

Bluetooth 무선 통신과 전류제어 시스템을 이용한 고전력 LED 등기구의 무선제어 시스템 개발

이완범*

¹(주)탑엘이디 기업부설 연구소

Development of Wireless Control System for High Power LED Luminaire Using Bluetooth Wireless Communication and Current Control System

Wan-Bum Lee^{1*}

¹Research Institute of Top LED Incorporated

요약 LED 조명 제어 시스템은 LED 조명의 효율적인 관리와 에너지 절감을 위하여 IT 기술과 LED 조명을 결합한 형태로 발전되고 있다. 따라서 본 논문에서는 Bluetooth 무선통신, 센서 기술 및 스마트폰을 이용하여 LED 등기구 상태 확인 및 제어할 수 있는 시스템을 제안하였다. 제안된 LED 조명 제어 회로는 퍼지 정전류 제어 회로에 온도센서, 조도센서 및 Bluetooth 모듈을 장착할 수 있도록 설계하였다. LED 방열판의 발열 온도 70℃를 기준으로 LED 등기구 공급 전류를 최적화하여 LED 손상 방지 및 수명을 연장하고 LED 등기구 주위의 조도에 따라 자동으로 ON/OFF 되도록 하였다. 그리고 Bluetooth 무선통신과 안드로이드 기반의 어플을 개발하여 스마트폰으로 손쉽게 LED 등기구 상태 확인 및 디밍제어등 관리의 효율성을 높이고 에너지 절감 효과를 얻을 수 있도록 하였고, 실험을 통하여 개발된 LED 조명 제어 시스템이 정상적으로 동작함을 확인하였다.

Abstract An LED lighting control system was developed to combine information technology and LED lights for efficient management and energy savings. The system can monitor and control the status of an LED luminaire using Bluetooth wireless communication, sensor technology, and smart phones. An LED lighting control circuit was designed using a temperature sensor, illumination sensor, and Bluetooth module with a fuzzy constant-current control circuit. We extended the lifetime and prevented damage to the LED by optimizing the supply current of the LED luminaire based on the heat-generation temperature of 70°C of an LED heat sink. We also automatically adjusted the ON/OFF time depending on the ambient illumination of the LED luminaire. By allowing easy control of the LED luminaires on a smartphone, we improved the efficiency and achieved energy savings. The control system was validated through experiments for normal operation .

Keywords : LED, LED luminaire, Bluetooth, LED lighting control system, Smartphone APP

1. 서론

최근 한정된 화석연료에 대한 수요증가로 인하여 전 세계적으로 환경오염과 에너지 절약에 대한 경각심이 고조되고 있는 추세이다. 특히 실내외 조명용 광원으로 주로 이용되는 형광등, 백열등 및 방전등의 경우 전력소비

가 많고 수은증기나 인(P)과 같은 유해한 물질로 인하여 환경오염을 유발하고 인체에 악영향을 일으키는 등의 여러 문제가 발생되어 전 세계적으로 정책적 규제의 대상이 되고 있다.[1-2]

전 세계적으로 조명기구의 연간 소비전력은 2조 1,000억 kWh로 전체 전력의 12~15%를 소비하고 있고,

*Corresponding Author : Wan-Bum Lee(Research Institute of Top LED Inc.)

Tel: +82-63-855-5510 email: lwtiger@naver.com

Received February 15, 2016

Revised February 24, 2016

Accepted March 3, 2016

Published March 31, 2016

이로 인해 연간 17억톤의 CO² 등을 배출하고 있어 환경 오염을 유발시키고 있다. 이러한 환경오염을 억제하기 위해서 EU는 WEEE (Waste Electrical and Electronic Equipment)의 산하의 RoHS(Restriction of Hazardous Substances)부서를 설치하고 환경에 영향을 주는 6개 물질인 납, 수은, 카드뮴, 6가 크롬, PBB, PBDE의 사용을 규제하고 있다. 또한 호주와 뉴질랜드, 미국 캘리포니아 주에서는 지구온난화 정책으로 형광등과 백열등을 위험성 폐기물로 지정하여 사용을 금지시키고 있다. 미국과 일본 등에서도 자국의 형편에 맞게 저효율 백열램프, 콤팩트 형광램프 등의 제조를 금지하는 등 친환경제품을 만들기 위해 빠르게 대응하고 있다.[2-4]

특히 조명제어에 의한 에너지 절감 및 효율을 극대화하기 위해 기존 조명기에 IT기술을 융합한 LED 조명 시스템이 부각되고 있으며, 조명방식의 효율성과 사용자의 편리성을 확보하기 위해 근거리 무선통신과 센서 네트워크를 융합하는 형태로 연구 발전되고 있는 실정이다.[5-6] 따라서 본 연구에서는 무선 통신 기술과 기존의 스마트폰을 이용하여 고전력의 LED 조명을 효율적으로 제어할 수 있는 시스템을 개발하였다.

2. LED 조명 시스템

LED 조명 시스템은 IT 기술과 LED 조명과의 결합을 통해 획기적 에너지 절감이 가능하고 인간 중심, 친환경, 그리고 사용자 요구환경에 부합하는 차세대 조명이라고 할 수 있다. 기존 광원에 비해 고효율 및 저전력화를 이룰 수 있을 뿐만 아니라, 다양한 구조 및 배광 표현, 감성 조명, 광색가변, 연색성 향상 등의 장점들을 가지고 있다. 또한 사용자 요구 환경에 부합되는 콘텐츠가 내장된 다기능 솔루션을 갖추어 산업간, 기술 융합 시스템인 차세대 조명 기술로 발전해 나가고 있다. 예를 들어 별도 센서 장치를 통해 단편적으로 다수의 조명이 일괄적으로 제어되는 것이 아닌, 하나의 조명으로 다양한 기능을 포함시켜 LED 조명 및 유무선 네트워크 등의 인프라를 통하여 새로운 통·복합 서비스를 제공할 뿐만 아니라, 조명 스스로 스마트한 제어가 가능하게 할 수 있다. 통신 및 네트워크가 가능한 조명시스템의 시장은 현재 태동기에서 벗어나 성장기에 진입을 하였다. 하지만 국내 산업의 경우는 아직 미비한 상황이고 선진 외국 기술회사의 시

장 진입에 의한 인프라가 형성 중이다.[6-7]

따라서 본 연구에서는 퍼지 전류가변 제어시스템에 근거리 무선통신방식인 Bluetooth를 적용하여 손쉽게 조명시스템의 현재의 조도 및 온도값을 읽어 들여 그에 맞는 기준값을 설정 하고 셋팅할 수 있도록 스마트폰으로 제어할 수 있는 LED 조명시스템을 구현하고자 하였다.

3. LED 조명 제어 시스템 구현 및 동작

본 연구에서 제안하는 100W 이상의 고전력 LED 조명 제어 시스템은 크게 4부분으로 구성되어 있다. 온도 및 조도 값을 얻을 수 있는 센서부분과 각 센서에서 보내온 신호를 사용자가 확인할 수 있도록 하고 조명을 제어하는 퍼지 전류 제어 컨트롤러, 센싱된 데이터 값을 확인할 수 있는 모바일 제어 프로그램, 모바일 제어기와 컨트롤러 간의 Bluetooth 무선통신 부분으로 구성하였다.

3.1 Bluetooth 무선통신 모듈

Bluetooth 통신은 전자기기를 무선 통신으로 연결 해주는 일종의 무선 통신망 규격을 의미하고 이 규격에 의하여 무선으로 연결 해 주는 장치를 말하기도 한다. Bluetooth 무선 통신은 소형이고, 가격이 저렴하고, 저전력 소모로 근거리 송·수신기를 모바일 디바이스에 직접 또는 PC 카드와 같은 어댑터를 통하여 무선 통신 환경을 제공해 주는 하나의 기술이다. 본 연구에서는 이러한 Bluetooth 통신방식을 적용하여 무선제어회로를 구성하였고, 안드로이드 기반의 어플리케이션을 설계하여 스마트폰에서 사용자가 쉽게 다운로드하여 LED 조명을 무선으로 제어할 수 있도록 하였다. LED 등기구 전류제어에 사용된 블루투스 모듈과 I/O 핀명은 다음 Fig. 1과 같다.

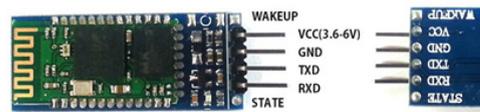


Fig. 1. Bluetooth Module

3.2 퍼지 전류제어 LED Driver와 멀티센서 동작

LED가 일정한 밝기를 내도록 하기 위해서는 정전압 구동이 아닌 정전류 구동을 해야 하고 이렇게 LED를 구동하기 위해서는 LED Driver 회로가 필요한 것이

다.[8-10] 따라서 본 연구에서는 LED 스트링으로부터 나오는 전류피드백을 측정하여 이를 퍼지 PID 제어 알고리즘으로 처리한 다음 이산형 백-부스트 스위칭 모드 파워서플라이의 동작을 제어하여 LED 스트링에 최적의 전류가 흐르도록 하였다. 그리고 온도와 조도 센서를 포함하고 Bluetooth 무선통신 모듈을 장착할 수 있도록 구성하였다. 제한된 조명제어시스템의 전체적인 동작 원리는 Fig. 2와 같다.

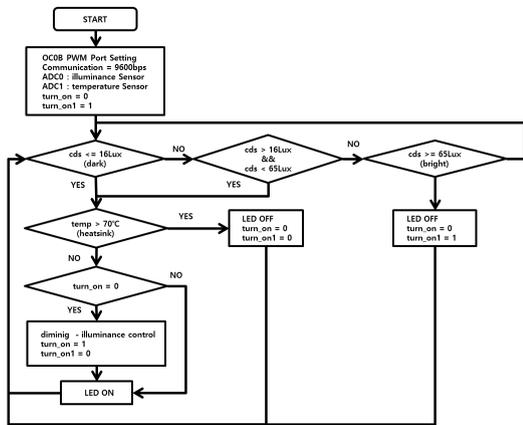


Fig. 2. Flowchart of Proposed LED Lighting Control System

조명제어시스템을 구성하는데 있어 센서의 역할은 매우 중요하다. LED 등기구의 방열판 온도와 주변 조도에 의한 조명의 기능을 1차적으로 자동제어하기 때문이다. LED 등기구는 최대 허용 온도가 고효율 기준 70°C 이하를 만족하여야 한다. 등기구 온도가 70°C 이상일 때 에너지 효율 및 광량이 저하되는 문제가 발생되고, 특히 제품 수명이 단축되는 심각한 문제를 가지고 있다. 따라서 본 연구에서는 온도센서를 장착하여 입력온도와 미리 설정되어 있는 기준 온도와의 차이를 퍼지화한 후 퍼지추론을 이용하여, 가장 적합한 온도를 유지하기 위한 퍼지 디밍제어를 설계하여 LED의 발열 온도에 따라서 LED 등기구 공급 전류를 최적화시켜 점등을 유도함으로써 LED 손상 방지 및 LED 등기구 수명을 연장할 수 있도록 하였다. 그리고 조도센서(CDS)를 장착하여 주위 환경의 밝기에 따라 자동으로 LED 등기구를 ON/OFF 할 수 있도록 하였다. 조도가 10~16 Lux 일때 LED 등기구가 Turn-On 되고, 65Lux 이상 밝으면 Turn-Off 되도록 하였다.

3.3 Bluetooth 및 센서를 이용한 LED 등기구 제어 회로 설계

대용량 LED 등기구에 안정적인 전류를 공급하기 위해서는 정전류의 정밀한 제어기능이 요구된다. PWM 디밍 방식은 짧은 시간동안 LED에 전류를 공급하고 차단하는 동작을 반복하는 것으로 ON/OFF 사이클의 주파수는 LED의 깜박거림 현상을 피하기 위해 육안으로 감지할 수 있는 사이클 보다 빨라야 하며, 보통 약 200Hz 이상의 주파수가 적절한 것으로 알려져 있다.

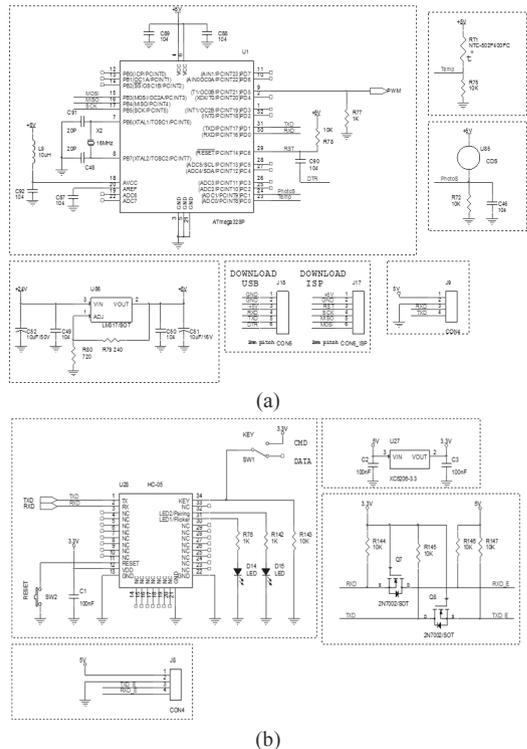


Fig. 3. Current Control Circuit using Bluetooth and Sensor (a) Current Control Circuit, (b) Bluetooth Module Circuit

본 연구에서 개발한 조명 제어 시스템은 PWM 디밍 제어 주파수를 1KHz로 하였으며, 레귤레이터의 가변저항을 조정하여 볼트 레귤레이터를 이용한 정전류 회로를 기본으로 셋팅하고, 고전력 LED 등기구의 상태 및 밝기 제어를 위하여 온도 센서와 조도 센서를 장착할 수 있도록 하였으며 Bluetooth 무선 통신을 이용하여 원격제어할 수 있도록 Fig. 3과 같이 설계하였다. 개발된 Controller의 회로는 LED 광원 하나 또는 그 이상의 광

원에 문제가 발생되더라도 다른 채널의 광원에는 전혀 영향을 미치지 못하도록 설계하였다. 그리고 온도 센서와 조도센서를 장착하여 LED 등기구 방열판의 열과 등기구 주위의 조도에 따라 자동으로 LED 등기구가 ON/OFF가 되고, 원격 무선제어를 위해 블루투스를 이용하여 수동으로 LED 등기구 ON/OFF 동작 및 디밍제어를 할 수 있도록 하였다.

3.4 안드로이드 기반 Application 개발

사용자의 편의성을 위해 별도의 제어기기를 구비할 필요 없이 스마트폰에 내장된 Bluetooth 기능을 이용하여 LED 광원의 디밍제어가 가능한 조명제어 시스템을 구현하였다. 개발된 LED 등기구 조명제어 시스템은 멀티센서로부터 환경 데이터 값을 받고, LED의 ON/OFF 기능, 디밍레벨 조절 및 등기구 온도에 따른 전류제어 기능을 수행할 수 있는 안드로이드 기반의 제어 Application으로 Fig. 4와 같다.

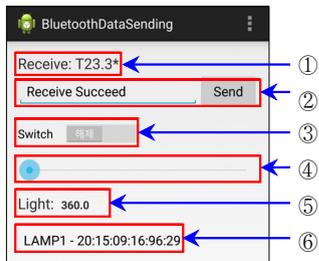


Fig. 4. Proposed Application based on Android

제안된 안드로이드 기반의 Application 화면은 6 부분으로 구성되어 있다. 각각의 구성에 대하여 설명하면 다음과 같다.

- ① 온도 표시부 : 등기구 방열판의 온도를 온도 센서를 통하여 화면에 나타내주는 부분
- ② 통신부 : 10m 이상의 높이에서 작업하는 작업자와 지면의 작업자 사이 또는 떨어져서 작업하는 작업자 사이에 간단한 대화를 할 수 있는 채팅 창
- ③ 스위치 : 수동적으로 LED 등기구 ON/OFF 제어
- ④ 프로그래스바 : 수동적으로 LED 등기구의 공급 전류 제어 및 밝기 제어
- ⑤ Light : 스마트폰 카메라를 이용한 조도 측정 데이터 표시
- ⑥ 통신가능 모듈 : Bluetooth 무선 통신으로 연결 가능한 기기 표시

4. 제안된 LED 조명 제어 시스템의 검증 및 결과

4.1 검증 방법

본 연구를 통하여 개발된 모듈의 동작을 검증하기 위하여 Fig. 5와 같이 LED 등기구에 장착하고, 각종 계측 장비를 이용하여 측정을 수행 하였다.

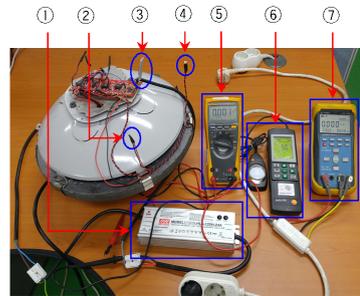


Fig. 5. Verification Structure of LED Lighting Control System

제안된 LED 조명제어 시스템 검증에 사용된 구성 부품 및 계측 장비는 다음과 같다.

- ① SMPS : LED 등기구의 전원 공급 장치
- ② 온도센서 : LED 등기구 방열판의 온도를 센싱하여 제어회로에 전달하는 장치
- ③ Bluetooth 모듈 : 스마트폰과 무선통신을 할 수 있는 Bluetooth 모듈
- ④ 조도센서(CDS) : LED 등기구 주위 조도를 측정하여 제어회로에 전달하는 장치
- ⑤ 멀티미터 : 공급되는 전류를 측정
- ⑥ 조도계 : LED 등기구 밝기 변화에 따른 조도를 측정
- ⑦ 전력량계 : LED 등기구의 총 소비전력을 측정

4.2 스마트폰과 Bluetooth 모듈 연결

스마트폰과 블루투스모듈간의 통신을 위해서는 페어링을 통해 두 기기가 서로 연결되어야 한다. 스마트폰에서 보내는 신호를 받기 위해서는 블루투스 모듈이 스마트폰에서 전송된 신호를 받아 MCU로 전송할 준비가 되어야 한다. 연결을 하기 위해서 기기명, 주소 등의 연결 정보가 필요하며 이를 알기 위해서는 대상 디바이스가 검색을 허용해야 한다. 여기서 대상 디바이스는 블루투

스 모듈이 된다. 그 다음 스마트폰을 통해 블루투스 정보를 조회하여 연결할 수 있는 블루투스 모듈을 선택하고, 연결에 필요한 비밀번호를 입력해 페어링을 요청한다. 페어링 승인을 요청하게 되고 페어링을 승인하면 연결이 된다.

본 연구에서 개발한 스마트폰 어플의 초기 상태, 연결 가능한 기기 검색 및 연결 상태를 나타내는 것은 Fig. 6 과 같다.

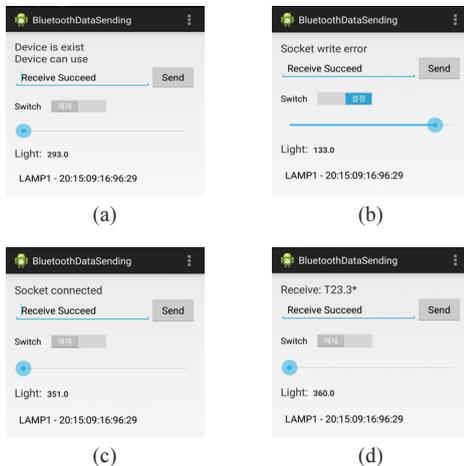


Fig. 6. App Status according to Connection States (a) Initial State, (b) Connection Failure, (c) Connection, (d) Data Reception

4.3 어플의 스위치 위젯 동작 검증

Fig. 7은 제안된 어플의 스위치 위젯 상태에 따른 LED 등기구 ON/OFF 상태를 나타내고 있다.

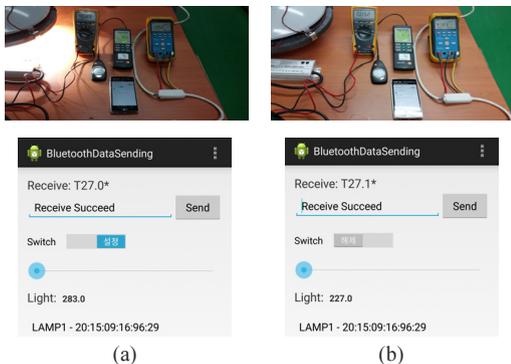


Fig. 7. LED Luminare ON/OFF Control using Switch Widget (a) Switch ON, (b) Switch OFF

또한 스위치 ON(설정)과 스위치 OFF(해제)에 따른 LED 등기구의 전체 소비전력, 전류 및 조도 변화를 측정하여 Table 1과 같이 분석하였다. 분석 결과 ON 상태에서 4A의 전류가 흘러 106W로 100W LED 등기구 기준의 전력을 소비함을 확인할 수 있었고 OFF 상태에서는 전류가 0.05A로 4W의 대기전력을 소비함을 확인 하였다.

Table 1. LED Luminare State according to Switch Widget Setting

Switch Status	Power Consumption	Current	Illuminance
ON	106.2 W	4.02 A	906 lux
OFF	4.123 W	0.05 A	514 lux

4.4 조도 센서의 동작 검증

조도 센서(CDS)를 이용한 대용량 LED 등기구 동작 확인을 위하여 Fig. 8과 같이 구성하였고, 동작을 검증하였다. Fig. 8의 (a)는 조도 센서를 약 500 Lux의 실내 조명에 Open 시켰을 때 LED 등기구가 꺼짐 상태를 나타내고, (b)는 조도 센서를 검은 테이프로 Closed 시켰을 때 LED 등기구가 켜짐을 나타내고 있다. 따라서 조도 센서에 의해 LED 등기구가 ON/OFF 됨을 확인하였다.

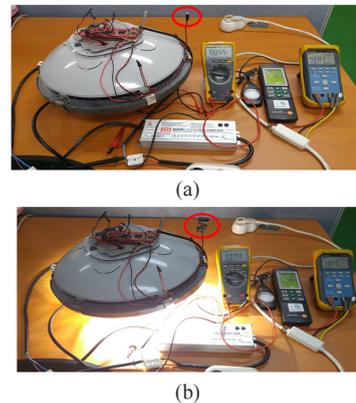


Fig. 8. LED Luminare Control using Illuminance Sensor (a) Illuminance Sensor(CDS) Open, (b) Illumination Sensor(CDS) Closed

4.5 온도 센서의 동작 검증

이번에는 온도 센서와 Bluetooth 무선통신을 이용하여 LED 등기구 방열판의 온도를 스마트폰 어플에서 확

인 할 수 있음을 Fig. 9와 같이 검증하였다.

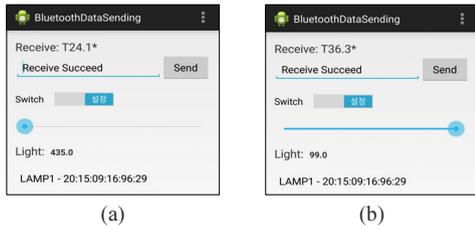


Fig. 9. Temperature Check of LED Luminaire Heatsink (a) Heatsink Temperature of Initial State (b) Heatsink Temperature after 2 hours

LED 등기구를 ON 시킨 직후에 방열판의 온도는 Fig. 9의 (a)와 같이 24.1℃였고, 2시간 후에 방열판의 온도는 (b)와 같이 36.3℃로 대략 12℃가 올라갔음을 확인할 수 있었다. 즉 온도센서가 제대로 동작하고 그 결과를 Bluetooth 무선 통신을 이용하여 스마트폰의 어플로 정확하게 전송해 줌을 검증할 수 있었다.

4.6 프로그래스바 위젯에 따른 동작 검증

프로그래스바(ProgressBar)는 작업의 진행 상황을 바 형태로 확인 할 수 있는 안드로이드 프로그램의 고급 위젯이다.

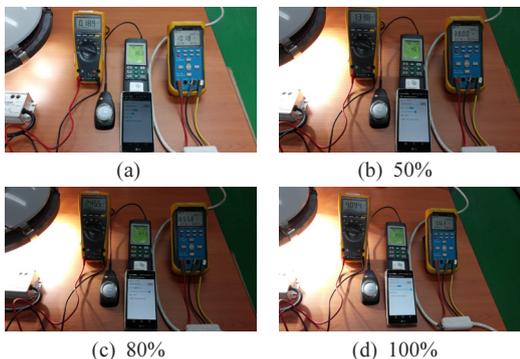


Fig. 10. Change of LED Luminaire Status according to ProgressBar states (a) ProgressBar progress 25% (b) ProgressBar progress 50% (c) ProgressBar progress 80% (d) ProgressBar progress 100%

본 연구 개발에서는 이 위젯을 활용하여 LED 등기구의 공급 전류를 Analog 적으로 제어하여 전체 소비전력과 밝기를 제어할 수 있도록 하였다. 또한 프로그래스바

진행에 따른 LED 등기구의 밝기변화와 더불어 스마트폰의 화면 밝기도 같이 변화될 수 있도록 하여 사용자가 보다 정확하게 밝기 변화를 인식할 수 있도록 하였다.

스마트폰 어플의 프로그래스바의 진행 상태에 따른 LED 등기구의 상태를 Fig. 10과 같이 검증하였고, 각각의 상태에 따른 전류, 소비전력 및 조도를 측정하여 Table 2와 같이 분석하였다.

Table 2. Measurement Data of LED Luminaire Status according to Progress State of ProgressBar

Progress State of ProgressBar	Current	Power Consumption	Illuminance
25% progress	0.189 A	10.18 W	369 lux
50% progress	1.338 A	38.00 W	467 lux
80% progress	2.455 A	65.68 W	643 lux
100% progress	4.094 A	106.3 W	830 lux

분석결과 프로그래스바가 25% 진행했을 때 0.189A의 전류가 흐르고 10.18W의 전력이 소모됨을 확인하였고, 프로그래스바를 최대로 진행했을 때 4.094A의 전류가 흐르고 106.3W의 전력이 소모됨을 확인하였다. 또한 프로그래스바의 진행에 따라서 조도값도 369Lux에서 830Lux로 변화됨을 확인할 수 있었다. 결과적으로 스마트폰의 프로그래스바 동작에 따라서 밝기와 소비전력을 제어할 수 있음을 실험을 통하여 확인하였다.

5. 결론

본 논문에서는 Bluetooth 무선통신과 퍼지 정전류 제어 시스템을 이용하여 디밍제어가 가능하고 멀티센서를 이용하여 LED 등기구 상태 확인 및 제어할 수 있는 시스템을 제안하였다. 그리고 안드로이드 기반의 스마트폰 어플리케이션을 개발하여 무선통신으로 제어할 수 있는 LED 조명 제어 시스템을 구현 하였다.

제안된 LED 조명 제어 회로는 정전류 제어 회로에 온도센서, 조도센서 및 Bluetooth 모듈을 장착할 수 있도록 설계하였다. LED 등기구 방열판의 온도에 따라 공급 전류를 최적화하여 LED 손상 방지 및 수명을 연장하고 등기구 주위의 조도에 따라 자동으로 ON/OFF 되도록 하였다.

그리고 Bluetooth 무선통신과 안드로이드 기반의 어

플을 개발하여 스마트폰으로 손쉽게 LED 등기구 상태 확인 및 디밍제어등 관리의 효율성을 높이고 에너지 절감 효과를 얻을 수 있도록 하였다. 따라서 본 논문은 조명 제어 시스템의 기술을 증대하고 고효율, 친환경 신재생 에너지 활용 기술로 국가 정책에 부응하고 탄소 배출량 감소로 인한 국가 경쟁력 강화에 기여할 것으로 사료된다.

References

- [1] Y.M Yoo, "Market and Technical Trends of LED, The Magazine of the IEEK, Vol. 37, No.2, pp.148-163, 2010.
- [2] Jang-weon Lee, Jae-Weon Im, Kyung-Han Lee, Astudy on Market of LED Products, The Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers, pp59-62, 2010.
- [3] 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.
- [4] W. B. Lee, "Study on the Development of Large Capacity LED Streetlight Luminaire with adjustable Light Distribution Characteristic", Journal of KAIS. Vol. 16, No. 12, pp. 8901-8907, Dec, 2015.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/kais.2015.16.12.8901>
- [5] 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.
- [6] H. S. Jeong, M. K. Hwang, "LED System lighting Technology using wired and Wireless", Journal of KIIEE. Vol. 26, No. 1, pp. 33-40, Jan. 2012.
- [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 KIIEE. Vol. 22, No. 4, pp. 1-12, Apr. 2008.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5207/JIIEE.2008.22.4.001>
- [8] Y. Hu and M. M. Jovanović, "LED driver with self-adaptive drive voltage", *IEEE Trans. on Power Electron.*, Vol. 23, pp. 3116, 2008.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/TPEL.2008.2004558>
- [9] J. H. Park, H. D. Yoon, S. M. Hwang, "Design of multi-channel LED driver with self-optimized active constant current source", Journal of the Lighting Emitting Diodes 1(1), 12, pp. 70 - 78, 2009.
- [10] W. B. Lee, D. G. Jeong, "Development of New Structure Lighting Reflector and Driver for Performance Enhancement of Large Capacity LED Luminaire", Journal of KIIT. Vol. 13, No. 12, pp. 23 - 31, Dec. 31, 2015.
DOI: <http://dx.doi.org/10.14801/jkiit.2015.13.12.23>

이 완 범(Wan-Bum Lee)

[정회원]



- 1995년 2월 : 원광대학교 전자공학과 (공학사)
- 1997년 8월 : 원광대학교 전자공학과 (공학석사)
- 2004년 8월 : 원광대학교 전자공학과 (공학박사)
- 2005년 3월 ~ 2014년 2월 : 중부대학교 외래교수
- 2011년 3월 ~ 현재 : 원광대학교 전자공학과 겸임교수
- 2010년 10월 ~ 현재 : (주)탑엘이디 기업부설연구소 연구소장

<관심분야>

통신 시스템 및 회로설계, 신호처리, LED 조명 제어