

UHD 방송용 LED 조명의 조도제어 방법

(A Dimming Method for the UHD Broadcast LED Lighting)

신동석* · 박종연**

(Dong-Seok Shin · Chong-Yeun Park)

Abstract

This paper proposes a dimming method and a hybrid LED driving circuit suitable for the ultra high definition (UHD) broadcasting. There are major two problems during the dimming control for traditional LED broadcast lightings; one is a flicker that occurred when camera filming to these lightings, and the other is that linear control is impossible for LED luminous intensity under 10% due to LED electrical characteristics. The proposed dimming method and the driving circuit are designed to solve two problems simultaneously. For high level dimming control region from 10 to 100%, the analog control method was applied to the switching regulator constructed by MOSFET operated in the saturation region. For low level dimming control region under 10%, the fast PWM control method with the linear regulator constructed by MOSFET in the ohmic region was used.

We verified experimentally that the dimming method is able to control the luminous intensity linearly from 1 to 100% and the flicker disappears on images taken by the charge coupled device (CCD) and the complementary metal oxide semiconductor (CMOS) cameras. Therefore, the proposed method is suitable for the UHD broadcasting.

Key Words : HD, UHD, Broadcasting, Flicker, Dimming, Linear, LED

1. 서 론

1.1 연구의 배경

HD 방송 이후 고화질 방송을 경험한 소비자들은 사실감과 현장감을 제공하는 실감형 방송에 대한 요구가 증가되었고, 정부도 차세대 방송분야 성장동력으로 UHD 방송을 선정하여 현재 KBS에서 UHD 시험방송을 진행 중에 있다[1].

UHD는 HD 보다 자연스러운 영상을 재현하기 위해

* Main author : Doctor's course, Department of Electrical and Electronic Engineering, Kangwon National University
** Corresponding author : Professor, Department of Electrical and Electronic Engineering, Kangwon National University
Tel : 033-250-6292, Fax : 033-259-5674
E-mail : shinds0208@gmail.com
Received : 2014. 12. 11
Accepted : 2015. 1. 14

초당 프레임 수를 60 프레임에서 120 프레임으로 증가시키고, 보다 정밀한 표현을 위하여 화소 당 비트의 수를 늘렸으며 시야각을 넓혀 실감적인 화면을 제공한다[2].

방송용 LED 조명은 영상 제작에 매우 중요하다. 많은 컬러를 표현하기 위해서는 Red, Green, Blue, White LED를 이용한 조도제어 방법이 적용된다. LED 조도제어 방법은 한 주기 동안 LED 점등시간을 제어하는 PWM(pulse width modulation) 조도제어 방법과 LED 전류를 연속적인 크기를 제어하는 아날로그 조도제어 방법이 있다.

아날로그 조도제어 방법에서는 연속적인 전류의 크기를 조절해 LED의 조도를 제어함으로 플리커(flicker)가 발생하지 않는다. 그러나 LED 램프에 흐르는 전류의 크기에 따라 색 이동 현상이 발생하고, 저항에 의한 전력손실이 발생하는 문제점을 가지고 있다[3]. 또한, LED 열에 연속적인 전류를 일정 전류로 구동하면 LED 간 불평형이 발생한다. 이로 인해 LED On / Off 시점이 다른 문제점이 발생한다. LED는 일정 전류 이하에서 전류에 따라 출력 조도, V_F 가 균일하지 않기 때문이다.

PWM 조도제어 방식은 이론적으로 선형적인 조도제어가 가능하고 제어방법이 간단하지만 카메라 촬영시 플리커 현상이 발생한다[4]. 이러한 플리커 현상은 CCD 카메라로 촬영된 각각의 프레임(frame)마다 화상의 밝기가 다르게 나타나 각각의 프레임을 연속으로 비교하면 시간 차가 있는 화면 간 조도차이가 발생하게 되며, CMOS 카메라로 촬영된 영상에는 한 프레임 상에 줄무늬 형태로 플리커가 발생한다. 따라서 플리커는 방송 콘텐츠의 품질을 저감시키므로 방송용 LED 조명기에 PWM 조도제어 방법을 적용하는 것은 적합하지 않다.

본 논문에서는 차세대 방송 서비스인 UHD 방송에 적합한 하이브리드 LED 구동회로와 조도제어 방법을 제안하였다.

기존 HD 방송보다 더 선명한 영상을 제작하기 위해 UHD 방송은 기존 LED 조명기의 단점인 비선형적인 저 조도변화가 영상에 나타나며, 높아진 프레임 주파수로 인해 플리커 현상이 발생한다.

제안된 조도제어 방법은 10% 이하의 저 조도제어 영역과 10~100%의 고 조도제어 영역으로 구분하여 동작한다. 저 조도 조도제어 영역에서는 리니어 레귤레이터로 LED에 정 전류를 공급하며 PWM 조도제어 방법을 적용하여 조도를 제어한다. 리니어 레귤레이터는 과도 응답 속도가 빠르기 때문에 고주파수 PWM 조도제어가 가능하다. 이 조도제어 방법은 고속의 120 프레임으로 UHD 영상을 촬영하여도 플리커가 발생하지 않으며 선형적인 조도제어가 가능하다.

그리고 고 조도 조도제어 영역에서는 스위칭 레귤레이터로 LED에 정 전류를 공급하며 아날로그 조도제어 방법을 적용하여 조도를 제어한다. 이 조도제어 방법은 LED에 흐르는 전류가 연속적임으로 UHD 영상을 촬영하여도 플리커가 발생하지 않는다.

실험을 통해 1~100%에서 선형적인 조도제어가 가능함과 카메라로 촬영한 영상에서 플리커가 발생하지 않음을 확인하여 제안된 LED 조도제어 방법과 하이브리드 구동회로가 HD 방송 및 UHD 방송 환경에 적합한 시스템임을 증명하였다.

2. 기존 방송용 LED 조명의 문제점

2.1 방송용 조명시스템의 원리

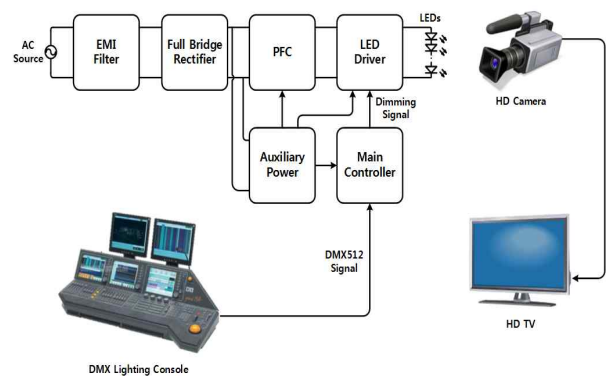


그림 1. 방송용 LED 조명기의 시스템 구성
Fig. 1. Configuration of the LED luminaire for broadcasting

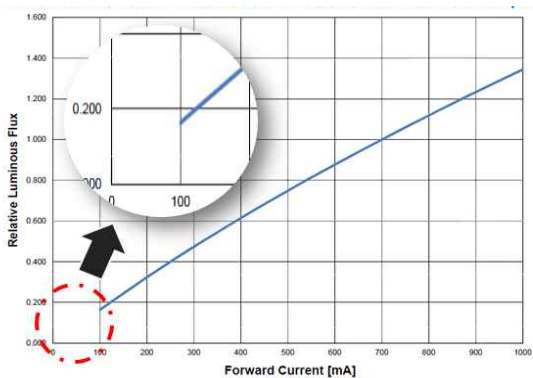
방송용 LED 조명기는 그림 1과 같이 스위칭 컨버터로 구성된 PFC, LED 구동회로에서 발생된 EMI 노

이즈를 제어하기 위한 EMI Filter, AC 전원을 DC로 변환하는 과정에서 발생된 입력전류의 왜곡을 개선하기 위한 PFC(power factor correction), LED 광원에 정 전류를 공급하고 조도제어를 위한 LED 구동회로, DMX512 신호를 수신하여 LED 구동회로의 동작을 제어하는 Main Controller로 구성된다.

2.2 아날로그 조도제어의 문제점

방송환경에서 사용된 LED의 조도를 제어하는 방법으로 아날로그 조도제어 방법이 있다. 이는 LED에 흐르는 연속적인 전류의 크기를 제어하여 출력 조도를 제어하는 방법이다. 이 조도제어 방법은 LED가 Off 되는 구간이 없기 때문에 플리커가 발생하지 않는다. 하지만 아날로그 조도제어로 저 조도 영역에서 직렬 연결된 LED 간 개별적인 조도편차가 발생한다.

그림 2는 Philips社에서 제공되는 LUXEON REBEL White LED에 대한 전기적 특성을 나타낸 그래프이다. 이 그래프는 상대적 조도를 나타낸 것으로 LED의 전류가 700mA일 때 출력되는 조도를 1로 환산한 것이다. 그래프 상에서 100mA 이하의 전류에 대한 조도의 데이터를 제공하지 않으며, 이는 제조사에서 LED의 저 조도 특성은 보장하지 않는다는 것을 알 수 있다.



15. Typical relative luminous flux vs. forward current, thermal pad temperature = 25°C.

그림 2. White LED의 전류-상대조도 곡선[5]
Fig. 2. Current-relative luminous flux curve of White LED

그림 3은 아날로그 조도제어방법의 저 조도제어의 문제가 나타난 사진이다. 그림 3 (a)는 100mA 이하의 전류가 흐를 때 발생하는 LED 간의 조도 편차를 보여준다. 그림 3 (b)는 Green LED의 출력과 Blue LED의 출력을 저 전류구간에서 혼합하여 얻은 Cyan 컬러다. 각각 LED의 조도 편차에 따라 개별적인 LED 조명기기에서 출력되는 색상이 다르게 나타난 것을 알 수 있다. 따라서 선형조도제어 방법은 LED의 전기적 특성에 따라 일정 범위 내에서만 조도제어가 가능하다.

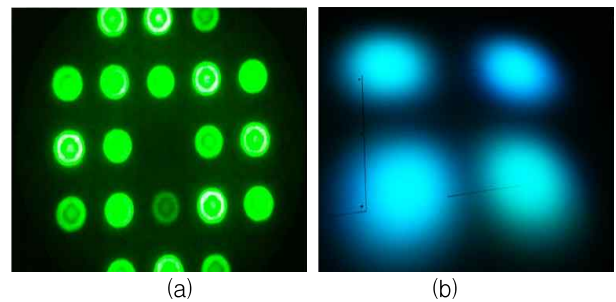


그림 3. 아날로그 조도제어방법의 저 조도제어의 문제
(a) 직렬 LED 간 조도 편차
(b) 조도편차에 따른 색표현의 오차

Fig. 3. Problems of the Analog luminous intensity control in low luminous intensity
(a) luminous intensity deviation between series LEDs
(b) Color error by luminous intensity deviation

2.3 PWM 조도제어의 문제점

PWM 조도제어는 LED에 흐르는 전류의 On / Off 시비율(duty ratio)을 조절하여 출력 조도를 제어하는 방법이다. PWM 조도제어 방법을 적용한 LED를 카메라로 촬영하면 영상에 조도차이가 나타난다. 카메라는 일정한 주기로 순간적인 화면을 저장하여 영상 정보로 변환한다. 이때 카메라가 LED는 On 구간과 Off 구간을 저장하게 되면 영상에 플리커로 나타나게 된다.

방송용 카메라에 사용되는 이미지 센서는 CCD와 CMOS 두 종류가 있으며 이미지를 생성하는 방식이 다르기 때문에 그림 4와 같이 플리커가 나타난다. 그

림 4 (a)는 CCD 카메라에 나타난 현상이며, 그림 4 (b)는 CMOS 카메라에 나타난 현상이다.

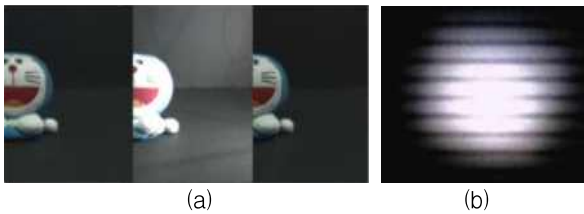


그림 4. 플리커 이미지 (a) CCD 카메라로 촬영된 이미지
(b) CMOS 카메라로 촬영된 이미지
Fig. 4. Flicker image (a) Image taken by CCD camera (b) Image taken by CMOS camera

PWM 조도제어 방법은 LED의 전기적 특성과 회로에 의해 저 조도제어 시 비선형적인 제어와 LED 조도 편차의 문제점이 있다. 일반적으로 LED 구동에 사용되는 스위칭 레귤레이터는 Modified 벡 컨버터 구조의 LED 구동회로이다. 그림 5는 Modified 벡 컨버터를 이용한 스위칭 레귤레이터를 나타낸 것이다.

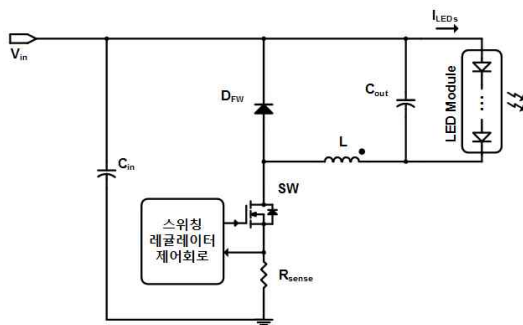


그림 5. Modified 벡 컨버터를 이용한 스위칭 레귤레이터의 구조
Fig. 5. Configure of the switching regulator using the modified buck converter

그림 6은 스위칭 레귤레이터의 동작을 나타낸 것이다. LED에 흐르는 전류를 검출하여 기준 전류 이상이면 스위치를 Off하고 기준 전류 이하이면 스위치를 On하여 LED에 일정한 전류를 유지하도록 제어한다.

스위칭 레귤레이터 구조에서 LED에 흐르는 전류의 리플(ripple current)을 줄이기 위해 높은 크기의 인덕터와 커패시터를 사용하게 되며, 이로 인해 과도응답

속도가 느려진다.

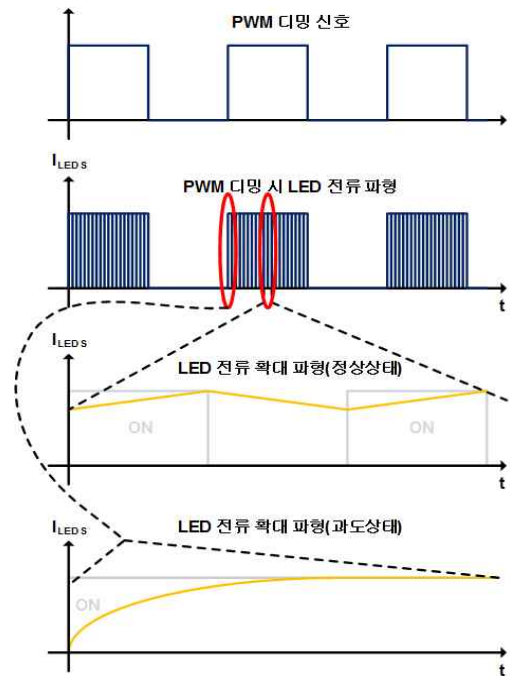


그림 6. 스위칭 레귤레이터를 이용한 PWM 조도제어 시 동작파형
Fig. 6. Waveform of the current through LEDs on the switching regulator controlled by PWM

그림 7은 PWM 조도제어 신호에 따라 LED에 흐르는 전류를 나타낸 것이다. 그림 7 (a)와 (b)는 50% 시비율 PWM 신호와 LED의 전류를 나타낸 것이다. 이는 정상상태 구간이므로 PWM 신호의 펄스 폭과 비례한 LED 전류를 갖는다. 그림 7 (c)와 (d)는 5% 시비율 PWM 신호와 LED의 전류를 나타낸 것이다. 이는 과도상태 구간이므로 PWM 신호의 펄스 폭과 LED의 전류가 비선형적임을 알 수 있으며, 이는 과도상태에 따른 LED 전류 크기의 순시적 차이 때문에 저 조도제어는 비선형적으로 증감됨을 알 수 있다. 따라서 PWM 제어로 저 조도를 제어하면 조도가 비선형적으로 제어된다.

또한 그림 7 (d)의 LED 전류는 과도상태에 의해 제조사에서 보장하는 전류 이하의 값으로 나타낼 수 있으며, 이는 아날로그 조도제어의 문제점인 전류 편차 문제점도 나타날 수 있게 된다.

따라서 PWM 조도제어 방법을 방송용 LED 조명기에 적용하기 위해서는 PWM 주파수를 카메라 프레임 주파수의 정수배한 고 주파수를 사용해야 한다[6]. 하지만 수 kHz의 주파수로 PWM 조도제어를 적용하기 위해서는 LED 구동회로의 스위칭 주파수가 상승해야 하며 이에 따라 손실이 증가하는 문제점이 있다[7]. LED 구동회로의 스위칭 주파수는 PWM 조도제어 주파수의 256배 이상인 수 백 kHz가 되어야 한다. 그 이유는 방송용 조명기기로 프로토콜인 DMX512가 8bit 제어신호로 조도제어 단계를 최대 256단계로 설정 가능하기 때문이다. LED 구동회로의 높은 스위칭 주파수는 소자의 선택이 어렵고, 효율이 낮아지게 된다.

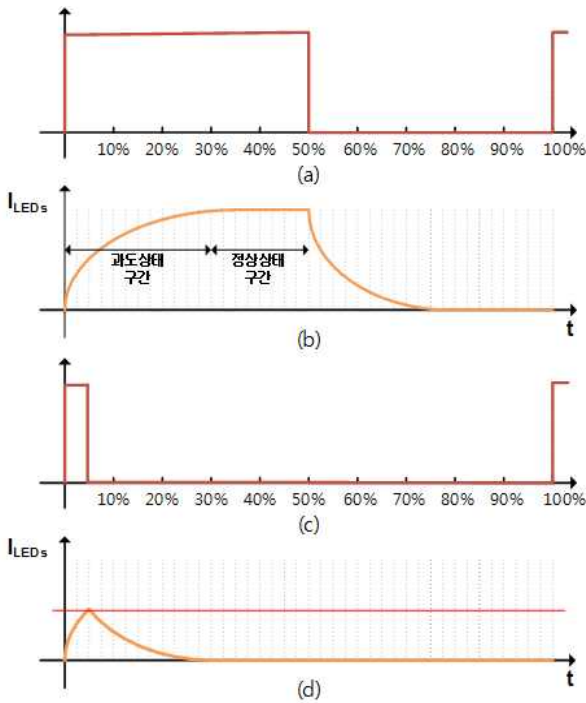


그림 7. PWM 조도제어 시 LED 전류파형 (a) 50% 시비율의 PWM 신호파형 (b) 50% 제어 시 LED 전류파형 (c) 5% 시비율의 PWM 신호파형 (d) 5% 제어 시 LED 전류파형

Fig. 7. Waveforms of current through LED at PWM luminous intensity control
 (a) PWM signal of 50% duty ratio
 (b) Current waveform at 50% duty ratio of PWM
 (c) PWM signal of 5% duty ratio
 (d) Current waveform at 5% PWM duty ratio

3. 제안된 조도제어 방법 및 구동회로

3.1 제안된 LED 조명의 조도제어 방법

본 논문에서는 방송 환경에서 사용되는 기존 LED 조명기에 사용되는 선형 조도제어 방법과 PWM 조도제어 방법에서 나타나는 문제점을 해결하기 위한 조도제어 방법을 제안한다.

제안된 조도제어 방법은 그림 8과 같이 저 조도제어 영역과 고 조도제어 영역으로 나뉘어서 조도제어 방법을 달리 적용한다.

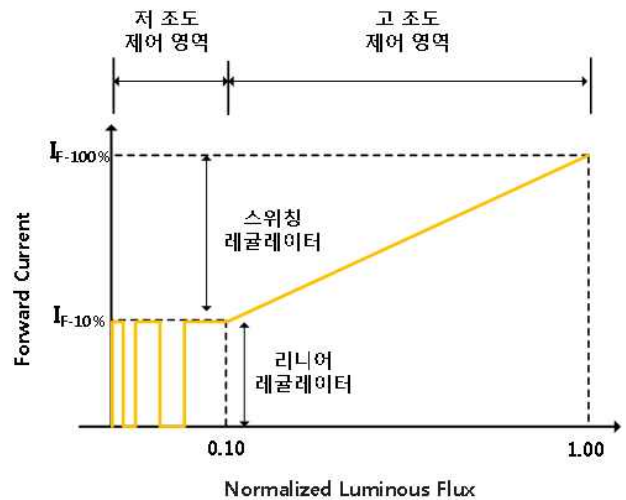


그림 8. 제안하는 LED 조도제어 방법
 Fig. 8. Proposed method of the LED luminous intensity control

고 조도 영역에서는 PWM 조도제어 방법이 갖고 있는 플리커 문제를 해결하기 위해서 아날로그 조도제어 방법을 적용한다. 아날로그 조도제어 방법은 LED에 흐르는 연속적인 전류의 크기를 제어하기 때문에 카메라로 촬영하여도 플리커가 발생하지 않는다.

저 조도 영역에서는 그림 8에 나타난 것과 같이 LED의 출력조도가 보장되는 최소 전류 $I_{F-10\%}$ 를 유지한 상태에서 고속 PWM 조도제어 방법을 적용한다. 이 조도제어 방법은 LED가 구동할 수 있는 최소 전류를 유지한 상태에서 이 전류의 On / Off 시비율을 조절함으로써 선형적인 저 조도 제어가 가능하다. 또한 수

kHz의 고속 PWM을 사용함으로 플리커도 발생하지 않는다.

3.2 제안된 하이브리드 LED 구동회로

그림 9는 제안된 조도제어 방법을 구현하기 위해 고 조도에서는 스위칭 레귤레이터가 동작하고 저 조도에서는 리니어 레귤레이터가 동작하는 새로운 구조의 LED 구동회로를 나타낸 것이다. 제안된 구조는 스위칭 소자인 MOSFET의 포화 영역(saturation region)과 저항성 영역(ohmic region)을 각각 사용함으로 단일 MOSFET를 이용하여 두 개의 레귤레이터가 결합된 하이브리드 LED 구동회로이다.

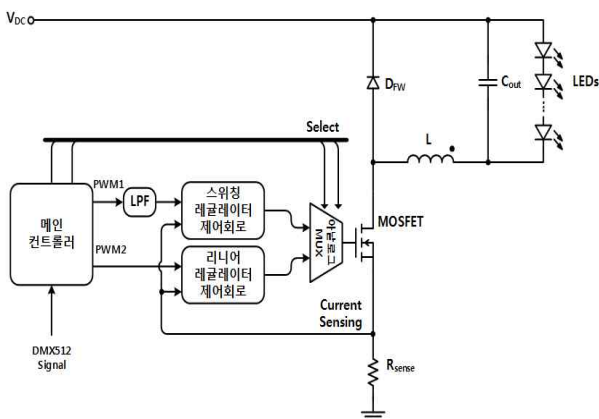


그림 9. 제안하는 하이브리드 LED 구동회로 블록도
Fig. 9. Block diagram of the proposed Hybrid-LED driver

고 조도영역에서 스위칭 레귤레이터는 그림 10에서 나타난 MOSFET의 포화영역 특성을 이용해 스위칭 동작을 반복하여 LED에 일정한 전류가 흐르도록 제어한다. LED에 흐르는 전류의 크기는 인덕터에 흐르는 전류를 검출한 전압과 비교되는 기준 전압의 크기에 의해 가변된다. 조도제어를 위해 메인 컨트롤러에서 PWM 1의 시비율을 가변하고 이 신호는 저역통과 필터(low pass filter)를 거쳐 DC로 변환되어 스위칭 레귤레이터의 기준 전압에 사용된다.

저 조도영역에서 LED에 흐르는 전류를 MOSFET의 저항성 영역을 사용한 저압제어가변저항으로 제어

한다. 그림 10에 나타난 저항성 영역에서의 MOSFET는 V_{GS} 의 크기에 따라 드레인-소스 사이의 저항이 가변된다. 이 특성을 활용하여 LED에 흐르는 전류가 기준 전류보다 커지면 V_{GS} 크기를 낮춰 MOSFET 드레인-소스에 보이는 저항값을 키워 LED에 흐르는 전류를 줄이고, LED에 흐르는 전류가 기준 전류보다 작아지면 V_{GS} 값을 키워 MOSFET의 드레인-소스에 보이는 저항 값을 줄여 LED에 흐르는 전류를 키워 항상 일정한 전류가 되도록 제어한다.

그리고 기준 전압에 PWM 2 신호를 인가하여 PWM 2 신호가 On일 때는 설정된 일정한 전류가 흐르고 OFF일 때는 전류가 흐르지 않아 LED에 흐르는 평균 전류가 제어됨으로 저 조도영역에서 선형적인 조도 제어가 된다. 리니어 레귤레이터는 응답속도가 빠르기 때문에 수 kHz의 고속 PWM 주파수를 이용한 조도제어가 가능하여 플리커가 발생하지 않는다.

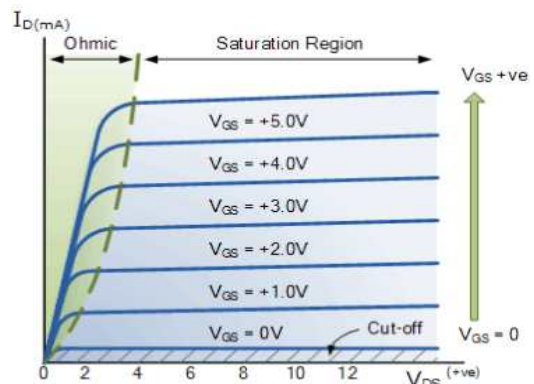


그림 10. n-MOSFET 전기적 특성 곡선
Fig. 10. Electrical characteristic curve of the n-MOSFET

3.3 LED 구동회로 조도제어 흐름도

방송용 조명기기는 DMX512 프로토콜을 이용한 제어를 위해 메인 컨트롤러가 필요하다. 메인 컨트롤러를 이용하여 하이브리드 LED 구동회로의 조도 제어를 하는 순서는 그림 11과 같다. 조명기기를 제어하는 DMX512 콘솔에서 송신한 데이터를 DMX512 프로토콜에 맞춰 수신 완료 후 조도제어 목표 값을 판단한다. 조도제어 목표 값이 저조도 제어 영역에 포함되면

리니어 레귤레이터를 선택하도록 아날로그 MUX (multiplex)의 선택 신호를 출력 후 PWM 조도제어를 방법에 사용되는 PWM 2의 시비율을 설정하여 조도를 제어한다.

조도제어 목표 값이 고 조도 영역에 포함되면 스위칭 레귤레이터를 선택하도록 아날로그 MUX의 선택 신호를 출력 후 아날로그 조도제어 방법에 사용되는 PWM 1의 시비율을 설정하여 조도를 제어한다. 목표 조도 값을 제어 후 다시 DMX512 신호를 수신하여 언급된 제어 흐름에 따라 LED의 조도를 제어한다.

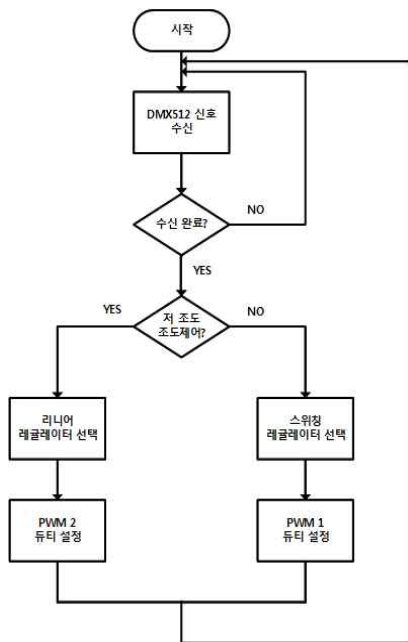


그림 11. 하이브리드 LED 구동회로의 조도제어 순서도
Fig. 11. Flowchart for the dimming control of the proposed Hybrid-LED driver

4. 실험결과 및 검토

4.1 LED 구동회로의 구성

본 논문에서 사용된 LED는 Philips社의 LUXEON REBEL LXML-PWC1-0100 WHITE LED를 9개를 직렬로 연결하여 LED Module을 구성하였다.

고 조도영역에서 LED에 정 전류를 공급하고 아날로그 조도제어 방법이 적용되는 스위칭 레귤레이터의

제어부는 SUPERTEX社의 HV9910 IC를 사용하였다.

저 조도영역을 제어하기 위해 OP-AMP와 MOSFET의 저항성 영역을 활용해 리니어 레귤레이터가 구성된다. MOSFET는 TOSHIBA社의 2SK2679를 사용하였다. HV9910의 스위칭 출력과 리니어 레귤레이터에 사용된 OP-AMP 출력을 선택하여 MOSFET의 V_{GS} 에 인가하기 위해 사용된 아날로그 MUX는 MC14052B를 사용하였다. DMX512 신호를 수신하여 조도제어 PWM을 제어하는 메인 컨트롤러는 ATMEL社의 ATMEGA128A를 사용하였다. 구성된 LED 구동회로의 입력 전압은 45Vdc이며, 사용된 LED는 최대전류 800mA에서 30Vdc의 특성을 갖는다. 또한 출력전류의 리플은 30%, 과도응답은 30usec 이하로 구현하기 위하여 컨버터의 인덕터는 340uH, 커패시터는 0.47uF로 하였다.

4.2 실험 방법 및 실험 장비

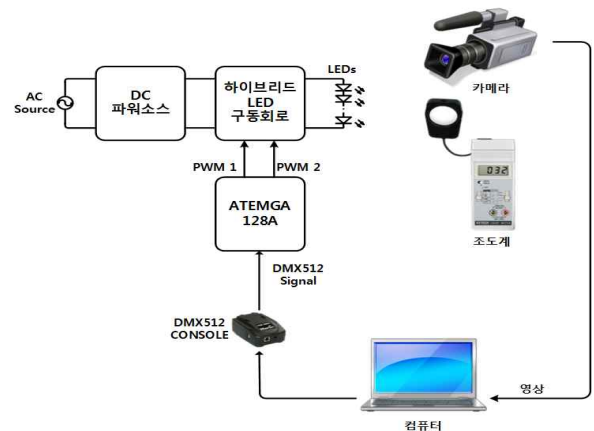


그림 12. 실험 환경 구성
Fig. 12. Configuration of the experimental environment

그림 12은 제안된 조도제어 방법과 LED 구동회로의 성능을 확인하기 위한 실험 구성도이며 실험에 사용된 장비는 표 1에 정리하였다. 방송용 조명기기는 DMX512 통신에 의해 제어되며 MARTIN社 LIGHT JOCKEY를 이용하여 제안된 LED 구동회로의 조도를 제어하였다.

저 조도제어 시 선형적인 조도제어를 확인하기 위해

LED에 흐르는 전류 파형과 크기를 측정하고 출력되는 조도를 확인하였으며 LED의 조도편차와 플리커를 확인하기 위해 카메라로 조명을 촬영하였다.

고 조도제어 시 스위칭레귤레이터의 동작에 의해 LED가 정 전류제어 됨과 아날로그 조도제어 됨을 전류파 파형과 크기를 측정하여 확인하였으며 플리커를 확인하기 위해 카메라로 조명을 촬영하였다.

방송환경에 적합성을 확인하기 위해 HD 방송에 사용 중인 CCD 카메라와 UHD 방송에 사용 될 CMOS 카메라로 나누어 실험하였다. UHD 카메라는 해상도는 낮으나 이미지 센서의 타입과 UHD 촬영 프레임이 동일한 카메라로 촬영하여 실험하였다.

표 1. 실험에 사용된 장비 리스트
Table 1. List of the used equipments for experiment

구분	제품명	제조사
오실로스코프	Waverunner 104MXI	LeCroy
전류프로브	AP015	LeCroy
조도계	Light Meter 401025	EXTECH
CCD 카메라	DSR-PD170	SONY
CMOS 카메라	A1457	APPLE
DMX512 USB 콘솔	Light Jockey	MARTIN
AC/DC 파워소스	ES2000S	NF

4.3 플리커에 대한 실험결과 및 토의

플리커에 대한 실험은 HD 방송에서 사용하는 CCD 카메라로 125 프레임, UHD 방송에서 사용되는 센서와 동일한 방식의 CMOS 카메라로 120 프레임으로 기존 방송용 LED 구동회로와 본 논문에서 제안된 하이브리드 LED 구동회로를 촬영하여 비교하였다.

플리커는 PWM 조도제어방식을 적용할 때 나타난다. HD 방송에서 PWM 조도제어방식으로 LED를 제어 했을 때 플리커가 발생하지 않는 PWM 주파수가 300Hz 이상이다[6]. 그림 13은 300Hz의 PWM 방법으로 조도를 50%로 제어할 때, HD 방송에서 사용되는 CCD 카메라를 사용하여 125 프레임으로 촬영한 영상의 일부 프레임을 캡처한 이미지이며 플리커가 나타

나는 것을 실험적으로 확인하였다.

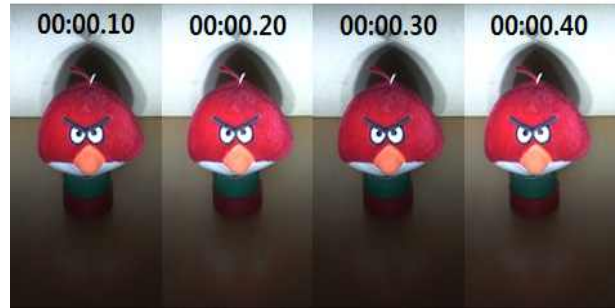


그림 13. 300Hz PWM으로 50% 조도제어 시 CCD 카메라로 촬영한 플리커 이미지
Fig. 13. Image taken by the CCD camera at 50% luminous intensity controlled by PWM control with 300Hz



그림 14. 300Hz PWM으로 50% 조도제어 시 CMOS 카메라로 촬영한 플리커 이미지
Fig. 14. Image taken by the CMOS camera at 50% luminous intensity controlled by PWM control with 300Hz

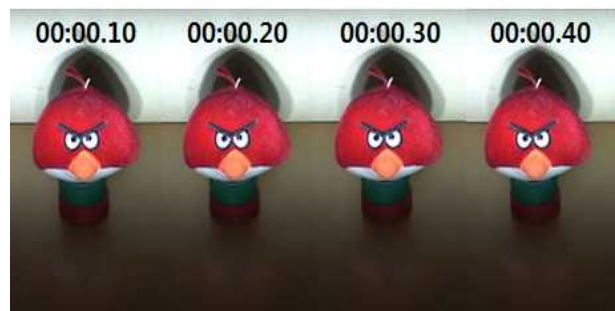


그림 15. 제안된 시스템으로 50% 조도제어 시 CCD 카메라로 촬영한 이미지
Fig. 15. Image taken by the CCD camera at 50% luminous intensity controlled by the proposed system

동일한 환경에서 UHD 방송용 카메라에 사용되는 CMOS 방식의 카메라를 사용하여 120 프레임으로 촬영한 영상의 일부 프레임을 캡처한 이미지는 그림 14이다. CMOS는 롤링셔터(Rolling Shutter)방식을 사용하기 때문에 한 프레임 상에 줄무늬 형태 플리커가 나타나는 것을 실험적으로 확인하였다.

제안된 시스템으로 고조도 영역에 포함되는 50% 조도에서 LED의 조도를 제어하여 CCD 카메라로 촬영한 이미지는 그림 15, CMOS 카메라로 촬영한 영상은 그림 16이다.

저조도 영역에 포함되는 1% 조도를 3kHz의 고속 PWM 조도제어로 제어하여 CCD 카메라로 촬영한 이미지는 그림 17, CMOS 카메라로 촬영한 이미지는 그림 18이다.

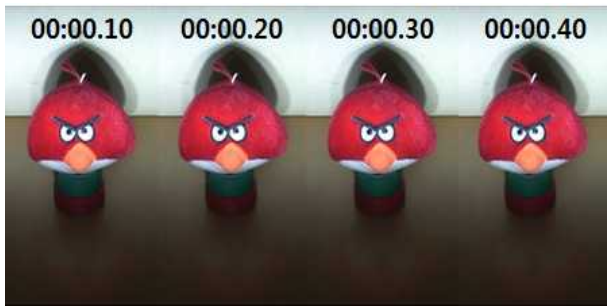


그림 16. 제안된 시스템으로 50% 조도제어 시 CMOS 카메라로 촬영한 이미지
Fig. 16. Image taken by the CMOS camera at 50% luminous intensity controlled by the proposed system



그림 17. 제안된 시스템으로 1% 조도제어 시 CCD 카메라로 촬영한 이미지
Fig. 17. Image taken by the CCD camera at 1% luminous intensity controlled by the proposed system

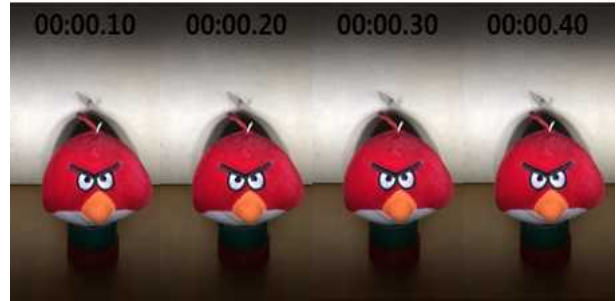


그림 18. 제안된 시스템으로 1% 조도제어 시 CMOS 카메라로 촬영한 이미지
Fig. 18. Image taken by the CMOS camera at 1% luminous intensity controlled by the proposed system

제안된 조도제어방법은 고조도 영역과 저조도 영역 모두 각각의 촬영방식에 의한 이미지에 플리커 현상이 나타나지 않았다. 따라서 플리커 실험결과 제안된 시스템은 기존 HD 방송 뿐만 아니라 차세대 방송서비스 UHD 방송에도 적용 가능하다.

4.4 고 조도제어 실험결과 및 토의

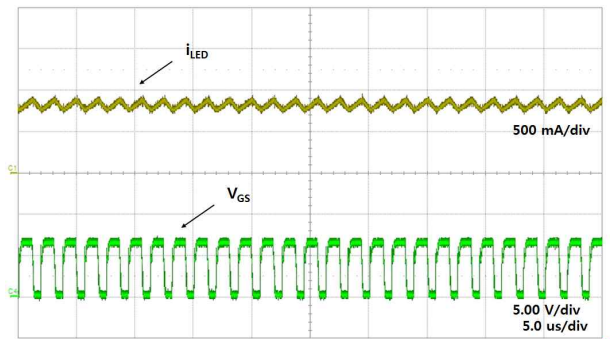


그림 19. 고 조도영역에서의 아날로그 조도제어 시 LED 전류파형과 MOSFET의 게이트-소스 전압파형
Fig. 19. Waveforms of the LED current and the gate-source voltage on MOSFET controlled by the analog luminous intensity control at the low luminous intensity region

고 조도제어는 스위칭 레귤레이터를 이용하여 아날로그 조도제어 방법을 적용한 조도제어 방법이다. 그림 19는 100% 조도 출력 시 MOSFET의 V_{GS} 파형과 LED 전류 파형이다. LED 전류는 조도를 제어함에 따

라 연속적인 전류의 크기가 변화함을 알 수 있다. 앞서 고 조도제어 시 플리커 현상이 발생하지 않은 이유는 그림 19의 I_{LED} 와 같이 LED가 Off 구간이 없기 때문이다.

그림 20은 고 조도영역의 조도를 제어하는 PWM 1 시비율에 따른 LED 조도를 측정한 데이터이다. PWM 1의 시비율이 100%일 때 출력되는 조도를 1로 하여 나타낸 상대적인 LED 출력조도이다. 이 영역에서의 조도제어가 선형적으로 제어가 되고 있음을 실험적으로 확인하였다.

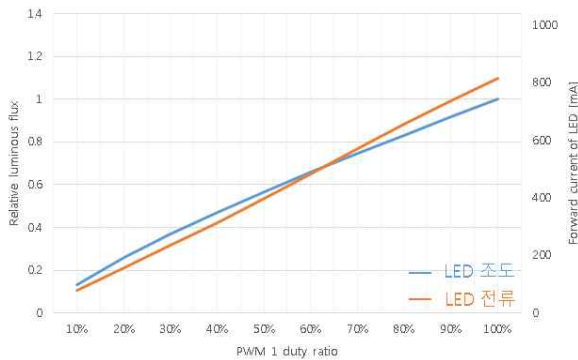


그림 20. 고 조도영역에서 조도 제어 시 LED 상대조도
Fig. 20. Relative luminous flux curve at low luminous intensity region

4.5 저 조도제어 실험결과 및 토의

저 조도제어 방법은 리니어 레귤레이터를 이용하여 고속 PWM 조도제어 방법을 적용한 것이다. 그림 21은 하이브리드 LED 구동회로의 전류에 대한 과도상태를 나타낸 것이다. 약 10usec로 기존 LED 구동회로의 수백 usec 보다 빠르게 동작하여 고속 PWM 제어가 가능하다. 그림 22는 PWM 신호가 On일 때 LED에 정 전류가 공급된다. 이 때 MOSFET의 V_{GS} 의 크기에 따라 MOSFET의 드레인-소스 사이의 저항 값을 조절하여 LED에 일정한 전류가 흐르는 것이다.

실험결과 제안된 회로는 고속의 과도응답특성을 갖기 때문에 플리커가 발생하지 않는 3kHz 높은 주파수로 PWM 제어가 가능하며 LED의 출력 특성이 보장되는 최소 전류값을 유지하면서 PWM 조도제어를 적

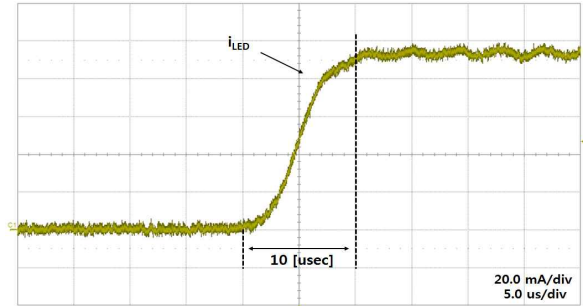


그림 21. 저 조도영역에서의 LED에 흐르는 과도전류 파형
Fig. 21. Waveform of the transient current through LEDs at the low luminous intensity region

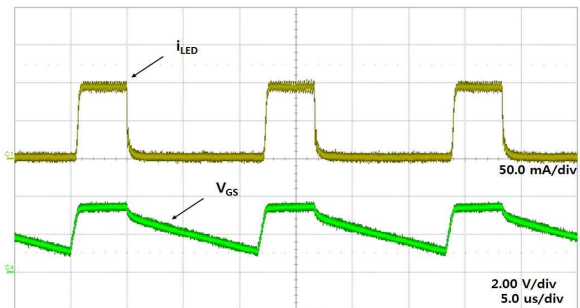


그림 22. 저 조도영역에서의 고속 PWM 조도제어 시 LED 전류파형과 MOSFET의 게이트-소스 전압파형
Fig. 22. Waveforms of the LED current and the gate-source voltage on MOSFET controlled by fast PWM at the low luminous intensity region

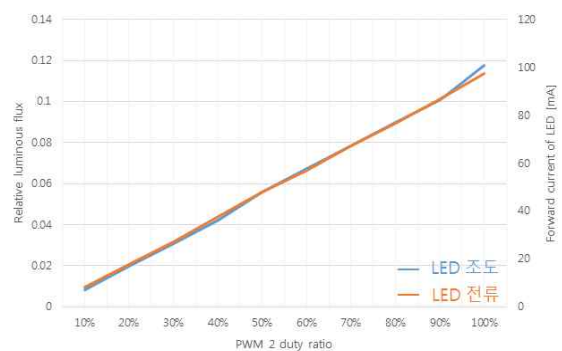


그림 23. 저 조도영역에서 조도 제어 시 LED 상대조도와 LED 전류 그래프
Fig. 23. Relative luminous flux and forward current curve at low luminous intensity region

용함으로써 선형적인 저 조도 제어가 가능하다. 그림 23은 저 조도영역에서 조도 제어를 LED의 상대 조도를 측정하는 실험 결과이다.

5. 결 론

본 논문에서는 방송용 LED 조명에서 조도제어 방법에 따라 문제가 되는 플리커와 10% 이하의 저 조도에서 나타나는 비선형 특성 및 조도편차의 문제점들을 해결하기 위한 조도제어 방법을 제시하고 이를 구현하기 위한 하이브리드 LED 구동회로를 제안하였다.

첫째, 고 조도제어에서는 스위칭 레귤레이터로 LED를 구동하며 아날로그 조도제어 방법을 적용하여 PWM 조도제어 방법에서 발생하는 플리커를 회피하였다.

둘째, 저 조도제어에서는 리니어 레귤레이터를 사용하여 LED의 전기적 특성이 보장되는 최소 전류 유지하며 고속 PWM 조도제어 방법을 적용하여 1%의 조도까지 선형적인 조도제어가 가능하고, 조도 편차가 발생하지 않았으며, 플리커 역시 회피하였다.

셋째, 제안된 회로는 UHD 환경에서도 플리커가 발생하지 않으며 저조도 제어가 가능함을 방송장비 촬영 실험을 통해 확인하였다.

제안된 회로는 기존의 방송조명용 LED 구동회로에 비하여 구성이 복잡하다. 또한 저 조도제어 시 고속 PWM 신호를 구현하는 마이크로 컨트롤러의 속도에 제한을 받는 단점이 있다.

추후 제안된 시스템으로 해결하기 어려운 색 이동(color shift) 문제에 대하여 연구 되어야 하며 이를 위한 보상방법에 대한 연구가 진행되어야 한다.

References

[1] J.H. Seo, B.M. Lim, H.M. Eum, H.M. Kim, N.H. Hur, "Trend of Technology Development and Standardization for Digital Terrestrial Television Broadcasting", ETRI, 2014 Electronics and Telecommunications Trends, Vol.29, No.3, pp.27-36, Jun, 2014.

[2] Sook-Hee Cho, Dong-San Jeon, Jin-Soo Choi, "ICT Standard & Certification TTA Journal", TTA, Vol.140, pp.49-54, Apr, 2012.
 [3] M. Dyble, N. Narendran, A. Bierman, and T. Klein, "Impact of Dimming White LEDs: Chromaticity Shifts Due to Different Dimming Methods," Fifth International Conference on Solid State Lighting, Proceedings of the SPIE 5941, pp. 291-299, Sep, 2005.
 [4] Guang-Xu Jin, Sung-Ho Kang, Ki-Sang Hong, "Prediction of Flicker for PDP Devices", IIEE, Vol.42-SP, No.2, pp.9-18, Mar, 2005.
 [5] Philips Lumileds, "LUXEON Rebel General Purpose Datasheet DS64", 2011.
 [6] Kwang-Hyun Jung, Dong-Seok Shin, Chong-Yeon Park, "The analysis of flickering effect for LED stage lighting system", 42th KIEE Summer Conference, pp.1195-1196, Jul, 2011.
 [7] Chong-Yeon Park, Jae-Wook Song, Jin-Wan Yoo, "The Reduction Method of Strings Current Unbalancing in LED Lighting Driving System", KIEE, Vol.27, No.5, pp.26-32, May, 2013.

본 연구는 산업통산자원부 및 대학산업기술지원단의 "맞춤형 기술서비스복합사업"의 연구결과로 수행되었음.

◆ 저자소개 ◆



신동석(申東碩)

1985년 2월 22일생. 2007년 강원대 전기 전자공학과 졸업. 2009년 강원대 전기 전자공학과 졸업(석사). 2009~2013년 서울스테이지라이팅 책임연구원. 2010년~현재 강원대 전기전자공학과 박사과정.



박종연(朴鍾演)

1951년 2월 23일생. 1973년 고려대 전자 공학과 졸업. 1980년 경북대 전자 공학과 졸업(석사). 1984년 경북대 전자 공학과 졸업(박사). 1973~1977년 KIST 연구원. 1977~1984년 울산공대 조교수, 부교수. 1989~1990년 UCLA 교환교수. 1984년~현재 강원대 전기전자 공학과 교수.