

Implementation of Smart Control System based on Intelligent Dimming with LEDs

Geum-Boon Lee *

Abstract

In this paper, an intelligent dimming control system is designed and implemented with the human visual response function using CDS sensor, PIR sensor and temperature sensor, etc. The proposed system is designed to detect a moving object by PIR sensor and to control the LED dimming considering the human visual response. Also, the dimming of LED light can modulate on the app, and simultaneously control dimming in real-world environments with smart phone app. A high-temperature warning or a fire hazard information is transmitted to user's smart phone according to sensor values and Data graph are provided as part of data visualization. Connecting the hardware controller, the proposed intelligent smart dimming control system is expected to contribute to the power reduction interior LED, smart grid building and saving home combining with internet of things.

▶ Keyword : Intelligent Dimming Design, Smart Dimming App, Dimming Control Board, Control on Visual Response

I. Introduction

최근 건물 내 실내 전등은 사물의 등장 시 갑자기 켜지고 시간이 지나면 일시에 꺼지도록 설계하여 별도의 움직임이 있을 때까지 소등하는 방식으로 전력 소비절감형으로 설계되어 왔다. 나아가 각종 센서의 발달로 유동 인구 수에 따라 반사되는 빛의 양을 계산하여 격등식 디밍 제어가 가능한 조명 시스템이 개발되고, 센서 제어 및 유·무선 센서 통신이 언제, 어디서나 가능한 사물인터넷 기술로 진화하고 있다[1-4].

제안하는 지능형 스마트 디밍 제어시스템은 인체감지센서(RIP), 조도센서(CDS)를 이용하여 실내에 사물의 움직임이 감지될 시, 인간의 시각 반응 특성을 고려한 함수[5]를 적용하여 빛의 급격한 변화 없이 자연스럽게 밝아지고, 움직임이 없을 시, 서서히 조도를 낮추는 지능형 디밍 제어 시스템을 제안한다. 또한 모바일 환경에서도 직접 LED 조명 제어가 가능하도록 스마트 디밍 제어를 설계하며, 온도센서를 통한 고온 경고 및 화재 경보시스템이 가능하도록 안드로이드 애플리케이션을 개발한다.

II. Intelligent smart dimming control system

1. System architecture

사물이 인체감지센서와 조도센서를 통해 인간의 시각 반응 특성에 맞게 스스로 디밍 제어하고, 스마트폰 앱으로도 디밍 제어가 가능하도록 시스템을 개발하기 위해 하드웨어는 실내에서 사용 가능한 LED 전등을 라인 단위로 설계하고, 추가적으로 밝기측정을 위한 조도센서, 인체감지를 위한 인체감지센서, 화재위험 감지를 위한 온도센서, 통신을 위한 블루투스로 하드웨어 보드를 구성한다. 스마트폰 앱은 기본적으로 TCP/IP로 서버와 통신하게 되며, 하드웨어에서 서버로 저장하는 조도와 온도 데이터 값을 시각화하여 앱에서 그래프 형태로 보여 주도록 하였고, 스마트폰 앱으로 조도를 직접 컨트롤 가능하도록 소프트웨어를 구성하였다. Fig. 1은 전체 시스템의 통신 개요를 보여준다.

• First Author: Geum-Boon Lee, Corresponding Author: Geum-Boon Lee

*Geum-Boon Lee(goldpalm@cst.ac.kr), Dept. of Computer Security, Chosun College of Science & Technology

• Received: 2016. 05. 12, Revised: 2016. 05. 19, Accepted: 2016. 05. 24.



Fig. 1. System communication overview

Table 1은 제안하는 지능형 스마트 디밍 제어 시스템의 주요 기능을 설명하고 있다.

Table 1. Main features of the proposed dimming control system

no	implemented functions
1	LED dimming control according to the brightness by using Cadmium Sulfide(CDS) Sensor
2	LED dimming control by using Pyroelectric Infrared Ray(PIR) Sensor
3	Detecting a fire hazard when it reaches a critical temperature by using a temperature sensor
4	Directly control the LED light by Android application
5	Hazard Fire information transfer to the Android applications through bluetooth communication
6	Energy saving data visualization by graph

Fig. 2는 스마트 디밍 제어를 위한 컨트롤 보드의 구성 블록도이다. 각종 센서와 MCU(Micro Control Unit) 간의 데이터 송수신 및 전원 공급을 보여주고 있다.

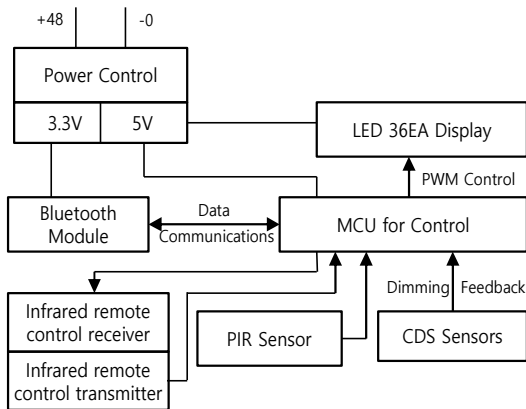


Fig. 2. Block diagram of dimming control board

Fig. 3은 제안하는 시스템의 레이아웃으로 CAD로 작업한 36개의 LED와 시스템에서 사용될 센서들의 배치도이다.

조도센서는 4개를 사용하여 각 모서리에 위치하도록 하였으며, 인체감지센서는 중앙 부근에 위치하도록 하였고, 집안 또는 건물의 실내에서도 리모트 컨트롤러를 통한 디밍 제어가 가능하도록 적외선 센서도 배치하였다.

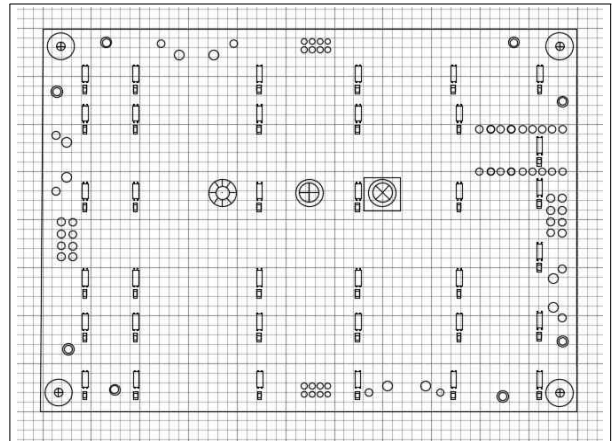


Fig. 3. Layout of LED and sensors

2. Smart dimming control

스마트폰 앱은 기본적으로 인터넷으로 서버와 통신하게 되며, LED의 on/off 기능과 디밍 제어 알고리즘에 따른 밝기 제어, 고온 경고 등을 하도록 구성한다. Fig. 4는 스마트 디밍 제어를 위한 시스템의 동작 원리를 보여준다.

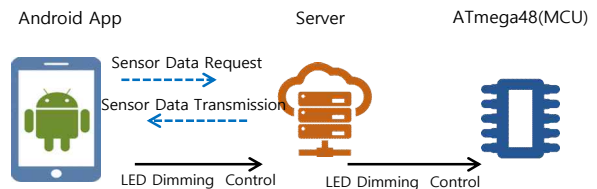


Fig. 4. Layout of LED and sensors

전원이 디밍 제어 컨트롤 보드에 공급되면 인체감지센서의 데이터를 읽어 들여 움직이는 생명체를 감지하고 LED를 켜게 되는데, 최대 전원을 사용한 빛의 밝기로 하지 않고 조도센서의 값을 읽어 들여 적응적 디밍 제어가 될 수 있도록 본 논문에서는 인간의 시각 반응 특성을 고려한 알고리즘을 적용한다. 그리고 온도센서의 데이터와 조도센서의 데이터를 서버로 전송한 후 다시 읽어 들이도록 준비하는 시스템의 동작 순서는 Fig. 5와 같다.

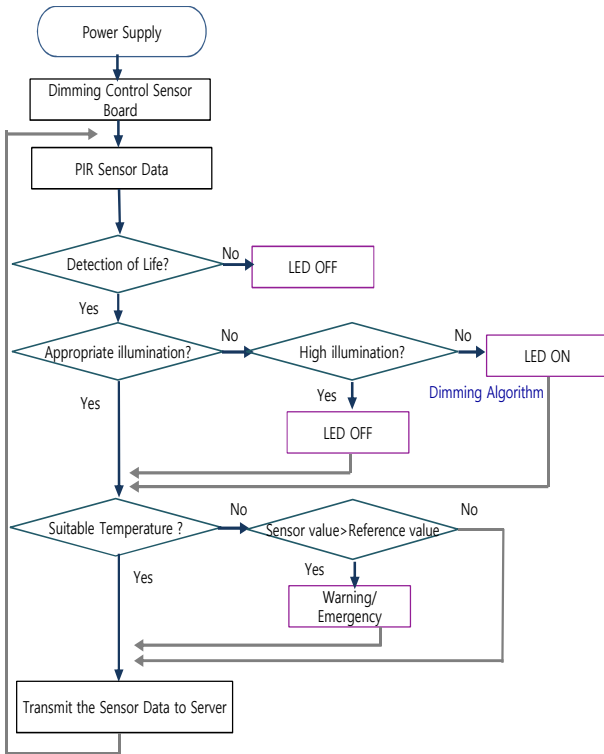


Fig. 5. Process flowchart of system

3. Intelligent dimming algorithm

인간의 시각은 밝은 곳의 변화에는 둔감하고 어두운 부분의 변화에는 민감한 특성을 갖고 있으므로, 이에 따른 밝은 공간과 어두운 공간의 대비에 따른 디밍 제어를 다르게 적용시킬 수 있다. 어두운 공간에 많은 양의 빛이 갑자기 비추이거나 밝은 공간에서 일시에 빛이 차단될 때 인간의 시각 시스템은 일시적인 시력 상실이나 눈부심으로 주변 조도에 적응하는데 시간이 필요하다[6-8].

따라서 본 논문에서는 인간의 빛에 대한 민감도와 시각의 적응도에 따른 디밍 제어를 위해 인간의 시각 반응 특성을 고려한 시그모이드 곡선(Sigmoid Curve) 함수를 적용한다. Fig. 6은 인간의 시각 특성을 반영한 디밍 제어 함수로 영역 1은 어두운 공간에서의 조도 값에 따른 디밍 제어이며, 영역 2는 밝은 공간에서의 조도 값에 따른 디밍 제어를 보여준다. m 은 조명의 어두움과 밝음에 대한 사용자의 주관적인 디밍값을 의미하며 이동 가능하다. 본 논문에서는 인체감지센서에 의해 움직이는 물체가 감지되면 조명 제어를 위해 디밍의 기본값(base)부터 증가시키며, 움직임이 없을 시 기본값까지 낮추도록 설계하였다. 시그모이드 곡선 함수는 식 (1)과 같다.

$$\mu = \frac{1}{1 + \exp^{-\lambda}} \quad (1)$$

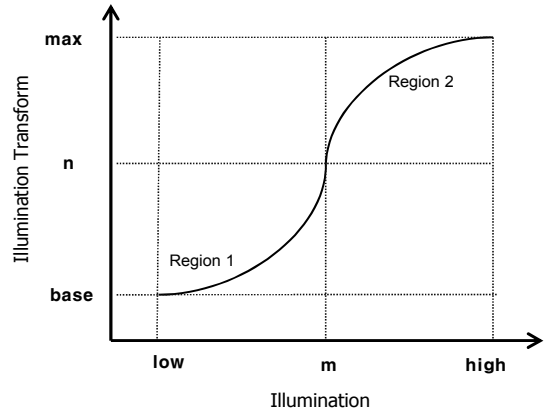


Fig. 6. Dimming control function on response of eye

시각 시스템은 선형적이지 않고 비선형적이므로 시그모이드 곡선으로 조도에 따른 디밍 변화를 잘 설명할 수 있으나 하드웨어에 적용시키기 위해서는 선형 함수로 변환하여 디밍을 적용해야 할 필요성이 있으므로 제안하는 시스템은 S 함수로 불리는 시그모이드 함수를 Fig. 7과 같은 선형 함수로 변형하여 선형적으로도 인간의 시각 특성이 잘 반영되도록 하였다. 어두운 영역에서는 서서히 변화된 값으로 디밍 제어를 하고, 밝은 영역에서는 조도 차이를 크게 하는 디밍 제어는 Fig. 6의 선형 변환 함수 1을 적용하고, 그 반대의 경우는 선형변환 함수 2를 적용한다. 변환에 적용된 수식은 식(2), (3)과 같다.

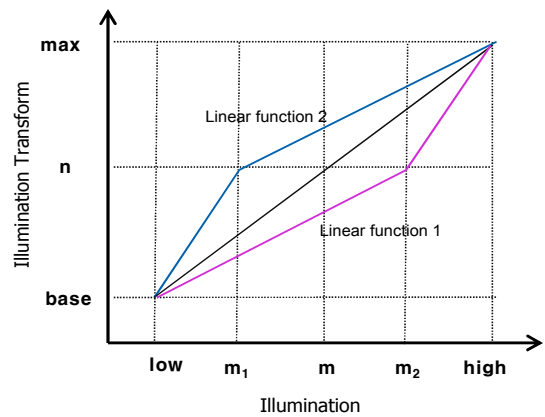


Fig. 7. Linear transform of dimming control function

$$y = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{m - \mu}{m - low} \right) \quad \text{for } low \leq u \leq m \quad (2)$$

$$= \frac{1}{2} \left(1 + \frac{u - m}{high - m} \right) \quad \text{for } m \leq u \leq high \quad (3)$$

III. Controller Design and Implementation

1. Hardware Design and Manufacturing

시스템 설계 및 개발을 위한 하드웨어와 소프트웨어 환경은 Table 2.와 같다.

Table 2. Development environment

Item	Development Resource
Circuit Design	OrCAD
Board	ATmega48
App	IONIC Hybrid Framework
Server	Apache Web
Database	MySQL
Programming	C
Tools	Sublime Text3, AVR Studio

제안하는 지능적이고 스마트한 디밍 제어를 위해 회로 설계는 Fig. 8과 같다. MCU는 ATmega48로 구성하였으며, LED는 Fig. 8의 설계도 오른쪽 부분에 위치하고 있으며 2채널 18개씩으로 제어하도록 하여 전력절감을 기하였으며, 최대 전류 이상 흐르지 않게 25Ω 저항을 설계하였다.

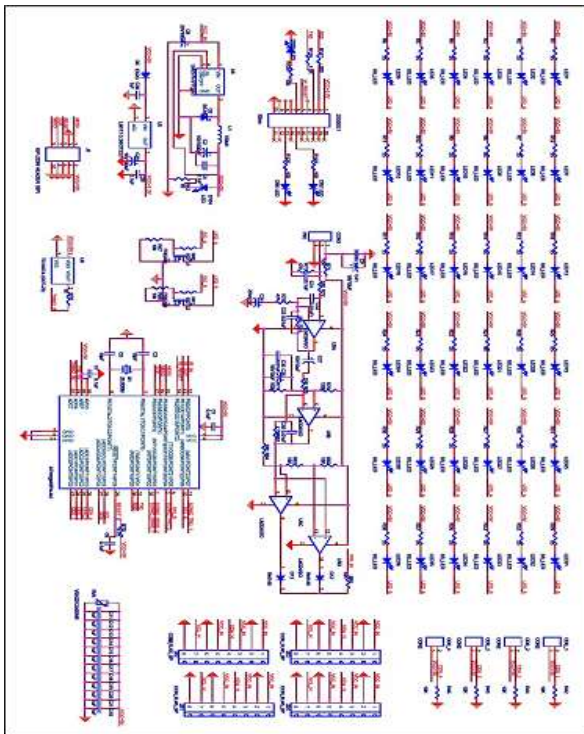


Fig. 8. Schematic design of dimming control board

2채널의 LED를 400Kw와 600Kw로 조합하면 부드러운 조 명등부터 밝은 독서등까지 만들어낼 수 있다.

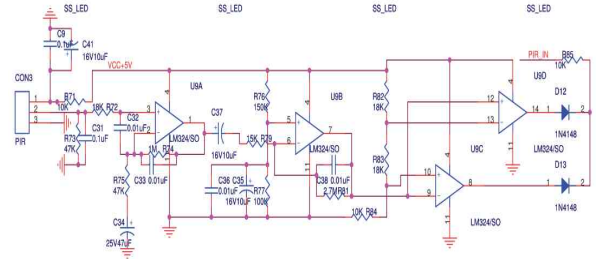


Fig. 9. Circuit design for PIR sensor

Fig. 9는 인체감지센서부분으로 왼쪽 끝에 커넥터 형태로 되어 있는 부분이 센서이며, PIR IN으로 되어 있는 부분이 MCU 들어가는 부분으로 신호값을 증폭해서 MCU로 전달한다.

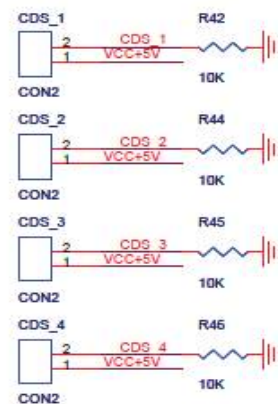


Fig. 10. Circuit design for CDS sensor

Fig. 10은 조도센서 4개를 사용하여 두 종류로 구성하도록 설계하였다. 한 종류의 조도를 높이면 외부 광원의 양만 측정하도록 할 수 있는데 내부 광원이 아닌 반사광만 측정하는 용도로도 사용할 수 있다. 광 확산판으로 덮어 사용하면 한쪽의 밝기를 두 개의 조도센서가 측정하고 다른 쪽도 두 개의 조도센서가 측정하도록 하여 두 라인의 밝기 측정도 가능하게 하였다.

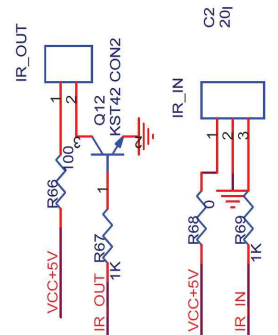
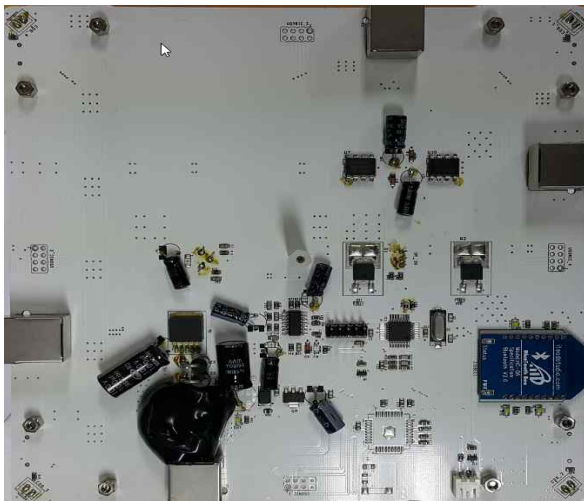
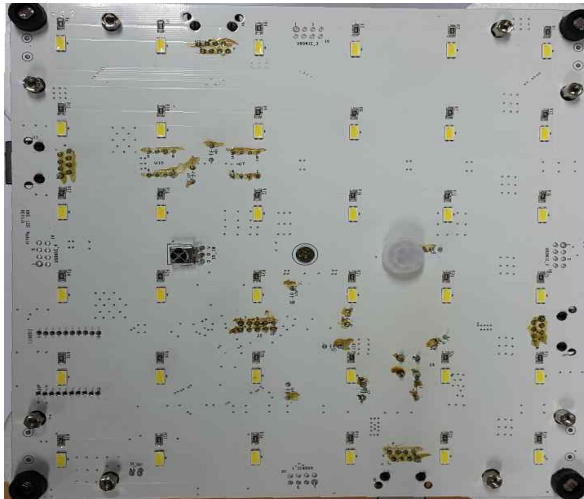


Fig. 11. Circuit design for IR sensor

또한 TV를 켜를 경우 적외선(Infrared Ray) 센서가 리모트 컨트롤러의 값을 입력 받아 MCU에 전달하여 처리하므로 리모트 컨트롤러의 버튼으로도 디밍 제어가 가능할 수 있도록 송신부와 수신부 회로를 설계하였다. TV 스위치가 켜지면 조도센서가 반사광을 받아 MCU로 전달하고 디밍 제어 알고리즘에 따른 제어를 할 수 있다. Fig. 12는 인쇄회로기판(PCB) 위에 전원부와 36개의 LED, 그리고 각종 센서들과 블루투스 칩으로 실장하고 경화시켜 놓은 컨트롤 보드의 앞면과 뒷면을 보여준다.



(a) Rear side of dimming control board



(b) Front side of dimming control board

Fig. 12. PCB manufacturing

2. Software Design and Development

본 논문은 스마트폰 앱으로 LED 조명의 디밍 제어가 가능하도록 하기 위해 디밍 컨트롤러와 실시간 연동되어 제어가 가능하도록 설계 및 구현하였다. 스마트폰과 서버와는 인터넷 통신을 하며, 디밍 컨트롤러에서 서버로 전송하는 조도와 온도 등의 데이터를 스마트폰 앱에서 그래프 형태로 보여주도록 하였다. 또한 서버에서 현재 온도를 읽어 들여 온도가 일정치 이상의 경우, 경고 사운드와 함께 앱 화면을 적색 계열로 출력하여 고

온 경고 및 화재 경보의 역할을 하도록 구현하였다. 디밍 제어와 온도 저장을 위한 데이터베이스 구조 및 파일 구성은 각각 Table 3, Table 4와 같다.

Table 3. Dimming control table

Usage	Item	Default
illumination value saving in dimming controller	hardware light	80
illumination value for controlling at App	applight	0
Temperature value saving in dimming controller	hardwaretemp	0
flag for dimming control at App	appflat	0

Table 4. Temperature table

Index	Date	Time	illumination	Temperature
idx	recedate	recehour	hardwarelight	hardwaretemp
0	20160430	17	55	45

Fig. 13은 검은 상자로 공간을 만들고 LED를 경화시킨 디밍 컨트롤 보드를 천장에 달아 실내 환경을 만든 후, 스마트폰 앱으로 디밍을 제어하는 실험 결과를 보여준다. 스마트폰 앱 상에서 블루투스 통신으로 슬라이더바의 조절을 통해 하드웨어의 디밍을 직접 컨트롤이 가능한 형태로 구현하였다.



Fig. 13. Dimming Control by Mobile App

Fig. 14는 조도에 따른 디밍제어 결과로 Fig. 7의 디밍 제어 함수의 선형 변환을 적용한 결과를 보여준다. 2채널의 LED 조명의 급격한 꺼짐과 켜짐 없이 조도에 따라 자연스럽게 빛이 밝아지도록 하였으며, 인간의 시각 반응에 따른 디밍 제어를 구현하였다.

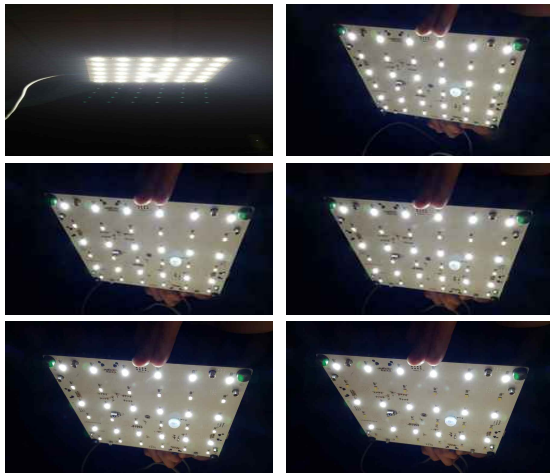
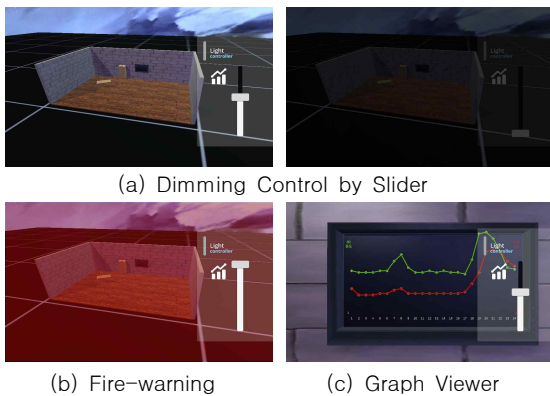


Fig. 14. Dimming Control by Visual Response

Fig. 15(a)는 스마트폰 앱으로 현실과 같은 실내 환경을 3D로 구축하여 슬라이더 값에 따른 디밍 제어가 현실과 가상의 공간에서 동시에 가능하도록 만들었으며, Fig. 15(b)는 온도센서를 활용하여 서버에서 현재 온도를 가져와 온도가 일정치 이상일 경우 고온 경고 및 화재 위험을 사운드와 함께 적색 계열로 화면 출력한 것이다. Fig. 15(c)는 디밍 컨트롤 보드의 조도센서와 온도센서에서 서버로 전송하는 조도와 온도 데이터를 스마트폰 앱에서 그래프 형태로 보여주도록 하였다.



(a) Dimming Control by Slider

(b) Fire-warning

(c) Graph Viewer

Fig. 15. Mobile Applications

IV. Conclusions

LED 조명에 적용한 디밍 제어 기술은 지능적이고 스마트하며 전력 소비를 절감하는 방향으로 연구되어 왔다. 본 논문에서 제안한 지능형 스마트 디밍 제어 시스템은 하드웨어 설계와 소프트웨어 구현으로 먼저, 데이터 통신 및 제어를 위한 회로를 설계하고, 센서들과 파워가 장착된 보드를 제작하였으며, 보드와 서버의 통신으로 센서 데이터 및 제어 신호를 송수신하였다.

물체의 움직임 감지와 빛의 반사를 통해 센서로부터 전송된 데이터를 시각 반응 함수로 선형 변환하여, 보드에 장착된 LED 조명에 적용하도록 하였으며, 모바일 환경에서도 스마트한 제어를 위해 서버와의 블루투스 통신으로 조도센서와 온도센서 데이터를 활용한 화재 위험 감지 및 고온 경고 기능을 구현하고 각각의 데이터를 그래프로 제공하는 안드로이드 어플리케이션을 개발하였다. 실험을 위해 스마트폰 앱으로 실제 환경과 같은 구조물을 제작하고 스마트폰 앱 상에서 LED 조명을 제어하며, 실제 환경의 조명에서도 동시에 적용될 수 있도록 구현하였다. 제안하는 시스템은 디밍 제어를 통해 전력 소비를 절감할 수 있으며, 인간 친화적인 지능적 디밍 설계 그리고 언제 어디서나 스마트한 제어가 가능할 것으로 기대되며, 향후 전력 절감형 실내등 설치, 스마트 그리드 빌딩 그리고 세이빙 홈 등의 분야에서 적극적으로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

REFERENCES

- [1] E. S. Song, B. W. Min, and Y. S. Oh, "Design of Illumination Control System Using Microwave Sensors and Dimming Control," Journal of The Korea Contents Association, Vol. 13, No. 12, pp. 19-26, Dec. 2013.
- [2] Y. H. Kwak, D. S. Kong, D. H. Seo, C. Y. Jang, and J. H. Huh, "Effect of Cooling Season Energy Saving Potentials with Blind and Dimming Control Strategies in a Research Building," Journal of Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems, Vol. 5, No. 3, pp. 168-175, Sep. 2011.
- [3] J. C. Lee and H. J. Jang, "LED and Technology of Lighting System for Energy-saving IT Convergence Control Management," Proceedings of the Korean Institute of illuminating and Electrical Installation Engineers, Vol. 26, No. 1, pp. 15-20, Jan. 2012.
- [4] Y. E. Wu and K. C. Huang, "Smart Household Environment Illumination Dimming and Control," Journal of Display Technology, Vol. 11, Issue 12, pp. 997-1004, July 2015.
- [5] T. K. De and B. N. Chatterji, "An approach to a generalized technique for image contrast enhancement using the concept of fuzzy set," Fuzzy Sets and Systems, Vol. 25, pp. 145-158, Feb. 1988.
- [6] E. F. Schubert, "Light-Emitting Diodes" Cambridge

University Press, pp. 275–291, 2006.

- [7] J. A. Ferwerda, "Elements of early vision for computer graphics," *IEEE Computer Graphics and Applications*, Vol. 21, Issue. 5, pp. 22–33, Sep/Oct, 2001.
- [8] K. W. Chung, "LED Smart lighting systems and platform strategy," *The Proceedings of the Korean Institute of illuminating and Electrical Installation Engineers*, Vol. 25, No. 3, pp. 4–12, May 2011.

Authors



Geum Boon Lee received the M.S. and Ph.D. degrees in Computer Engineering from Daejeon University and Chosun University, Korea, in 2002 and 2010, respectively.

Dr. Lee joined the faculty of the Department of Computer Security at Chosun College of Science & Technology, Gwangju, Korea, in 2018. She is currently a Professor in the Department of Computer Security, Chosun College of Science & Technology. She is interested in machine learning, computer security and embedded computing.