



# 전원 전압조절을 이용한 LED 조명 디밍 및 절전에 대한 연구

문창현\*, 채상훈\*\*

## A Study on Dimming and Power Saving of LED Lights Using Supply Voltage Control

Chang-Hyun Moon\*, Sang-Hoon Chai\*\*

---

본 연구는 2017년도 호서대학교의 재원으로 학술연구비 지원을 받아 수행된 연구임.(2018-0359)

---

### 요 약

본 연구에서는 유무선 통신을 사용하여 제어하는 대신에, 조명등을 켜기 위하여 공급하는 AC 220V 전원전압 자체를 AC 220~180V 범위로 인위적으로 조절하여 공급함으로써 집단조명등 전체를 통합하여 쉽게 디밍 및 절전을 할 수 있는 간단하고 효율적인 LED 집단조명등 디밍 및 절전 시스템을 구현하였다. 또한 전력선로에서 발생하는 동선저항에 의한 선로 전압강하를 반영하여 제어함으로써 보다 정밀한 디밍과 절전을 할 수 있게 하였다. 본 연구를 통하여 설계된 LED 집단조명시스템은 AC 공급전압을 AC 220~180V로 조정하여 공급전력의 듀티비를 100~0%로 변화시킴으로써 조도는 20,900~400LUX, 소비전력은 82~8W 범위로 변화시킬 수 있었다.

### Abstract

A simple and efficient LED group light dimming and power saving system is implemented instead of using wired/wireless communication. The AC 220V power supply voltage itself, which is supplied to turn on the lamps artificially controlled in the range of AC 220~180V is used to control the LED group lights. So that the entire group lighting can be easily integrated with dimmed and power saved. In addition, for precisely dimming and saving power, the line voltage drop caused by the copper resistance generated in the power line is updated. The LED group lighting system, designed through this study, can be changed the illuminance and power consumption to the range of 20,900~400LUX and 82~8W according to adjust the AC supply voltage to AC 220~180V to change the duty ratio of the supply power to 100 ~ 0%.

### Keywords

LED, light dimming, power saving, AC supply voltage, group lighting, PWM, LED driver

---

\* 호서대학교 전자디스플레이공학부 학사과정

- ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5920-5164>

\*\* 호서대학교 전자디스플레이공학부 교수  
(교신저자)

- ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1189-8237>

· Received: Aug. 27, 2019, Revised: Oct. 01, 2019, Accepted: Oct. 04, 2019

· Corresponding Author: Sang-Hoon Chai

Division of Electronic and Display Engineering, Hoseo University  
20, Hoseo-ro 79 beon-gil, Baebang-eup, Asan-si, Chungnam-do, Korea,

Tel.: +82-41-560-5665, Email: shchai@hoseo.edu

## 1. 서 론

LED를 사용한 가로등, 공원등은 야간에 차량의 통행 또는 사람의 보행에 안전을 도모하기 위해 도로나 공원에 집단으로 설치되며, 사무실등, 복도등, 경비등은 건물의 조명을 위하여 주로 건물의 내외부에 집단으로 설치된다[1]. 기존의 일반적인 LED 집단조명등은 설치된 전원스위치를 시간에 따라 사람이 손으로 온/오프 제어하거나, 타이머 또는 조도 센서를 통하여 제어하거나, 무선 통신으로 시스템 전체를 원격 제어하여 단순하게 야간에는 켜지고 주간에는 꺼지도록 제어하고 있다[2][3]. 그러나 이들 집단조명 시스템의 대부분은 에너지 절약을 위한 디밍(Dimming, 조명의 조도 조절) 및 절전(Energy saving) 장치를 포함하지 않거나, 디밍 및 절전을 할 경우에는 각 조명등마다 통신을 위한 단말장치를 설치하여 제어장치로부터 송신된 신호를 수신하여 제어하므로 시스템이 복잡하여 설치비용이 많이 들며 오동작이나 고장의 우려가 있다[4].

본 연구에서는 이러한 기존 집단 조명시스템의 문제점을 해결하기 위하여, 유무선 통신 대신에 조명등을 켜기 위하여 공급하는 AC 220V 전원전압 자체를 조명등 절전에 일반적으로 사용하는 AC 220~180V 범위로 조절함으로써 LED 집단조명등 전체를 통합하여 디밍 및 절전을 할 수 있는 간단하고 효율적인 LED 집단조명등 디밍 및 절전 시스템을 구현하고자 한다.

## II. LED 집단 조명등의 구성

디밍 및 절전 기능을 갖는 기존의 일반적인 LED 집단조명등 디밍 및 절전 시스템은 크게 제어함 제어장치와 단말기 제어장치로 이루어진다. 그림 1 및 그림 2는 유선통신의 일종인 전력선통신(PLC, Power Line Communication)을 이용하여 디밍 및 절전을 하는 기존의 집단조명 시스템의 제어함 장치와 단말기 장치를 나타낸 것이다.

그림 1에서와 같이 제어함의 제어장치는 AC 220V 전원을 포함한 LED 집단조명등 전력선로에 연결되며, 제어함 제어부, 제어신호 송신부, 전력선

통신용 AC 커플링 커패시터 등을 포함하여 구성된다. 제어함 제어장치의 제어함 제어부에서는 입력된 제어신호를 분석하여 선로에 연결된 단말기 전체의 디밍 및 절전을 위한 시간과 전력 제어신호를 생성한다. 이 신호는 수백 kHz의 고주파신호로 변조되어 제어신호 송신부와 AC 커플링 커패시터를 통하여 선로에 연결되어 전력선통신 형태로 여러 개의 조명등 단말기로 전달된다.

그림 2에서와 같이 단말기 제어장치는 LED 집단 조명등 전력선로에 연결된 수~수십 개의 단말기 내부에 설치되며, 전력선통신용 AC 커플링 커패시터, 제어신호수신부, 단말기 제어부, LED 전원장치, LED 램프 등으로 구성된다.

그림 2의 AC 커플링 커패시터는 전력선로에 실려 온 고주파신호를 수신하여 단말기 제어장치의 제어신호 수신부로 보내어 원래의 시간 및 전력 정보 데이터 신호로 복조한다. 단말기 제어부에서는 이에 적합한 PWM(Pulse Width Modulation) 제어신호를 만든 다음 LED 드라이버(SMPS, SMart Power System)의 디밍 제어부로 보냄으로써 디밍 및 절전을 수행한다[5]-[8].

그러나 전력선통신 또는 무선통신을 이용하는 기존의 방식은 통신을 위한 설비가 복잡하여 설치비용이 많이들 뿐만 아니라, 잡음이 많이 발생하는 지역에서는 통신이 원활하지 않아서 제어 실패 상황이 발생할 확률이 높은 단점이 있다.

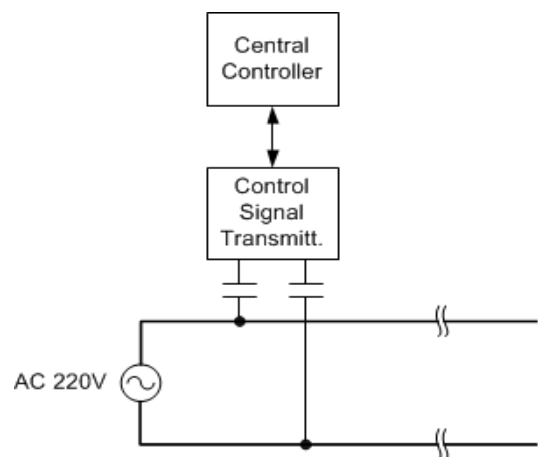


그림 1. 기존 LED 집단조명등 시스템의 제어장치  
Fig. 1. Controller of conventional LED group lighting

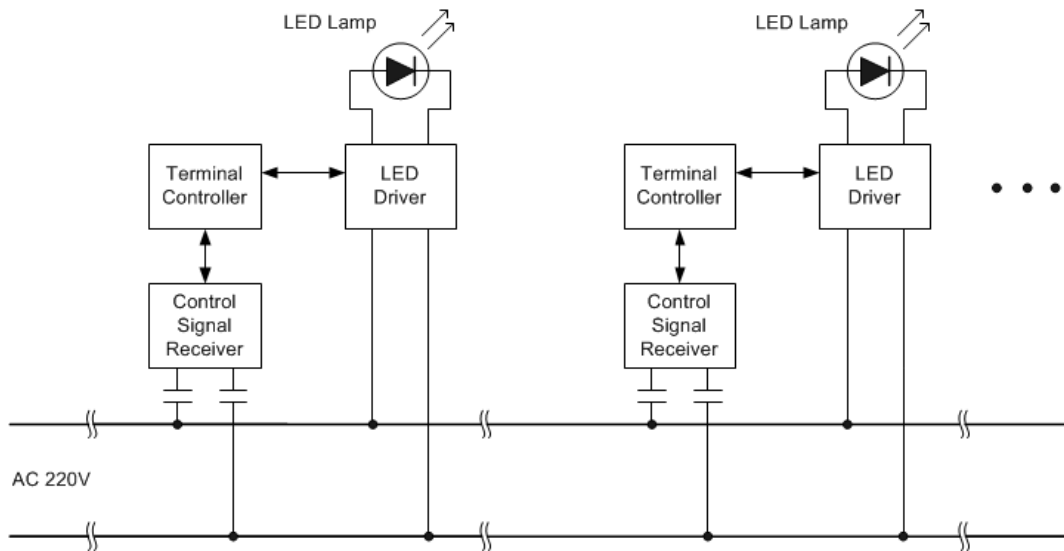


그림 2. 기존 LED 집단조명등 시스템의 단말장치  
Fig. 2. Terminals of general LED group lighting system

본 연구는 이러한 집단 조명시스템의 문제점을 해결하기 위하여 기존의 복잡한 유무선 통신을 이용하는 방식 대신에, 조명등을 켜기 위하여 사용하는 상용 AC 220V 전원의 전압을 AC 전압 조절장치를 이용하여 인위적으로 조절함으로써 LED 집단 조명등 전체를 통합하여 디밍 및 절전을 할 수 있는 효율적인 LED 집단조명등 디밍 및 절전 시스템을 구성하고자 한다. 이러한 동작을 가능하게 하기 위하여 제어함에 설치되어 전력선로에 공급하는 전력의 전압을 조절할 수 있는 가변전압 AC 전력공급장치와, 각 LED 집단조명등 단말기에 장착되어 전력선로에 실려 온 전력의 AC 전압을 측정하여 이를 이용하여 각 LED 조명등에 연결된 전원장치의 전류 조절부를 제어하는 기능을 갖는 조명 시스템을 구현하였다. 여기서, 전체선로를 통하여 좀 더 정확하고 균등한 조명 밝기를 얻기 위하여 전력선로 상에서 발생하는 선로 저항성분으로 인한 AC 전압 강하를 보상해 주기 위한 기능도 추가된 집단 조명시스템에 대한 연구를 수행하였다.

그림 3은 본 연구에 따라서 집단조명등 제어함에 설치되어 AC 전압조절 장치로 이용되는 LED 집단 조명등 제어함 제어장치의 구성도이다. 제어함 제어부는 입력된 제어신호를 분석하여 선로에 연결된 단말기 전체의 디밍 및 절전을 위한 시간과 전력 제어신호를 생성하며, 이 제어신호는 AC 전압조절

부에 전달되어 AC 220V를 슬라이다스, 멀티탭방식의 변압기 등 AC 전압 조절장치를 이용하여 AC 220~180V 사이의 적절한 전압으로 조절(강압)하여 선로로 내보낸다. 그림 4는 본 연구에 따라서 집단 조명등 단말기들에 연결되어 AC 전압조절을 이용하는 LED 집단조명등 디밍 및 절전장치의 단말기 제어장치의 구성도이다.

각 단말기 제어장치에 설치된 AC 전압측정부는 전력선로에 실려 온 조절(강압)된 AC 220~180V의 전압을 측정하여 단말기 제어부로 보내며, 단말기 제어부에서는 측정된 AC 전압 값을 분석하여 이에 적합한 PWM 제어신호를 만든다. 이 신호는 개별 LED 드라이버의 디밍 제어부로 입력되어 각 LED 조명등 전원장치의 DC 전류를 조절하여 조명등 전체에 대한 디밍 및 절전을 수행한다.

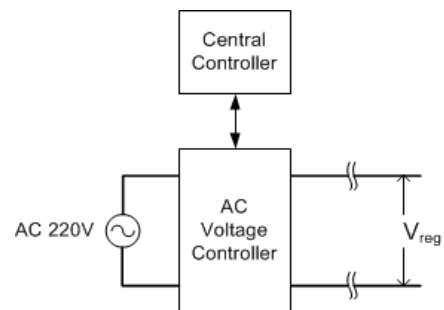


그림 3. 새로운 LED 집단조명등 시스템의 제어장치  
Fig. 3. Controller of novel LED group lighting system

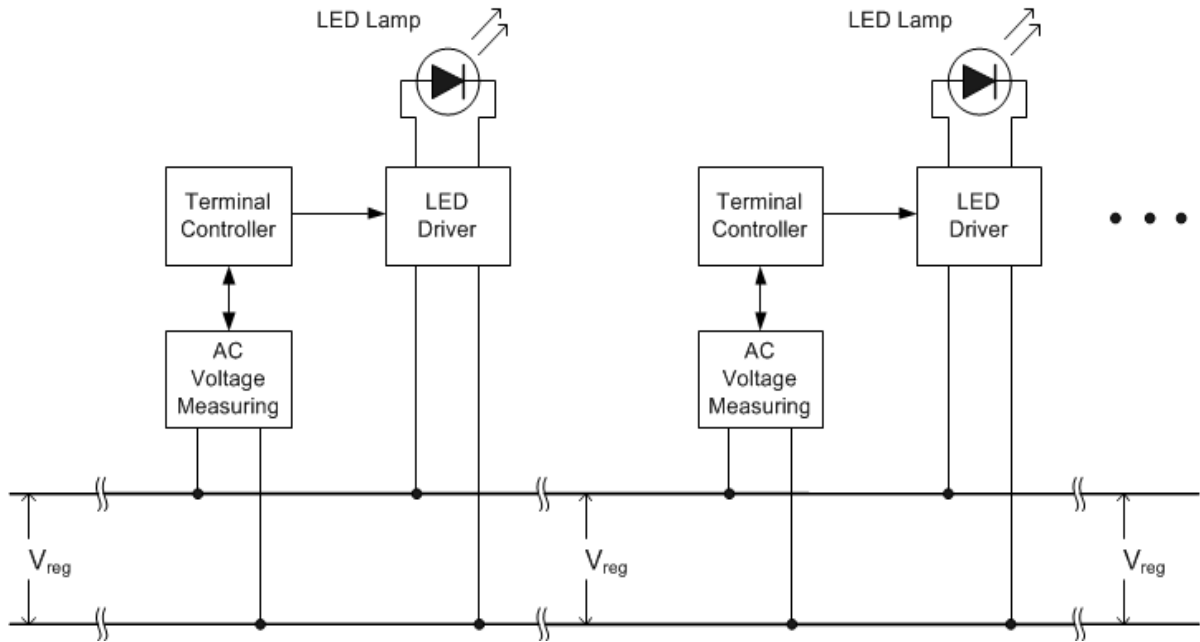


그림 4. 새로운 LED 집단조명등 시스템의 단말장치  
Fig. 4. Terminals of novel LED group lighting system

### III. LED 집단 조명등의 설계

그림 5는 본 연구를 통해 구현하고자 하는 LED 조명등용 전원장치의 제어 흐름도이다. 그림에서 AC 220V는 상용 교류전원이며, AC 선로 전압조절 부에서는 상용 교류전원의 전압을 220~180V로 조절한다. 전력선 선로를 통하여 전송된 전압은 AC 전압측정부에서 측정되며, 단말기 제어부 MCU로 전달된다. MCU에서는 입력된 아날로그 전압 값을 A/D 컨버터에 의해 디지털 값으로 바꾼 다음 수식을 이용하여 LED 드라이버의 전류를 제어하기 위한 듀티(Duty)비 100~0%의 PWM 제어신호로 변환한다. 이때 MCU에서는 선로저항에 의해 발생하는 전력선로의 전압강하도 보상한다. LED 드라이버는 PWM 제어신호를 받아서 이에 해당하는 DC 전류(전력)를 생성하여 가로등의 LED 조명을 구동한다.

그림 6은 본 연구를 통해 구현된 AC 전압 측정회로 회로도이다. 강압 트랜스, 정류회로, 평활회로를 통하여 DC로 변환된 AC 실효(r.m.s.) 전압 값은 전압감지 센서에 의해 측정되며, ADC(아날로그 디지털 변환회로)를 통하여 디지털 신호로 변환된 다음 MCU로 입력되어 평가된다.

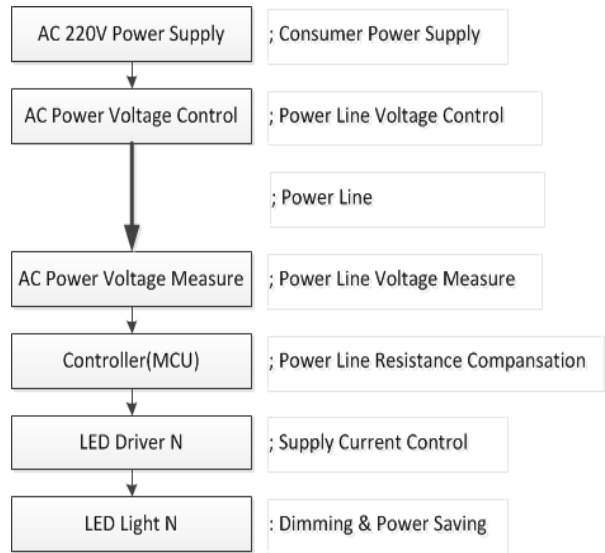


그림 5. 설계된 LED 조명등 시스템의 동작 순서도  
Fig. 5. Flow chart of designed LED lighting system

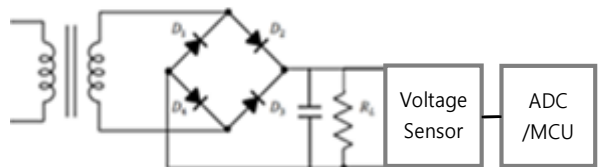


그림 6. 설계된 전력선 전압 측정회로  
Fig. 6. Designed power line voltage measurement circuit

#### IV. 선로저항 및 전압강하의 보상

그림 2 또는 4에서와 같이 전력선 선로에서는 가로등 설치 개수에 따라서 수백 m가 넘을 수도 있으므로 선로저항에 의한 전압 강하가 발생한다. 즉, 가로등 간격이 대략 30m이고 LED 가로등 20개가 설치되었다고 가정하면 선로저항  $R$ 은

$$R = \rho \times \eta \times \frac{l}{A} \quad (1)$$

여기서  $\rho$ 는 전력선으로 사용되는 동선의 비저항으로  $1/58\Omega \cdot m$ ,  $\eta$ 는 도전율로써 97%,  $A$ 는 동선의 단면적  $35mm^2$ 이며, 동선의 길이  $l$ 을 600m로 가정하면 식 (1)에 의해서 대략  $0.305\Omega$ 의 선로저항이 나타난다. 선로 맨 끝에서의 전압강하  $e$ 는

$$e = 2 \times N \times \frac{R}{2} \times i \quad (2)$$

여기서  $N$ 은 가로등의 개수 20,  $R$ 은 선로저항  $0.305\Omega$ ,  $i$ 는 일반적으로 설치되어 있는 180W LED 가로등 한 개당 전류  $0.82A$ 이며, 식 (2)에 의해 대략  $5.0V$ 의 전압강하가 발생한다. 수식에서 앞의 2는 도선 2개(P상, N상)의 합성저항을, 뒤의 1/2은 모든 부하가 선로 맨 끝에 연결되었을 경우에 비해 가로등처럼 부하가 선로에 고루 분포되었을 때의 평균저항을 고려한 값이다. 따라서 맨 끝 가로등에는 220V 전압에서는 약  $5.0V$  정도의 전압강하가 발생하여 215V의 전압이 나타나며, 중간에 연결된 가로등에도 0~5.0V 사이의 일정부분 전압강하가 나타난다. 이 전압강하를 무시하면 램프의 불빛도 어두워진다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 본 연구에서는 선로의 저항이 선로 길이에 비례하여 커진다는 원리를 이용하여 식 (3)을 사용하여 선로저항에 의한 전압강하를 보상하였다.

$$220 : V_1 = X : V_1', \quad V_1' = \frac{X \times V_1}{220} \quad (3)$$

즉, 220은 초기공급전압,  $V_1$ 은 가로등에서 측정된

전압,  $X$ 는 제어를 위한 선로 전압강하가 반영되어 낮아진 공급전압(220~180V)이며,  $V_1'$ 는 보상된 제어전압을 나타낸다. 따라서 실제 가로등에서는 220 대신에  $V_1'$ 를 초기 값으로 하고,  $X$  값 대신에  $V_1'$ 를 사용하여 가로등을 제어함으로써 선로저항에 의해 발생하는 전압강하의 영향을 보상할 수 있다.

#### V. 제작 및 측정 결과

본 연구에서는 공급전압 220~180V에 대하여 듀티비 0~100% PWM 제어신호를 생성하는 제어시스템을 설계 제작하였다. 그림 7은 제작된 제어보드로써 트랜스와 정류회로로 구성된 AC 전압측정회로, MCU 외에 전원공급부 등 주변회로로 구성되어있다.

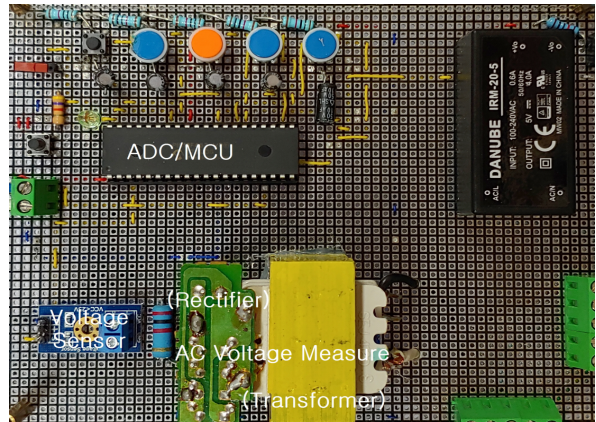


그림 7. MCU가 장착된 테스트 보드의 사진  
Fig. 7. Photograph of MCU on board for test

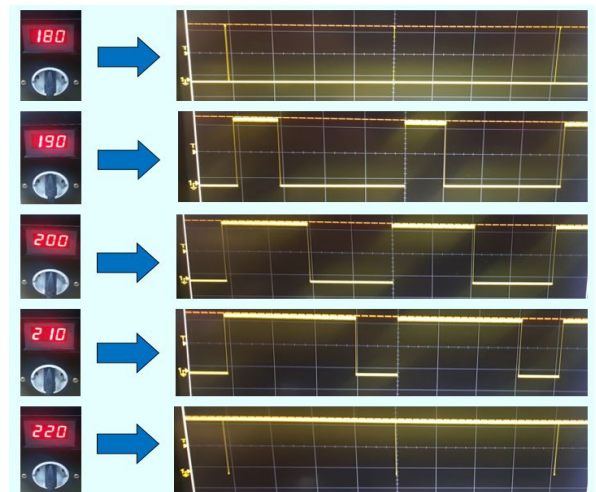


그림 8. 전압에 따른 PWM 파형 사진  
Fig. 8. Photograph of PWM shape as voltages



그림 8은 입력된 AC 전원부의 전압에 따라서 MCU가 출력하는 PWM 신호 파형을 나타낸 것으로서 220V에서는 100%, 210V에서는 75%, 200V에서는 50%, 190V에서는 25%, 180V에서는 0%의 듀티비를 설정하였다. 이 PWM 제어신호는 LED 드라이버에 입력되어 출력 DC 전류(전력)을 조절한다.

표 1은 AC 전압에 따른 일반적으로 사용하는 75W LED 조명등 한 개의 조도 및 전력소모를 나타낸 것으로 AC 전압에 따라 조도와 전력이 변하는 것을 볼 수 있다.

표 1. AC 전압에 따른 조도 및 소비전력  
Table 1. Light intensity and power consumption as AC voltage

AC Volt [V]	Duty Ratio [%]	Intensity [LUX]	Power Consumpt. [W]
220	100	20,900	82
210	75	16,400	62
200	50	11,300	43
190	25	5,800	24
180	0	400	8



그림 9. 테스트 시스템의 사진  
Fig. 9. Photograph of test system

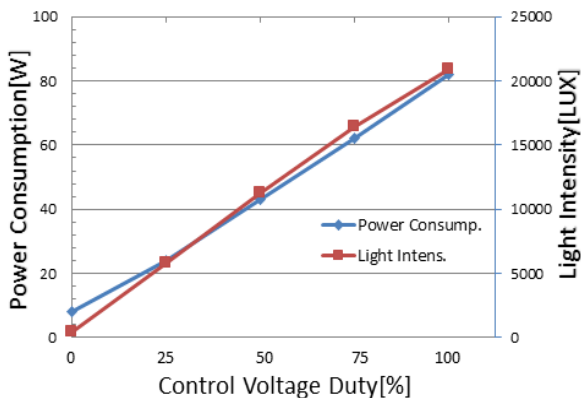


그림 10. LED 집단 조명의 전력소비 및 조도 특성  
Fig. 10. Power consumption and light intensity characteristics of LED group lights

설계된 LED 조명시스템은 AC 공급전압을 220~180V로 변화시킴으로써 1m 거리에서의 조도는 20,900~400LUX, 소비전력은 82~8W로 변한다. 220V에서는 100%의 최대 밝기가 나타났으며, 180V에서는 듀티 비는 0%이지만 바이어스 회로에 의한 최소 밝기가 나타났다. 듀티 비가 100%와 0%일 때는 제어전압에서는 글리치(Glitch)가 나타났지만 주파수가 20kHz의 고주파인 관계로 LED 램프에서는 깜빡임(Flick) 현상은 발생하지 않았다.

그림 9는 제작된 시스템으로써 슬라이다스, 콘트롤러 보드, LED 드라이버, LED 라이트로 구성된다. 그림 10은 AC 제어전압에 따른 광도와 소비전력의 상관관계를 나타낸 그래프로써 제어전압에 비례하여 조도와 소비전력이 변하는 결과를 보였다.

#### IV. 결 론

본 연구에서는 통신을 이용하는 기존 집단 조명 시스템의 문제점을 해결하기 위하여, 디밍 및 절전이 필요한 경우 유무선 통신 대신에 조명등을 켜기 위하여 공급하는 AC 220V 전원전압 자체를 인위적으로 조절함(예를 들어 AC 220~180V)으로서 LED 집단조명등 전체를 통합하여 디밍 및 절전을 할 수 있는 간단하고 효율적인 LED 집단조명등 디밍 및 절전 시스템을 구현하였다. 이 시스템은 선로저항에 의해 발생하는 전력선로의 전압강하도 보상한다. 본 연구를 통하여 설계된 LED 집단조명시스템은 AC 공급전압을 AC 220~180V로 변화시킴으로써 조도는 20,900~400LUX, 소비전력은 82~8W 범위로 변화시킬 수 있다.

#### Acknowledgment

본 연구를 위하여 CAD 툴을 지원해 주신 IDEC에 진심으로 감사드립니다.

#### References

[1] Sang-bin Song, "LED lighting technology and products", Journal of KIEE, Vol. 25, No. 5, pp.

- 19-28, Sep. 2011.
- [2] Jae-yong Han, Hyo-won Park, Sun-heum Lee, and Sang-min Han, "Research of effective popular edition LED street light dimming control system", Proceedings of KIIT summer conference, pp. 85-87, Jul. 2013.
- [3] Sun-heum Lee, Kwan-sun Choi, Dong-sik Kim, Yong-hae Kong, and Jae-yong Han, "Design and implementation of an effective LED lighting control system", Journal of KIIT, Vol. 15, No. 3, pp. 23-32, Mar. 2017.
- [4] Chuhg-yong Meng and Won-suk Lee, "Simultaneous control of constant voltage and constant current LED Converter", Journal of KIEE, Vol. 49, No. 11, pp. 193-198, Nov. 2012.
- [5] Chan-ho Park and Kwy-ro Lee, "Shallow saturation and fast switching characteristics of the power BJT with corrugated base junctions", 31st European Solid-State Device Research Conference, Nuremberg, Germany, pp. 259-262, Sep. 2001.
- [6] Gacio D., Alonso J. M., Garcia J., and Campa L., "High frequency PWM dimming technique for high power factor converters in LED lighting", Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC), Palm Springs, CA, USA, pp. 743-749, Feb. 2010.
- [7] S. J. Finney, B. W. Williams, T. C. Green, and Heriot-Watt, "IGBT turn-off characteristics and high frequency application", Electron Devices, IEE, Vol. 30, No. 5, pp. 1-4, Mar. 1994.
- [8] Dong-shik Kim and Sang-hoon Chai, "A Study on LED Light Dimming using Power Device", Journal of IEIE, Vol. 51 SD, No. 8, pp. 43-49, Aug. 2014.

## 저자소개

### 문 창 현 (Chang-Hyun Moon)



2019년 10월 현재 : 호서대학교  
전자디스플레이공학부 학사과정  
관심분야 : RF 아날로그 ASIC  
설계, LED 조명시스템

### 채 상 훈 (Sang-Hoon Chai)



1981년 2월 : 경북대학교  
전자공학과(공학사)  
1983년 2월 : 부산대학교  
전자공학과(공학석사)  
1992년 2월 : 부산대학교  
전자공학과(공학박사)  
1983년 3월 ~ 1997년 8월 :  
한국전자통신연구원 반도체 연구단 책임연구원  
2004년 9월 ~ 2006년 8월 : University of Florida  
연구교수  
1997년 9월 ~ 현재 : 호서대학교 전자공학과 교수  
관심분야 : RF 아날로그 ASIC 설계, LED 조명시스템,  
태양전지, 전력소자 설계 및 공정