

LED에 의한 무대조명의 조도제어 시스템

Dimming control system of stage lighting by using LED

박종연* 이규민**
Park, Chong-Yeun Lee, Kyu-Min

Abstract

Unlike the general lighting systems, stage lighting system requires accurate dimming control and reduction of flicker phenomenon.

In this paper, we studied PWM dimming control and linear voltage level control methods. PWM Dimming is easy control and flicker phenomenon of linear voltage level dimming does not happen by experiment result. We concluded that stage lighting dimming system required to combine two techniques of the PWM and linear voltage level dimming control method.

키워드 : LED, 조도제어, 빛의 떨림현상, 펄스 폭 변조방법

Keywords : LED(Light Emitting Diode), Dimming, flicker, PWM(Pulse Width modulation)

1. 서론

최근 LED는 친환경성, 에너지 절감, 제어의 용이성 등의 이유로 인하여 보급이 빠르게 확산되어 가고 있다[1]. 현재 디스플레이 일반조명 그리고 무대조명에 이르기까지 많은 분야에 대한 연구가 진행되고 있다. 그 중 무대조명은 제어의 용이성이 가장 크게 부각되는 분야이다.

무대조명용 조명기기는 색을 연출하기 위해 R(Red), G(Green), B(Blue), W(White) 각각의 LED를 이용한다. 색을 혼합하여 연출하기도 하기 때문에 색에 대한 분해능이 높아야 한다. 그래서 R,G,B,W에 해당하는 LED Driver의 Dimming 분

해능 및 범위가 높아야 하며, Dimming 레벨 변화 시 빛의 떨림 현상이 발생하지 않도록 해야 한다.

본 논문에서는 매우 낮은 전력에서도 빛의 떨림 현상(Flicker)이 발생하지 않고 분해능이 높은 Dimming 방법을 찾기 위해서 PWM Dimming과 전류제어 Dimming 방법을 비교하여 무대조명에 적합한 Dimming 방법을 알아보았다.

2. 본론

LED를 Dimming 방법은 PWM Dimming 방법과 전류제어 Dimming 방법으로 구분할 수 있다.

2.1 PWM Dimming

먼저 PWM Dimming 방법은 LED의 On / Off를 반복하여 이 주기 안에 Duty를 제어함으로써 빛의 밝기를 조절하는 방법으로써 300Hz 이상의

* 강원대학교 전기전자공학과 교수, 교신 저자

** 강원대학교 전기전자공학과 석사과정

주파수로 PWM 제어를 하면 연속적인 빛의 형태로 나타나게 된다[2].

표 1 사용소자

사용소자	제품명
LED	Lumileds DS65 10개
Buck Driver IC	AP1501
Schottky Diode	SB24
OP-Amp	LM3404
FET	IRF840

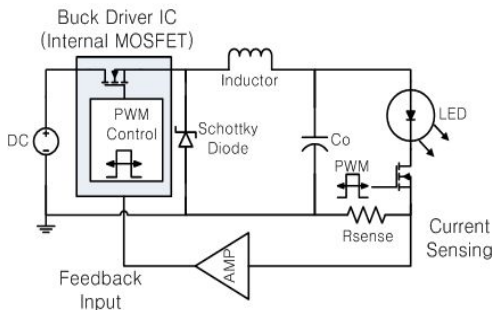


그림 1 PWM Dimming 회로

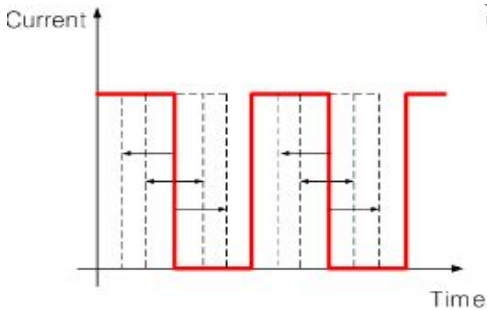


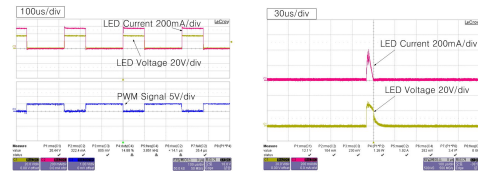
그림 2 PWM Dimming 에 따른 LED의 전류파형

Dimming을 구현하기 위한 회로는 인덕터가 부하와 직렬로 연결되어 정 전류 제어에 적합한 CCM(Continuous Conduction Mode) 벅 컨버터를 사용하였다[3]. 회로의 동작은 그림 1에서 알 수 있듯이 LED에 흐르는 전류를 센싱 받은 후 증폭기를 거쳐 벅 컨버터 IC의 feedback 전압으로 인가된다. feedback 전압은 벅 컨버터 IC 내부의 스위치 On/Off를 조절하며 그에 따라 출력 전류가 제어된다. PWM Dimming은 LED와 직렬로 연결된 스위치의 On/Off로 제어되며 그에 따라 LED에

흐르는 전류는 그림 2와 같이 된다.

그림 3은 PWM Dimming에 대한 실제 파형이다. LED에 흐르는 최대 전류는 600mA로 제한하였다. PWM 주파수는 사람이 인식하지 못하는 300Hz보다 높은 3.5KHz이며 벅 컨버터 IC의 스위칭 주파수는 150KHz이다.

만약 저 레벨 제어를 위해 Duty를 작게 할 경우 수십 us의 On 시간을 갖는 큰 주파수의 펄스 전류가 만들어진다. LED의 정 전류를 구동하기 위해 벅 컨버터로 구성하였기 때문에 큰 값의 L과 C가 연결되어 있고 이로 인해 그림 3의 (b)와 같이 전류가 600mA에 도달하지 못하고 다시 OFF되는 현상이 발생하게 된다. 따라서 PWM Dimming은 저 레벨에서의 Dimming이 어렵다.



(a) LED 전류 RMS 350mA 일때 (b) 저 레벨 Dimming일 때 RMS 100mA

그림 3 PWM Dimming 에 따른 LED의 전류파형

2.1.1 PWM Dimming에 따른 조도변화

구성한 회로를 바탕으로 PWM Dimming에 따라 나타나는 조도의 변화를 측정하였다. 측정 장비는 International Light사의 ILT900이며 무대조명에 쓰이는 R, G, B, W LED를 각각 실험하였다.

PWM Dimming에 따른 조도의 변화는 그림 4에서 알 수 있듯이 매우 선형적으로 변한다. 조도의 변화량이 R, G, B, W 모두 선형적이기 때문에 무대조명장치에서 제어가 용이하다.

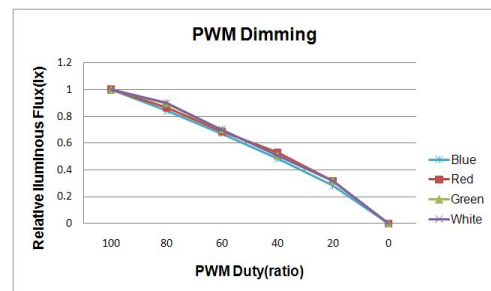


그림 4 PWM Dimming에 따른 조도변화

2.1.2 PWM Dimming에 따른 광색변화

PWM Dimming 일 때 광색의 변화를 측정하기 위해 delta uv 변화율을 측정하여 보았다. delta uv

는 CIE 1976에서의 좌표 변화율을 의미한다.

CIE 1976은 인간의 색채 인지에 대한 연구를 바탕으로 수학적으로 정의된 색 공간이다. 최근 영상 장비의 정확한 색 재현을 목적으로 이용되고 있다. 따라서 delta uv 값의 변화율은 광색의 변화를 나타낸다.

그림 5는 PWM Dimming에 따른 delta uv의 변화를 나타낸 그래프이다. 그림에서 알 수 있듯이 delta uv의 변화율은 0.02이하이다.

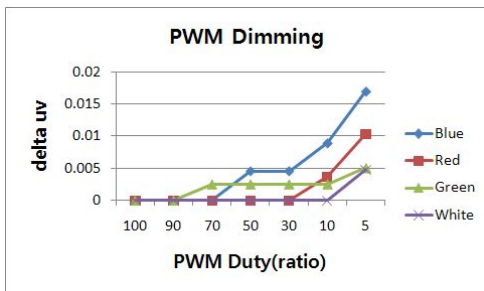


그림 5 PWM Dimming에 따른 delta uv변화

2.1.3 무대조명에서의 PWM Dimming

무대조명은 방송용 디지털 카메라로 촬영을 하기 때문에 방송 화면에 문제가 없어야 한다. 그러나 PWM Dimming은 동영상 촬영 시 PWM의 OFF된 LED가 화면에 나타나는 문제점이 있다. 방송용 촬영에 주로 사용되는 CMOS 방식의 동영상 촬영 장비의 경우 frame이 초당 60 frame 정도이나, 화면을 분할하여 더 높은 주파수로 센싱을 하기 때문에 이러한 문제가 발생한다. 이 현상은 더 높은 PWM 주파수로 Dimming 하여야 없어지게 된다. 그러나 더 높은 PWM Dimming 주파수의 사용은 결국 Dimming 시의 분해능 및 낮은 레벨에서의 Dimming을 어려워지게 한다.

2.2 전류제어 Dimming

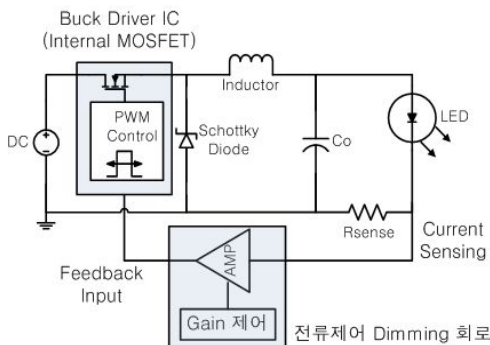


그림 6 전류제어 Dimming 회로

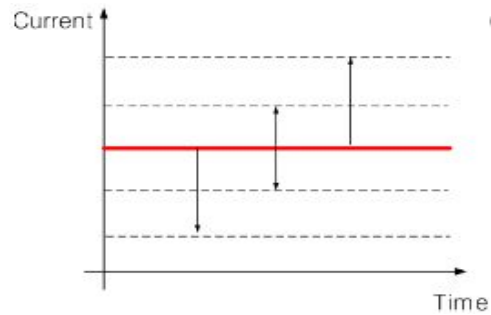


그림 7 전류 제어 Dimming에 따른 LED 전류파형

전류제어 Dimming 회로는 정 전류를 구동시키기 위해 전류 센싱을 받는다. 이 신호는 증폭기를 거쳐 벡 컨버터 IC의 feedback 전압으로 인가해 준다. 여기에 이득 조정기를 인위적으로 조정하여 feedback 전압을 조절한다. feedback 전압에 따라 벡 컨버터 IC 내부 스위치의 Duty 조절로 출력되는 전류를 제어하는 원리이다. 출력 전류에 영향을 주는 feedback DC 전압의 조절은 LED에 흐르는 전류를 그림 7과 같이 조정한다.

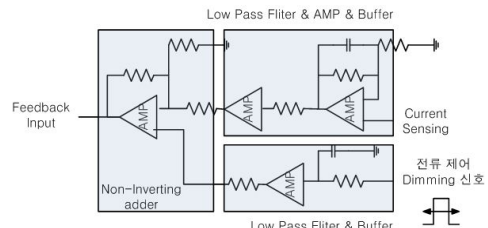
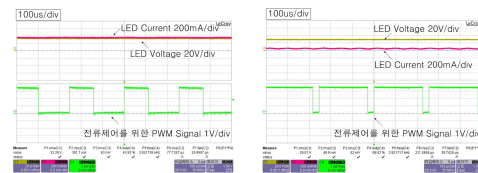


그림 8 전류제어 Dimming 회로

전류제어 Dimming 회로는 그림 8과 같다. 인위적으로 feedback 전압을 제어하기 위해서 전류 센싱한 신호의 잡음을 제거하고 PWM 신호를 DC로 정류한 신호와 더 하게 된다. 전류제어 Dimming 신호를 PWM 신호로 하여서 분해능이 DC 신호로 주었을 경우보다 높다.



(a) LED 전류 RMS 350mA 일때

(b) 저 레벨 Dimming일 때 RMS 100mA

그림 9 전류 제어 Dimming에 따른 LED 전류파형

그림 9는 전류제어 Dimming에 따른 실제 파형이다. 파형에서 알 수 있듯이 전류제어 Dimming 신호는 PWM 신호로 하였으며 주파수는 3.5Khz이다. 그림 9의 (b)에서 LED에 흐르는 전류의 RMS 값은 50mA로서 저 레벨의 Dimming이 가능하다는 것이 확인된다.

2.2.1 전류제어 Dimming에 따른 조도변화

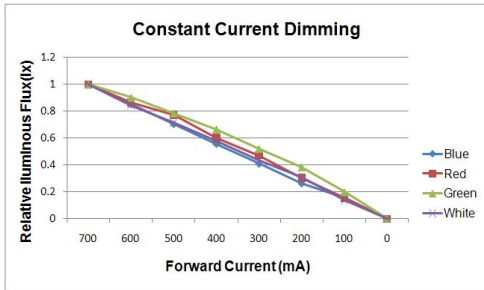


그림 10 CC Dimming에 따른 조도변화

그림 10는 전류제어 Dimming에 따른 조도의 변화량을 나타낸 그래프이다. 전류제어 Dimming 역시 PWM Dimming과 마찬가지로 조도가 선형적으로 변하기는 하지만 R, G, B, W에 따라 약간의 차이가 있으며 변화량이 조금 불규칙한 것을 알 수 있다. 따라서 PWM Dimming과 달리 각 색에 따른 제어 신호가 달라야 한다.

2.2.2 전류제어 Dimming에 따른 광색변화

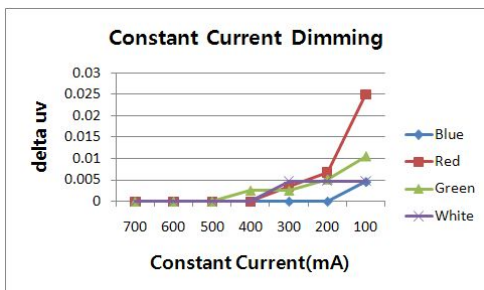


그림 11 CC Dimming에 따른 delta uv변화

그림 10은 전류제어 Dimming에 따른 delta uv의 변화율을 나타낸 그래프이다. PWM Dimming보다 광색의 변화가 크다. 그러나 이 값은 미국 에너지 표준 기관 Energy Star에서 정한 인식 가능한 색의 변화율 $\Delta uv = 0.06$ 보다 작으므로[4] 광색의 변화를 사람의 인식이 어렵다.

2.2.3 무대조명에서의 전류제어 Dimming

전류제어 Dimming의 경우 LED가 항상 On상태에 있기 때문에 방송용 디지털 카메라로 촬영 시 방송 화면에 문제가 발생하지 않고 저 레벨의 Dimming이 가능하므로 Dimming 범위가 넓다. 그

러나 Dimming 회로가 PWM Dimming 회로보다 복잡하기 때문에 단가가 상승하며 제어의 용이성이 PWM Dimming보다 떨어진다.

3. 결론

본 논문은 무대조명에 적합한 Dimming 방법을 찾기 위해 PWM Dimming과 전류제어 Dimming을 비교하였다.

실험 결과 PWM Dimming은 조도의 변화가 선형적이고 광색의 변화가 적다. 그리고 제어의 용이성이 크다는 장점을 가진다. 그러나 저 레벨에서는 Dimming이 힘들고 방송화면에 OFF된 LED까지 나타나기 때문에 무대조명으로 PWM Dimming 방법을 단독으로 사용하기 어렵다.

선형 전압 레벨제어에 의한 전류제어 Dimming은 조도의 변화가 색마다 차이가 있고 광색의 변화가 크다. 그러나 광색의 변화는 사람이 인식하기 힘들고 저 레벨의 Dimming이 가능하다. 그리고 방송용 디지털 카메라로 촬영 시 화면에 문제가 발생하지 않기 때문에 무대조명의 Dimming 방법은 전류제어 Dimming 방법과 PWM Dimming 방법이 복합되어야 적합하다.

참고 문헌

- [1] J. T. Tsao "Solid-state lighting : Lamp, 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] EE Technical Feature "고휘도/하이파워 LED의 활용", *월간 전자기술*, pp.27-28, 2006년 9월.
- [4] Energy Star, *Program Requirements for Integral LED Lamps*, Eligibility Criteria-Version 1.1, pp. 13, Amended-March 22, 2010.