

# 최적의 LED 감성조명 제어 시스템 설계 및 구현

윤수정\*, 인치호<sup>o</sup>

## Design and Implementation of Optimal LED Emotional-Lighting Control System

Su-Jeong Yun\*, Chi-Ho Lin<sup>o</sup>

### 요 약

차세대 IT융합 응용기술을 이용하여 감성상태를 생체 신호로부터 추출하려는 많은 연구가 진행되고 있으며, 감성이 인간의 감각기능을 통해 생리적인 상태에 영향을 미친다는 사실이 알려지고 있다. 본 논문에서는 생체신호를 이용하여 감성조명을 제어하는 알고리즘을 제안하였다. 감성조명을 위하여 사용된 LED조명은 친환경적이며 고효율 및 긴 수명을 가지고 있다. 특히, LED 조명은 단일 조명구로도 다양한 색표현이 가능한 장점을 가지고 있다. 그리고 인간의 감성을 보다 정확하게 판별하기 위한 생체신호로 뇌파를 사용하였고, 뇌파측정 장비를 사용하여 수집된 뇌파를 분석해 감성을 판단하였다

**Key Words** : Emotional Lighting, Lighting Control System, Biological Signals, Human Computer Interface, EEG

### ABSTRACT

Next-generation applications using technology IT fused to biological signals from the emotional state to extract a lot of research has been, and the sensitivity of the human sensory functions influences the physiological condition known to be the fact that. In this paper, Propose an Emotional-lighting control algorithm using bio-signals. LED lighting for Emotion light is environmentally friendly and has a high efficiency and long life. In particular, LED lights are different colors represent the possible single light sphere advantages. And, Human sensitivity for determining a more accurate biological signals using EEG was collected using EEG equipment sensitivity was determined to analyze the EEG.

### 1. 서 론

Full-Color LED(Light Emitting Diode)는 기존 광원과는 달리 색채, 색온도, 밝기 등의 제어가 가능하다. 빛의 조절 가능한 속성의 변화는 인간의 감성에 많은 영향을 미치기 때문에 LED의 발달과 함께 빛과 인간의 감성에 대한 상관관계에 대한 연구가 주목을 받고 있다. 이러한 연구의 최종목적은 인간의 생활환경에

최적화된 빛 환경을 제공하는 것이라 할 수 있다<sup>1,2)</sup>.

최근 생각에 따라 변하는 뇌의 기전을 이용하여 컴퓨터를 컨트롤하고 통신을 하려는 brain-computer interface (BCI) 기술이 대두되고 있다. 특히 뇌의 활동을 측정하는 센서 기술과 신호처리 기술의 발달로 영화에서 보아왔던 텔레파시와 같이 생각만으로 휠체어를 움직이고 컴퓨터에 글자 및 숫자를 입력하는 것들이 조금씩 현실화 되어가고 있다. 이러한 기술들은

\* First Author : School of Computer, Semyung University, sjbaby79@naver.com, 학생회원

<sup>o</sup> Corresponding Author : School of Computer, Semyung University, Korea, ich410@semyung.ac.kr, 정회원  
논문번호 : KICS2015-03-051, Received March 19, 2015; Revised June 5, 2015; Accepted August 7, 2015

특히 척수 및 신경근의 손상으로 인해 사지가 마비된 환자들에게 도움을 주는 재활 목적으로 개발이 되어 왔다. 이러한 환자들은 컴퓨터 및 기타 시스템 컨트롤을 위해 눈동자의 움직임이나 호흡의 컨트롤 등을 이용한 재활 장비들을 사용하여왔지만 사지 마비가 매우 심각한 환자들은 이러한 눈동자 및 호흡 컨트롤을 위한 근육 컨트롤 자체가 쉽지 않기 때문에, 특별한 근육의 움직임이 필요 없이 단지 뇌활동의 변화만을 이용하는 BCI 시스템의 필요성이 더욱 커지고 있다. 뇌의 활동을 비침습적으로 측정하기 위해 다양한 센서 및 진단 장비를 사용하여 왔는데 그중 뇌파 (EEG), 양전자 방출 단층촬영술 (PET), 기능적 자기공명영상 (fMRI) 등을 예로 들 수 있다. 이들 중 흔히 뇌파라고 불리는 EEG는 작고 가볍게 구현이 가능하여 휴대성이 용이하고 다른 센서에 비해 가격이 저렴하며, 실시간 측정이 가능하여 BCI 시스템 구현에 가장 적합하다고 할 수 있다. 첨단 기술 발달에 따라 감성을 확인하기 위한 최적의 방법으로 BCI 기술을 사용하여 최적화된 빛 환경을 제공하기 위해 컴퓨터가 인간의 감성을 이해하고 능동적으로 인간의 요구를 수행하는 감성기반 지능형 시스템이 필요하다.<sup>[3-6]</sup>

감성과 관련된 연구는 뇌파를 이용한 연구가 주류를 이루고 있다.<sup>[7-11]</sup> 인간의 뇌파란 신경계에서 뇌 신경 사이에 신호가 전달될 때 생기는 전기의 흐름이며, 이는 심신의 상태에 따라 각각 다르게 나타나며 뇌의 활동 상황을 측정하는 지표이다. 뇌파는 일반적으로 0Hz-4Hz는 델타파, 4-7Hz는 세타파, 8-12Hz는 알파파, 13-30Hz는 베타파, 30Hz이상은 감마파로 분류된다.<sup>[12]</sup>

본 논문에서는 생체신호를 기반으로 사용자의 감성 상태를 분류하고, 스스로 LED 조명을 제어하는 효율적인 LED 감성조명 제어 시스템을 제안한다. 또한, 생체신호를 측정하기 위해서 공개플랫폼인 Openeeg를 사용하여 하드웨어를 설계 및 구현하였다.

## II. LED 감성조명 제어 시스템

본 논문에서 제안하는 LED 감성조명 제어시스템은 생체 신호를 사용하여 사용자의 감성상태를 확인하고 확인된 감성상태를 이용하여 스스로 LED 조명을 제어 할 수 있도록 하는 시스템을 제안한다. 여기서 사용되는 생체신호는 EEG 신호를 사용했다. EEG 신호를 측정하기 위한 방법으로 공개플랫폼인 Openeeg<sup>[13]</sup>를 사용하여 보드를 설계하고, Openeeg 보드를 사용해 EEG신호를 측정하여 줄린상태, 집중

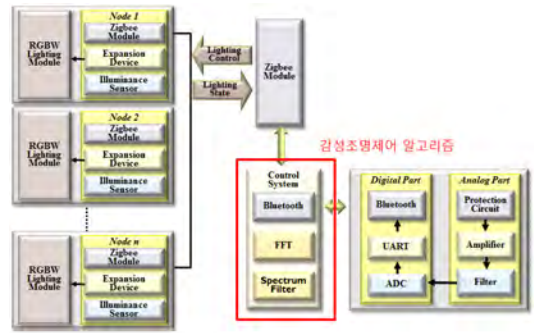


그림 1. 감성조명 제어 시스템 구성도  
Fig. 1. Led Emotional Lighting Control System Configuration

상태, 긴장 및 흥분상태로 사용자의 감성 상태를 분류했다. 또한 분류된 감성상태를 이용해 LED 조명을 제어하는 감성조명 제어 시스템에 적용한다. 그림 1은 전체 감성조명 제어 시스템의 구성을 나타낸다.

본 논문에서 설계 및 제작된 아날로그 회로는 차동 증폭기, 대역필터, 노치필터와 증폭기로 구성되어 있다. 아날로그 회로는 디지털 보드와 연결하여 출력된 아날로그 신호를 디지털 보드의 메인프로세서에 내장되어 있는 A/D컨버터를 사용하여 디지털화 하였다. 뇌파 데이터는 시간과 진폭이 연속적인 아날로그 형태의 파형으로 데이터를 수집하였다.

그림 2(a)의 회로는 일반적인 교류증폭회로로 비반전 증폭회로에 0.1[Hz] High Pass Filter와 1[kHz] Low Pass Filter가 결합된 것이다. High Pass Filter의 기능은 초단증폭에서 발생하는 DC-offset 을 제거하는 용도이다. DC-offset이 발생하는 이유는 전극에서의 전기화학적 전압성분이 가장 크고, 그 외에는 OP-amp 자체에서 발생된다. Low Pass Filter를 사용한 이유는 1[kHz] 이상의 고주파 노이즈를 제거하기 위해서이다. 그림 2(b)의 회로는 Low Pass Filter로

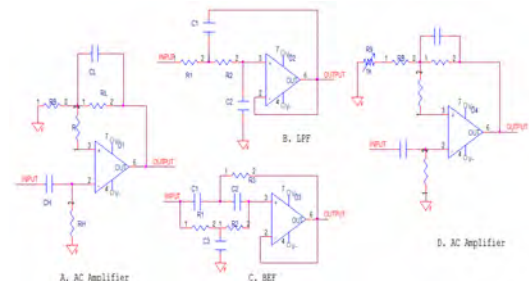


그림 2. (a) AC Amplifier, (b) LPF, (c) BEF, (d) AC Amplifier  
Fig. 2. (a) AC Amplifier, (b) LPF, (c) BEF, (d) AC Amplifier

Butter Worth 특성을 갖는 2차 Active Low Pass Filter로 구성되어 있다. EEG 의 주파수 영역 범위를 넘여가는 주파수성분을 제거하기 위하여 사용하였다. 그림 2(c)의 회로는 Band Elimination Filter 로 일반적인 환경에서 제일 많이 측정될 수 있는 60[Hz] Noise를 제거하기위한 목적으로 사용하였다. 그림 2(d)의 회로는 그림 2(a)의 회로에서 Gain의 값을 조절할 수 있도록 가변저항을 연결하여 회로 앞단의 OP-amp에서 발생한 DC-offset을 제거하는 역할을 할 수 있게 설계하였다. 완성된 아날로그 회로는 디지털 회로 보드와 연결하여 입력된 아날로그 생체신호를 디지털 회로 보드의 메인 프로세서에 내장되어 있는 10비트 A/D컨버터를 사용하여 디지털화 하였다. 뇌파 데이터는 시간과 진폭이 연속적인 아날로그 형태의 파형으로 데이터를 수집 하였다.

그림 3은 아날로그 회로에서 측정된 EEG DATA 들을 사용하여 PC에서 제어하는 감성조명 제어 알고리즘을 나타낸다. 감성조명 제어 알고리즘은 제일 먼저 처리 할 과정으로 연속적인 뇌파 신호를 컴퓨터에서 처리가 가능하도록 이산적인 디지털 신호로 변경 하였다. 시간영역 데이터를 주파수 영역으로 변화시키기 위해 수학적 처리과정으로 푸리에변환 (Fourier Transform)을 이용하였고, 식 (1)을 이용하여 정의하였다. 따라서 본 논문에서는 FFT를 이용하여 시간영역의 뇌파신호를 주파수영역으로 변환하면 주파수 크기에 따라 신호가 그래프에 배열되어 신호의 주파수 성분들을 분석할 수 있었다.

$$H(f_n) = \sum_{k=0}^{N-1} h_k e^{-j2\pi kn/N} = H_n \quad (1)$$

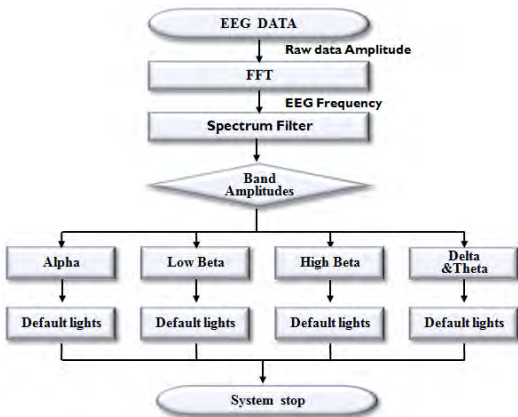


그림 3. 감성조명 제어 알고리즘  
Fig. 3. Emotional lighting control algorithm

뇌파를 분석하는 다양한 방법 중 대표적인 것은 파워 스펙트럼 분석이다. 파워스펙트럼 분석은 일반적으로 상관함수법과 FFT법이 사용되며, 데이터의 길이를 충분히 길게 얻을 수 없는 경우에는 보통 선형 예측 모델 법을 사용한다. FFT법에서는 상관함수를 추정하지 않고, 관측 데이터의 푸리에 변환으로부터 직접 파워스펙트럼이 추정하였다. 측정 데이터 중에서 단지 데이터의  $\chi_0, \chi_1, \dots, \chi_{N-1}$  만을 이용하여 파워스펙트럼을 추정하기 위해 식(2)를 사용하였다.

$$\widehat{P_{PER}}(f) = \frac{1}{N\Delta t} \left| \Delta t \sum_{n=0}^{N-1} x_n \exp(-j2\pi f n \Delta t) \right|^2 \quad (2)$$

이때 두피의 전극에서 발생하는 주파수 대역별 파워를 절대 파워(absolute power)라고 하고, 전체 주파수 대역의 절대 파워를 기준으로 각 주파수 대역의 절대 파워를 비율로 산출한 값을 각 주파수 대역의 상대 파워 (relative power)라고 하고, 상대 파워 스펙트럼 분석은 절대 파워 스펙트럼 분석에 비교해서 두개골의 두께 차이, 측정 시 두피의 전기적 상태, 긴장도와 같은 측정 변인을 줄일 수 있고, 인지 기능과 뇌파의 연관성을 잘 보여주기 때문에 뇌 기능에 관한 연구에서 많이 이용되고 있다.

표 1은 측정된 뇌파 밴드별 데이터를 나타낸다.<sup>[14]</sup> 뇌파 밴드별 데이터를 감성조명 제어 알고리즘에 적용하여 감성조명 제어 시스템을 완성하였다.

표 1. 뇌파 밴드별 데이터  
Table 1. Main EEG Indicator

EEG classification	Frequency Definition	Emotional state
Delta wave & Theta wave	0.5~7Hz	Deep Sleep, Sleep
Alpha wave	8~12Hz	Awake
Low beta wave	13~20Hz	Concentration, Activity
High beta wave	21~30Hz	Tension, Excitement

### III. 실험 및 결과

본 논문에서는 오픈 플랫폼인 Openeeg 보드를 활용하여 2CH의 뇌파데이터를 측정할 수 있고 10비트의 분해능을 가지고 있는 보드를 설계하였다. 제작한 보드는 표 2에서 보여주는 의료용 뇌파계의 시험 검사

표 2. 의료용 뇌파계 시험 기준 및 Openeeg 보드 사양  
Table 2. Medical EEG-based testing standards and Openeeg Board Specifications

항목	시험기준	Openeeg Board
입력회로	1. 각 채널의 입력 임피던스 10GΩ 이상 2. 입력회로 전류는 5x10 <sup>-9</sup> 이하	1000GΩ 이상 기준치 이하
기록감도의 변화	1. 기록 진동의 변화는 0.5mm이하	0.4mm이하
주파수 특성	1. 1-60Hz의 주파수 범위내에서 기록의 진동은 10Hz 기록진동의 90-100%로 하고 이 주파수 범위에 있어도 110%를 초과해서는 안됨	93.6-98.2%
시정수	1. 최소한 0.1초 및 0.3초를 구비하고 각각 오차는 0-20%이내	기준치이내
변별비	1. 증폭기의 변별비는 60db 이상	100db
채널간섭	1. 간섭에 따른 무입력 채널 진동의 크기는 0.5mm이하일 것	0.4mm이하

를 모두 통과하였고, 시험검사를 통과한 보드를 활용하여 EEG 신호를 측정하였으며, 뇌파 측정을 위한 전극은 국제 전극 배치법인 International 10-20 System에 의해 전전두엽(Fp1, Fp2)에 부착하였다. 오른 쪽 귓볼 뒤에 기준전극을 부착하였고, 왼쪽 귓볼 뒤에 접지 전극을 부착하였다. 그림 4는 뇌파분석에 사용된 전극 위치를 나타내고 있다.

그림 5는 Openeeg보드를 참고하여 설계한 2CH EEG 측정보드의 아날로그 회로도이며, 그림 6(a)는 설계한 보드의 부품잡음 특성들을 고려하여 임피던스 조정을 완료한 PCB이다. 그림 6(b)는 제작 완료된 아날로그 보드의 전면사진이다.

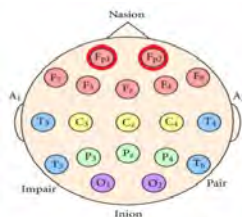


그림 4. 뇌파분석에 사용된 전극 위치  
Fig. 4. Electrode location on EEG analysis

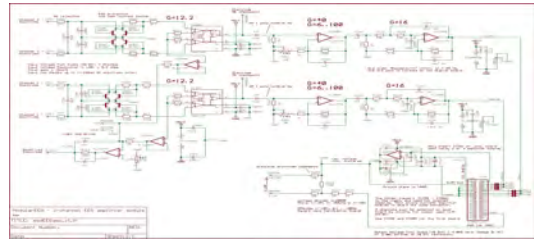


그림 5. Openeeg 아날로그 컨트롤러 회로도  
Fig. 5. Openeeg Analog Controller Circuit

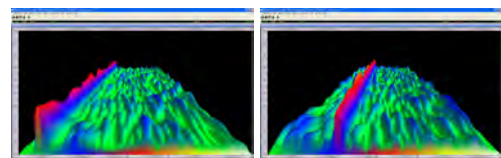


(a) Analog Board PCB (b) Analog Board

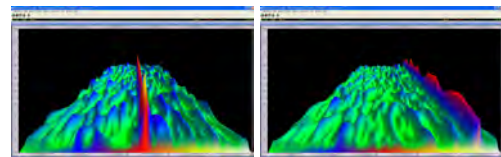
그림 6. Openeeg 아날로그 보드  
Fig. 6. Openeeg Analog Board

그림 7은 본 논문에서 설계 및 제작한 2CH EEG 측정 보드를 활용하여 확인한 파워스펙트럼 화면이다. 그림 7(a)는 깊은 숙면·숙면 상태인 Delta wave & Theta wave중 숙면상태의 Theta wave를 나타내고 있으며, 그림 7(b)는 깨어있는 안정된 상태의 Alpha wave, 그림 7(c)는 주의 집중상태의 Low beta wave, 그림 7(d)는 긴장 및 흥분상태의 High beta wave를 각각 측정하여 파워스펙트럼으로 사용자가 EEG신호가 제대로 측정되었는지 확인할 수 있도록 디스플레이 이해주는 화면을 나타내고 있다.

본 논문에서 설계 및 제작한 Openeeg 아날로그 보드를 활용하여 측정한 뇌파신호들을 감성 조명제어 알



(a) Delta wave & Theta wave (b) Alpha wave



(c) Low beta wave (d) High beta wave

그림 7. 제작한 보드로 측정된 스펙트럼 측정결과  
Fig. 7. Produced as measured by the spectrum measurement board.



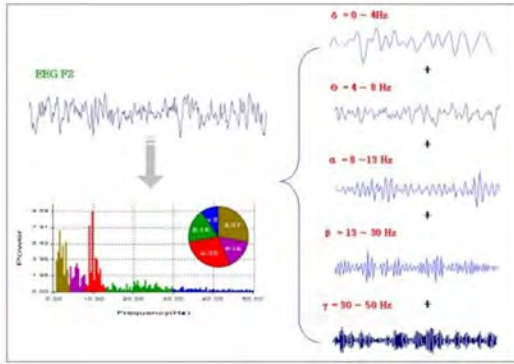


그림 8. 뇌파를 이용한 스펙트럼 분석 예  
Fig. 8. For example, using spectrum analysis of the EEG

고리즘을 통해 그림 8과 같이 나타낼 수 있게 되었다.

그림 9에서는 감성어휘별 조명의 RGB 값 설정을 보여주고 있다. 감성어휘 선택에서는 감성공학 분야에 연구된 컬러이미지스케일(color image scale)과 형용사이미지스케일(adjective image scale)을 이용하여 감성어휘를 색으로 추론하고 추론된 색의 3원색 분포를 알아낸 뒤 최종적으로 색도좌표를 구하였다. 감성공학 분야에 연구된 자료 및 자유 연상 등을 통해 1차 감성어휘를 수집하였고, 조명 관련된 어휘를 중심으로 2차 감성어휘 56개를 선택하여 최종 감성어휘를 선별하였다.

사용자에게서 측정된 뇌파신호들을 본 논문에서 제안한 감성 조명제어 알고리즘을 적용하여 주파수 대역을 기준으로 하는 뇌파 밴드별 데이터를 표3과 같이 보여준다. 각 뇌파 밴드가 가지고 있는 일반적인 감정 상태들을 표현할 수 있는 감성어휘 찾아 적합한 RGB 값을 설정 및 조명이 점등제어 되도록 적용 하였다.

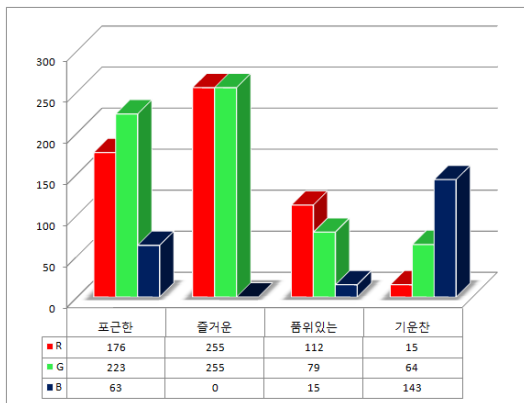


그림 9. 감성어휘별 조명의 RGB  
Fig. 9. The RGB Lighting by emotional words

표 3. 뇌파분류 따른 RGB 조명 값  
Table 3. EEG classification of RGB lighting values

EEG classification	Frequency Definition	Emotional state	R	G	B
Delta wave & Theta wave	00.5~7Hz	Deep Sleep, Sleep	176	223	63
Alpha wave	8~12Hz	Awake	255	255	0
Low beta wave	13~20Hz	Concentration, Activity	112	79	15
High beta wave	21~30Hz	Tension, Excitement	15	64	143

#### IV. 결 론

본 논문에서는 생체신호를 기반으로 사용자의 감성 상태를 분류하고, 스스로 LED 조명을 제어하는 효율적인 LED 감성조명 제어 시스템을 제안하였다.

그리고 본 논문의 감성조명 제어를 위한 생체신호는 뇌파신호를 사용하였다. 뇌파 신호를 측정하는 장비로는 기존에 판매되는 뇌파 측정 장비가 아닌 오픈 플랫폼인 Openeeg를 사용하여 직접 보드를 제작하여 측정하였다. 제작한 보드로 data를 측정한 결과 판매 중인 의료용 뇌파기와 비슷한 성능의 data를 측정할 수 있었다. 측정환경에 따라서 신호의 정확도 차이가 있지만 감성조명 제어 알고리즘은 뇌파 신호를 제어 신호로 사용하기 충분한 뇌파 밴드별 신호를 추출하여 감성조명 제어 시스템에 적용할 수 있었다.

향후에는 환경의 영향을 적게 받는 뇌파 추출 알고리즘을 사용하여 감성조명 제어 알고리즘을 적용할 경우, 정확한 생체신호를 얻을 수 있을 것이고, 현재 주목받고 있는 LED 조명 분야와 IT기술의 융합으로 개인사용자에게 알맞은 조명환경을 제공할 수 있을 것이다.

#### References

[1] S. H. Baik, J. C. Kim, I. Y. Jeong, and J. T. Kim, "Preferences of work-plane by correlated color temperature of LED light sources," in *Proc. KIEAE*, vol. 15, pp. 313-316, 2008.

[2] S. D. Jee, S. H. Lee, K. J. Choi, J. K. Park, and C. H. Kim, "Sensibility evaluation on the correlated color temperature in white LED lighting," *J. Korean Inst. Illuminating and Electrical Installation Engineers*, vol. 22, no. 4, pp. 1-12, 2008.

[3] L. Kirkup, A. Searle, A. Craig, P. McIsaac, and P. Moses, "EEG-based system for rapid on-off switching without prior learning," *Medical and Biological Engineering and Computing*, vol. 35, no. 5, pp. 504-509, Sept. 1997.

[4] B. Blankertz, F. Losch, M. Krauledat, G. Dornhege, G. Curio, and K. R. Muller, "The berlin brain-computer interface: Accurate performance from first-session in BCI-Nave subjects," *IEEE Trans. Biomedical Eng.*, vol. 55, no. 10, pp. 2452-2462, Oct. 2008.

[5] A. Erfanian and A. Erfani, "ICA-based classification scheme for EEG-based brain-computer interface: the role of mental practice and concentration skills," in *Proc. 26th Annu. Int. Conf. IEEE EMBS*, pp. 235-238, Sept. 2004.

[6] H. G. Yeom, J. S. Kim, and C. K. Chung, "Estimation of the velocity and trajectory of three-dimensional reaching movements from non - invasive magnetoencephalography signals," *J. Neural Eng.*, vol. 10, no. 2, Feb. 2013.

[7] S. H. Kim and C. K. Seong, "A study on ERP and emotion by movement changes of graphic images," *J. Korean Soc. Design Sci.*, vol. 24, no. 4, pp. 143-154, Nov. 2011.

[8] H. J. Lee, D. I. Shin, and D. K. Shin, "The classification algorithm of users' emotion using brain-wave," *J. KICS*, vol. 39, no. 2, pp. 122-129, Feb. 2014.

[9] H. K. Kwon and J. S. Cho, "EEG 3-way repeated ANOVA of prefrontal lobe of left and right brain which influences brain activity by the science learning types," *J. Korean Data Anal. Soc.*, vol. 9, no. 3, pp. 1107-1118, Jun. 2007.

[10] K. H. Chon and H. J. Choi, "A study on ubiquitous psychological state recognition model using bio-signals," *J. KICS*, vol. 35, no. 2, pp. 232-243, Feb. 2010.

[11] H. S. Han and K. Y. Song, "Electroencephalogram-based driver drowsiness detection system using Errors-In-Variables (EIV) and Multilayer Perceptron (MLP)," *J.*

*KICS*, vol. 39C, no. 10, pp. 887-895, Oct. 2014.

[12] H. C. Ahn, J. H. Yeon, and W. H. Lee, "Emotion evaluation analysis of EEG using stimulus of motion picture," in *Proc. Korean Soc. Internet Inf. Conf.*, vol. 7, no. 2, pp. 315-318, Gunsan, Korea, Nov. 2006.

[13] Openeeg, Retrieved April 30, 2015. from <http://openeeg.sourceforge.net/doc/>

[14] H. J. Lee, D. I. Shin, and D. K. Shin, "Design of the system for human concentration exploiting digital contents," *J. Korea Game Soc.*, pp. 321-324, 2012.

윤수정 (Su-Jeong Yun)



2004년 : 한라대학교 공학사  
 2004년~2006년 : 한라대학교 공학석사  
 2014년~현재 : 세명대학교 대학원 박사과정  
 <관심분야> SOC CAD, ASIC 설계, CAD 알고리즘, SOC 설계, RTOS 및 내장형 시스템, 생체신호

인치호 (Chi-Ho Lin)



1985년 : 한양대학교 공과대학 공학사  
 1987년 : 한양대학교 대학원 공학석사  
 1996년 : 한양대학교 대학원 공학박사  
 1992년~현재 : 세명대학교 컴퓨터학부 교수

<관심분야> SOC CAD, ASIC 설계, CAD 알고리즘, SOC 설계, RTOS 및 내장형 시스템