

## 광학 줌렌즈를 위한 LED 조명 제어 시스템 설계

민준홍\* · 김민호\* · 양 오†

\*청주대학교 전자공학과, †청주대학교 반도체공학과

### On the Design of LED Dimming Control System for Optical Zoom Lens

Jun Hong Min\*, Min Ho Kim\* and Oh Yang†

\*Electronic Engineering of CheongJu University

†Semiconductor Engineering of CheongJu University

#### Abstract

This paper is to improve the problem of the LED dimming control system using the conventional PWM and DAC method. The conventional PWM method controls the average current to switch dimming signal. This method generates the flicker when controlling at a low current. In order to solve the problem, this system prevents the flicker with the DAC method. The LED is lit at micro-current flowing in the LED. And offset voltage is generated in the output of the DAC when the DAC output is very low voltage as 0V. This was resolved by the voltage drop of the output voltage to construct a negative offset circuit. In addition, the LED current can't flow as set values because of overheating of FET. In order to solve the problem, the 16 bits ADC in the microprocessor is a more accurate current control receives the LED current in comparison with the set value. Therefore, the LED dimming control system proposed in this paper showed the accurate and reliable more than conventional systems.

**Key Words** : LED, PWM, LED Control, DAC, ADC

#### 1. 서 론

현재 많은 조명은 전기전자제품 유해물질 사용제한 지침(RoHS: Restriction of the use of Hazardous Substances in EEE)에 따라 가로등, 디스플레이 장치의 BLU (Back Light Unit), 광학장비에 이르기까지 거의 모든 조명이 LED (Light Emitting Diode)조명으로 대체되고 있는 실정이다. 특히 광학장비의 LED조명은 광학장비의 특성상 정밀한 LED휘도 제어가 필수적이다[1].

LED는 우수한 내진동성, 고신뢰성, 저 전력소모, 소형, 장수명, 고 색상효율을 가지고 있다. 그리고 렌즈를 이용하여 다양한 광학장비를 만들 수 있으며 기존의 동급 조명보다 열발생이 적은 것이 특징이다. 이러한 LED의 장점을 이용해 보다 창조적이고 다양한 조명설

계가 가능하며 LED의 전력소모로 에너지 절약, 장수명에 의한 유지보수 비용 절감 등의 경제적 효과를 얻을 수 있다[2].

LED는 동일한 공정에서 생산된 제품이라도 각각의 전압, 전류의 특징이 다르다. 또한 열 폭주 현상을 지닌 소자이기 때문에 정전압으로 제어할 경우 LED에 흐르는 전류가 시간이 흐름에 따라 증가하게 된다. 따라서 LED에 흐르는 전류를 일정하게 유지할 수 있는 정전류 제어가 필요하다[3]. 본 논문에서는 반도체 검사장비등에서 사용하고 있는 광학 줌렌즈를 위한 LED 휘도 제어방법 및 제어회로를 제안한다. 본 논문에서 제안하는 방법은 최근에 많이 사용되고 있는 PWM(Pulse Width Modulation)방식이 아닌 DAC(Digital to Analog Converter)를 사용하여 디지털과 아날로그를 혼용하여 각각의 장점을 최대한 살려 시스템의 성능을 향상시키고자 한다.

†E-mail : ohyang@cju.ac.kr

## 2. 기존의 LED 제어방법

### 2.1. PWM방식

PWM방식은 펄스폭변조(Pulse Width Modulation)의 약자로 파형의 펄스 폭을 조절해 평균전류를 조절하는 디지털 방식이다. 휘도 조절 신호가 On일 경우 LED에 최대전류가 흐르고 Off일 경우 전류가 흐르지 않는다. 이때 휘도 조절 신호가 On인 시간과 Off의 시간의 비로 휘도가 결정된다. 이러한 방식은 실제적으로는 LED가 On/Off 되기 때문에 낮은 휘도에서 휘도 조절 신호의 주파수가 충분히 높지 않을 경우에 On되는 시간이 짧아 깜빡임(Flicker)현상이 일어날 수 있고, 밝은 휘도에서도 실제로는 깜빡이고 있기 때문에 눈에 피로감을 줄 수 있다[4].

### 2.2. PWM방식의 LED 제어 회로

Fig. 2와 같이 기존의 LED제어 회로는 마이크로 프로세서 등의 제어기에서 PWM신호를 생성하여 FET로 보낸다. 이때 FET의 스위칭 동작으로 특정 전류  $I_L$ 이 흐르게 되고 사용자가 원하는 전류값인  $I_{REF}$ 를 전류센서를 통해  $I_L$ 과 비교하여 OP Amp에서 에러값인  $V_{ero}$ 가 출력된다. Op Amp에서 출력된  $V_{ero}$ 는 마이크로프로세서를 통해 처리되어  $I_L$ 이  $I_{REF}$ 보다 높으면 PWM과

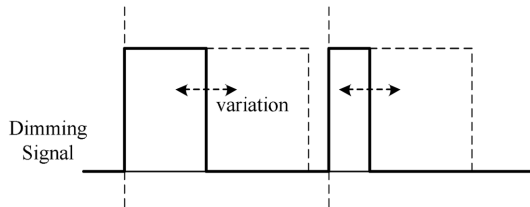


Fig. 1. Dimming signal control method using PWM.

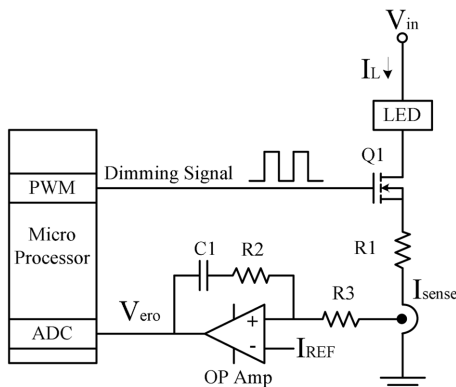


Fig. 2. LED driver circuit using PWM.

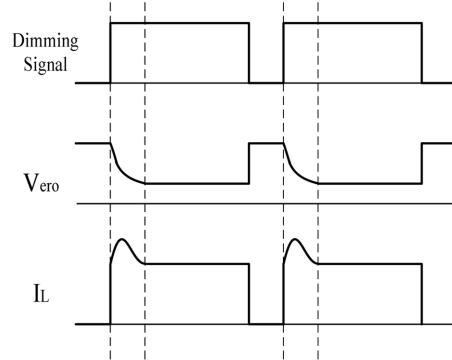


Fig. 3. Waveform of LED driver.

형의 Duty를 줄이고  $I_L$ 이  $I_{REF}$ 보다 낮으면 PWM파형의 Duty를 줄이게 된다. 이때 휘도 조절 신호가 Off상태에서 On상태로 전환되면 저항과 커패시터 등으로 인해  $V_{ero}$ 전압이 Fig. 3과 같이 정상상태에 도달하기 위한 과도구간이 존재한다. 이때 제어기에서는  $V_{ero}$ 전압에 따라 최대 Duty에서부터 줄어들게 되므로 전류  $I_L$ 도 초기 일정 구간동안 반드시 과도구간이 존재하게 된다. LED에 흐르는 전류  $I_L$ 의 과도구간은 정밀한 휘도제어를 필요로 하는 광학 줌렌즈와 같은 경우 휘도의 선형성 저하로 사용에 문제점이 있다[3].

## 3. 제안하는 LED 제어방법

### 3.1. DAC방식

기존의 PWM방식의 점멸(flicker)현상을 보완하기 위하여 본 논문에서는 DAC방식을 채택하였다. DAC는 Digital to Analog Converter의 약자로 Analog방식의 한 종류이다. 마이크로프로세서의 DAC기능을 이용하거나 DAC IC를 사용하여 전압을 0V~3.3V까지 출력할 수 있다. Fig. 5와 같이 LED제어 시스템에서는 이 기능을 이용하여 휘도 조절 신호를 제어한다.

Fig. 6은 기존의 DAC를 이용한 LED제어 회로의 한 예이다. 이 회로는 DAC출력이 0V이면 전류가 흐르지 않아 LED가 꺼지고 DAC 출력이 3.3V가 되면 LED밝기가 최고에 이르게 된다. 그러나 이 회로는 마이크로프로세서 또는 DAC IC의 특성상 DAC출력을 0V로 설정해주어도 정확히 0V가 나오지 않는 경우가 있다. 이러한 점은 낮은 휘도를 설정해주어야 할 때 DAC출력이 불안정하기 때문에 정확한 제어를 할 수 없다[4].

### 3.2. Negative Offset 회로

DAC의 출력이 IC의 특성에 따라 0V를 출력하려 해

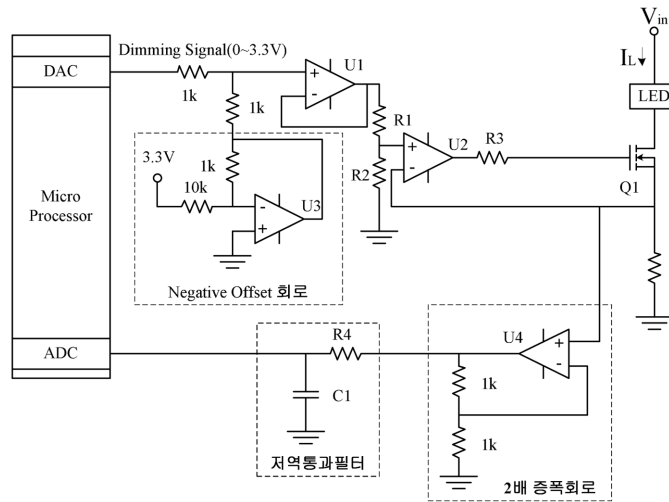


Fig. 4. Proposed LED driving circuit.

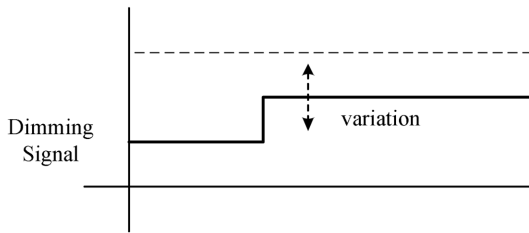


Fig. 5. Dimming signal control method using DAC.

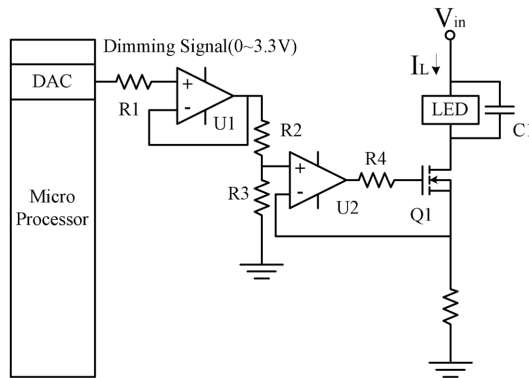


Fig. 6. LED driver circuit using DAC.

도 0V가 출력되지 않고 미세전압이 출력되는 경우가 있기 때문에 Negative Offset 회로를 적용시켰다. DAC의 출력전압이 Negative Offset 회로에 의하여 전압강하가 일어나기 때문에 초기의 미세전압을 음의 값으로 떨어뜨릴 수 있다. FET의 Gate단 입력전압이 음의 값이 입력되면 전류가 흐르지 않게 된다. 이러한 원리를 이용해 미세 전류를 차단할 수 있게 된다.

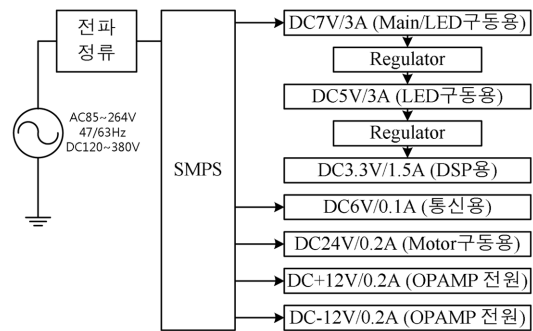


Fig. 7. SMPS block diagram.

### 3.3. ADC Feedback기능

ADC는 Analog to Digital Converter의 약자로 Analog신호를 Digital 값으로 변환해준다. 본 논문에서 제안하는 회로에서는 마이크로프로세서 내부의 16비트 ADC를 이용하여 전류를 입력 받아 실제 LED에 흐르는 전류와 사용자가 원하는 전류를 비교하여 보다 정확한 전류를 출력한다[5].

### 3.3. SMPS설계

LED의 전류를 정밀하게 제어하기 위해서는 LED의 입력 전원이 정밀해야 한다. 그러므로 정밀한 Power의 설계가 중요하다. 제안한 시스템에서는 SMPS를 전원 공급장치로 선택하였다. SMPS란 Switching Mode Power Supply의 약자로 상용전원으로부터 공급되는 교류 전원을 정류회로와 고속 전력 반도체, 트랜스포머를 이용해 직류 전원으로 변환시켜주는 직류전원 장치

이다. 광학 줌렌즈를 위한 LED제어 시스템은 비교적 소형이고 신뢰성이 좋은 SMPS를 직류 전원 공급장치로 선택하였다[6].

#### 4. 실험 결과 및 설계

본 논문에서 제안하는 회로의 특성을 파악하기 위하여 실험을 하였다. 이를 위해 마이크로 프로세서의 DAC를 통하여 0~3.3 V의 휘도 조절 신호(Dimming Signal)를 입력하고, 입력이 0V일 때의 LED전류와 입력 전압변화에 따른 LED전류, 입력 전압의 변화에 따른 ADC Feedback 전압을 실험을 통하여 측정하였다. Fig. 8의 파형은 마이크로프로세서의 DAC를 통해 출력한 휘도 조절 신호와 휘도 조절 신호를 Negative Offset 회로를 통해 전압을 강하시킨 파형이다.

Fig. 9은 Negative Offset회로의 전압강하로 인한 전류파형의 변화를 나타내고 있다. 전압강하가 일어나지 않는다면 휘도 조절 신호와 LED의 전류 파형이 비슷한 형태여야 한다. 그러나 FET의 Gate간에 0V이하가 걸리면 전류가 흐르지 않기 때문에 Negative Offset회로로 인하여 전류가 0A인 구간이 발생한다.

Fig. 10은 휘도 조절 신호에 따라 마이크로프로세서의 ADC에 입력되는 전압을 나타내고 있다. ADC를 통하여 휘도 조절 신호에 따라 전류가 정확하게 흐르고 있는지 확인할 수 있다.

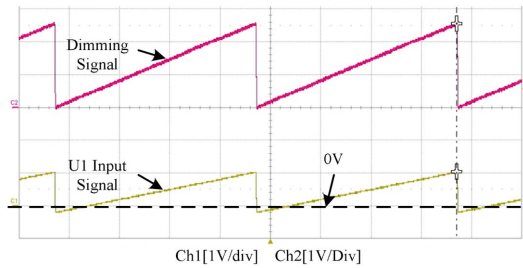


Fig. 8. Waveform of negative offset.

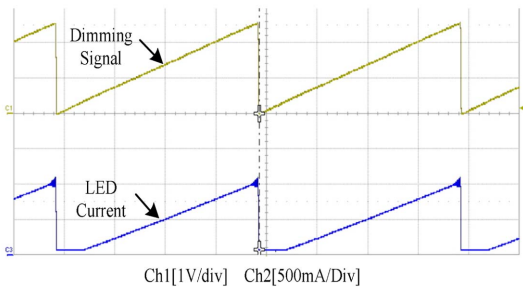


Fig. 9. Waveform of LED current.

Fig. 11은 Negative Offset 회로로 인한 전류파형을 나타내고 있다. 휘도 조절 신호는 120 mV가 출력되고 있는데 LED전류는 0A인 것을 볼 수 있다.

Fig. 12은 낮은 휘도를 설정할 때의 LED전류를 나타내었다. PWM방식과는 달리 파형이 일정하기 때문에 점멸현상이 없다. 또한 매우 낮은 전류도 제어할 수 있기 때문에 단일 LED를 제어하는데 있어서 PWM방식보다 적합하다.

Fig. 13은 LED에 공급되는 메인 전원을 오실로스코프로 측정한 파형이다. 파형이 흔들림이 없고 안정적이다. 메인 전원이 흔들리면 저 전류에서 LED의 점멸현상이 일어날 수 있다.

Table 1은 SMPS의 Main전원의 전압을 측정하였다.

Fig. 14은 실제 줌렌즈를 구동하여 CCD카메라와 컴퓨터 UI를 이용하여 찍은 사진이다. 배율에 따른 휘도를 정확히 제어해주지 못하면 화면은 검게 나오거나 하얗게 나오게 된다.

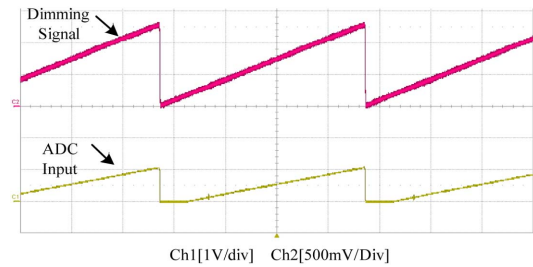


Fig. 10. Waveform of ADC input and dimming signal.

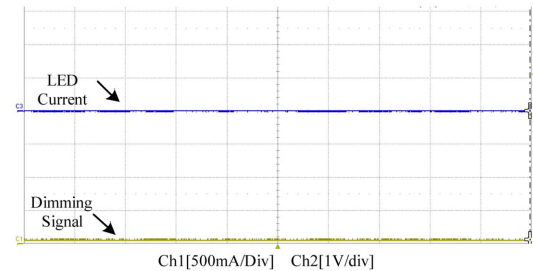


Fig. 11. Waveform of LED current with negative offset.

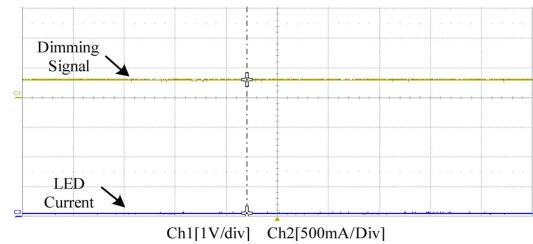
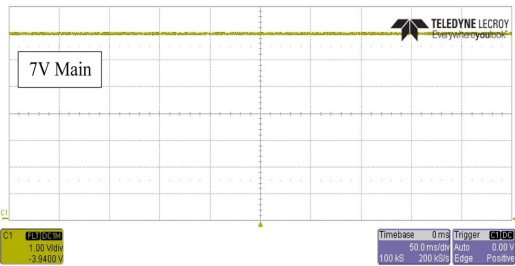


Fig. 12. Waveform for low contrast.

**Table 1.** SMPS Main Power Test

시료	Main 전원(V)	오차(%)
1	7.02	+0.29
2	7.01	+0.14
3	6.95	-0.71
4	7.03	+0.43
5	7.03	+0.43

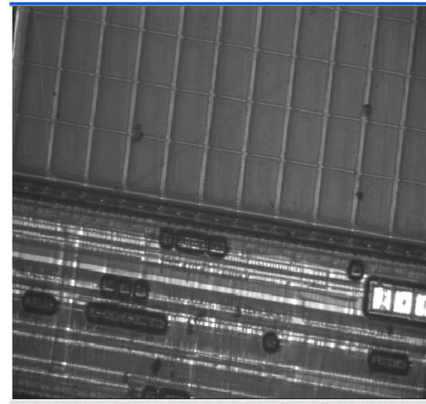


**Fig. 13.** Waveform of 7V main and LED power.

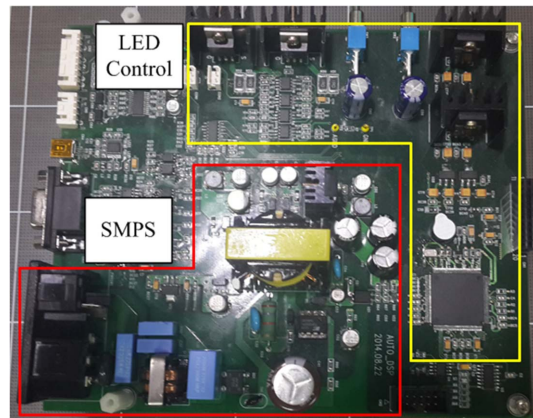
Fig. 15는 본 논문에서 제안한 LED조명 제어 시스템을 적용한 줌 렌즈 드라이버이다. 크게 SMPS 전원부와 LED제어부로 나눌 수 있다. LED제어에 마이크로 프로세서를 사용하여 신뢰성을 높였다.

### 5. 결 론

광학 줌렌즈의 제어 시스템은 현재 90%이상이 외국 제품에 의존하고 있다. 줌렌즈 제어 시스템은 대부분 LED 구동과 모터의 구동부가 각각 분리 되어 있어 동시에 제어하기가 불편하고 정밀한 제어를 위해서는 복잡한 배선으로 인하여 신뢰성이 저하될 가능성이 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 본 논문은 LED 구동과 모터의 구동부를 하나로 일체화 하였고 아울러 기존의 LED제어 시스템과 달리 PWM방식을 사용하지 않고 DAC방식을 사용함으로써 LED 점멸현상을 차단하고, 저 전류 제어를 보다 정밀하게 할 수 있게 되었다. 또한 광학 줌렌즈의 LED제어 시스템은 배율에 따른 LED 휘도를 정확하게 제어해야 하기 때문에 마이크로 프로세서 내부의 16비트 ADC를 이용해 현재 상태를 지속적으로 Feedback받아 외부 온도의 변화 등으로 인한 전류의 변화를 계측해 오차를 줄일 수 있었다. 또한 LED제어 시스템의 DAC출력전압이 0V를 출력할 때 0V가 나오지 않고 미세전압이 흐르게 된다. 미세전압이 흐르면 FET의 게이트단에 미세전압이 입



**Fig. 14.** Photo using the zoom lens.



**Fig. 15.** Proto-type for proposed zoom lens driver.

력되어 LED에 전류가 흐르게 되어 LED가 점등 되게 된다. 이러한 문제점을 방지하기 위해 본 논문에서는 Negative Offset회로를 설계하여 DAC 출력단에 부착하여 DAC출력이 0V일 때 전압강하가 일어나 미세전압으로 인하여 LED가 점등되는 것을 방지한다.

결론적으로 본 논문에서 제안하는 LED제어 시스템은 LED를 구동하는데 있어서 기존의 방식에 비하여 매우 안정적이며 정밀하고 특히 저 전류 제어시의 문제점을 보완하였으며 또한 본 논문에서 제안한 회로와 알고리즘을 적용하였을 때 제어특성이 우수하여 상용화의 가능성을 제시하였다.

### 감사의 글

이 논문은 2014년도 청주대학교 연구장학 지원에 의한 것임.

### 참고문헌

1. Jin-Ho Ahn, Kyoung-Woon Son, Kwang-Yeon Kim, "Stochastic PWM Dimming Method for Brightness Control of a Large LED Screen", JKIIIT, vol.4, No.9, pp.41-49, 2011
2. Yu-Cheol Park, Hee-Jun Kim, Gyun Chae, Ju-Won Baek, "Study on the LED BLU Driving Circuit with a Local-dimming Structure", TKIEE, vol.2, No.58, 292-300, 2009
3. Cherl-Jin Kim, Nak-Jun Choi, Hwa-Jun Lee, Eung-Seok Kim, "The Characteristic of LED Driving circuit with PWM dimming control" TKIEE Conference, pp. 191-193, 2010.4
4. Young-Nam Yoon, Sang-Hyun Lee, Sang-Ho Cho, Sung-Soo Hong, Chang-Sub Kim, Hyo-Bum Lee, and Sang-Kyoo Han, "Zero-Transient Current Control Method for PWM Dimming of LED" TKPE, vol.1, No.16, pp. 64-70, 2011
5. Seung-Woo Lee, Nam-Hee Yu, Seong-Ik Cho, Hong-Gyu Shin, "Driver Design with Linear Feedback Function for the Optimum Power Consumption of LED BLU" TKIEE, vol.10, No.61, pp. 1513-1517, 2012
6. Sang-Ho Cho, Sang-Kyoo Han, Sung-Soo Hong, Sug-Chin Sakong, Gi-Hyun Kwon, Hyo-Bum Lee, Chung-Wook Roh, "Design and Application of CCFL Drive Inverter Transformer for LCD Backlight" TKPE, vol.2, No.13, pp. 96-102, 2008

---

접수일: 2014년 12월 2일, 심사일: 2014년 12월 12일,  
 게재확정일: 2014년 12월 22일