

LED 무대조명의 조도제어기법

이규민, 최왕섭, 박종연
강원대학교 전기전자공학과

Dimming control method for LED stage lighting system

Kyu-Min Lee, Wang-Seop Choe, Chong-Yun Park

Dept. of Electrical and Electronics Engineering, Kangwon National University

ABSTRACT

최근 반도체 산업의 비약적 발전으로 고효율 LED 광원 시스템 개발이 확대되고 있다. 그 중 무대조명 분야는 색 연출의 필요성으로 넓은 조도제어(Dimming) 범위가 필수적이다. 본 논문에서는 방송장비의 높은 센싱 속도로 인하여 화면에 생기는 빛의 떨림 현상 제거와 0~100%의 넓은 조도제어 범위를 구현하기 위해 Analog 조도제어와 PWM 조도제어를 결합한 조도제어 방법을 제안하였으며, 이를 위한 회로를 설계하고, 이를 실험적으로 검증하였다.

1. 서론

최근 LED는 에너지 절감, 친환경성, 제어의 용이성으로^[1] 영상표시장치로 사용뿐만 아니라 기존 할로겐 조명, 형광조명에 이어 방송조명에도 사용되고 있다.^[2] 아직은 연출하는 효과용으로만 사용되고 있지만, 단점인 카메라에서 영상을 픽업했을 때 나타나는 LED 휘도의 개선과 투사거리에 따른 직진성이 확보된다면 드라마나 인물조명을 위해 기존의 할로겐, 형광광원과 함께 사용될 것으로 예상된다.^[3]

LED 무대조명은 R(red), G(green), B(blue), W(white) LED로 구성되며 색을 혼합하여 많은 색을 연출할 수 있다. 따라서 많은 색을 연출하기 위해서는 넓은 조도제어 범위가 필수적이다. 조도제어 방법은 PWM 조도제어와 Analog조도제어로 나뉜다. PWM 조도제어는 LED의 On/Off를 반복하여 이 주기 안에서 On 구간을 제어하여 빛 밝기를 조절하는 방법이다. 그러나 이 방법은 방송장비의 센싱 속도로 인해 LED의 Off 구간이 방송 화면에 나타나게 되어 빛의 떨림 현상이 발생한다. Analog 조도제어는 LED의 전류 크기를 제어하는 방법으로 연속적으로 전류가 흐르기 때문에 방송 화면에 빛의 떨림 현상이 발생하지 않는다.

본 논문은 0~100%의 넓은 조도제어 범위를 구현을 위해 Analog 조도제어와 PWM 조도제어를 결합한 조도제어 방법을 제안하였다. 또한 빛의 떨림 현상을 제거하기 위해 LED의 출력전류를 연속적으로 흐르도록 LED 정전류 구동회로를 설계하였으며, 이를 실험으로 통하여 검증 하였다.

2. 본론

2.1 LED 무대조명 시스템

본 논문에서 사용되는 LED 무대조명은 그림 1과 같이 역률 보상을 위한 PFC, 절연을 위한 LLC 컨버터, LED 구동회로, 조도제어를 위한 컨트롤러로 구성된다. R,G,B,W LED 배열은 각 색마다 한 열로 구성하였으며 개별적인 제어를 위해 열마다 전류제어회로로 구성된다.

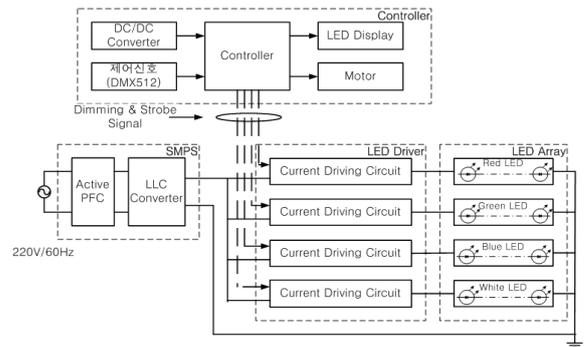


그림 1 LED 무대조명의 블록다이어그램
Fig. 1 A block diagram for LED moving light system

2.2 제안한 조도제어기법

빛의 떨림 현상은 방송장비의 센싱 속도보다 높은 주파수의 PWM으로 조도제어를 하거나 Analog 조도제어로 제거된다. 하지만 높은 PWM 주파수는 효율을 감소시키고 전류제어 컨버터의 On 시 과도응답특성으로 인하여 낮은 레벨에서의 조도제어가 어렵다. Analog 조도제어는 전류와 광량의 비선형적 특성으로 제어의 분해능이 높아야 한다. 그러므로 본 논문은 그림 2와 같이 낮은 레벨에서는 PWM 조도제어를 높은 레벨에서는 Analog 조도제어를 사용하여 낮은 분해능으로 넓은 조도제어 범위를 갖고 PWM 조도제어 시에도 출력 전류를 연속적으로 흐르게 하여 빛의 떨림 현상을 제거하였다.

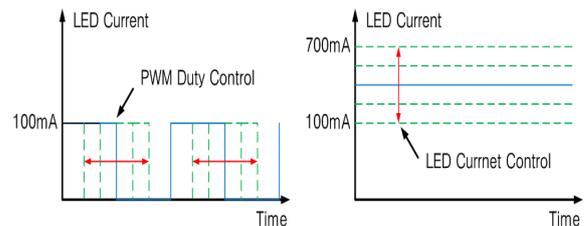


그림 2 제안한 조도제어기법
Fig. 2 Proposed illumination control method

조도제어의 기준전류 70mA는 LED의 정격 전류가 700mA 일 때 조도량이 10%가 되는 구간이다. 전류에 따른 광량이 비선형적이므로 낮은 레벨에서의 분해능을 높이기 위하여 전체 조도의 10% 구간을 기준으로 하였다.

제안한 방법은 조도 제어신호를 두 개 사용하기 때문에 같은 분해능에서 Analog 조도제어방법보다 조도제어 범위가 넓은 장점을 가지지만 정전류 구동으로 인하여 PWM 조도제어 방법보다 색 변화가 커지는 단점이 생긴다. 본 논문의 목적인 LED 무대조명의 경우 R,G,B,W LED를 이용하여 색을 혼합하여 사용하기 때문에 각 색의 적절한 조합 즉, 색이 변한 만큼 다른 색을 섞는 제어를 통하여 이러한 단점을 보완할 수 있다.

2.3 LED 정전류 구동회로 설계

본 논문에서는 LED에 일정한 정전류를 공급하기 위해 전류 제한 형태의 벡 컨버터를 사용한다.^[4] 벡 컨버터는 스위칭 제어 방식이 전류제어방식인 IC HV9961를 이용하여 구성하였다. HV9961은 Modified 벡 컨버터 구조로서 FET가 Floating 되어 있지 않기 때문에 스위칭 구동이 안정적이다. 전류제어방식은 인덕터의 전류를 감지하여 전류가 설정 값에 도달하게 되면 스위치를 차단하여 출력전류를 조절한다. 이 방식은 최대 출력전류가 제어 전류에 의해 직접 결정되므로 과전류 보호 및 전류에 대한 응답속도가 빠르다.

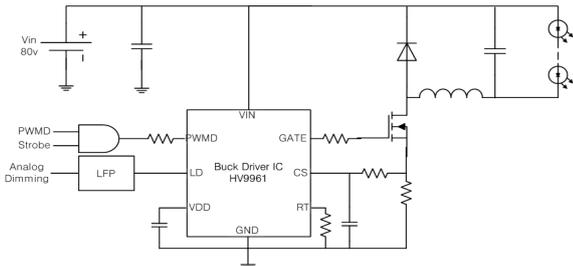


그림 3 정전류 LED 구동회로
Fig. 3 LED driver circuit with Constant current

벡 컨버터의 입*출력 관계식은 $V_o = D \times V_i$ 이다. D는 Duty로 FET의 스위칭 한 주기에 대한 On 시간의 비율이다. ($D' = 1 - D$) 벡 컨버터가 전류연속모드로 동작하여야 하기 때문에 인덕터 L 값은 식 (1)과 같은 조건을 만족하여야 한다.

$$L > \frac{D' T_s V_o}{2I_{omin}} \quad (1)$$

벡 컨버터의 커패시턴스의 설계는 식 (2)와 같다.

$$C_o = \frac{V_o D' T_s^2}{2L \Delta V_o} \quad (2)$$

LED가 항상 전류연속모드로 동작하기 위해서는 .큰 값의 L 과 C_o 를 필요로 한다. L의 값은 4.07mH 이상의 값으로 4.1mH 인덕터를 사용하였다 C_o 의 값은 출력 전압리플을 최소화하기 위해 식 (2)의 계산에서 전압리플을 0.1mV로 계산하여 114uF 을 사용하였다.

2.4 실험 및 고찰

그림 4는 설계된 정전류 LED 구동회로를 이용하여 White LED 20개를 조도제어 했을 때의 파형이다. 그림 4에서 나타난 것처럼 LED의 전류가 700mA ~ 10mA 까지 정전류로 구동되는 것을 확인하였으며 비디오카메라로 촬영 시에도 빛의 떨림 현상이 발생하지 않았다.

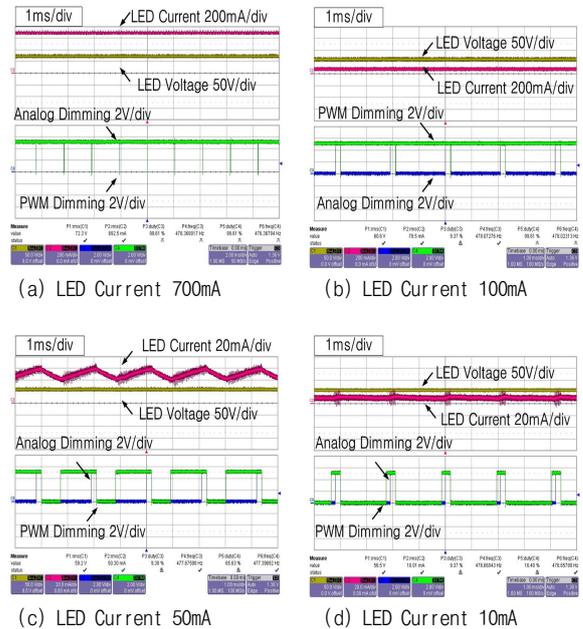


그림 4 측정된 출력 파형

Fig. 4 Measured output waveforms

3. 결론

본 논문에서는 LED 무대조명의 조도제어기법을 제안하였다. 다양한 색 연출을 위해 Analog 조도제어와 PWM 조도제어를 결합하여 0~100%의 넓은 조도제어 범위를 갖도록 하였으며 방송화면에 나타나는 빛의 떨림 현상 제거를 위해 낮은 레벨의 PWM 조도제어 시에도 전류가 연속적으로 흐르게 하였다.

설계된 회로를 측정해본 결과 최저 레벨의 조도에서도 빛의 떨림 현상이 발생하지 않았으며 동영상 촬영 시에도 문제가 없음을 확인하였다.

본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 "IT융합 고급인력과정 지원 사업"의 연구결과로 수행되었음.
(NIPA-2010-C6150-1001-0016)

참고 문헌

- [1] J. T. Tsao "Solid-state lighting : Lamp, chips, and materials for tomorrow", IEEE Circuits Devives Mag, vol. 20, no. 3, pp. 28-37, May/June. 2004.
- [2] 김용규 외 4명, "방송조명에서 LED 배경화면이 영상품질에 미치는 영향 분석", 방송공학회논문지 2010년 제15권 제 1호, p.79
- [3] 김용규, "방송조명연출", 커뮤니케이션북스, 2007, p.100
- [4] 정우주, 외 8명 "조명용 LED를 구동하기 위한 고효율 전류 모드 DC-DC 변환기의 설계에 대한 연구", 대한 전자 공학회 2009년 학술대회 논문집, pp.73-77, 2009