

# 생체신호를 이용한 감성조명 시스템

한영오\* · 김동우\*\*

Sensitivity illumination system using biological signal

Young-Oh Han\* · Dong-Woo Kim\*\*

요 약

본 논문에서는 생체신호인 PPG, GSR 신호의 변화에 따라 구동되는 LED 감성조명 시스템을 구현하였다. 개발된 GSR 및 PPG 센서모듈로부터 인체의 생체신호를 측정하고, 측정된 생체신호를 이용하여 MCU에서 제안된 각성·이완 판별법에 근거하여 피검자의 각성 또는 이완 상태를 판단한다. 피검자의 상태에 대응하는 LED 조명색상의 변화를 주어, 피검자가 안정 상태의 감정에 도달할 수 있도록 하는 감성조명 시스템을 개발하였다.

ABSTRACT

In this paper, we implemented a LED sensitivity illumination system, being driven in response to changes in the biological signals of GSR and PPG signal. After measuring biological signals of a human body from GSR and PPG sensor modules, MCU decided the state of relaxation or arousal of the subject, being based on the wake-relaxation identifying map proposed in this paper. A developed LED sensitivity illumination system makes the subject to reach a normal state by giving a change of the LED illumination color, corresponding to a state of the subject.

키워드

LED(Light Emitting Diode), GSR(Galvanic Skin Response), PPG(Photoplethysmography)  
발광 다이오드, 전기 피부 반응, 광혈류측정기

## 1. 서 론

외부로부터 심리적 압박을 받거나 특정상황에 처할 경우 긴장, 흥분, 각성 또는 불안과 같은 생리적 반응이 일어나게 되는데, 이러한 외부의 심리적 압박을 스트레스 요인(stressor)이라 하고, 원상태로 되돌아가려는 반작용을 스트레스라고 한다. 즉, 외부로부터 주어지는 압력에 의해 내적인 긴장감을 느끼게 되는 것이다. 이러한 스트레스는 회피할 수도 저항할 수도 없는

인간의 생활조건의 일부분이며, 생활 방식에 관련된 / 질병의 일부분이다[1]. 그렇지만 스트레스 요인이 전혀 없는 것도 반드시 건강을 위해 좋은 것은 아니다. 때로는 지겨움이나 권태가 지속되면 무기력한 상태(학습된 무력감)를 거쳐 우울증 등 병적 상태에 이를 수 있으므로 적당한 스트레스는 정신건강과 신체적 건강에 도움이 된다. 나쁜 스트레스로 인한 결과로, 초기에는 그로 인한 불안 증상(초조, 걱정, 근심)이 발생하고 점차 우울한 증상이 나타나게 된다. 또한 장기

\* 교신저자(corresponding author) : 남서울대학교 전자공학과(youngoh@nsu.ac.kr)

\*\* 남서울대학교 대학원 전자공학과(dowoo0530@nate.com)

접수일자 : 2013. 12. 26

심사(수정)일자 : 2014. 01. 26

게재확정일자 : 2014. 04. 12

간 스트레스를 받으면 면역 기능이 떨어져 질병이나 심각한 경우 암과 같은 질환에 걸리기 쉬운 상태가 된다고 알려져 있다. 반면 좋은 스트레스를 받게 되면 생활의 윤희류로 작용하여 자신감을 심어 주고 일의 생산성과 창의력을 높여 줄 수 있다는 점에서 긍정적인 효과도 나타난다. 따라서 스트레스는 지나치게 높거나 낮아도 바람직하지 못하므로, 적정 스트레스를 유지해줄 필요가 있다.

최근 조명시스템에서 급격히 사용되고 있는 LED 조명은 에너지 절약효과가 크고 여러 분야에서 응용되고 있다. 감성조명에서 RGB LED를 사용하게 되면 총천연색의 표현이 가능하다. 특히, 상관색온도의 재현에 의해 인간의 생리, 심리, 감성에 적합한 색의 표현이 가능하여 경관조명, 건축조명, 병원조명 등에서 인간의 섬세한 감성에 미의식, 감정순화, 편안함, 감동 등을 유도하는 고기능성을 주는 조명으로 활용된다.

본 개발에서는 인체의 피부전도반응(GSR)센서와 광적용적맥파(PPG)센서 모듈을 LED조명에 연동하여 사용자가 편리하게 본인의 신체의 피부전도반응과 맥파를 이용한 심박동수를 측정하고, LCD창을 통해 자신의 피부전도반응과 심박동수를 쉽게 확인할 수 있으며, 나아가 정상 스트레스 상태를 만들기 위해 LED 조명의 색상을 변화시켜 사용자가 조명 빛을 통해 자연스럽게 신체의 감성을 변화시키도록 하는 감성조명 시스템을 구현하였다[2].

## II. 시스템 구성

### 2.1 시스템 구성도

그림 1은 전체 시스템 구성도이다. 심박동수를 측정할 수 있는 PPG 및 피부전도반응을 측정하기 위한 GSR을 MCU(Micro Controller Unit)와 통합모듈로 제작하였다. 사용자의 생체신호가 입력되면 제어부인 MCU에서 입력받은 데이터를 ADC(Analog Digital Converter)하여 이완 및 각성상태를 판단하고, 대응하는 색상을 RGB LED를 통해 출력한다. 생체신호의 값을 확인하기 위해 2x16 크기의 LCD를 사용하여 한 눈에 심박동수와 피부전도반응을 확인할 수 있도록 시스템을 구성하였다. 전원부로는 5V/1A 용량의 SMPS(Switching Mode Power Supply)가 사용되었고

MCU를 통해 각각에 전원이 연결되었다. 그림 1은 시스템 구성도이다.

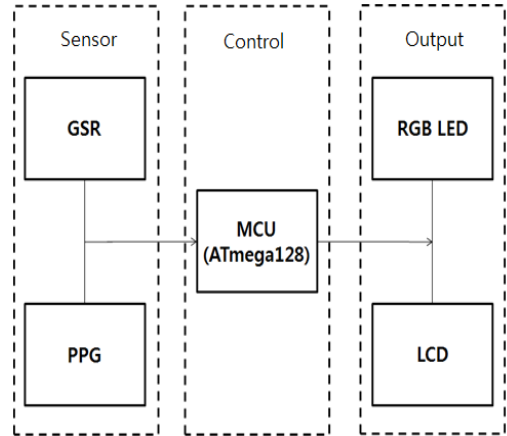


그림 1. 시스템 구성도  
Fig. 1 System block diagram

## III. 시스템 구성

### 3.1 PPG 및 GSR 센서 모듈 개발

PPG는 LAXTHA의 RP520을 사용하였다. RP520은 반지형 맥파 센서로서 측정에 필요한 모든 아날로그 회로가 내장되어 전원을 인가하면 바로 맥파를 출력할 수 있는 센서이다. 맥파는 심장 박동에 의한 혈액과 혈관의 운동학적 특성이 반영된 것이다. 그림 2는 PPG 신호를 분석하기 위해 스펙트럼 분석 프로그램을 이용하여 이산 푸리에 변환(Discrete Fourier Transform)을 하였다. PPG 스펙트럼의 주파수 범위는 대부분 10Hz 이내로 대부분 저주파 대역에 형성되어 있음을 알 수 있다.

측정 방법은 센서 크기에 맞는 손가락에 장착하여 연결된 도선에 +3V~+5V의 단전원(Vs)과 LED 구동 전류 제어 전압(Vc)을 인가하여 아날로그 맥파를 얻을 수 있다. PPG의 측정방식으로는 반사 형과 투과 형이 있으며, 본 개발에서는 LED조명 외형부착을 위해 반사형인 RP520을 사용하였다[3]. 그림 3은 RP520의 PPG회로도 이다.

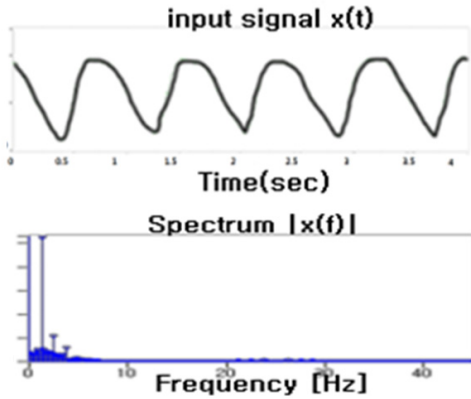


그림 2. PPG 신호 분석  
Fig. 2 PPG signal analysis

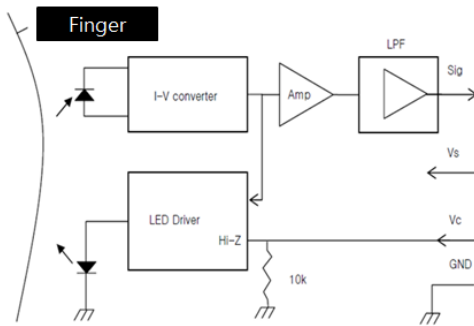


그림 3. RP520 PPG 센서 회로도  
Fig. 3 RP520 PPG sensor circuit diagram

### 3.2 GSR(Galvanic Skin Response) 센서부

GSR은 생리학상 활동에 따른 피부의 전기 임피던스와 그 변화를 말하는 것으로 보통 손가락 부위에 땀샘의 활동이 전신적인 자극이나 주변의 상황에 민감하다는 것을 이용하여 두 전극 사이의 저항을 측정함으로써 대상의 정신적 상태를 파악 할 수 있다[3-4]. 그림 4는 GSR의 기본적인 회로도이다. 두 개의 전극사이에 손가락의 저항을 측정한다. 오른쪽의 전압플로어 회로는 좌측의 전압분배회로에서 두 전극 사이의 저항 값에 따른 전압을 출력한다. 저항 값이 낮아질수록 전압의 크기가 감소한다[5].

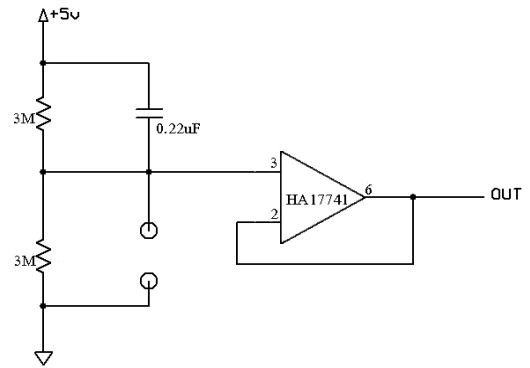


그림 4. GSR 회로도  
Fig. 4 GSR circuit diagram

그림 5는 동판을 이용해 자체 제작한 GSR 센서를 PPG 센서 뒷면에 부착하여 생체신호를 동시에 측정할 수 있는 모듈을 개발하였다[6-7].

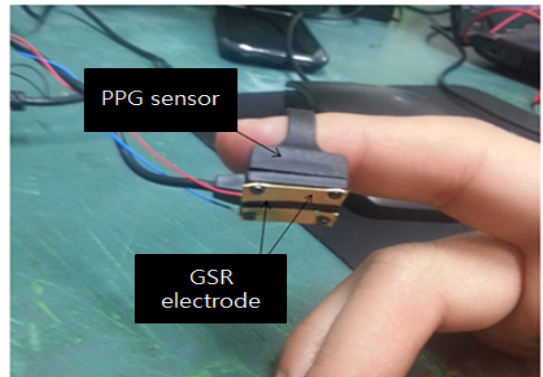


그림 5. PPG 및 GSR 센서  
Fig. 5 PPG and GSR sensor

### 3.3 심박동수 측정 소프트웨어 개발

본 개발에서는 ATmega128을 MCU로 사용하였으며, 단극성 8채널의 내부 ADC를 지원한다. 그림 6은 PPG 신호의 파형을 오실로스코프로 출력한 것이다. PPG 신호의 민감도가 크고 개인차가 존재하여 심박동수를 카운트하기 어렵기 때문에 슈미트 트리거(Schmitt Trigger) 회로를 추가하였고, 약 2.2V 이상일 경우 트리거가 발생하도록 하였다. 그림 7을 보면 기존 파형이 깨끗한 구형파로 변환 것을 확인할 수 있다[8].

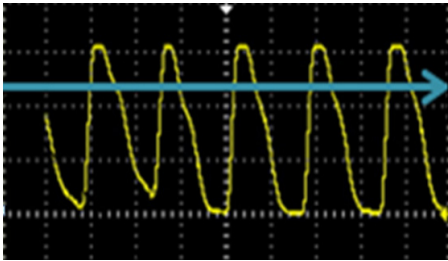


그림 6. 일반적인 PPG 파형  
Fig. 6 General PPG waveform

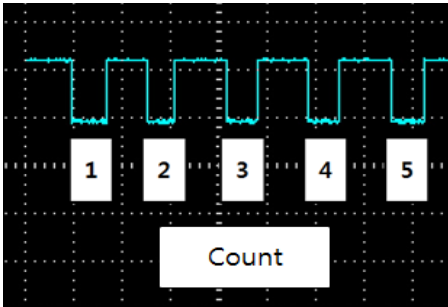


그림 7. 슈미트 트리거 회로를 통과 한 PPG 파형  
Fig. 7 PPG waveform that pass the schmitt trigger circuit

그림 7에서 표시한 파형 하나를 카운트하기 위해서는 입력된 파형의 하강에지와 상승에지를 감지 할 수 있어야 한다. 하강에지와 상승에지를 카운트 하기위해서 파형의 High값인 4[V]와 Low값인 1[V]의 차를 이용하였다. 입력신호의 크기가 3[V] 차이가 발생 할 때 상승에지와 하강에지가 있다고 판단하고 심박동수를 측정하게 된다. 이렇게 5초간 측정한 심박동수에 12를



그림 8. E²-KIT 측정사진  
Fig. 8 E²-KIT determination photo

곱하여 분당 맥박수를 구한다. 그리고 정확도를 높이기 위해 1x3배열의 변수를 지정하여 총 3개의 분당 맥박수의 평균을 구하고 LCD에 값을 출력하게 된다.

표 1. 개발된 PPG 모듈과 E²-KIT와의 측정오차  
Table 1. Measuring error E²-KIT and developed PPG module

E²-KIT	Developed PPG module	Error
72	72	0
78	80	+2
71	73	+2
77	76	-1
72	72	0
68	70	+2
68	68	0
70	68	-2
72	72	0
80	80	0

그림 8은 (주)KTMED에서 개발한 생체신호처리 키트( E²-KIT)로 본 연구에서 측정된 신호와 비교분석하였다. 그 결과 표 1과 같이 두 센서의 차이가 2 이하로 비슷한 수치를 기록한 것을 확인하였다.

### 3.4 디스플레이

PPG와 GSR을 확인하기 위해서 2x16 LCD를 사용하였다. 첫 번째 줄에는 GSR의 전압 값[V]을 출력하였고 두 번째 줄 HR(Heart Rate)은 분당 심박동수 [bpm : beat per minute]로 나타낸 것이다.

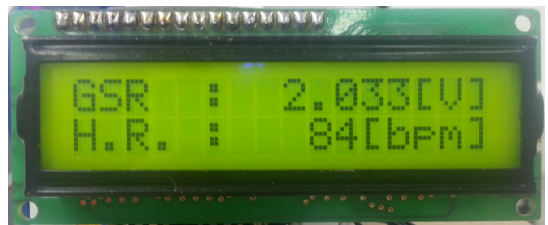


그림 9. 디스플레이  
Fig. 9 Display

### 3.5 LED 제어 모듈

LED조명을 제어하기 위하여 MCU에서 2가지 입력 신호에 따라 RGB값을 조절해 빛의 색을 결정한다. LED는 5V의 전압과 420mA의 전류가 필요하며 Red, Green, Blue를 각각의 포트에 연결한다. LED감성조명에 사용하는 색상의 종류는 6가지이며 아래의 표 2를 참고하여 RGB값을 설정하였다.

표 2. RGB 조합표  
Table 2. RGB combination table

Color	Red	Green	Blue
Red	255	0	0
Green	0	255	0
Blue	0	0	255
Yellow	255	255	0
Sky blue	0	255	255
White	255	255	255

## IV. 실험결과 및 고찰

통합 회로 기판의 1층은 제어부와 센서부가 결선되어있고 2층에는 디스플레이가 구현되어 있다. RGB LED는 총 5개를 부착하였고 LCD 디스플레이는 전면 에 부착하여 생체신호 확인이 용이하도록 설계하였다.

본 개발모듈에서 데이터 수집을 위해 여러 가지 상황에 따른 실험을 해보았다. PPG와 GSR의 연관성을 알아보기 위해 이완, 각성을 알아 볼 수 있는 실험을 하였다.

표 3은 각성 상태를 알아보기 위하여 10분간 달리기(육체적 스트레스)를 한 후 심박동수를 측정한 결과이다. 실험조건은 4명의 실험군이 10분간 달리를 하고, 시간경과에 따른 측정값을 나타낸 결과이다. 운동 직후 PPG를 측정 했을 때, 높은 심박동수인 것을 확인하였고 시간이 지날수록 점점 정상상태로 돌아오는 것을 확인하였다. 심박동수의 정확도를 확인하기 위해 그림 8에 나온 디지털 신호처리 실험키트인 E<sup>2</sup>-KIT를 사용하였으며, 동일한 실험조건에서 비교해 보았다. 비교결과, 차이가 최대 4를 넘지 않았으며, LED조명 구동에 문제가 없음을 확인하였다.

표 4는 저각성(지침) 상태를 알아보기 위해 피검자가 수면을 취했을 경우 PPG를 측정하였고, 앞 실험과 동일하게 10번의 반복을 통하여 오차를 줄였다. 수면 후 10분이상이 지나면 더 이상 맥박이 떨어지지 않았고, 피검자당 평균 7~8정도 맥박이 떨어짐을 확인하였다.

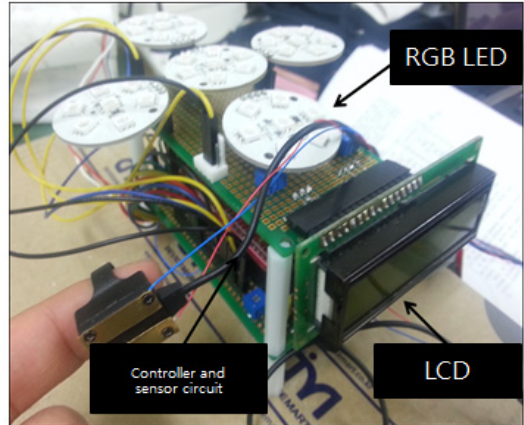


그림 10. 구현된 회로 기판  
Fig. 10 Integrated circuit board

표 3. 운동 후 시간경과에 따른 심박동수 값  
Table 3. The value of heart rate of time after exercise

time	E <sup>2</sup> -KIT	developed PPG module	error
직후	124	122	-2
after 5 minutes	127	123	-4
after 10 minutes	112	113	+1
after 15 minutes	111	108	-3
after 20 minutes	109	106	-3
after 30 minutes	103	100	-3
after 45 minutes	100	102	+2
after 60 minutes	98	96	-2
after 90 minutes	94	91	-3

after 120 minutes	82	85	+3
after 140 minutes	77	80	+3
after 160 minutes	77	77.5	+0.5
after 180 minutes	77	76.5	-0.5
after 200 minutes	72.5	75.5	+3

표 4. 수면 후 시간경과에 따른 PPG 신호  
Table 4. PPG signal of time after sleep

subject	before sleep	after 5 minutes	after 10 minutes
1	72	62	57
2	76	66	62
3	68	62	60
4	68	60	58

표 5와 6은 4명의 피검자를 대상으로 30분 게임 후,(정신적 스트레스) GSR과 PPG를 측정된 결과이고, GSR 측정도구로는 디지털 멀티미터가 사용되었으며 기준전압과 측정전압의 차이를 나타내었다. 각 피검자당 10번의 실험결과에 평균값을 나타내었다. 피검자들의 차이가 존재하지만, GSR 값은 0.5~0.8의 전압이 감소하고 심박동수는 4~12bpm의 소폭상승을 확인하였다.

표 5. 게임 후 GSR 값의 변화값  
Table 5. Change value of GSR after the game

subject	GSR[V] change value
1	0.807
2	0.558
3	0.668
4	0.812

표 6. 게임 후 심박동수 측정값  
Table 6. Measure heart rate after the game

subject	normal	after 30 minutes of game
1	73	81
2	66	78
3	72	80
4	68	72

실험결과를 토대로 GSR, PPG에 대한 판별맵을 만들어보았으며 그림 11에서 좌표의 X축은 맥박의 상태를 나타내고 Y축은 GSR 전압의 전압강하를 나타낸다. 좌표의 중심점은 (80, 0.5)이며 위, 아래로 갈수록 0.1씩, 좌, 우로 갈수록 10씩 증가한다. 이 판별맵을 토대로 아래 표 7의 감성·컬러 대응표와 연관지어 LED조명등의 색상을 결정하였다. 예를 들어 어느 사용자의 심박동수와 피부전도반응 변화값이 110bpm, 0.8V가 나왔을 경우 사용자는 과각성 상태라고 파악하여 초록색의 빛을 내도록 한다[9].

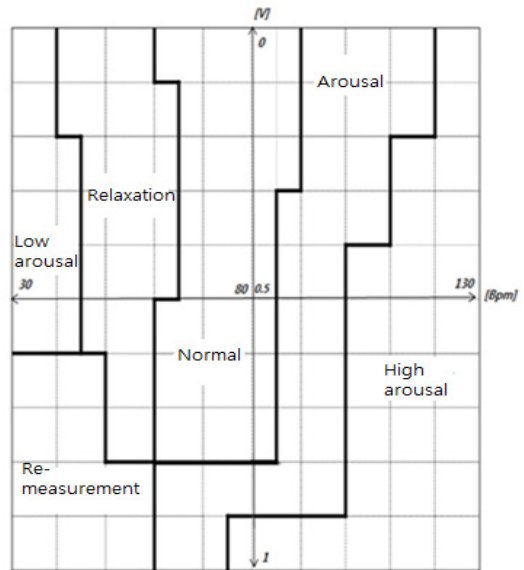


그림 11. 스트레스 지수 판별맵  
Fig. 11 Stress identifying map

표 7. 감성컬러 대응표  
Table 7. Sensibility color corresponding table

sensibility	Color	corresponded sensibility Color
low arousal	Gray	Red
relaxation	Dark blue	Yellow
normal	Sky blue	Sky blue
arousal	Bright red	Blue
high arousal	Red	Green

스트레스 지수 판별맵과 감성·컬러 대응표를 참고하여 여러가지 주어진 상황에 대하여 나타나는 감성 지수를 예상해보고 실제 LED조명에 실험을 해보았다. 표 8의 실험은 총 4명이 주어진 환경에 따라 실험을 하고 LED조명의 색을 관찰하였다. 실험 1의 경우와 실험 2의 경우는 과각성과 각성의 상태가 예상되는 조깅과 게임이 환경으로 주어졌다. 이에 LED조명 시스템은 사용자가 각성 상태라고 판단되어 초록색과 파란색의 빛을 비추었다. 책을 30분 읽은 뒤 역시 평소에 가까운 상태라고 파악되어 정상상태인 하늘색의 빛을 비추었다. 그러나 실험 4의 샤워를 마친 후의 경우 예상되는 감성이 이완상태였으나 조명등은 각성상태에 가까운 빛이 나왔다. 실험 5의 경우 아침에 일어난 직후라 저각성 상태가 예상되었으나 그 보다는 한 단계 높은 노란색의 빛을 내었다. 초록색 계열은 진정, 하늘색 계열은 정화 및 치유, 노란색 계열은 활동성을 느끼게 해준다[10].

표 8. 상황에 따른 실험 결과  
Table 8. Experimental results according to the situation

experimental	situation	expected sensibility	sensibility color
1	after jogging	high arousal	green:4
2	after gaming	arousal	blue : 3 sky blue : 1

3	after reading	normal	sky blue:4
4	after shower	relaxation	blue:2 sky blue:2
5	after awake	low arousal	yellow:4

30분 게임 후 실제 대응되는 조명을 보고 정상수치로 돌아오는데 육체적 스트레스의 경우 실제 대응되는 색상의 조명을 보고 있더라도 효과가 미비했다. 그러나 정신적 스트레스의 경우 어느 정도 효과를 볼 수 있었다. 그림 12와 그림 13은 게임 후 조명을 보았을 때 효과를 비교해본 실험이다. 모든 실험군이 조명을 보았을 때와 그렇지 않았을 경우의 심박동수, GSR을 비교해 보았다. 조명을 30분 동안 바라보았을 경우 그렇지 않은 경우보다 평균 심박동수는 6회, GSR은 200mV의 감소가 있었다. 따라서 LED감성조명을 사용한 결과 육체적 스트레스의 경우는 좋은 효과를 보지 못했지만 정신적 스트레스의 경우는 좋은 효과를 보였다.

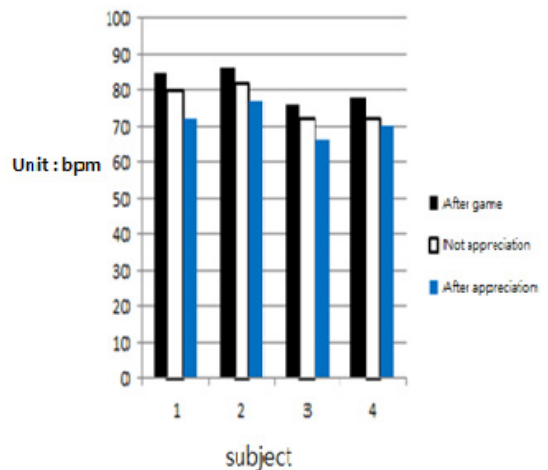


그림 12. 심박동수 변화 비교  
Fig. 12 Comparison of change in heart rate

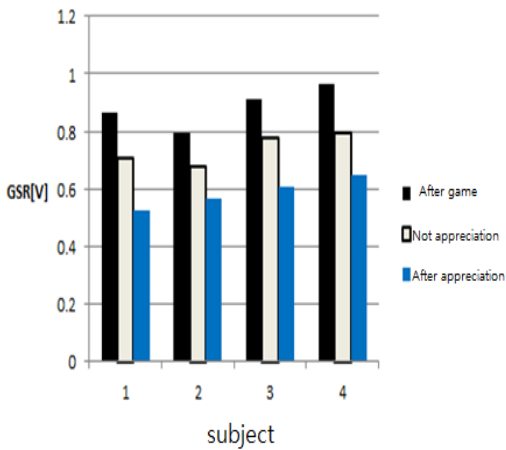


그림 13. GSR 변화 비교  
Fig. 13 Comparison of change GSR

#### IV. 결론

본 논문은 기존의 조명 시스템이 아닌 사용자가 간편하게 LED조명등에 부착된 생체신호 센서를 사용하여 본인의 신체 스트레스 정도를 직접 확인할 수 있고, 상황에 따른 LED조명등의 변화로 사용자의 이완 및 각성상태에 도움을 주고자 시스템을 개발하였다. 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, PPG 및 GSR을 간편하면서 동시에 측정 가능한 모듈을 개발하였으며, 이를 이용하여 측정된 생체신호로부터 심박동수를 카운팅하여 디스플레이 되도록 설계하였다.

둘째, 측정된 PPG 파형으로부터 슈미트 트리거 회로를 사용하여 피검자의 심박동수를 손쉽게 측정할 수 있는 알고리즘을 제안하였으며, 알고리즘을 이용하여 개발한 기술의 객관성 검증을 위하여 (주)KTMED에서 개발한 생체신호처리 키트( E<sup>2</sup>-KIT)와 비교분석하였다. 비교 분석 결과, PPG를 이용한 심박동수 측정 오차가 2bpm이하로 비슷한 수치를 기록한 것을 확인하였다.

셋째, 사용자가 GSR 측정을 시작하였을 때, 측정된 GSR 값의 변화량을 이용하여 LED 조명등이 'ON' 되도록 할 수 있는 생체신호 연동 조명 스위치를 구현하였다.

넷째, 측정된 PPG, GSR을 이용하여 각성·이완 스트레스 판별법을 구현하였고, 이러한 판별법을 이용하

여 피검자의 스트레스지수를 분석하였으며, 그 정도에 따라 LED조명 색을 변화시켜 적당한 스트레스 정도를 유지시키도록 하는 생체신호 연동 감성조명 시스템을 설계하였다.

다섯째, 피검자의 육체적 스트레스의 경우보다는 정신적 스트레스의 경우에 대응하는 LED조명 색 변화를 이용하여 실험한 결과, 평균 심박동수는 분당 약 6회 감소, GSR은 비교값이 200mV 감소함을 보임으로써 적절한 스트레스 유지 효과가 있음을 도출할 수 있었다.

향후, 본 연구결과와 신뢰성 확보를 위하여 전문 의료기관에서 임상실험 병행 및 다양한 조건에서 더 많은 남녀노소 피검자군에 대한 실험을 진행하고, 상황에 따라 대응되는 LED 조명색의 종류를 좀 더 세분화할 수 있는 실험이 필요할 것으로 판단된다.

#### 감사의 글

본 논문은 2013년도 남서울대학교 학술연구비 지원에 의해 연구되었음.

#### 참고 문헌

- [1] S. Yoo, S. Oh, and S. Bae, "A Design and Implementation of sensibility LED control system by stress," *Conf. of Korean Institute of Information Technology*, 2010, pp. 32-35.
- [2] L. van den Broek, "Ubiquitous emotion-aware computing," *J. of Personal and Ubiquitous Computing*, vol. 17, no. 1, 2013, pp. 53-67.
- [3] H. Kim and K. Kim, "Comparative Studies on the Measurement of Photoelectric Plethymography between Reflection and Transmission," *Conf. of The Korean Institute of Electrical Engineers*, July 2010, pp. 1948-1949.
- [4] J. Ryu, S. Beack, S. Paek, and D. Kim, "A Study of GSR Signal Processing for Virtual Reality System for Treatment of Mental Illness," *Conf. of The Korean Institute of Electrical Engineers*, July 2004, pp. 149-153.
- [5] J. Son and M. Hwang, "A Study on Development of Emotion Mouse," *J. of*



- Software-Media Laboratory of Sangmyung University*, vol. 2004, no. 2, 2004, pp. 1-10.
- [6] Y. Han, "Development of the ubiquitous health care module for a bidet," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 7, no. 4, 2012, pp. 931-936.
- [7] S. Bae and I. Lim, "A Study on 3G Networked pulse Measurement System Using Optical Sensor," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 7, no. 6, 2012, pp. 1555-1560.
- [8] S. Kwon and I. Jung, "Sensitivity Lighting System Based on multimodal," *J. of The Korean Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 16, no. 4, 2011, pp. 721-729.
- [9] H. Kim, S. Jung, H. Seo, J. Choi, and Y. Han, *Stress analysis system using Galvanic Skin Response and Photo Plethysmo Graphy measurement module*. Hanvit media, 2010, pp. 51-55.
- [10] S. Tamio, *World of color psychology*. Yekyong, 2001, pp. 202-205.

## 저자 소개



### 한영오(Young-Oh Han)

1886년 연세대학교 전기공학과 졸업(공학사)

1989년 연세대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학석사)

1985년 연세대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학박사)

1996년~현재 남서울대학교 전자공학과 교수

※ 관심분야 : 디지털 신호처리, 의용전자, 유비쿼터스 센서 네트워크



### 김동우(Dong-Woo Kim)

2013년 남서울대학교 전자공학과 졸업(공학사)

2013년~현재 남서울대학교 대학원 전자공학과 재학

※ 관심분야 : 유비쿼터스 센서 네트워크, 의용전자

