

무선 통신과 스마트폰을 이용한 LED 색온도 제어 조명 시스템에 관한 연구

홍영진¹, 임순자¹, 이완범^{2*}

¹원광대학교 전자공학과, ²원광대학교 컴퓨터·소프트웨어공학과

A study on lighting system for LED color temperature control using wireless communication and smartphone

Young-Jin Hong¹, Soon-Ja Lim¹, Wan-Bum Lee^{2*}

¹Department of Electronic Engineering, Wonkwang University

²Department of Computer-Software Engineering, Wonkwang University

요약 현대 사회에서 조명은 인간 중심적인 자연 조명의 변화를 연출하고 에너지 소비 절감과 효율적인 관리를 위하여 IT 기술과 LED를 결합한 형태로 개발 되고 있다. 따라서 본 논문에서는 Arduino Due와 Bluetooth 및 Zigbee 무선통신 기술을 이용하여 3000K Warm LED와 6000K Cool LED로 구성된 LED 조명의 색온도 및 밝기를 제어할 수 있는 LED 조명 제어 시스템을 제안하였다. Arduino Due는 Duty rate을 조절하여 조명의 색온도를 여러 단계로 조절 할 수 있도록 하였고, 1:N 다중통신이 가능한 Zigbee 통신을 이용하여 많은 조명을 제어할 수 있도록 하였다. 그리고 Bluetooth 통신을 이용하여 스마트폰 어플리케이션으로 LED 조명을 손쉽게 제어할 수 있도록 하여 사용자의 편리성을 증대시켰다. 본 논문에서 구현한 무선통신 기반의 LED 조명제어 시스템은 3067K~5960K의 다양한 색온도 제어와 조도 제어를 통하여 인간 중심적인 조명을 연출할 수 있을 뿐만 아니라 소비전력을 줄일 수 있어 자연 친화적인 조명 시스템으로 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

Abstract Lighting systems in modern society has been developed using a combination of IT technology and LED lighting for the purpose of bringing about changes in human-centered natural lighting and to take advantage of the efficient management and energy saving of LED lighting. In this paper, we propose an LED lighting control system that can control the color temperature and brightness of LED lighting composed of 3000K Warm LEDs and 6000K Cool LEDs by using an Arduino Due and wireless communication technology such as Bluetooth and Zigbee. The Arduino Due allows the color temperature of the lighting to be adjusted in several steps by controlling the duty rate and enables many lights to be controlled using Zigbee communication capable of 1: N multiple communication. By using Bluetooth communication, it is possible to easily control the LED lighting by means of a smartphone application, thereby enhancing the convenience for the user. The wireless communication based LED lighting control system implemented in this study cannot only provide human-centered lighting through its color temperature control from 3067K to 5960K and illumination control, but can also reduce the power consumption and be used as a natural-friendly lighting system.

Keywords : LED lighting, Color temperature, Bluetooth, Zigbee, LED lighting control system, Smartphone APP

본 논문은 2017년도 원광대학교 교비지원으로 수행되었음.

*Corresponding Author : Wan-Bum Lee(Wonkwang Univ.)

Tel: +82-63-850-6877 email: lwbwon@wku.ac.kr

Received August 30, 2017

Revised September 26, 2017

Accepted November 3, 2017

Published November 30, 2017

1. 서론

현대 사회에서 가장 큰 에너지원으로 사용되고 있는 화석연료는 한정적이면서 환경오염의 주요요인으로 작용되고 있다. 그래서 전 세계적으로 화석연료를 대체할 수 있는 신재생에너지 개발뿐만 아니라 화석 연료 사용을 줄일 수 있는 에너지 절약 시스템에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있는 실정이다. 현재 조명의 에너지 소비량은 세계 에너지 총 소비량의 15%를 차지하고 있으며, 전체 온실 가스 배출량의 5%를 차지하고 있다. 따라서 에너지 소비량을 절감시키고 온실가스 배출량을 최소화할 수 있는 새로운 조명 시스템에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. LED 조명은 수은증기나 인(P)과 같은 유해한 물질을 사용하지 않아 친환경적이기 때문에 각종 환경 규제 및 기후변화협약에 대응이 가능하며, 기존 조명보다 에너지 효율이 몇 배 이상 높다는 장점을 가지고 있다. 하지만 판매 가격이 다른 조명보다 높아 보급이 지연되고 있었다. 그러나 생산기술 발전으로 인해 LED 가격이 하락하게 되어 LED 조명의 사용량이 급증하고 있다.[1] 과거사회의 조명은 단순히 어둠을 밝혀 주거나 어떤 주요 신호를 알려주기 위한 용도로만 사용되었지만 현대 사회에서는 기존 조명이 가지고 있는 기능보다 인간 중심적인 자연조명의 변화를 연출 할 수 있는 조명을 원하고 있다.[2] 따라서 본 논문에서는 활용이 용이한 Bluetooth 통신 기술과 노드 확장성이 유리한 Zigbee 통신기술을 이용한 안드로이드 기반의 LED 조명 제어 시스템을 구현하였다. 구현된 안드로이드 기반의 LED 조명 제어 시스템은 무선으로 조명 제어가 가능하고 스마트폰 어플리케이션을 이용하여 LED 조명의 색온도를 제어 할 수 있도록 하였다.

2. 스마트 LED 조명 시스템

사회가 발전함에 따라 조명의 활용은 극대화 되고 있으며 이로 인하여 발생하는 에너지소비량도 증가하고 있다. 그래서 조명기기의 에너지 절감 및 효율을 극대화하기 위하여 기존 조명기기에 IT기술을 융합한 스마트 LED 조명 시스템이 부각되고 있는 실정이다. 스마트 LED 조명 시스템은 조명방식의 효율성과 사용자의 편리성을 확보하기 위해 통신과 센서 네트워크 기술을 용

합하는 형태로 발전 하고 있다. 즉 기존 조명에 비하여 에너지 효율을 높이고 소비 전력을 줄일 수 있을 뿐만 아니라, 색온도 제어, 연색성 향상, 다양한 배광 표현 및 감성 조명 등 인간 친화적인 형태로 개발 되고 있다.[2-4] 따라서 본 논문에서는 안드로이드기반 스마트폰과 무선 통신 기술을 이용하여 LED 조명의 색온도를 제어할 수 있는 조명 시스템을 개발하고자 하였다.

2.1 Bluetooth

Bluetooth 통신 기술은 소형, 저가이고 저전력 소모로 송·수신기를 모바일 디바이스에 직접 장착하거나 어댑터를 통하여 간편하게 무선 네트워크 환경을 구축하고 제공해 주는 하나의 기술적인 규격 사양이다. Bluetooth 통신은 전역 주파수 대역인 2.45Ghz를 이용하고 721kbps 데이터 전송속도, 3개의 음성 채널을 지원한다. 도달 거리 측면에서 Bluetooth는 In Room(사무실, 회의실, 가정)과 Personal(사용주 주변) 공간 내에서 지원하도록 개발 되었다. 또한 사용자 요구에 따라 다양한 거리를 지원하는 장치들과 10m 반경내에서 정보 교환 능력을 갖는다. 그리고 Data Access Point로 강력한 전송수단(+20 dB정도)과 감도 좋은 수신단(-90 dB 정도)을 사용한다면 개방된 공간에서 100m까지도 지원된다[3]. 본 논문에서는 비교적 쉽고 간편하게 활용할 수 있는 Bluetooth 통신 방식과 안드로이드 기반의 어플리케이션을 개발하여 사용자가 쉽게 스마트폰으로 다운로드하여 LED 조명을 제어할 수 있도록 하였다.

2.2 Zigbee

Zigbee 통신은 저 전력 무선 통신 기술로서 간소화된 프로토콜과 제한적인 기능으로 데이터 크기를 줄여서 저렴한 네트워크 구축을 지원하는 무선 네트워크를 위한 국제 표준 프로토콜이다. Zigbee 통신은 IEEE 802.15.4 표준 물리(PHY)계층과 매체접근제어(MAC)계층을 사용하며 네트워크계층(NWK)과 응용지원(APS)계층, 응용(APL)계층을 규격화 하였다. 주파수와 데이터 전송률은 현재 듀얼 물리계층 형태로 주파수 대역은 868/915Mhz, 2.4Ghz를 사용하고 있으며, 868MHz는 유럽에서 사용되며 한 개의 채널이 있고 915MHz 대역은 10개의 채널을 가지며 미국과 호주 등에서 사용되며, 2.4GHz는 일본을 비롯한 전 세계적으로 사용되고 있다. 저속 WPAN 규격인 IEEE 802.15.4는 모니터링이나 자

동화 같은 산업용 제어, 재난 발생 인식이나 위치 추적등과 같은 재난 관리분야를 비롯한, 게임 분야, 가전제품 원격제어, 타이어 압력 센서와 같은 자동차 분야 등 다양한 분야에 적용되어 활용되고 있는 실정이다.[4] 무선통신 기술 중 Bluetooth의 장점은 손쉽게 스마트폰과 연결하여 어플리케이션으로 제어가 가능하다는 것이고, Zigbee의 장점은 노드 확장성이 Bluetooth보다 좋아 다중연결이 가능하다는 것이다. 따라서 본 논문에서는 사용의 편리성과 노드확장성을 활용할 수 있도록 Bluetooth 통신과 Zigbee 통신 기술 모두를 사용하였다.

2.3 안드로이드

안드로이드는 구글에서 만든 스마트폰 운영체제이다. 휴대용 단말기를 위해 만들어진 운영체제이며, 다양한 어플리케이션을 만들어 설치하면 실행 될 수 있도록 구성된 어플리케이션 플랫폼이다. 안드로이드 플랫폼의 특징은 첫 번째로 오픈소스 운영체제인 리눅스를 기반으로 하고 있어 다양한 하드웨어에 새로운 기능을 부여하기가 용이하다. 두 번째로 응용 소프트웨어 작업 환경은 자바 언어를 사용하며 시스템 자원 및 각종 장치를 운용하는 리눅스 커널 위에 안드로이드 어플리케이션을 실행하기 위한 자바 가상머신이 탑재 된다. 세 번째로 구글의 다양한 인터넷 서비스를 직접 이용할 수 있는 API를 갖추고 있다. 안드로이드 어플리케이션 API는 모두 자바 클래스로 제공되며, 구글의 웹 API와 기능과 형식이 비슷하다. 그림 1은 안드로이드 어플리케이션 개발환경을 나타내고 있으며 JDK, 안드로이드 스튜디오, 안드로이드 SDK의 설치가 필요 하다. JDK는 오라클에서 무료로 배포하고 있으며 자바 어플리케이션의 컴파일 및 실행을 지원한다.

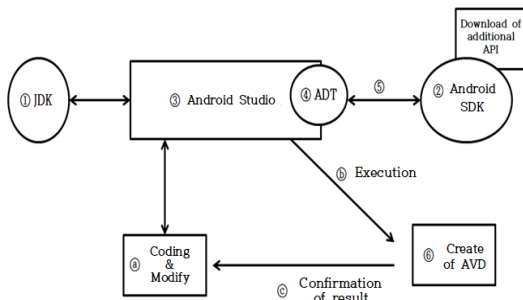


Fig. 1. Android Development Environment

안드로이드 스튜디오는 자바 기반의 확장 가능한 개발 도구를 제작하는 플랫폼이다. 자바 개발도구를 포함한 표준 플러그인이 미리 포함되어 있다. 안드로이드 SDK는 어플리케이션 개발을 위한 예플레이터, API, 디버깅 도구, 안드로이드 문서, 샘플 프로그램 등을 제공하는 도구를 의미 한다[5].

3. LED 색온도 제어 시스템 구현

3.1 색온도와 인간의 감성

색온도는 광원으로부터 방사되는 색도를 표현하기 위해 사용되는 것으로 절대온도를 이용하여 수치적으로 표시한 것이다. 모든 빛을 흡수하는 흑체를 가열하여 흑체가 방출하는 빛의 색은 복사법칙에 의하여 온도에 따라서 정해진다. 어떤 물체가 가시광선을 내며 빛나고 있을 때 그 색이 특정 온도의 흑체가 복사하는 색과 같을 경우 흑체의 온도와 물체의 온도가 같다고 보고 그 온도를 물체의 색온도(단위:K)라고 한다.

Table 1. Color Temperature Table

Color	Color Temperature	Type of Light Source
	1000-1900k	Candlelight
	2000-3000k	At Sunrise or Sunset
	2600-3000k	Incandescent Bulbs
	2700-3200k	Warm White LED
	3000-3200k	Halogen Lamps
	3200-3700k	Fluorescent Lights
	4000-4500k	Natural White LED
	4800-5500k	Mid-day Sunlight
	5500-6000k	Day White LED
	6000-7500k	Overcast Sky
	7000-7500k	Cool White LED
	8000-10000k	Partly Cloudy Sky
	up to 10000k	Clear Blue Sky

모든 빛은 색온도를 가지고 있고 색온도가 높아질수록 에너지가 상대적으로 더 높은 푸른 색 파장의 구성 비율이 증가하여 차갑게 나타나고 반대로 색온도가 낮아지면 붉은 색 파장의 구성 비율이 증가하여 따뜻하게 나타나게 된다[7]. 표 1은 물체에서 방사하는 색에 따른 색온도를 나타내고 있다. 새벽에는 1,900K의 양초의 광

색과 비슷하게 붉고 색온도가 낮다. 시간이 지남에 따라 빛의 색온도는 높아지는데 태양이 뜰 무렵에는 2,000K의 색온도를 가지며, 정오가 되면 약 5,000K의 색온도를 갖는다. 여름철의 직사광은 5,700K, 흐린 날은 8,000K, 청명한 날씨에는 10,000K 이상의 색온도를 가진다. 인공광의 색온도도 광원에 따라 다르게 나타난다. 백열전구는 2,600~3,000K, 따뜻한 백색 LED는 2,700~3,200K, 할로젠 램프는 3,000~3,200K, 차가운 백색 LED는 7,000~7,500K이다. 과거 조명에 대한 연구는 대부분 빛의 밝기에 해당하는 연구로 매우 한정적이었다. 하지만 LED 조명이 등장하면서 단순히 어둠을 밝혀 주거나 어떤 신호를 알려주는 통신 기능이 아닌 인간의 감성관련 심리학적 연구가 진행 되고 있다. 인간은 빛의 광학적 특성인 색온도, 연색지수, 분광분포에 따라 생리적으로 영향을 받으며, 뇌파 및 심전도와 같은 실험 측정을 통하여 생리적인 효과에 대해 증명 되었다[6-7]. 따라서 본 논문에서는 상황에 따라 색온도를 연출 할 수 있는 조명제어 시스템을 제안하였다.

3.2 LED 조명 제어회로 설계

LED 조명 제어를 하기 위하여 LED, Zigbee, Arduino Due[8] 등을 사용하였다. 그림 3은 제안된 LED 조명 제어 블록도를 나타내고 있다.

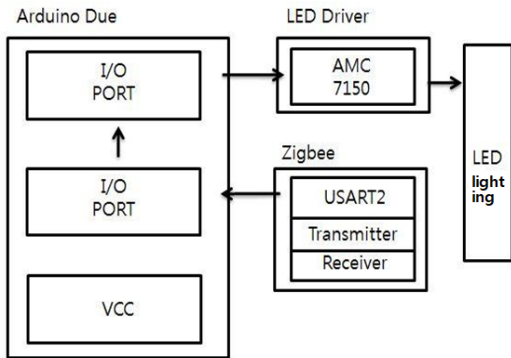


Fig. 2. LED Lighting Control Block Diagram

안드로이드 제어 모듈에서 제어신호를 보내면 Zigbee 통신을 사용하여 Arduino Due와 데이터 송·수신을 하게 된다. 안드로이드 제어 모듈에서 받은 데이터를 Arduino Due에서 연산을 통하여 PWM 제어신호를 LED 드라이버로 출력하게 되고, LED 드라이버에서는 입력받은 PWM 신호에 따라서 LED 조명을 제어하게 된다. 그림

3은 제안된 LED 조명 제어 시스템에 사용된 LED 모듈을 나타내고 있으며 3000K White 24개, 6000K White 24개 총48개로 구성하였다.



Fig. 3. LED Module

3.3 안드로이드 제어회로 설계

스마트폰으로 손쉽게 제어할 수 있도록 하기 위하여 스마트폰, Zigbee, Bluetooth, Arduino Due 등을 사용하였다. 그림 4는 안드로이드 제어 블록도를 나타낸 것이다.

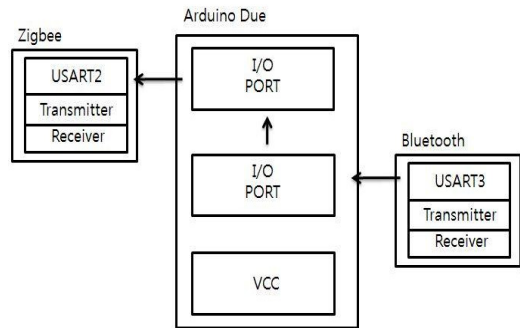


Fig. 4. Android Control Block Diagram

사용자가 스마트폰에서 어플리케이션으로 제어신호를 보내면 Bluetooth 통신을 사용하여 Arduino Due와 데이터 송·수신을 하게 된다. 그리고 스마트폰에서 받은 데이터를 Arduino Due에서 다시 Zigbee 통신을 사용하여 조명제어 모듈에 데이터를 보내 원하는 색온도 및 밝기를 연출할 수 있도록 하였다.

4. 제안된 LED 조명 제어 시스템의 실험 및 분석

본 논문에서 제안된 LED 조명제어 시스템은 그림 5와 같다. LED 조명 제어 부분과 안드로이드 제어 모듈 부분으로 구현하여 실험 및 검증을 수행하였다. 실험은 실내에서 이루어 졌으며, 안드로이드용 휴대폰 1대, 안드로이드 제어 모듈 1대, LED 조명제어 모듈 1대를 사용하여 실험 하였다.

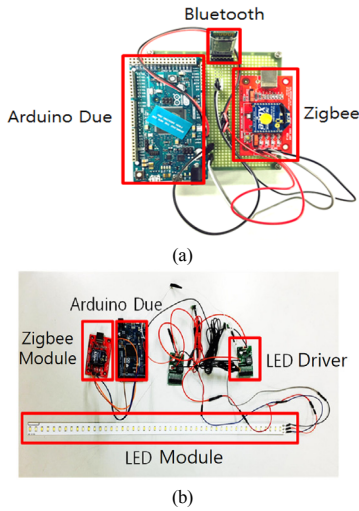


Fig. 5. Proposed LED Lighting Control System
 (a) Android control module
 (b) LED lighting control module

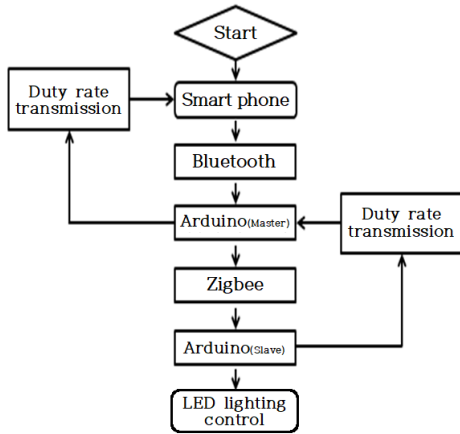


Fig. 6. LED lighting control circuit flowchart

그림 6은 LED 조명 제어 회로의 동작 순서도를 나타내고 있다. 처음에 스마트폰에서 데이터 값을 Bluetooth 통신을 통해 Arduino Due(Matser 모드)에 전송하면 데이터를 수신 후 다시 동일한 데이터를 Zigbee 통신을 통해 Arduino Due (Slave 모드)로 전송해준다. Arduino Due(Slave 모드)는 수신된 데이터를 이용하여 LED 색온도를 제어한다. 또한 현재의 Duty rate를 다시 스마트폰으로 전송해준다. 스마트폰에서는 최종적으로 현재의 Duty rate를 확인 할 수 있다. 색온도의 변화는 3000K Warm White LED 와 6000K Cool White LED의 Duty rate를 20% 비율로 제어 하였다.

그림 7은 제안된 LED 조명제어 시스템으로 Duty rate을 가변시켰을 때 색온도 변화를 측정 한 결과를 나타내고 있다.

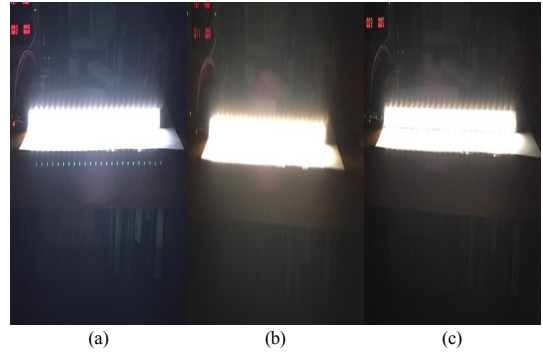


Fig. 7. Proposed LED Lighting Control System
 (a) Cool:100%, Warm:0%
 (b) Cool:0%, Warm:100%
 (c) Cool:20%, Warm:40%

그림 7의 (a) 사진은 Cool LED의 Duty rate이 100%, Warm LED의 Duty rate이 0%이었을 때 색온도로 5960K 이었다. (b) 사진은 Cool LED의 Duty rate이 0%, Warm LED의 Duty rate이 100%일 때 색온도로 3072K 이었다. (c)사진은 Cool LED의 Duty rate이 20%, Warm LED의 Duty rate이 40%일 때 색온도로 3633K 이었다. 측정 결과 3067 ~ 5960K의 색온도 변화가 이루어짐을 확인할 수 있었다.

5. 결론

현대 사회에서 조명은 어둠을 밝혀주는 기존 조명의 기능뿐만 아니라 인간 중심적인 자연 조명의 변화를 연출할 수 있는 형태로 발전하고 있다. 따라서 본 논문에서는 안드로이드 기반의 어플리케이션과 Bluetooth 통신 및 Zigbee 통신을 이용하여 사용자의 편리성과 효율성을 극대화 할 수 있는 LED 조명 제어 시스템을 구현하였다. 구현된 LED 조명 제어 시스템은 Arduino Due와 LED 드라이버 AMC7150을 이용하여 조명의 밝기 제어 뿐만 아니라 다양 한 색온도를 표현 할 수 있도록 하였다. 색온도 변화를 측정하기 위하여 3000K White LED 와 6000K White LED를 사용하였으며 Duty rate를 20% 비율로 제어하여 3067~5960K의 색온도 변화와 조도

및 소비전력의 변화를 확인할 수 있었다. 또한 사용자의 편리성을 증대시킬 수 있는 Bluetooth 통신과 노드 확장성이 유리한 Zigbee 통신을 같이 활용함으로써 많은 수의 조명을 손쉽게 제어 할 수 있도록 하였다. 따라서 본 논문에서 제안된 LED 조명제어 시스템은 다양한 색온도 제어와 밝기 제어를 통하여 인간 중심적인 조명을 연출할 수 있을 뿐만 아니라 소비전력을 줄일 수 있어 자연 친화적인 조명 시스템으로 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

References

- [1] S. B. Song, "The Trend and Prospect of Components Technologies for LED lighting", *The Proceedings of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers*, vol. 29, no. 2, pp. 22-34, Mar. 2015.
- [2] H. Kim, M. W. LEE, "IT Convergence Smart lighting technology", *Journal of The Korean Institute of Communication Sciences*, vol. 28, no. 5, pp. 10-14, Apr. 2011.
- [3] W. B. Lee, "Development of Wireless Control System for High Power LED Luminaire Using Bluetooth Wireless Communication and Current Control System", *Journal of KAIS*, vol. 17, no. 3, pp. 66-72, Mar. 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2016.17.3.66>
- [4] Y. H. Jang, H. Y. Kim, "Implementation of a LED light control module using Zigbee", *Journal of KAIS*, vol. 13, no. 10, pp. 4740-4744, Oct. 2012. DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2012.13.10.4740>
- [5] J. N. Woo, G. S. Park, "Android Programming", Published by HANBIT Academy, Inc. 2017.
- [6] B. G. Lee, S. K. Hur, C. W. Yi, "A study on sensitivity criteria of the LED lighting with a focus on preference evaluation of Color temperature", *Proceedings of KIIE Annual Conference*, pp. 53-56, Nov. 2011.
- [7] S. D. Jee, S. H. Lee, K. J. Choi, J. K. Park, C. H. Kim, "Sensibility Evaluation on the Correlated Color Temperature in White LED Lighting", *Journal of KIIE*, vol. 22, no. 4, pp. 1-12, Apr. 2008. DOI: <http://dx.doi.org/10.5207/JIIE.2008.22.4.001>
- [8] <https://www.arduino.cc>

홍 영 진(Yonug-Jin Hong)

[준회원]



- 2015년 2월 : 원광대학교 전자공학과 졸업(공학사)
- 2017년 2월 : 원광대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)

<관심분야>

임베디드시스템, 회로 및 시스템, 광 센서

임 순 자(Soon-Ja Lim)

[정회원]



- 2001년 8월 : 원광대학교 대학원 전자공학과 (공학박사)
- 2011년 9월 ~ 현재 : 원광대학교 전자공학과 교수

<관심분야>

Emnbedded System, 사물인터넷(IoT) 응용

이 완 범(Wan-Bum Lee)

[정회원]



- 1997년 8월 : 원광대학교 전자공학과 (공학석사)
- 2004년 8월 : 원광대학교 전자공학과 (공학박사)
- 2017년 2월 : 원광대학교 전자공학과 겸임교수
- 2017년 2월 : (주)탑엘이디 기업부설연구소 연구소장

- 2017년 3월 ~ 현재 : 원광대학교컴퓨터·소프트웨어공학과 조교수

<관심분야>

임베디드시스템, 신호처리 및 회로설계, LED 조명 제어