

# LED 무대조명용 정전류 구동회로의 설계

정광현, 김평무, 박종연  
강원대학교 IT대학 전기전자공학과

## A design of constant current driving circuit for LED stage light

Kwang-hyun Jung, Pyung-moo Kim, chong-yeun Park  
Dept. of Electrical and Electronic engineering, Kangwon National University

### ABSTRACT

최근 고효율 LED의 기술적 진보에 따라 여러 분야에서 LED의 적용 시도가 확산되고 있다. 그 중 LED 무대조명은 조도 제어범위가 넓어 매우 낮은 전력에서 LED를 정전류로 구동할 필요가 있다. 본 논문에서는 200Watt급 RGBW Moving Light를 매우 낮은 전력까지 구동하기 위하여 DC 전류제어 디밍 방식을 적용하였으며, 이를 위한 회로를 설계하여 이를 실험적으로 검증하였다.

### 1. 서 론

최근 LED는 에너지 절감, 친환경성, 제어의 용이성 등의 이유로 인하여 보급이 빠르게 확산되고 있다.<sup>[1]</sup> LED를 이용한 무대조명은 많은 응용분야 중의 하나이며, 제어의 용이성이 가장 크게 부각되는 분야이다.

무대조명용 조명기기 중 색을 연출하기 위한 LED 조명기기는 R(red),G(green),B(blue),W(white) 각각의 LED를 이용하여 색을 혼합하여 사용한다. 따라서 많은 색을 연출하기 위해서는 각 색에 대한 분해능이 높아야 하므로, 각 R,G,B,W에 해당하는 LED Driver의 디밍 분해능 및 범위가 높아야 하며, 디밍 레벨 변화 시 빛의 떨림 현상이 발생하지 않도록 하여야 한다.

LED 구동회로는 PFC 및 DC/DC 컨버터 부와 LED 각 열의 전류를 제어하는 정전류 회로부로 크게 구분할 수 있으며, 본 논문에서는 정전류 회로부의 설계를 통하여 매우 낮은 전력에서도 빛의 떨림현상(Flicker)이 발생하지 않고, 디밍 분해능이 높아질 수 있도록 하였으며, 이를 실험을 통하여 확인하였다.

### 2. LED Moving Light System

본 논문에서 사용되는 LED Moving Light의 블록다이어그램은 그림1과 같다. 그림에 나타난 것처럼 각 RGBW에 대한 제어는 각 열마다 전류제어 회로를 따로 두어 구성하였으며, 입력전압은 앞단의 PFC 및 DC/DC 컨버터를 통하여 구성된다. 각 RGBW LED는 20개씩이며, LED 10개를 직렬로 연결하여 전류제어 회로는 각 색 당 2개가 되도록 구성하였다. LED는 LUXON Rebel LXML계열을 사용하였다.

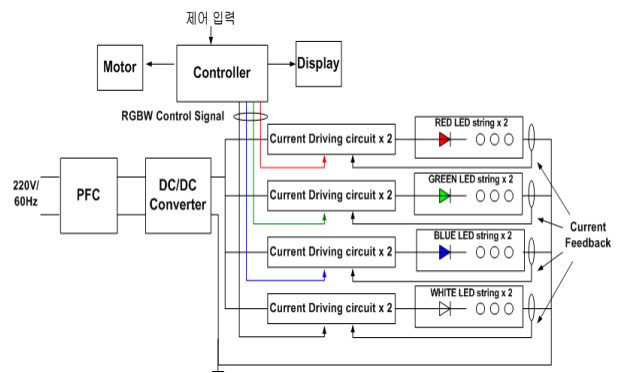


그림 1 LED Moving Light 시스템 블록다이어그램  
Fig. 1 A block diagram of LED moving light system

### 2.1 디밍 방식의 선정

LED의 디밍 방법은 PWM 디밍 방식과 전류제어 디밍 방식으로 구분 할 수 있다.

먼저 PWM 디밍 방식은 LED의 ON/OFF를 반복하여 이 주기 안에서 Duty를 제어함으로써 빛의 밝기를 조절하는 방식으로 300Hz 이상의 주파수로 PWM 제어를 하면 연속적인 빛의 형태로 나타나게 된다.<sup>[2]</sup> 이러한 방법은 LED의 color shift 현상이 전류제어 디밍 방식보다 적다는 장점이 있으나<sup>[3]</sup>, 전류제어 컨버터의 ON 시 과도응답특성에 의해 낮은 레벨에서의 디밍이 어렵고, 동영상 촬영 시 PWM의 OFF 된 LED가 화면에 나타나는 문제점이 있다. 방송용 동영상 촬영의 주로 사용되는 CMOS 방식의 동영상 촬영장비의 경우 frame수는 초당 60 frame 정도이나, 화면을 분할하여 더 높은 주파수로 센싱하기 때문에 더 높은 PWM 주파수로 디밍하여야 이러한 현상이 없어지게 된다. 그러나 더 높은 PWM 디밍 주파수의 사용은 결국 디밍 시의 분해능 및 낮은 레벨에서의 디밍이 어려워지게 된다.

전류제어 디밍 방식의 경우 컨버터의 설계에 의하여 저 레벨 디밍에서 빛의 흔들림이 없이 제어할 수 있으며, 분해능을 높일 수 있다는 장점이 있다. 또한 동영상 촬영 시 문제되는 점 또한 없다. 그러나 앞서 설명하였듯이 color shift 현상은 PWM 디밍 방식에 비해 높아지게 되나, 본 논문의 목적인 LED Moving Light의 경우 RGBW LED를 이용하여 색을 혼합하여 사용하기 때문에 각 색의 적절한 조합 즉, 각 색이 변한 만큼 다른 색을 섞는 제어를 통하여 이러한 단점을 보완할 수 있다

## 2.2 구동회로의 설계

본 논문에서의 전류제어회로는 벡 컨버터를 이용하였으며, 그림1에서 전류제어회로의 앞단인 DC/DC 컨버터를 절연형태로 구성하여 부하 측과의 절연을 유지하도록 하였다. 또한 전류제어회로의 입력은 40V이며 그림 2에 1개의 열에 대한 전류제어회로를 나타내었다.

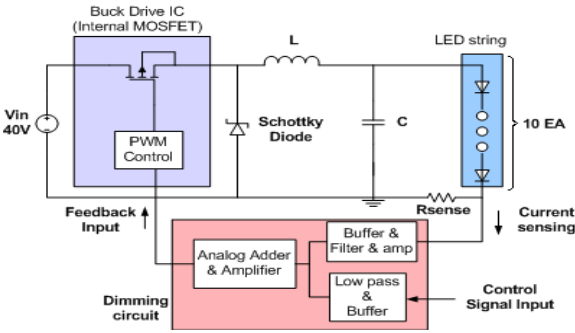


그림 2 LED 전류제어 회로  
Fig. 2 A constant current control circuit

전류제어회로 구성 시 그림2에 나타낸 것처럼 내장 FET 타입의 벡 컨버터 IC 인 AP1501을 이용하여 구성하였으며, 외부에 디밍회로를 추가하여 디밍신호가 전류 센싱신호에 더해져 PWM을 Duty를 조절함으로써 LED의 전류를 조절하도록 하였다.

최소 디밍 레벨에서의 LED 전류는 10mA이며, 목표하는 LED의 정격 전류는 700mA이다. 낮은 디밍 레벨에서 정상적으로 동작하려면 벡 컨버터가 전류연속모드로 동작하도록 벡 컨버터의 L값이 선정되어야 한다. 먼저 전류연속모드에서의 벡 컨버터의 출력식은  $V_o = DV_{in}$ 이며 여기서 전류연속모드로 동작할 조건에 대한 식을 구해보면 다음의 식 (1)과 같다.

$$L > \frac{D(1-D)}{2I_o} V_i \cdot T \quad (1)$$

여기서 듀티의 범위를 구하려면 LED의 특성을 살펴봐야 한다. 먼저 최대 듀티를 구하기 위해 [4]를 보면 목적하는 700mA에서  $V_F$ 는 GBW LED가 3.4V Red LED가 3.6V이다.

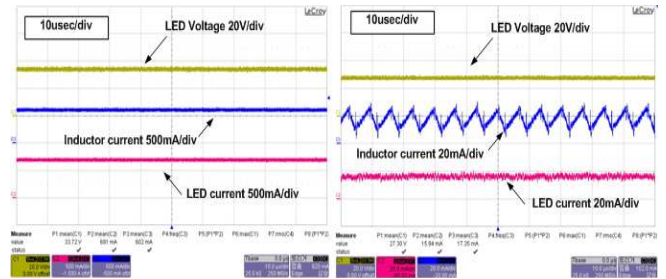
LED는 직렬 10개로 구성되어 있으므로  $V_{o,max} = 36V$ 이며,  $D_{o,max}$ 는 0.9가 된다. 목적하는 최소 전류의  $V_F$ 는 [4]에 명시되어 있지 않으나 10mA에서 측정결과 GBW LED가 2.6V, Red LED가 2V로 측정되었다. 따라서  $V_{o,min} = 20V$ 이며  $D_{o,min}$ 은 0.5가 된다. T는 AP1501의 고정 스위칭주파수인 150kHz로 놓은 후 경계조건에서의 인덕턴스 값을 구해보면 전류가 최대일 때  $L = 17\mu H$ , 전류가 최소일 때 3.3mH가 된다.

위의 결과에 의거하여 전류제어회로의 인덕턴스 값은 3.3mH로 하였으며, 출력전압의 리플은 LED 전류의 큰 변화를 주게 되므로 리플이 작아질 수 있도록 ESR을 고려하여 47 $\mu H$ 로 하였다.

## 2.3 실험결과

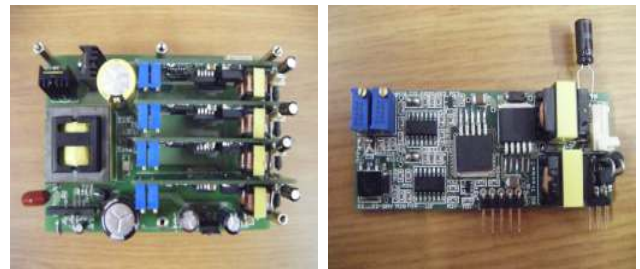
설계된 전류제어회로를 이용하여 정상 상태시와 Dimming시 White LED의 10개에 대한 출력 전압 및 전류파형을 그림 3에 나타내다. 그림3에 나타난 것처럼 최저 디밍 레벨에서도 인덕

터 전류가 전류연속모드로 동작하여 플리커가 발생하지 않음을 확인할 수 있다. 또한 Prototype으로 제작된 DC/DC Converter 및 2채널 LED 전류제어 회로를 그림 4에 나타내었다.



(a) 최대 밝기 (b) 최소 밝기  
그림 3 측정된 출력 전압 및 전류 파형

Fig. 3 Measured output voltage and current waveform



(a) DC/DC 컨버터 및 RGBW (b) 2채널 전류제어회로

그림 4 Moving Light의 LED 구동 회로 프로토타입

Fig. 4 Prototype of LED Driving circuit for Moving Light

## 3. 결론

본 논문에서는 무대조명용 LED Moving Light에서 LED의 색을 조절하는 LED 전류제어회로를 설계 및 제작하였다. 무대조명용 LED 구동장치에 많은 색을 연출하기 위하여 각 색마다 넓은 디밍 범위 및 분해능이 높은 LED 제어 회로를 요구하며, 방송용 장비로 측정하였을 시 플리커현상이 생기지 않아야 한다. 따라서 본 논문에서는 전류제어 디밍방법을 적용하고, 최소 디밍 시에 전류제어 컨버터를 전류연속모드로 동작시킬 수 있도록 설계하였다. 설계된 회로를 이용하여 측정해본 결과 최저 디밍레벨에서 플리커현상 없이 동작하는 것을 확인하였으며, 동영상 촬영 시에도 문제가 없음을 확인하였다.

## 참고 문헌

- [1] J. Y. Tsao, "Solid-state lighting: Lamps, chips, and materials for tomorrow", IEEE Circuits Devices Mag., vol. 20, no. 3, pp. 28-37, May/June. 2004
- [2] Anshul Gulati, "Modulation Techniques for LED Dimming", CYPRESS perform, Application note AN49262 pp. 1-10, 2008.
- [3] M. Dyble, N. Narendran, A. Bierman and T. Klein, "Impact of Dimming White LEDs: Chromaticity Shifts Due to Different Dimming Methods", Proc. SPIE 5941, pp.291-299, 2005.
- [4] Phillips, Technical datasheet DS56