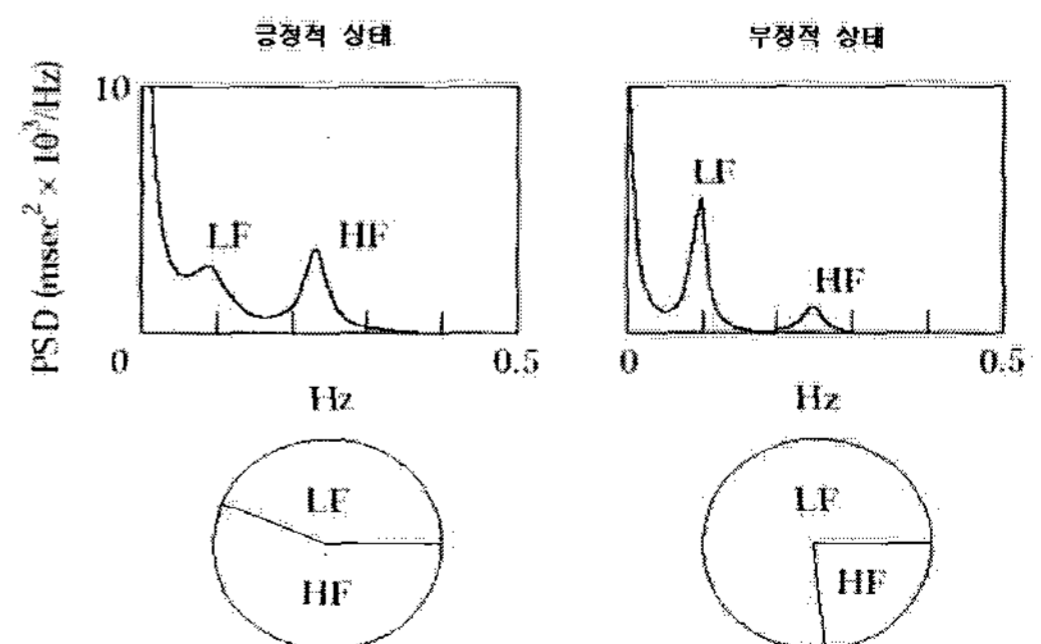


그림 8 LF/HF의 비율에 따른 감성평가
Fig. 8 Sensibility evaluation for LF/HF

2.5 바이오피드백 알고리즘

그림 9는 본 연구에서 사용된 전체적인 바이오피드백의 추진 방법을 나타내었다.

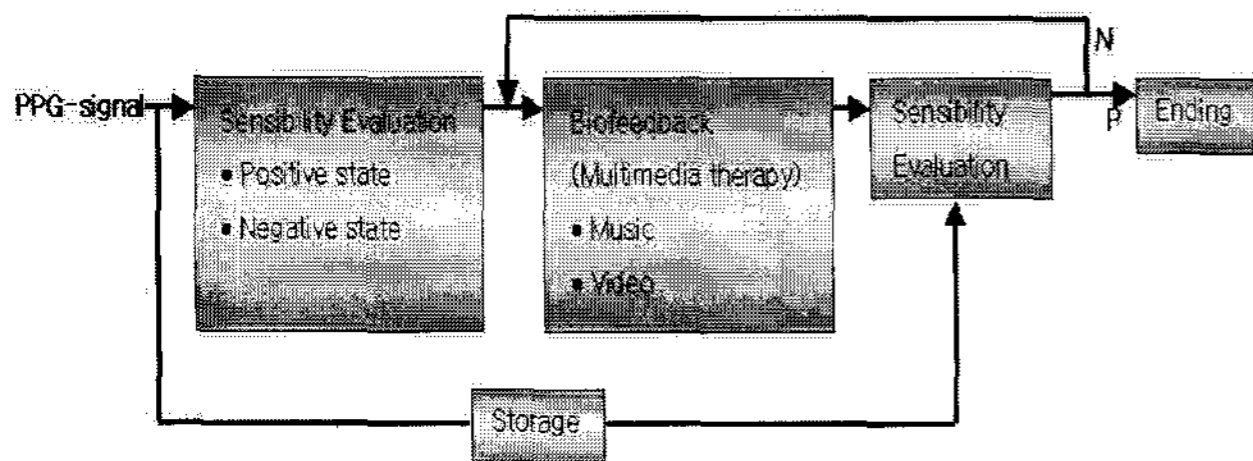


그림 9 바이오피드백 알고리즘
Fig. 9 Biofeedback algorithm

본 연구에서는 바이오피드백 기법으로 Multimedia therapy를 사용하였으며, 구체적으로 피검자의 선호 음악, 자연의 소리, 기능성 음악 등을 들려주는 Music therapy와 피검자의 선호 풍경, 자연의 풍경, 동영상 등을 보여주는 Video therapy를 적용하였다. 또한 호흡요법을 적용하여 2초간 들이마시고 2초간 내쉬는 일정한 호흡 패턴을 반복적으로 실행하게 만들어 생리적 안정을 유도하게 하였다.

3. 맥파를 이용한 감성평가 및 바이오피드백 실험

3.1 실험 장치의 구성

맥파를 이용한 감성평가 및 바이오피드백 실험에 사용된 PPG 데이터 수집 시스템의 블록선도는 그림 10과 같다.

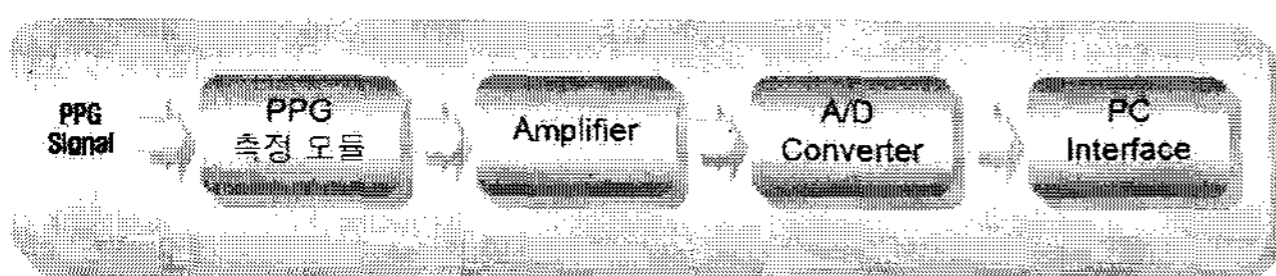


그림 10 PPG 데이터 수집 시스템의 블록선도
Fig. 10 Block diagram of PPG recording system

PPG 데이터 수집을 위한 시스템 구성은 PPG 측정 모듈, PPG 증폭기 및 A/D 변환기, PC로 하였다. PPG 측정 모듈은 KT-MED사의 PPG 측정기 FS-01을 사용하였고, PPG 증폭기 및 A/D 변환기는 같은 KT-MED사의 KBC-S02를 사용하였다. PPG 데이터 수집은 피검자의 손가락으로부터 PPG 측정 모듈을 통해 검출된 PPG 신호를 PPG 증폭기를 이용하여 증폭하였다. 증폭된 PPG 신호는 128Hz로 샘플링하고, 12bit 해상도로 디지털 신호 변환한 후, PC를 이용하여 처리하였고, 구현은 윈도우즈 시스템 기반의 Visual C++ 6.0 소프트웨어를 사용하여 개발하였다.

구현된 PPG 수집 소프트웨어에서는 PPG 신호를 A/D 변환기로부터 디지털 값으로 변환하여 헤더(header)정보를 포함하여 더블(double)형 데이터로 저장하여 txt 파일을 제작하였다. 또한, 데이터를 실시간으로 입력하거나, 불러들여서 읽어 들인 PPG 데이터는 선택적으로 증폭하여 디스플레이할 수 있도록 설계하였다. txt 파일의 구조는 헤더, 데이터, 이벤트 정보로 구성하였으며, 헤더 부분에는 파일 정보, 피검자 정보, 실험시의 환경 정보 등과 같은 내용을 저장하였으며, 데이터 정보 부분은 HRV와 주파수 스펙트럼 각각의 데이터 등을 저장하였다. 그리고, 이벤트 정보 부분에서는 피검자의 움직임과 같은 주요 이벤트를 기록하여 상대시간과 이벤트 내용으로 구성하였다.

PPG 데이터 수집을 위한 소프트웨어의 블록선도 구성을 그림 11에 나타내었다.

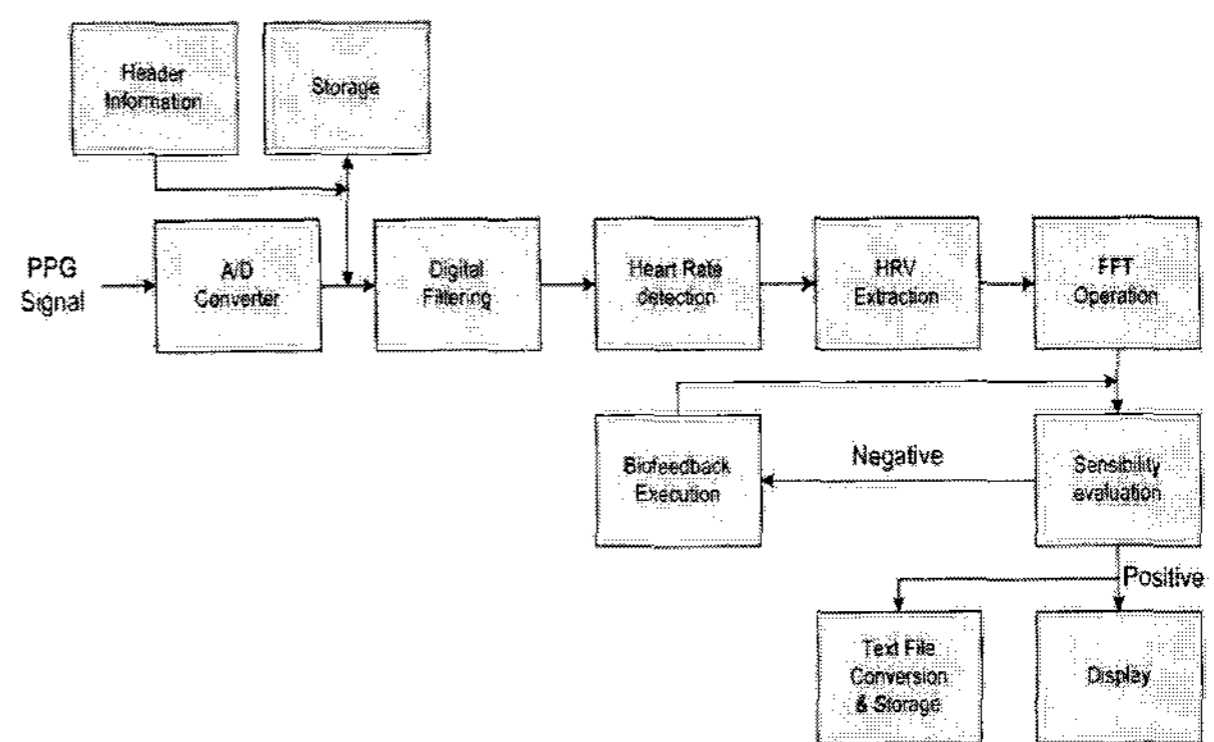


그림 11 PPG 데이터 수집 소프트웨어의 블록선도
Fig. 11 Block diagram of PPG data acquisition software

그림 12와 그림 13은 각각 PPG 데이터 소프트웨어의 실행 화면과 바이오피드백 실행 화면을 나타내었다.

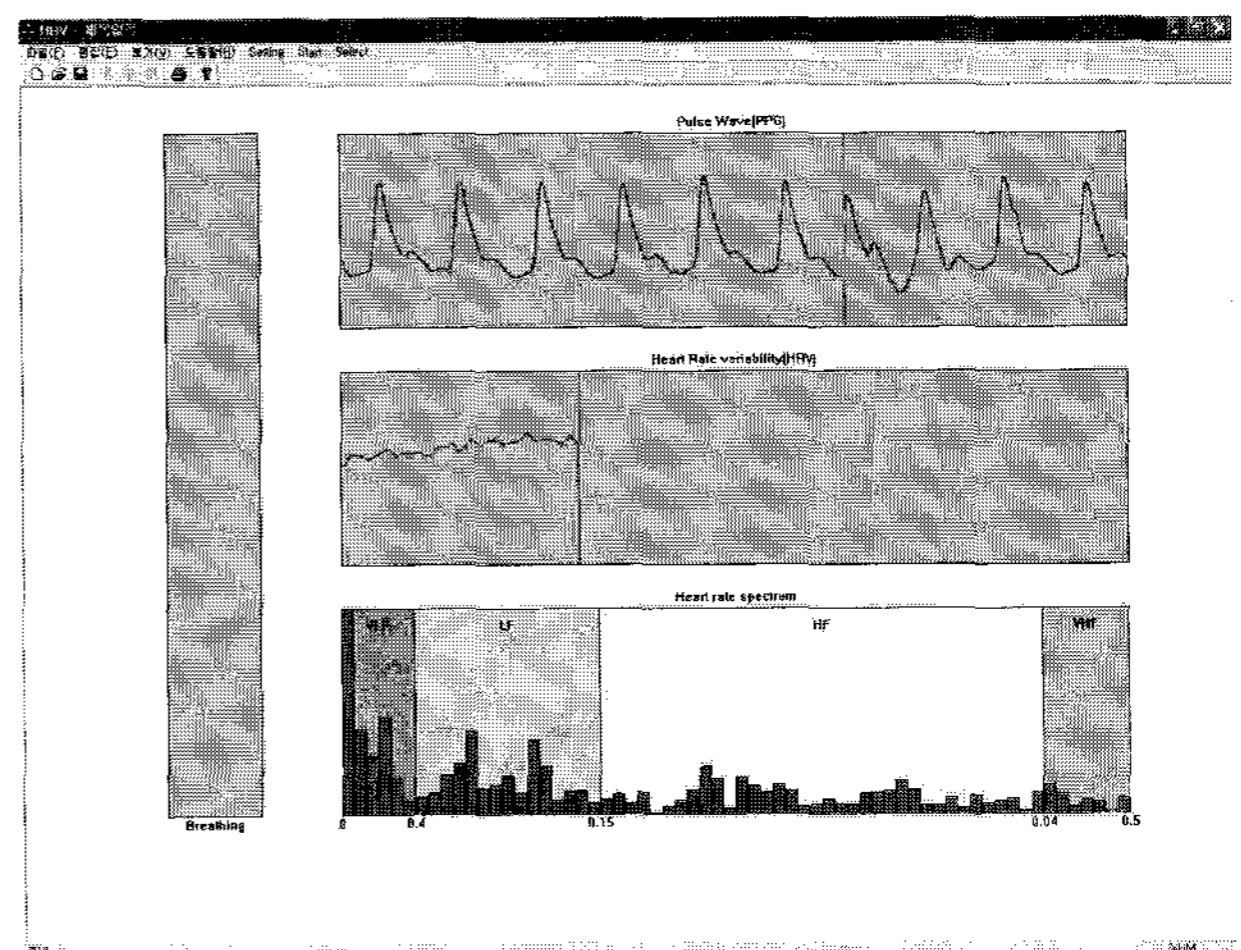


그림 12 PPG 데이터 수집 소프트웨어의 실행 화면
Fig. 12 Running screen of PPG data acquisition software

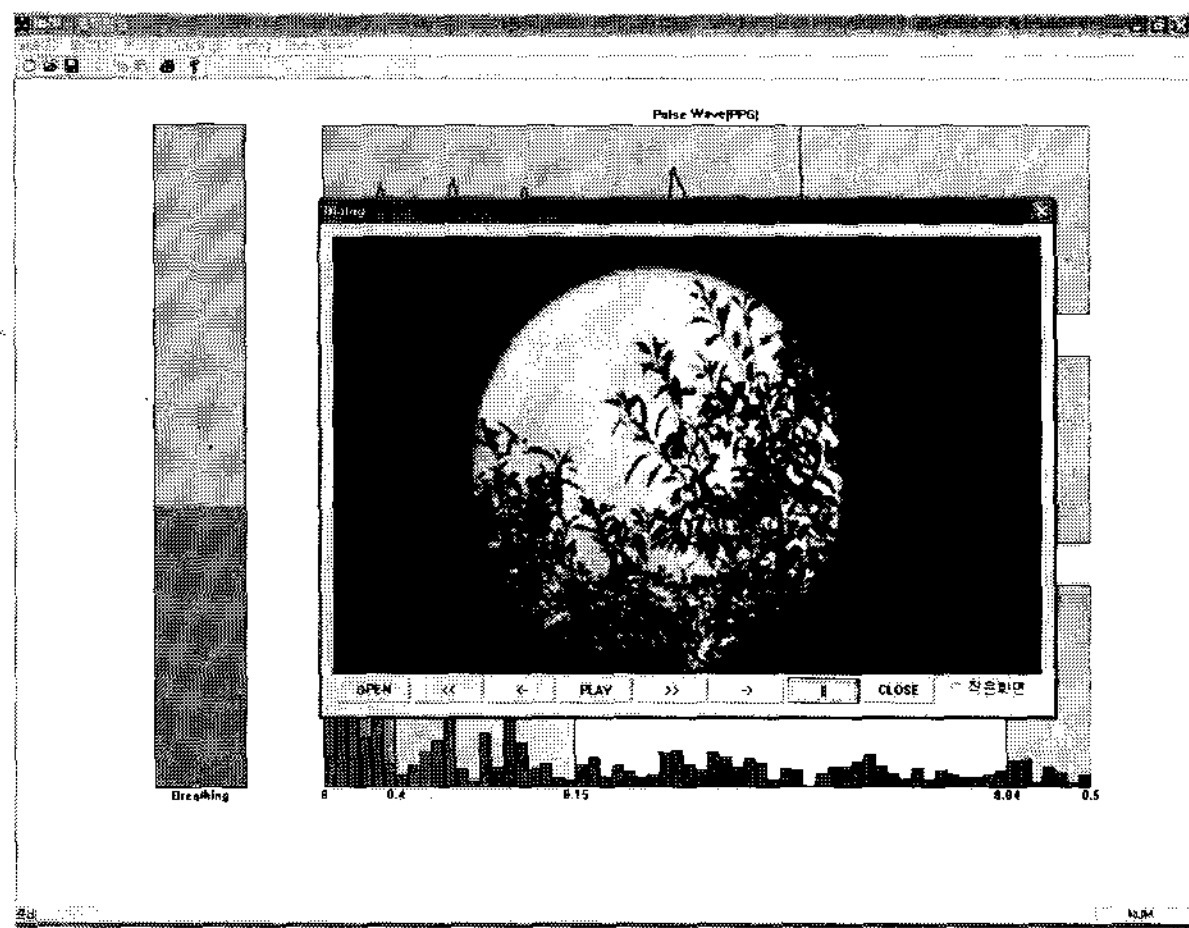


그림 13 바이오피드백의 실행 화면
Fig. 13 Running screen of Biofeedback

3.2 실험 절차

PPG 데이터 수집 실험은 실험실 환경 조건에 적합한 온도(23~26℃)와 습도(25~40%)를 조성한 상태에서 이루어졌다. PPG 수집의 대상 피검자들은 신체 건강한 25~30세의 대학생들이며, 남자 피검자들은 청주대학교 대학생들과 대학원생들로 선정하고 총 5명을 대상으로 하였고, 여자 피검자들은 연극동아리에서 활동하고 있는 대학생들을 대상으로 총 2명을 선정하였다. 각 피검자마다 실험에 대한 부담감을 줄이도록 하기 위해서 약 2~5일의 간격을 두어 각각 3회의 동일한 실험을 진행하였다. 각 피검자에게는 실험하기 하루 전에 담배, 커피, 음주 등을 피하도록 하여 중추신경계와 자율신경계에 다른 영향을 최소화하도록 하였다. 표 2는 감성 평가를 위한 피검자들의 정보이다.

표 2 감성평가를 위한 피검자들
Table 2 Subjects for human sensibility evaluation

피검자	성격	나이(세)	성별	적성	전공
WSJ	외향적	30	남	자연계열	전자공학
LHM	내성적	28	남	자연계열	전자공학
AJH	내성적	29	남	자연계열	전자공학
KYS	내성적	25	남	자연계열	전자공학
PHM	외향적	25	남	자연계열	전자공학
HSJ	외향적	23	여	자연계열	생명공학
LJH	내성적	25	여	예술계열	공예디자인

피검자의 성격 및 초기 심리 상태를 좀더 정확히 하기 위해 본 연구에서는 설문에 의한 주관적 평가 방법도 같이 하였는데, 이 주관적 평가 설문 내용은 크게 두 가지로 나누어 PPG 데이터 수집 실험 전에 피검자의 성격 및 초기 심리 상태를 기록하는 것과 실험 중간 각 감성별 실험이 끝날 때 자신의 감성 상태에 대한 평가를 기록하는 것이다. 초기 심리 상태에 조사하는 내용은 실험 전의 긴장, 쾌감, 감정

상태 등의 정도를 표기하도록 하였다. 하지만, 본 연구에서는 피검자의 성격과 초기 심리 상태가 실험 결과에 미치는 영향에 대한 연관성은 찾아보기 힘들었다.

수집 실험 중에 기록하는 감성 상태 평가란에는 긍정적 상태와 부정적 상태에 대한 몰입 정도를 스스로 평가하여 그 정도를 기록하게 하고, 감성 상태를 유발시킨 내용을 간단하게 기록하게 하였고, 피검자들이 감성 몰입에 익숙하지 않은 일반인들이어서 부착장치나 기타 간섭요인으로 인해 감성 몰입의 기록이 있을 수 있다는 사실을 감안하여 피검자들로 하여금 감성 몰입이 가장 잘 되었다고 판단하는 시점은 중점적으로 다루기 위해 실험 도중 이벤트를 표기하였고, PPG 수집 실험 중 다른 부분에서도 이벤트와 피검자의 감성 상태를 기록하기 위해 상태와 성실도를 20초 간격으로 기록하는 일지를 작성하였다.

실험에 들어가기 전에는 매번 피검자들에게 실험 중에 움직임을 최소화 해달라는 실험 지시사항을 알려 주었으며, 개인별로 약 5~10분 정도의 실험 적응시간을 가지게 했는데, 그것은 피검자에게 본격적인 PPG 수집에 앞서 쾌적한 의자에 앉은 상태에서 긴장을 풀게 한 후, 안정 상태로 최대한 유도하여 4~6분 동안 실험을 진행하면서, 충분히 안정 상태에 몰입이 되었을 경우 오른손 새끼손가락을 약간 움직여 표시하게 하였다.

실험이 시작되면, 먼저 5~10분 정도의 휴식 상태의 맥파를 수집하고, 이어서 부정적 상태 자극의 동영상 클립을 10분 정도 보여주어 피검자의 부정적 상태를 유도하였다. 피검자의 상태가 부정적 상태를 계속해서 유지하게 되면, 긍정적 상태로 유도하기 위해서 피검자의 선호 동영상을 10분 정도 보여주며, 동시에 2초간 들이마시고 내쉬는 동작을 반복하는 호흡요법을 실시하도록 하였다. 실험에 사용된 동영상은 사전 설문조사를 실시하여 피검자에 따라 자체적으로 제작한 동영상 클립이며, 실험이 끝난 후에 동영상 클립의 적합성 및 효과성을 검증하기 위해 실험에 대한 본인의 만족도 등의 주관적 평가 설문을 통해 작성하게 하였다.

3. 결과 및 고찰

본 연구에서는 피검자들의 부정적 상태와 긍정적 상태를 평가하기 위해서 각각의 상태에 대하여 PPG를 수집하고, 주파수 영역에서의 LF/HF의 비율을 비교하기 위해 FFT를 수행하였으며, 전력 스펙트럼 밀도를 이용하여 주파수 대역별로 에너지의 크기를 볼 수 있도록 하였다.

그 결과 부정적 상태 자극의 동영상을 보여줬을 경우, 피검자의 HRV는 거의 변화가 없는 단조로운 파형을 나타내었고, HRV의 주파수 스펙트럼 또한 LF의 성분이 개인의 따라 차이는 있지만 거의 공통적으로 높게 나타났다. 반대로 피검자가 부정적 상태를 유지하고 있을 때, 긍정적 상태 자극의 동영상을 보여줬을 경우에는 HRV의 파형에 육안으로 식별될 정도로 고주파 성분이 눈에 띄었고, HRV의 스펙트럼에서도 부정적 상태와 비교했을 경우, 저주파의 성분이 낮아지고, 고주파 성분이 높아진 것을 확인할 수 있었다. 그림 14와 15는 각각 피검자 WSJ과 피검자 LHM으로부터 수집한 데이터의 예이며, 각각 위로부터 PPG, HRV, HRV의 FFT 스펙트럼을 나타낸다.

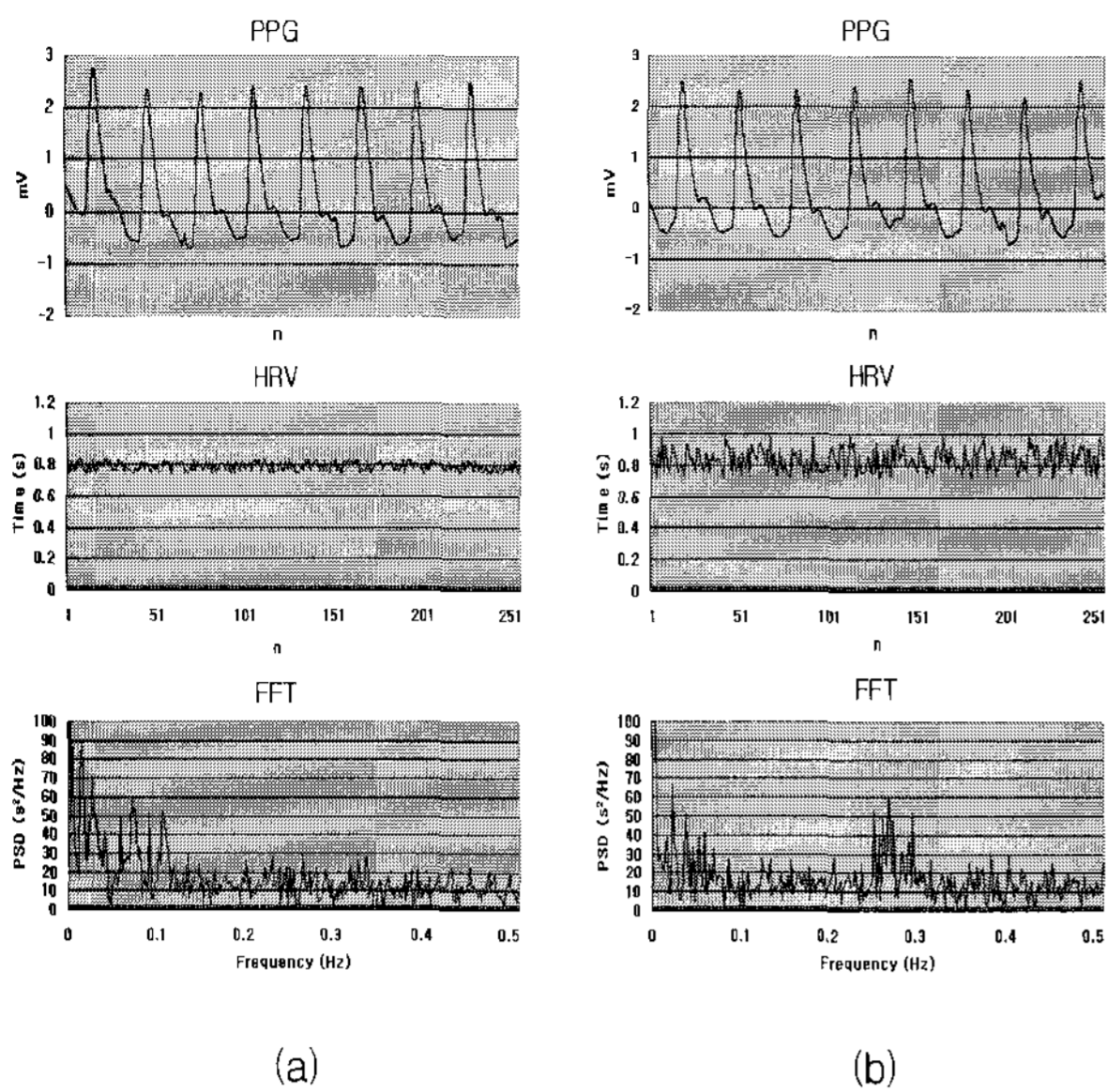


그림 14 피검자 WSJ의 데이터의 예 (a) 부정적 상태 (b) 긍정적 상태
 Fig. 14 Examples of subject WSJ's data (a) positive state (b) negative state

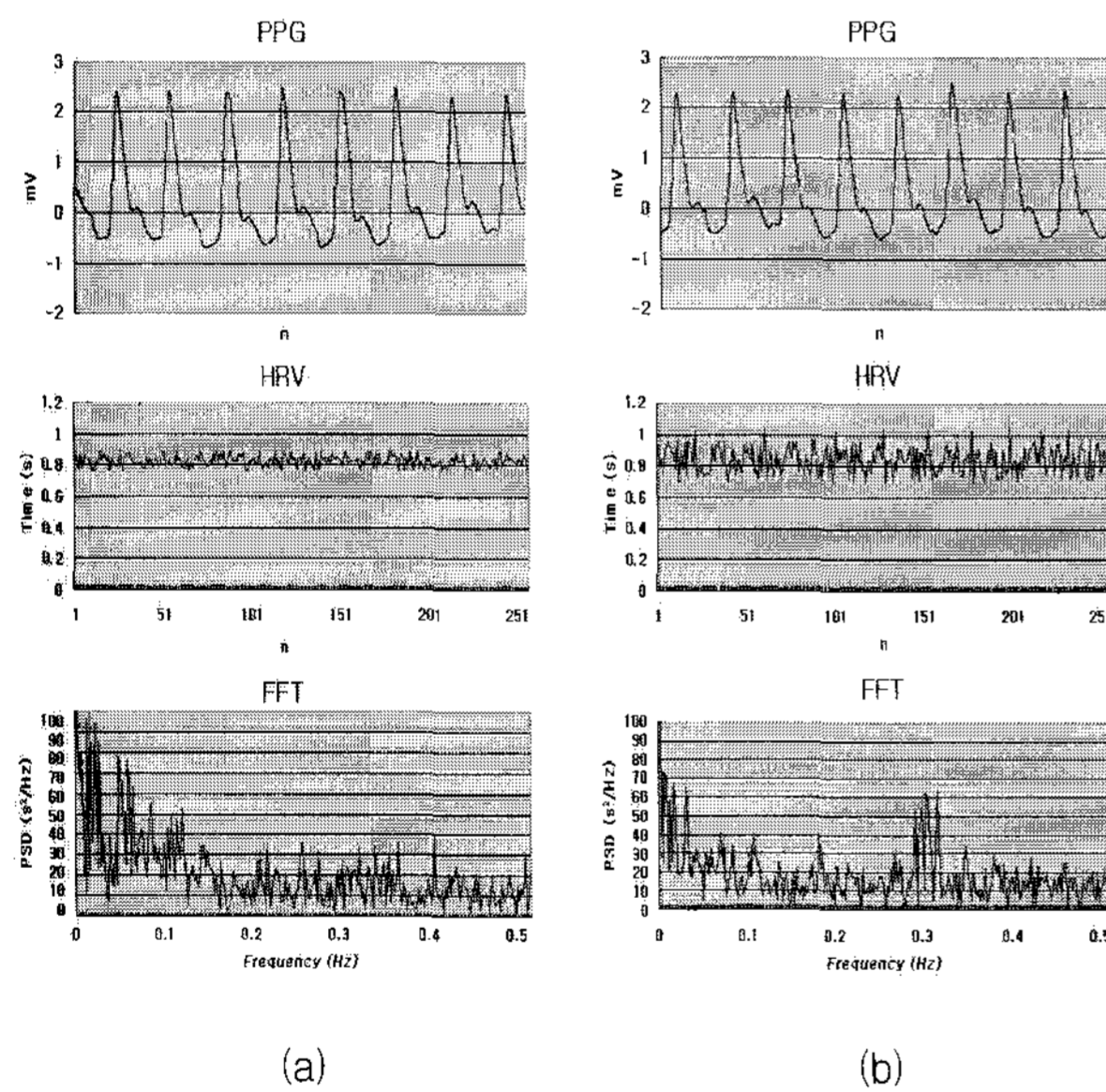
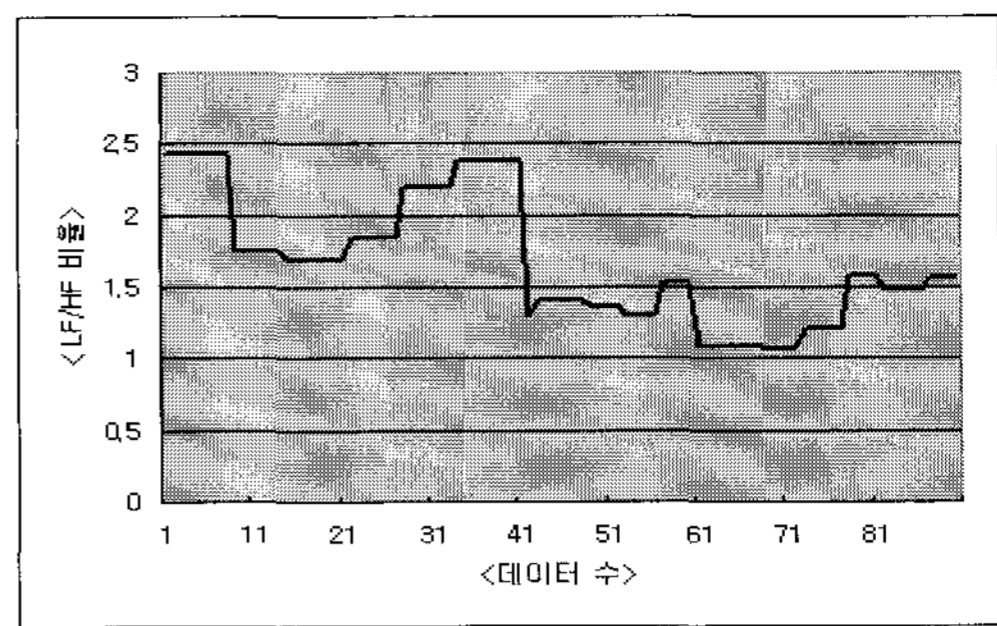
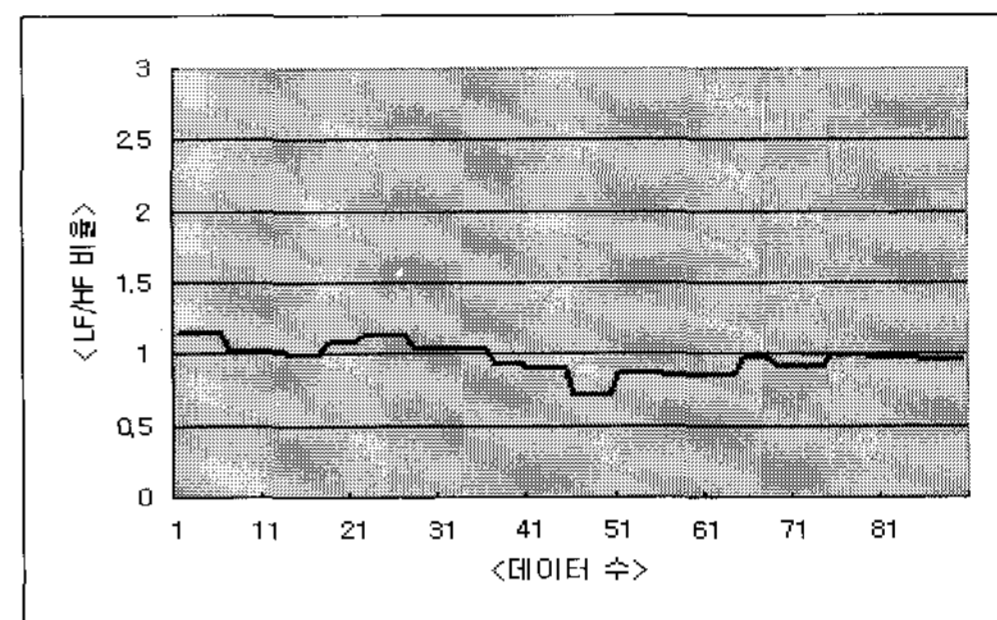


그림 15 피검자 LHM의 데이터의 예 (a) 부정적 상태 (b) 긍정적 상태
 Fig. 15 Examples of subject LHM's data (a) positive state (b) negative state

피검자 LHM은 부정적 상태와 긍정적 상태의 시스템 출력 파형이 현저하게 다르게 나타나서 감성의 구분이 가능함을 알 수 있다. 또한, 각 상태에 대한 주관적 설문 결과와 HRV 스펙트럼을 분석하여 변수인 LF/HF 값의 비율을 구하여 비교하였을 때도 거의 일치하였다. 그림 16은 피검자 LHM의 부정적 상태와 긍정적 상태의 LF/HF 비율의 예를 나타내었다.



(a)



(b)

그림 16 피검자 LHM의 LF/HF 비율의 예 (a) 부정적 상태 (b) 긍정적 상태

Fig. 16 Examples of subject LHM's LF/HF ratio (a) positive state (b) negative state

표 3 감성평가 실험 결과

Table 3 Results of human sensibility evaluation

피검자	감성 상태	실험 횟수	이론 일치 횟수	일치율 (%)
WSJ	부정적	8	5	63
	긍정적	8	8	100
LHM	부정적	8	6	75
	긍정적	8	8	100
AJH	부정적	6	5	83
	긍정적	6	5	83
KYS	부정적	5	3	60
	긍정적	5	2	40
PHM	부정적	5	3	60
	긍정적	5	4	80
HSJ	부정적	3	2	67
	긍정적	3	2	67
LJH	부정적	3	2	67
	긍정적	3	1	33

표 3은 감성평가 실험 결과를 나타내었다. 피검자 WSJ와 피검자 LHM은 긍정적 상태에서의 실험 횟수와 이론 일치 횟수의 일치율이 100%로 높게 나타났으며, 모든 피검자가 공통적으로 부정적 상태 자극 영상에서 긍정적 상태 자극 영상을 보여줬을 때, 긍정적 상태로 변화하는 일치율이 비교적 높게 나타났다.

4. 결 론

본 연구에서는 측정이 번거로운 심전도를 이용하지 않고 맥파를 이용하여 HRV를 추출하여 인간의 감성을 평가하고, 그에 반응하여 작용할 바이오피드백 기술을 개발하였다. 이를 위해 맥파로부터 추출된 HRV를 FFT 변환을 통해 주파수 영역에서 분석하여 LF/HF의 비율을 추출하였고, LF/HF의 비율은 감성의 특징 파라미터로 사용되어 LF/HF의 비율이 높으면 부정적 상태, LF/HF의 비율이 낮으면 긍정적 상태로 판단하였다. 또한, 피검자가 부정적 상태에 있을 경우, 자체 제작한 자신이 선호하는 영상이나 자연의 풍경, 사진 등을 보여주어 긍정적 상태로 유도하는 바이오피드백 알고리즘을 이용하였으며, 감성 평가 실험을 통해 성능을 확인하였다. 실험을 통하여 얻어진 결론은 다음과 같다.

피검자의 긍정적 상태와 부정적 상태를 비교하였을 때, 부정적 상태에서 HRV 스펙트럼의 LF 성분이 증가함에 따라서 LF/HF의 비율도 증가하는 결과가 나타났으며, 반대로 긍정적 상태에서 HRV 스펙트럼의 HF 성분이 증가함에 따라서 LF/HF의 비율이 감소하였다. 부정적 상태에서 LF의 성분의 증가는 부교감신경계의 활동이 우세하였음을 나타내며, 긍정적 상태에서의 HF의 성분의 증가는 교감신경계의 활동이 우세하였으므로 추측할 수 있다. 이는 기존의 심전도를 이용한 연구자들의 연구 결과와 일치하는 결과로서, 맥파를 이용하여도 유사한 결과를 얻을 수 있다는 가능성을 제시한 것이다. 또한, 부정적 감성 상태에서 긍정적 감성 상태로 유도할 때, 피검자 KYS와 LJH를 제외하고 공통적으로 높은 일치율을 보였다. 이는 긍정적 상태 감성을 유도하기 위해 자신의 선호 영상이나 자연의 풍경, 사진 등을 이용하는 것이 효과적이었다고 볼 수 있으며, 이를 이용한 감성의 바이오피드백의 성능이 우수하였다고 볼 수 있다.

지금까지의 결과를 볼 때, 인간의 변화하는 감성을 생리학적으로 측정하여 평가하는 것은 매우 어려운 기술이라고 생각되지만, 호흡 요법 등 기타 다른 방법들과 본 연구의 바이오피드백 기법을 같이 사용한다면 더 개선된 결과를 기대할 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

[1] Shusterman V., Barnea O., "Sympathetic nervous system activity in stress and biofeedback relaxation", IEEE engineering in medicine and biology magazine, pp.52~57, 2005.
 [2] Takayuki H., Kiyoko Y., "The relaxation biofeedback system with computer and heart rate variability interaction", Technical report of IEICE, pp.35~38, 2003.
 [3] Nutan A., Raghavan V., Vikas L., Ashish P., Sreejit P., "Heart rate variability and its clinical application for biofeedback", 17th IEEE symposium on computer-based medical system, pp.263~266, 2004.
 [4] Kiyoko Y., Jun-i U., Yasue S., Mikako M., Yasufumi M., Kazuyuki T., "Heart rate indication using musical data", IEEE transactions on biomedical

engineering, pp.729~733, 2002.

[5] "Heart rate variability standard of measurement physiological interpretation, and clinical use task force of the european society of cardiology and the north american society of pacing and electrophysiology", European heart journal, pp.354~381, 1996.
 [6] Rollin M., Mike A., Wiliam A., "Emotion and autonomic nervous system activity in the minangkabau of west sumatra", The american journal of cardiology vol. 76 November 15, 1995.
 [7] Rollin M., Mike A., Wiliam A. Tiler, "The effects of emotions on short-term power spectrum analysis of heart rate variability", The american journal of cardiology vol. 76 November 15, pp.1089~1093, 1995.
 [8] Hales S., "Haemastatics. in: statical essays", London: innings and manby, vol. 2, 1733.
 [9] 이충기, 이병채, 정기삼, 김남현, 유선국, "시각 자극에 의한 노인 HRV 해석", 대한전기학회논문지 시스템 및 제어부분D, pp.330~337, 2005.
 [10] 오상훈, 황민철, 임재중, "심박변화율(HRV)에 의한 시각감성의 구분에 대한 연구", 대한인간공학회 추계학술대회 논문집, pp.473~476, 1997.

저 자 소 개



이 현 민 (李賢民)

1980년 7월 25일생. 2006년 청주대 전자정보공학부 졸업. 2008년 동 대학원 전자공학과 졸업(석사). 2008년~현재 동 대학원 전자공학과 박사과정

Tel : 043-229-8460

Fax : 043-229-8460

E-mail : ifurita2x@hanmail.net



김 동 준 (金東浚)

1963년 4월 14일생. 1988년 연세대 전기공학과 졸업. 1990년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1994년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 1994년~현재 청주대 전자정보공학부 교수

Tel : 043-229-8460

Fax : 043-229-8460

E-mail : djkim@cju.ac.kr