

## 감정 인식을 위한 PPG 데이터의 심박변이도 및 PSD 분석

최진영 · 김형신\*

충남대학교 컴퓨터공학과

# Study on Heart Rate Variability and PSD Analysis of PPG Data for Emotion Recognition

Jin-young Choi · Hyung-shin Kim\*

Department of Computer Science and Engineering, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea

### [요 약]

본 논문에서는 감정에 따라 변화하는 혈류량을 측정하는 PPG 센서를 사용하여 감정을 인식하는 방법을 제안한다. 기존의 PPG 신호로부터 전력스펙트럼밀도(PSD; Power Spectrum Density)를 통해 주파수 영역에서 긍정적인 감정과 부정적인 감정을 판단하는 방법을 활용한다. 제임스 러셀의 이차원 원형 모델에 기반을 두어 감정을 기쁨, 슬픔, 짜증, 평온으로 분류하여 주파수 영역에 따른 에너지의 크기와의 연관성을 살펴본다. 본 연구는 웨어러블 디바이스에서 사용되는 동일한 PPG 센서를 사용하여 상위 네 종류의 감정을 영상 실험을 통해 주파수 영역에서 측정하였다는 것에 의의가 있다. 설문 조사를 통해 정확도와 개인에 따른 몰입 정도와 감정 변화 및 영상에 대한 바이오피드백을 수집하였다. 제안하는 방법은 앞으로 PPG 센서를 사용하는 상용화된 웨어러블 디바이스와 기존에 사용하는 스마트폰의 상황정보와 융합되어 모바일 어플리케이션 예측 서비스 등 다양한 개발이 될 것으로 기대된다.

### [Abstract]

In this paper, we propose a method of recognizing emotions using PPG sensor which measures blood flow according to emotion. From the existing PPG signal, we use a method of determining positive emotions and negative emotions in the frequency domain through PSD (Power Spectrum Density). Based on James R. Russell's two-dimensional prototype model, we classify emotions as joy, sadness, irritability, and calmness and examine their association with the magnitude of energy in the frequency domain. It is significant that this study used the same PPG sensor used in wearable devices to measure the top four kinds of emotions in the frequency domain through image experiments. Through the questionnaire, the accuracy, the immersion level according to the individual, the emotional change, and the biofeedback for the image were collected. The proposed method is expected to be various development such as commercial application service using PPG and mobile application prediction service by merging with context information of existing smart phone.

**색인어** : 감정 인식, 광맥적파, 심박변이도, 전력스펙트럼밀도

**Key word** : Emotion recognition, PPG(Photoplethysmography), Heart rate variability, PSD(Power Spectrum Density)

<http://dx.doi.org/10.9728/dcs.2018.19.1.103>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**Received** 12 November 2017 ; **Revised** 23 January 2018

**Accepted** 29 January 2018

**\*Corresponding Author; Hyung-shin Kim**

**Tel:** +82-042-821-7446

**E-mail:** hyungshin@cnu.ac.kr

## I. 서 론

IT 산업 기술의 흐름이 제품 중심에서 사용자 맞춤형의 지능화 서비스로 변화됨에 따라서 사용자의 행동 및 감정, 기호 등을 파악하는 것이 중요해졌다. 감정은 기쁨, 노여움, 슬픔, 분노 등의 느낌을 말하며, 물리적, 사회적 환경에서의 맥락에 의해 구현된다[1]. 감정은 우울증과 스트레스 관련 정신적 질병을 관리하는 헬스케어에도 활용될 수 있다. 스마트폰을 사용하는 시간이 많아짐에 따라 사용자 감정을 활용한 모바일 어플리케이션 서비스도 주목받고 있다. 주변 환경과 감정에 따른 어플리케이션 사용 패턴을 활용한 연구가 활발히 진행되고 있다[2,3]. 이는 사용자에게 맞춤 설정된 환경을 제공함으로써 스마트폰과의 즉각적인 상호작용을 가능하게 한다[4].

감정을 정량적으로 평가하기 위해 스마트폰으로부터 사용자 상황정보와 생체정보를 이용한 연구들이 진행되어 왔다[5-7]. Interrupt Me [5]는 스마트폰에서 가속도, 위치, 블루투스, 와이파이를 통해 상황정보를 수집하여 감정을 예측한다. 하지만 사용자가 스마트폰을 사용해야만 하므로 신뢰성이 낮다. 생체정보 중 음성을 통한 감정 인식 연구[6]는 73%의 정확도를 가지지만 잡음으로 인한 한계가 있다. 심전도를 이용한 연구[7]는 94%의 높은 정확도로 감정을 예측할 수 있지만, 고가의 특정 기기를 사용해야 하며, 실험자의 가슴 등에 부착하여야 하는 불편함으로 일상생활에서 사용이 어렵다. 따라서 저비용에 편리하고 신속한 결과를 얻을 수 있는 센서가 필요하다.

광혈류측정기(PPG; photoplethysmography)는 적외선을 방출하여 혈관의 흡수율과 반사율에 따라 말초 혈류의 양을 측정하는 장비로, 말초 혈류는 감성의 영향을 받는 자율 신경계의 활동에 따라 변화한다[8]. PPG 센서는 장치에 손가락을 끼는 방식으로 실험자에게 부담이 적어 편의성이 뛰어나며 말초 혈류를 측정하는 가장 간단한 방법이다. PPG를 통한 생체 정보는 ECG 센서의 생체 정보와 동일한 의미를 띠고 있으므로 추후 상용화된 디바이스를 통해 일상생활에서 실시간으로 정량적인 감정 인식 연구에 기여할 수 있을 것이다[9].

감정은 연구자들에 따라 다양하게 분류되는데, 감정을 테스트하는 가장 일반적인 방법으로 원형 모델(Circumplex Model)이 있다[10]. 이 모델은 감정을 이차원 원형 모델로 두 축을 기준으로 다양한 감정들이 원형 모델의 둘레에 고루 분포되어 있어 해당 모델을 통해 여러 감정을 대변할 수 있다. 예를 들어, 심리적으로 긍정적이면서 긴장한 상태이면 흥분, 기쁨으로 표현될 수 있으며, 불쾌하면서 이완된 상태이면 지루함, 슬픔으로 표현된다. 본 논문에서는 인식하고자 하는 감정을 각각의 축에 해당하는 기쁨, 슬픔, 짜증, 평온으로 분류하였다.

감정은 자율신경계의 변화되는 활성화 정도에 따라 나타난다. 활성화 정도는 연속되는 심장순환 주기를 의미하는 심박변이도(HRV; heart rate variability)를 통해 추출할 수 있으며, 본 연구에서는 유럽심장학회(European Society of Cardiology)에서 제시하는 기준에 따라 분류된 심박변이도의 주파수 영역을

통해 감정을 인식하는 방법을 사용하였다[11]. 저주파성분은 자율신경계에 영향을 주는 부교감신경계의 활성을 활발하다는 것을 의미하는데, 부교감신경계는 불쾌한 감정일 때 활성화된다. 고주파성분은 교감신경계의 활성을 의미하는데, 교감신경계는 쾌적하거나 기분이 좋아졌을 때 활성화된다. 이를 통한 감정 연구에서는 저주파수와 고주파수의 비율 값이 클 때 부정적 감정으로 판단하며, 반대로 값이 작으면 긍정적 감정으로 판단한다. 즉 크게 긍정적인 감정과 부정적인 감정을 판단할 수 있다. 하지만 복잡한 세부적인 감정에 대해서는 알기 어려우며, 개인에 따라 동일한 영상을 시청하였음에도 다양한 감정을 느낄 수 있다.

감정을 인식하기 위해 9명의 실험자들에게 PPG 센서를 부착하고 기쁨, 슬픔, 짜증, 평온의 감정을 유도하는 동영상을 시청하게 하였다. 시청이 끝나면, 실험 영상에 따른 감정을 네 가지 감정 중 선택하게 하였고, 영상에 대한 몰입 정도와 감정 변화 및 주관적 평가를 기입할 수 있는 설문 조사도 함께 병행하였다. 그 결과로, 각각의 감정을 유도하는 영상에 따라 실험자들이 비슷한 감정 변화가 나타나는 것을 관찰할 수 있으며, 주파수 영역에 따른 감정 간의 연관성을 볼 수 있었다. 짜증, 슬픔 감정은 저주파수 영역에서 나타나는 특징과 기쁨 감정은 고주파수 영역에서 크게 나타나는 특징을 살펴볼 수 있었다. 특이점으로 초저주파수 영역에서 기쁨, 슬픔과 짜증 모두 관찰됨을 알 수 있었다. 특정 실험자에 따라 저주파수 영역 또한 슬픔뿐만 아니라 기쁨에서도 크게 나타나는 것을 알 수 있었다. 설문을 통해 영상에 대해 두 가지 이상의 감정을 느끼는 경우가 있음을 볼 수 있었고, 측정된 결과와 실험자의 변화된 감정에 대한 일치율을 비교하고, 몰입 정도를 심층적으로 알 수 있었다.

PPG를 이용한 감정 정보는 스마트폰의 상황 정보와 융합하여 사용자의 감정을 학습하고 예측하는 센싱 플랫폼 연구에 활용될 수 있을 것으로 기대된다. 사용자가 실행할 어플리케이션을 예측하고 미리 로드하는 연구에도 활용될 수 있다. 따라서 다양한 응용 프로그램 개발에 있어서 감정 정보를 활용함으로써 창의적인 응용 개발이 가능하게 될 것이다.

## II. 관련 연구

사람의 감정을 추출해내기 위해 스마트폰에서 수집되는 사용자 상황 정보와 생체정보를 이용한 연구들이 진행되어 왔다[12]-[15]. 헬스케어에 대한 관심이 높아지면서, 환자의 상태와 스마트폰 사용의 변화를 분석하고, 정신과 평가 전과 후를 분석하는 연구도 진행되고 있다[12]. 우울증으로 진단되는 환자가 매년 약 20%씩 증가하며, 현대 사회인의 우울증과 자살에 대한 우려가 깊어지며 스트레스에 대한 연구도 활발해졌다. 스트레스를 분석하기 위해 스마트폰 사용 및 센서 데이터를 조합하는 연구가 있으며, 스트레스 인식에 대해서 75% 이상의 정확성을 보인다[13]. 해당 연구에서는 전화와 SMS와 같은 어플

리케이션과 스트레스와 관련성이 높음을 밝혔다. 스마트폰의 콘텐츠에 대해서 Martin Pielot[14]등은 사용자가 지루한 상태일 때, 스마트폰에 추천한 콘텐츠를 사용하는 경향이 있음을 발견했다. 이를 실험하기 위해 사용자의 감정 데이터를 수집하기 위한 감정 입력 응용 프로그램을 2개월 동안 사용하게 했다. 일상생활에서 사용자의 감정을 인식하기 위해 어플리케이션 설치를 통한 감정 연구도 활발히 진행되었다. EmotionSense[15]는 센서를 통해 사용자와 모바일 장치의 상황정보를 수집하고, 사용자가 입력한 감정 데이터를 바탕으로 학습하였다. Moodscope[16]은 감정 공유를 통해 사회적 장벽을 낮추는데 목표를 둔 연구이며 이를 통해 스마트폰의 유용성을 향상시킬 수 있다. 해당 연구에서는 스마트폰의 브라우저, 전화, SMS, 위치 기록 등과 같은 데이터를 통해 자동으로 사용자의 감정을 추론하고, 스마트폰에서 사용 가능한 정보를 기반으로 사용자의 감정을 유추할 수 있다. 해당 실험을 통해 통계 회귀 기법을 사용하여 일일 감정 감지에 가장 많이 기여하는 요소는 전화 및 응용 프로그램이었다. 이를 바탕으로 2개월 동안 예비 연구 32명을 대상으로 설문 조사를 한 결과, 96%의 응답자가 감정이 변화함에 따라 어플리케이션 사용 패턴이 바뀌었다고 답했다.

### III. 연구 방법

#### 3-1 영상 반응 실험

심박변이도를 측정하기 위해 비침습형인 광혈류측정기(PPG; photoplethysmography) 센서를 사용하였고, 이는 적외선으로 혈관을 비추어 흡수율과 반사율에 따라 말초 혈류의 양을 측정한다. 감정을 인식하는 생체 센서 중 가장 간단한 센서로, 하나의 손가락에 부착하여 측정하는 방법으로서 본 연구에서 영상 실험 시에 사용되었다.

감정 분류는 러셀의 이차원 원형 모델을 기반으로 사전에 측정된 사용자의 중립된 감정을 기준으로 긍정과 부정, 그리고 긴장과 이완으로 분류된다. 해당 기준은 x축과 y축의 기준축이 되어 감정을 분류하는 사분면을 구성한다. 본 연구에서는 실험하고자 하는 감정을 각각의 축에 대표되는 기쁨, 슬픔, 짜증, 평온으로 분류하였다.

실험 절차는 영상 실험의 전반적인 설명, 센서 부착 및 안정된 상태 확인, 영상 실험 수행, 센서 탈부착, 그리고 설문 조사로 진행되었다. 특정 장면에 따라 사용자의 활력 징후가 나타나는 것을 알 수가 있는데, 예시로 범죄/미스터리 장르의 영화를 시청하였을 때, 실험군의 평균 심박수와 개인의 평균 심박수를 나눈 값을 그래프로 나타내면, 대부분의 시청자가 비슷한 심박 추이를 보임을 알 수 있다[17]. 이를 통해 영상물 시청 시, 심박을 관찰함으로써 일정 특징을 나타낸다는 것을 알 수 있다. 본 연구에서 사용한 실험 영상은 약 7분에서 15분 길이의 영상으로 이루어져 있으며, 실험자들에게 사전 조사를 하여, 표 2과

같이 본인의 취향에 맞는 영상 프로그램을 탐색하여 편집하였다. YouTube에서 “재미있는”, “개그”, “슬픈”, “감동의”, “짜증나는”, “평온한” 등의 단어로 검색하고, 최신 날짜 및 높은 조회수를 기반으로 영상을 선택하여 여러 동영상들을 자체적으로 추출하여 실험 영상으로 사용하였다.

표 2. 실험에 사용한 영상 정보

Table. 1. Image information used in experiment

Emotion	Title
Joy	Ask Us Anything (Entertainment)
	One Night Two Days (Entertainment)
	Running Man (Entertainment)
	Gag Concert (Gag Program)
	Comedy Big League (Gag Program)
	Cultwo (Talk Show)
	Japan Gag Show (Gag Program)
	America's Funniest Home Videos (Gag Program)
Sadness	Infinite Girls - How do you send your father
	EBS Documentary - Mom's Wish
	EBS Documentary - Hello Daddy
	Thailand CF - Belief in good works
	Thailand CF - Giving is the best communication
	Thailand CF - Mom's Love
	Thailand CF - The Big care is from a small mouth
	Thailand CF - Garbage Man
	KB Financial CF - Father
	Japanese Movie - A touching story of a dog and its owner
Irritability	Youtube - A man in the subway
	Youtube - A rude student in the bus
	Youtube - A disturbing guest
	Youtube - Grandmother assaulted video
	Youtube - Extremely painful sound
	Youtube - Sound Effects' of Annoying Sounds Mix
Neutral	Noise Video at construction site
	Bamboo Water Fountain
	Rain Falling in a Fog Nature Video

#### 3-2 주파수 영역의 심박변이도 분석 방법

사람은 감정에 따라 분비되는 호르몬과 자율 신경계의 상태가 변한다. 자율신경계는 교감신경과 부교감신경으로 나뉘며, 한 쪽의 활성화도가 올라가면 다른 한 쪽은 내려가는 반대되는 성질을 가지고 있다. 교감신경의 활성화도가 증가하면, 심장박동수가 증가되며 흥분상태의 의미를 가진다. 이러한 자율신경계 활성화 정도를 지수로 나타낸 것을 심박변이도(HRV; Heart rate Variability)라 하며, 연속된 심장 박동을 기록한 것이다.

감정은 여러 알고리즘을 통해 생체 데이터의 변동 신호로부터 진폭 및 중심 주파수를 평가할 수 있다[17]. 대부분의 연구는 고속 푸리에 변환(FFT; Fast Fourier Transform) 또는 자동 회귀 접근법(AR)을 사용해왔다[18, 19]. 본 연구에서는 의미 있는 주파수 범위를 선택하기 위해 많이 사용되고 있는 FFT 알고리즘을 사용하였다. 또한 고주파대역의 신호잡음은 방해요인이 될 수 있으므로 저역통과필터(Low Pass Filter)를 사용하여 PPG 신호 데이터에 섞여 있는 잡음을 제거하였다. 해당 필터 설계를 위해 이동평균필터의 전처리 과정을 수행하였다.

감정에 영향을 미치는 교감신경계와 부교감신경계의 우세 정

도를 나타내기 위하여 LF/HF(Low Frequency/High Frequency)라는 변수를 정의하고, 자극에 따른 LF/HF의 변화를 파악하고자 하였으며, 표 3과 같이 유럽심장학회에서 제시한 기준으로 분석했다. 심박변이도 스펙트럼에는 0 ~ 0.04 Hz(VLF; Very Low Frequency, 초저주파수), 0.04 ~ 0.15 Hz(LF; Low Frequency, 저주파수) 및 0.15 ~ 0.4 Hz(HF; High Frequency, 고주파수)가 있다. 이 때 LF는 교감신경계의 활성화 정도를 나타내며, 반대로 HF는 부교감신경계의 활성화 정도를 나타낸다. 그리고 심박변이도의 LF 및 HF 스펙트럼 성분의 전력은 절댓값( $ms^2$ ) 또는 정규화된 단위(0-100)로 나타낼 수 있다.

표 3. 주파수 영역에서의 심박변이도 해석

Table. 2. Analysis of heart beat variation in frequency domain

Variables	Units	Description	Frequency range
total power	$ms^2$	—	—
VLF	$ms^2$	Power in low frequency range	$\leq 0.04$ Hz
LF	$ms^2$	Power in low frequency range	0.04 – 0.15 Hz
HF	$ms^2$	Power in high frequency range	0.15 – 0.4 Hz
LF/HF	—	Ratio LF/HF	—

### 3-3 전력스펙트럼밀도의 감정 분석 방법

생체 정보를 분석하기 위해 시간 영역에서 구해진 입력 신호를 주파수 성분으로 분해하여 표현하는 신호처리 기법인 전력스펙트럼밀도(PSD; Power Spectrum Density)를 사용하였다. 그림 1과 같이 x축은 주파수를 의미하고, y축은 에너지의 분포를 의미하는데, 시간 영역에서 관찰되기 어려운 신호의 특성을 주파수 영역에서는 쉽게 알아낼 수 있는 특성을 가지고 있다. 고속 푸리에 변환을 통하여 구한 단위 주파수 당 에너지의 분포를 살펴봄으로써 감정을 인식해낼 수 있다.

전력스펙트럼밀도에서의 주파수 성분의 활성화 정도를 분석할 때, LF 성분이 증가하면 부교감신경계 활동이 우세한 것을 의미하며, 이는 부정적 상태로 판단된다. 반대로 HF 성분이 증가하면, 교감신경계 활동이 우세한 것으로, 이는 긍정적 감정으로 판단할 수 있다.

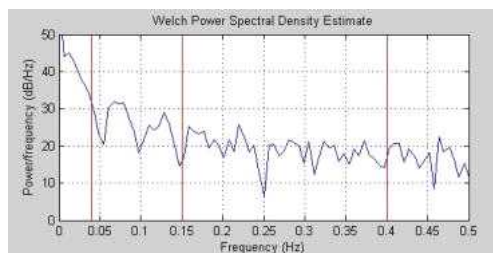


그림 1. 심박변이도에 대한 PSD 적용 결과

Fig. 1. Results of PSD on heart rate variability

### 3-4 설문 조사 구성

실험 영상 시청이 끝나면 설문 조사를 수행하게 하였다. 설문 조사는 기쁨, 슬픔, 짜증, 평온에 대해 실험자가 선택하도록 하여 해당 실험 영상과 일치하는지 확인 할 수 있다. 실험 영상 콘텐츠에 대한 흥미도와 감정 변화 정도 및 몰입 정도에 대해 서술형으로 기술하게 함으로써 개인에 따른 바이오피드백을 수집할 수 있다.

설문지는 설문 참여자의 일반적 특성을 파악하기 위한 성별, 연령, 적성과 감상자가 몰입도 여부에 관한 문항과 감정 변화 여부 및 정도에 대한 문항으로 이루어졌다. 몰입 정도에 대한 설문 내용은 실험자들이 영상물을 보고 “전혀 몰입되지 않았다.”, “별로 몰입되지 않았다.”, “보통이다.”, “대체로 몰입하였다.”, “매우 몰입하였다.” 중 하나를 선택하는 방식으로 진행되었다. “별로 몰입되지 않았다.”를 선택하였을 경우, 그 이유에 대해 구체적인 문장으로 작성하도록 하였다. 영상을 통해 감정 변화를 “그렇다.”, “그렇지 않다.”, “잘 모르겠다.” 중 하나를 선택하게 하고, “잘 모르겠다.”를 선택하였을 시 이유를 주관식으로 작성하게 하였다. 변화된 감정에 대해서는 “기쁨”, “슬픔”, “짜증”, “평온”, “잘 모르겠다.” 중 본인이 느끼는 감정을 택하게 하였다. 느낀 감정의 정도에 대해서도 1부터 5까지 “거의 미미하게 느꼈다.”부터 “아주 크게 느꼈다.”까지 단계 중 하나를 선택하게 하였다.

## IV. 실험 및 결과

### 4-1 실험 환경

실험은 그림 1과 같이 데이터 수집과 데이터 분석 및 감정 판단으로 진행되었다. 심박 데이터를 수집하기 위해 실험 대상자는 PPG 센서를 부착하고 영상 시청 실험을 수행한다. 수집된 데이터는 서버를 통해 심박변이도 데이터로 변환되어 주파수 영역에서의 활성도를 분석한다. 이후 기쁨, 슬픔, 짜증, 평온의 감정 중 해당되는 감정으로 판단된다.

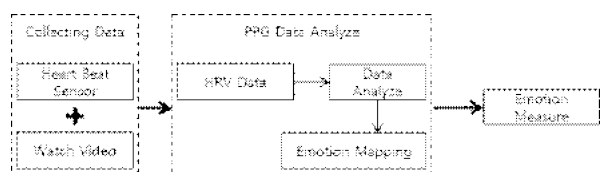


그림 2. 실험 개념도

Fig. 2. Experimental Conceptual Diagram

실험에 사용된 PPG 센서는 850nm 광원과 광원의 빛을 감지하는 디텍터 부분으로 구성되어 있으며, 손가락에 스트랩을 사용하여 착용하였다. 그리고 그림 2와 같이 실험 환경은 PPG 센서가 아두이노(Arduino) UNO에 연결되고, 아두이노와 컴퓨터



간 시리얼 통신으로 데이터를 수집한다. 녹색 LED로 동작하며, 손가락에서 반사된 빛을 디텍터 센서가 수신하여 아날로그 출력을 제공한다. 아두이노 보드에서는 2ms 주기로 측정값을 PC에 전달한다.

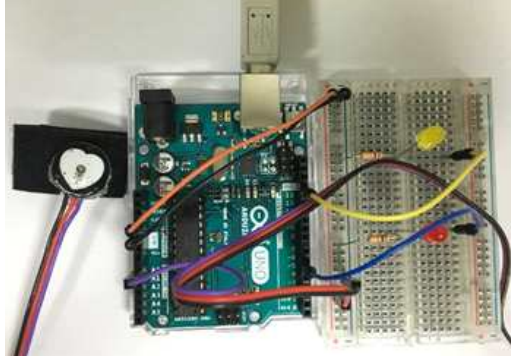


그림 3. 심박 데이터 측정부  
Fig. 3. The heart rate data measuring unit

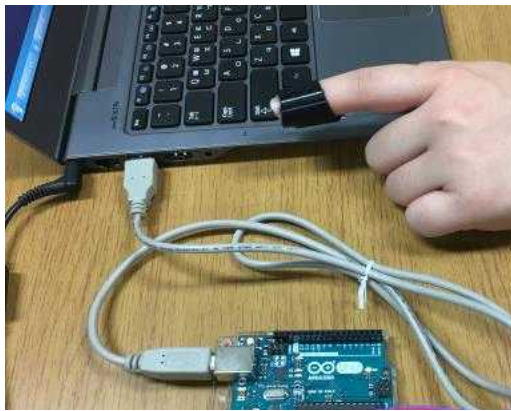


그림 4. PPG 센서 착용 모습  
Fig. 4. Wearing PPG sensor

PPG 데이터 수집 실험은 실험실 환경 조건에 적합한 온도 (23~26°C)와 습도 (25~40%)를 조성한 상태에서 이루어졌다. 실험에 앞서 그림 4과 같이 PPG 센서를 착용한 실험자들에게 실험 중에 움직임을 최소화할 것을 지시하였고, 본격적인 PPG 수집에 앞서 약 5분 정도의 실험 적응 시간을 가질 수 있도록 하였고, 각각의 영상 실험이 마치면 안정된 상태에서 다음 영상 실험을 위해, 약 5분에서 10분 동안 자연의 소리가 나오는 영상을 시청하여 다시 안정된 상태로 몰입할 수 있도록 유도하였다. 자연의 소리는 백색 사운드와 유사한 형태로 해당 소리를 들으면 심리적인 안정도가 높아지며 스트레스 지수가 낮아지는 것을 알 수 있다 [20]. 실험 대상자는 건강한 25~31세의 대학생과 대학원생들로 선정하고 2명의 여자와 7명의 남자, 총 9명이 참가하였다. 실험에 대한 부담감을 줄이기 위해 약 1~4일의 간격을 두어 실험을 진행하였다. 또한, 해당 실험자가 특정 심혈관 질환이 없는지 확인하고, 12시간 이내에 음주하지 않았는지 확인하였다.

표 4. 감정 인식 실험을 위한 실험 대상자

Table. 3. Experimental subject for emotion estimation experiment

Experimenter	Age	Gender
(a)	25	M
(b)	26	F
(c)	26	F
(d)	26	M
(e)	26	M
(f)	26	M
(g)	27	M
(h)	28	M
(i)	31	M

#### 4-2 심박변이도 분석

PPG 센서를 통해 BPM(Beat Per Minute) 그래프를 그려보았을 때, 그림 5에서 그림 8과 같은 그래프를 확인할 수 있다. x축은 시간을 기준으로 순서가 매겨진 BPM 번호이고, y축은 BPM 값을 의미한다. 기쁨에 해당되는 BPM에서는 평균값은 약 87로 평균 26~35세 성인 남성의 이상적인 심박 수는 63~66으로 비교적 분당 맥박 수가 빠르게 뛰고 있는 것을 알 수 있다. 또한, 그림 5에서 과형의 변화가 극심하여 맥박 수가 급격하게 변화하는 것을 통해 실험자가 실험 중에 과한 웃음을 했을 경우 불규칙한 변화 그래프를 나타내는 것을 알 수 있다. 그림 6와 같이 슬픔의 경우에는 약 66으로 평균적인 분당 맥박 수의 범위에 해당되지만 해당 실험자는 실제 영상 실험 시청 중에 눈물을 흘리기도 하였는데, 이 과정에서 호흡이 가빠지고 감정이 격정적이게 되기 때문에, 맥박 수가 급격히 변화하는 구간을 살펴볼 수 있다. 실험자의 긍정적 상태인 기쁨과 부정적 상태인 슬픔의 과형이 현저하게 다르게 나타남으로써 감정의 구분이 가능함을 알 수 있다. 또한, 각 상태에 대한 바이오피드백과 비교하였을 때도 동일한 감정에 대해 일치하게 느꼈음을 확인할 수 있었다.

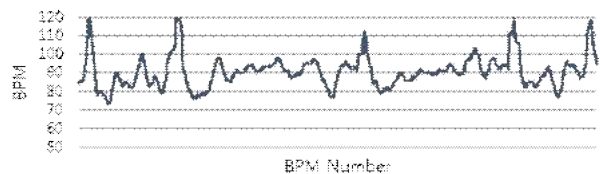


그림 5. 기쁨 때 심박변이도  
Fig. 5. Heart rate variability of Joy

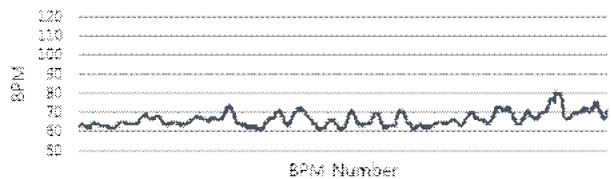


그림 6. 슬픔 때 심박변이도  
Fig. 6. Heart rate variability of Sadness

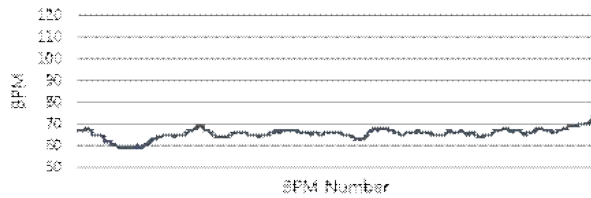


그림 7. 평온일 때 심박변이도  
Fig. 7. Heart rate variability of Neutral

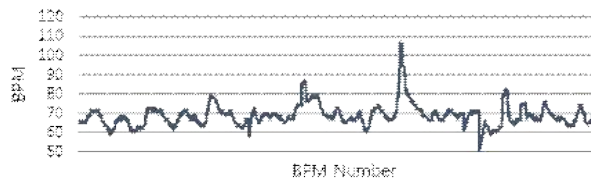


그림 8. 짜증일 때 심박변이도  
Fig. 8. Heart rate variability of Irritability

그림 7의 경우, 실험 대상자에게 자연의 영상을 시청하게 하여 평온한 상태로 유도하였다. 전체적으로 완만한 심박변이도를 확인할 수 있었다. 그림 8은 소음 등의 영상을 재생하여 실험 대상자가 불쾌하고 짜증나는 감정을 느낄 수 있도록 유도한 경우이다. 이 때에 높고 낮은 심박이 모두 나타났으며, 설문조사를 통해 짜증난 감정을 느꼈음을 확인할 수 있었다. 하지만 BPM만으로는 정확한 감정을 알기 어려우므로 설문 및 세부적인 분석이 필요하다.

#### 4-3 긍정과 부정의 감정 분석

피검자의 긍정적 상태와 부정적 상태를 비교하였을 때, 심박변이도 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.

본 연구에서는 연산 횟수를 줄이기 위해 고속 푸리에 변환한 주파수 영역의 LF/HF 비율을 분석할 때, 비율이 높으면 부정적인 감정으로 판단하였다. 반대로 비율이 낮으면 긍정적인 감정으로 판단하였다. 표 5를 보면, (f)의 경우, 평온에 해당하는 2.5232의 값을 기준으로 비율을 1로 보았을 때, LF/HF 비율이 거의 동일한 안정된 상태라고 해석할 수 있다. 반면, 슬픔과 짜증의 값을 약 6과 4로 보았을 때, 비율이 증가하였으므로 해당 실험자는 부정적 감정 상태라고 해석할 수 있다.

표 5. 실험자들의 LF/HF 비율

Table. 4. Subjects' LF/HF Ratio

Experimenter	Joy	Sadness	Irritability	Neutral
(a)	3.7472	4.1921	2.0112	3.4042
(b)	1.8723	2.562	2.5794	2.5893
(c)	3.5142	4.4209	4.2410	3.7386
(d)	3.2958	4.2860	3.6766	2.5794
(e)	2.2507	2.7728	3.3265	1.1025
(f)	2.3753	6.2580	4.4502	2.5232
(g)	2.9930	3.2891	3.4502	3.7695
(h)	2.2234	4.0864	3.0592	3.8762
(i)	2.4277	3.7877	3.4275	6.2076

#### 4-4 전력스펙트럼밀도의 감정 분석

VLF, LF, HF에 해당하는 주파수 영역의 면적을 살펴보았다. 그 결과 기쁨을 유도하는 영상을 시청했을 경우, HF와 VLF의 주파수 스펙트럼이 넓은 것을 볼 수 있다. 반대로 슬픔을 유도하는 영상을 시청했을 경우, 비교적 VLF와 LF의 스펙트럼의 면적이 넓은 것을 알 수 있고, 짜증을 유도하는 영상을 보여줬을 경우, LF에 대한 스펙트럼의 면적이 가장 넓은 것을 알 수 있다. 평온의 경우에는 VLF와 LF의 면적과 HF의 면적 비율이 비슷한 것을 볼 수 있다.

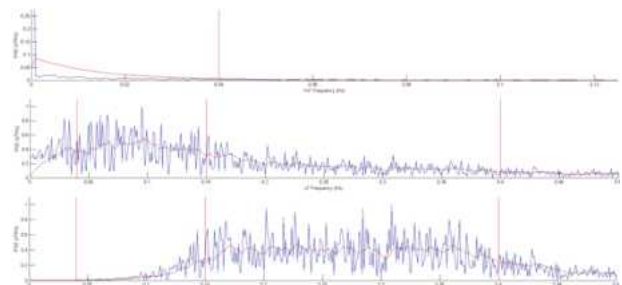


그림 9. 기쁨에 대한 VLF, LF, HF의 PSD  
Fig. 9. PSD for VLF, LF, HF for Joy

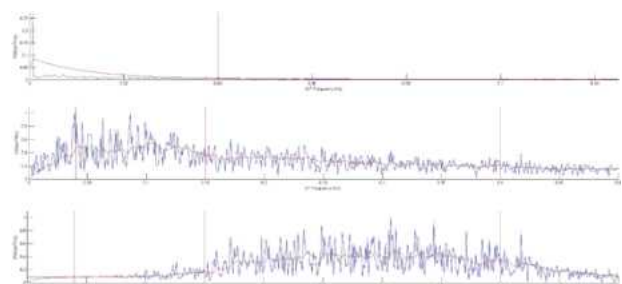


그림 10. 슬픔에 대한 VLF, LF, HF의 PSD  
Fig. 10. PSD for VLF, LF, HF for Sadness

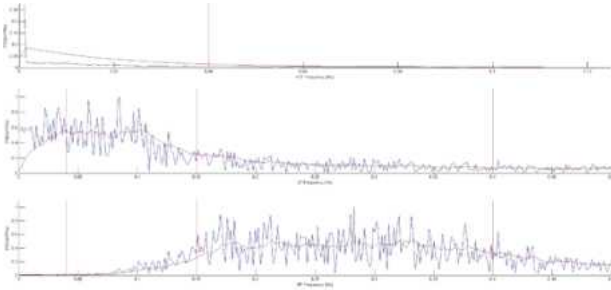


그림 11. 짜증에 대한 VLF, LF, HF의 PSD  
Fig. 11. PSD for VLF, LF, HF for Irritability

실험자 (d)의 경우, 평균 2.5232의 값을 기준으로 보았을 때, 실험자 중 가장 큰 폭으로 슬픔에서 비율이 증가하였으며, 다음으로 짜증의 비율이 증가하였다. 반면 기쁜 감정은 비율이 감소한 것을 알 수 있었다. 따라서 비율이 높으면 부정적 상태로 판단하고 낮으면 긍정적 상태로 판단 할 수 있다. 이 때, 실험자가 실시한 설문지의 몰입 정도를 보면, “매우 몰입하였다”에 체크를 하였고, 실제 영상 중 눈물을 흘리는 모습과 화를 많이 내는 모습을 확인할 수 있었다.

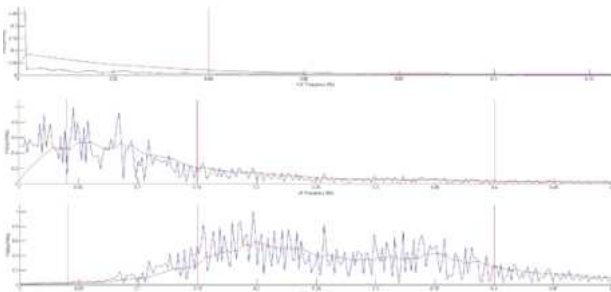


그림 12. 평온에 대한 VLF, LF, HF의 PSD  
Fig. 12. PSD for VLF, LF, HF for Neutral

반면 실험자 (g)의 경우, 평온한 감정의 평균 값 6.2076을 기준으로 보았을 때, 값이 비정상적으로 높으나 그만큼 부교감 신경에 강한 지배를 받은, 평온한 상태라고 볼 수 있다. 기쁨에 대한 평균 값 2.4277은 굉장히 뚜렷하게 감소하였으며, 슬픔과 짜증에 해당하는 감정 모두 높은 비율의 값에 속한다고 볼 수 있다. 실험자는 해당 실험을 통해 오랫동안 감정에 몰입되어 있었으며, 슬픔의 영상을 시청할 때 눈물을 많이 흘렸다.

실험자 (d)의 경우, 그림 6과 같이 기쁜 감정에서의 HF 성분이 가장 뚜렷한 것을 알 수 있었지만, LF 성분 또한 뚜렷한 것을 알 수 있었다. 이를 통해 부교감 신경 요소이지만 교감 신경 요소에도 해당되는 복잡한 뇌신경인 미주신경의 영향도 받는 사례를 살펴 볼 수 있었다.

실험자 (a)의 경우, 슬픔을 느낄 때 LF 성분이 증가함에 따라 LF/HF 비율도 증가함을 볼 수 있었다. 또한, 각각의 감정에 따라 VLF, LF, HF 성분을 비교하였을 때, 그림 7와 같이 슬픈 감정에 대해서 LF 성분이 가장 많은 것을 볼 수 있고, VLF 성분이

네 개의 감정 중에 슬픈 감정에서 가장 뚜렷하게 나타나는 것을 알 수 있었다. 실험자 (e)의 스펙트럼을 분석하였을 때, 짜증나는 감정의 그림 8에서 VLF와 LF 성분이 모두 뚜렷한 것을 알 수 있었다. 이를 통해 LF와 동일하게 교감신경의 영향을 VLF에서도 동일하게 받는 것을 알 수 있었다. 이는 실험자 (f)의 스펙트럼에서도 동일하게 확인되었다. 실험자 (g)의 경우, 짜증에서 HF 성분과 VLF 성분이 가장 뚜렷하게 나타났는데, 이를 통해 실험자의 감정 변화가 컸으며, 설문 조사에서 실험 영상의 내용을 제 3자의 입장에서 보게 되어, 처음에 감정 몰입에 그다지 큰 영향을 미치지 않았다고 말하였다.

#### 4-5 바이오피드백 분석

실험자 데이터 표본의 성별 분포를 살펴보면 전체 응답자 9명 중 남자가 7명, 여자가 2명 참여하였으며, 연령대 분포를 살펴보면 전체 응답자 중 20대가 8명, 30대가 1명으로 20대에 치우쳐져 있는 표본임을 알 수 있다. 또한 대학원생 7명, 직장인 1명, 대학생 1명으로 대부분의 실험자가 학생에 포함된 표본 특성이 있다. 영상 시청을 마친 후, 영상 시청 시에 본인의 몰입 정도를 체크하게 하였는데, 그림 13과 같이 “매우 몰입하였다”가 29.4%, “대체로 몰입하였다”가 38.2%로 대부분의 실험자가 몰입한 것을 알 수 있었다. 반면 “보통이다”가 11.8%, “별로 몰입하지 못했다”가 20.6%라고 답하였으며, “별로 몰입하지 못했다”에 답변한 실험자는 그 이유를 기술하게 하였다. 이유로는 “개인의 취향에 맞지 않아 흥미를 유발하지 못했다”, “영상 화질이 좋지 않아서 몰입이 잘 되지 않았다”, “이미 알고 있는 영상이다.”와 같은 답변이 있었다.

Experimental Video Concentration

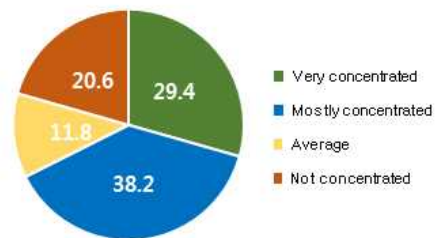


그림 13. 실험 영상 몰입도

Fig. 13. Experimental Video Concentration

영상 시청을 통해 시청 전과 다른 감정 변화를 느꼈는지 묻는 질문에 73.5%가 “그렇다” 라고 응답한 것으로 상대적으로 많은 실험자가 감정 변화를 느낀 것을 그림 14을 통해 확인되었다. 선택지를 1에서 5까지의 범주를 정하고, 선택지 1은 “거의 미미하게 느꼈다”와 선택지 5는 “아주 강하게 느꼈다”에 체크하게 하였다. 그 결과 선택지 5와 선택지 4에는 각각 20%가 비교적 감정 변화가 컸다고 표시하였고, 중간 값인 선택지 3에



는 50%가, 선택지 1에는 10%가 응답하였다. “보통이다” 들 의미하는 응답률이 절반을 차지했지만, 극단적인 1과 5의 답을 피하는 심리를 미루어보아, 비교적 감정 변화가 컸다고 볼 수 있다.

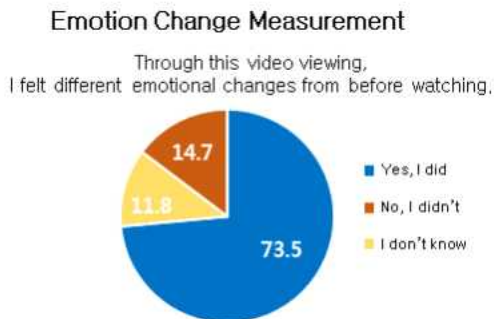


그림 14. 감정 변화 측정도  
Fig. 14. Emotion Change Measurement

## V. 결 론

본 논문에서는 PPG 센서를 이용하여 인간의 감정을 인식하였다. 이를 위하여 실험자들을 선정하고, 그들로부터 기쁨, 슬픔, 짜증, 평온에 해당하는 감정에 대한 심박변이도를 수집하였고, 주파수 영역에서의 에너지 크기 비교를 사용하였다. 감정에 영향을 주는 교감신경과 부교감신경의 활성도를 의미하는 주파수 영역에서의 파라미터를 설정하고, 저주파수와 고주파수의 비율 값을 통해 긍정적인 감정과 부정적인 감정을 평가하는 기존의 분석 방법을 사용하였다. 비율 값이 크면 부정적인 감정으로 판단하고, 반대로 작으면 긍정적인 감정으로 보았다. 기쁨, 슬픔, 짜증, 평온의 감정을 유도하는 자체 제작된 영상을 시청하는 실험을 통해, 주파수 영역에서의 초저주파수를 파라미터로 추가 설정하여, 고주파수와 저주파수뿐만 아니라 초저주파수와 감정과의 연관성을 분석했다. 뚜렷한 특징을 띠는 고주파수와 저주파수와 다르게 초저주파수는 교감신경에 해당되는 기쁨과 부교감신경에 해당되는 슬픔 모두에 의해 중재 되는 것으로 간주된다. 또한, 대부분의 기쁨 실험에서 고주파수의 비율이 높기 나타남으로써 연관성이 뚜렷하다 해석할 수 있지만, 저주파수의 비율 또한 높기 나타나는 사례를 통해 두 감정에서 나타나는 저주파수에 대한 해석은 아직 부족함으로써 PPG 센서만 의존해 감정을 인식하는 데에 한계가 있음을 알 수 있었다.

실험 후 이루어진 바이오피드백을 통해 개인마다 실험 영상에 대한 선호도에 따라 몰입도가 다르게 나타나는 것을 알 수 있었고, 실제로 이것은 감정 변화에 영향을 미쳤다. 개인마다 감정 인식 기준을 달리 설정해야 하는 필요성과 바이오피드백을 통해 하나의 실험 영상에 대해 개인의 경험에 따라 동시에 두 가지 이상의 감정을 느낄 수 있음을 확인할 수 있었다.

인간의 감정을 평가하는 것은 매우 복잡하고 어려운 것으로

생각되지만, 사용자의 상황 정보와 기타 생체 데이터를 사용하면 더 높은 정확도를 기대할 수 있을 것이다. 또한 PPG 센서 데이터에 기반을 둔 감정 분석을 바탕으로 핏빛과 스마트워치와 같은 상용화된 디바이스를 통해 실시간으로 이루어진다면 감정 추출을 위한 데이터베이스를 구축하는데 크게 기여할 수 있을 것이다. 사용자의 감정 상태에 따라 실행되는 모바일 어플리케이션이 달라지는 것에 기반을 두어, 기존 어플리케이션 실행 예측 서비스의 신뢰도와 정확도를 향상시키는 데에 기여할 것이라 기대된다.

## 감사의 글

이 논문은 2017년도 교육부와 한국연구재단의 일반연구지원사업의 지원을 받아 수행된 연구임 (NRF-2017R1D1A1B03034705)

## 참고문헌

- [1] W. J. Clancey, *Situated Cognition: On Human Knowledge and Computer Representations*, Cambridge University, 1997.
- [2] D. Yi and C. H. Kah, "Emotions and continued usage of mobile applications," in *Industrial Management and Data Systems*, Vol. 115, Issue 5, pp. 833-852, 1980.
- [3] A. L. Jorge, O. Venet, M. Oscar, F. Mads, B. Jakob, F.-J. Maria and K. V. Lars, "Tell me your apps and I will tell your mood: Correlation of apps usage with Bipolar Disorder State," in *Proceedings of the 7th International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments*, No. 19, 2014.
- [4] T. Yan, C. David, G. Deepak, K. Aman and L. Jie, "Fast App Launching for Mobile Devices Using Predictive User Context," in *Proceedings of the 10th international conference on Mobile systems, applications, and services*, pp. 13-126, 2012.
- [5] Veljko Pejovic, et al., "Interrupt Me: Designing Intelligent Prompting Mechanisms for Pervasive Applications," *Proceedings of the 2014 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing*, pp.897-908, Sep 2014.
- [6] Jung Chan-Min, et al., "Personalized Application Recommendation System using Emotion Recognition on Smartphone," *Korea Institute of Communication Sciences*, pp. 236-237, Feb 2012.
- [7] CAI Jing, et al., "The Research on Emotion Recognition from ECG Signal," *International Conference on*



- Information Technology and Computer Science*, Vol. 1, pp. 497-500, Jul 2009.
- [8] Bagha, Sangeeta, and Laxmi Shaw. "A real time analysis of PPG signal for measurement of SpO2 and pulse rate." *International journal of computer applications*, Vol. 36, No. 11, pp. 45-50, Dec 2011.
- [9] M. Bolanos, Student Member, IEEE, H. Nazeran, Senior Member, IEEE, and E. Hältiwanger, "Comparison of Heart Rate Variability Signal Features Derived from Electrocardiography and Photoplethysmography in Healthy Individuals." *Engineering in Medicine and Biology Society*, No. 1, pp. 4289-4294, Sept 2006.
- [10] J. Russell, "Pancultural aspects of the human conceptual organization of emotions," *Journal of Personality and Social Psychology*, Vol. 45(6), pp. 1281-1288, Dec 1983.
- [11] Lombardi, Federico, Malliani, Alberto, "Heart rate variability: standards 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*, Vol. 17, pp. 354-381, March 1996.
- [12] T. D. M. Trinh and G. P. Daniel, "Where and What Using smartphones to predict next locations and applications in daily life," in *Pervasive and Mobile Computing*, Vol. 12, pp. 79-91, June 2014.
- [13] S. Akane and P. W. Rosalind, "Stress Recognition using Wearable Sensors and Mobile Phones," in *Humanize Association Conference on Affective Computing and Intelligent Interaction*, pp. 671-676, Sep 2013
- [14] P. Martin, D. Tilman, P. S. Jose and O. Nuria, "When Attention is not Scarce - Detecting Boredom from Mobile Phone Usage," in *Proceedings of the 2015 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing*, pp. 825-836, Sep 2015.
- [15] K. Rachuri, M. Musolesi, C. Mascolo, P. Rentfrow, C. Longworth, A. Aucinas, "EmotionSense: a mobile phones based adaptive platform for experimental social psychology research," in *Proceedings of the 12<sup>th</sup> ACM international conference on Ubiquitous computing*, pp. 281-290, Sep 2010.
- [16] L. Robert, L. Yunxin, L. D. Nicholas and Z. Lin, "MoodSchope: Building a Mood Sensor from Smartphone Usage Patterns," in *Proceedings of the 11th annual international conference on Mobile systems, applications, and services*, pp. 389-402, Sep 2013.
- [17] H.W. Kim, W.J. Choi, S.Y. Ihm, Y.H. Park, "A Study on Utilizing a Vital Sign for Emotional Objectification," *The Journal of Digital Contents Society*, Vol. 18, No. 3, pp. 485-497, June 2017.
- [18] S. Kay and S. Marple, "Spectrum analysis-A modern Perspective," in *Proceedings of the IEEE*, Vol. 69, No. 11, pp. 1380-1419, Nov 1981.
- [19] W. J. G., Design of Pulse Oximeter, in *Institute of physics Publishing*, 1997.
- [20] S.H. Hong, M.J. Bae, "Sound of Improving One's Ability to Concentrate," in *Proceedings of the Institute of Electronics and Information Engineers*, pp. 671-672, Nov 2007.



**최진영(Jin-young Choi)**

2015년 : 한남대학교 미디어영상전공 (공학사)

2017년 : 충남대학교 컴퓨터공학과 (공학석사)

2017년 ~ 현재 : 충남대학교 컴퓨터공학과 박사과정

※관심분야: 감성 콘텐츠, 임베디드 시스템 소프트웨어 등



**김형신(Hyung-shin Kim)**

1990년 : 한국과학기술원 전산학과 (공학사)

1991년 : University of Surrey 위성통신공학과 (공학석사)

1992년 ~ 2001년 : 한국과학기술원 인공위성연구센터 선임연구원

2003년 : 한국과학기술원 전산학과 (공학박사)

2003년 ~ 2004년 : Camegie Mellon University of Post Doc.

2004년 ~ 현재 : 충남대학교 컴퓨터공학과 교수.

※관심분야: 항공우주 시스템, 저전력 컴퓨팅, 임베디드 시스템 소프트웨어