

방송조명용 LED 램프를 위한 플리커 저감 조광방식

(The Dimming Methods of LED Lamps to Minimize Flicker for the Broadcasting Lighting)

김도영* · 윤장희 · 염정덕**

(Doyoung Kim · Janghee Yun · Jeongduk Ryeom)

Abstract

LED lamps are appropriate to the light source for use in broadcasting lighting. When the lighting frequency of LED lamp is different from the shutter frequency of camera, however, the flicker appears on the moving image which is taken by the camera under the dimmed light of LED lamp with conventional dimming methods. In this study, a new dimming method for the LED lamps used as the broadcasting lighting is proposed to minimize the flicker. A lighting period in the proposed dimming method is divided into the several sub-periods which have weight of the bits. Also, the proposed dimming method has characteristics that are optimizing the turn-on timings of two LED lamps to reduce the turn-off periods of the lamps and not to overlap the turn-on periods of the lamps. In the experiments, the incidence of the flicker is taken by the camera under several lighting conditions of the conventional dimming methods and the proposed dimming method. In addition, the brightness values of the frames are obtained in the moving image, and incidence of the flicker is evaluated and compared with conventional methods. From the results, the incidence of the flicker in the proposed method is more improved than the conventional methods.

Key Words : Flicker, Broadcasting Lighting, LED Lamp, Dimming Control, LED Driving

1. 서 론

* 주저자 : 송실대학교 전기공학과 석사과정
** 교신저자 : 송실대학교 전기공학과 부교수
* Main author : Master's course, Department of Electrical Engineering, Soongsil University
** Corresponding author : Associate Professor, Department of Electrical Engineering, Soongsil University
Tel : 02-828-7267, Fax : 02-826-5125
E-mail : cosmos01@ssu.ac.kr
접수일자 : 2013년 2월 22일
1차심사 : 2013년 3월 5일
심사완료 : 2013년 6월 1일

기존의 광원에 비하여 발광다이오드(light-emitting diode; LED) 램프는 전력 효율과 공간 활용성이 좋기 때문에 기존 조명이 할 수 없었던 다양한 연출 효과가 가능하다[1]. 특히 LED 램프는 높은 효율, 우수한 색 표현력 등 방송 조명에 필요한 장점을 갖추고 있어 새로운 방송 조명용 광원으로 각광받고 있다[2].

LED 램프의 조광(dimming)방식은 LED 전류를 선형으로 제어하는 선형 조광방식과 한 주기 동안의

LED의 점등시간을 제어하는 펄스폭변조(pulse width modulation; PWM) 조광방식이 있다[3]. 선형 조광방식은 LED 램프에 흐르는 전류의 크기에 따라 색 이동 현상이 발생하고, 저항에 의한 전력손실이 발생하는 문제점을 가지고 있다[4-5]. 한편 PWM 조광방식으로 방송 조명용 LED 램프를 조광점등 할 경우, 카메라 셔터의 촬영 주파수와 LED 램프의 점등 주파수가 다를 때, 화면에 플리커(flicker) 현상이 발생한다[6]. 이 플리커 현상은 카메라로 촬영된 각각의 화상 프레임(frame)마다 화상의 밝기가 다르게 나타나 동화상에서 화면이 깜빡이는 현상이다[7]. 이러한 플리커 현상은 동화상의 질을 떨어뜨리기 때문에 방송 조명용 LED 램프를 PWM 방식으로 조광 점등하는 것은 한계가 있다.

최근에는 PWM 조광방식 외에 LED 램프의 점등 주기를 bit 가중치를 가진 8개의 보조 점등주기로 나누어 조광 단계의 8bit 이진 코드에 따라 각각의 보조 점등주기를 on/off 시켜 0~255/255까지 총 256단계로 조광하는 디지털 방식인 펄스수변조(pulse number modulation; PNM) 조광방식이 보고되고 있다[6, 8]. PNM 조광방식은 1주기 내의 점등 기간이 2진 코드에 따라 여러 부분으로 분산되어 있으므로 어느 정도 플리커 저감효과를 기대할 수 있으나 역시 낮은 조광단계에서는 플리커가 눈에 띄는 문제점이 있다.

본 논문에서는 방송 조명용 LED 램프의 플리커 발생을 최소화하기 위하여 기존의 PNM 방식을 개선한 다중 PNM(mPNM) 조광방식과 이를 더욱 개선한 새로운 방식인 비트분산변조(bit spread modulation; BSM) 조광방식을 제안하였다. 그리고 LED 램프의 여러가지 점등 조건에서 종래 조광방식들과 제안된 조광방식들의 플리커 발생 정도를 측정하였고, 플리커 발생 정도를 신호대잡음비(signal to noise ratio; SNR) 값으로 수치화 하여 비교 평가하였다.

2. 실험 장치의 구성 및 실험 방법

2.1 실험 장치의 구성

그림 1은 LED 램프의 조광방식에 따른 플리커의 발

생정도를 측정하기 위한 실험 장치의 구성도이다. 50×62×50cm³(가로×세로×높이)의 크기를 가진 박스의 내부에 흰색 시트지를 붙여 확산반사 박스를 만들고 이 박스의 내부에 놓인 화상을 초당 60프레임의 전하 결합소자(charge coupled device; CCD)카메라로 촬영하였다. CCD카메라는 IMAGING SOURCE 社의 DFK 21AU04를 사용하였다. 확산반사 박스의 윗면에 개별 점등 제어가 가능한 두 개의 3W LED 램프(LED1, LED2)를 설치하여 박스 내부를 조명하였다. 실험에서 사용된 두 개의 LED 램프는 하나의 LED 램프를 두 그룹의 LED들로 나누어 구동하는 것과 같은 효과를 나타낸다. Quartus II를 사용하여 조광점등을 위한 점등제어 타이밍을 설계하였고, Altera社의 field programmable gate array (FPGA)로 전계효과트랜지스터(field effect transistor; FET)의 스위치 타이밍을 제어하여 LED 램프를 점등시켰다. LED 램프에 흐르는 전류는 저항으로 제한하였다. 카메라의 셔터 주파수와 LED 램프의 점등 주파수가 다를 경우에 촬영된 동화상에 플리커 현상이 나타나기 때문에 실험에서는 카메라의 셔터 주파수를 60Hz로 고정하고, LED램프의 점등 주파수를 50, 60 및 70Hz로 가변하면서 각 조광단계에서의 플리커를 측정하였다.

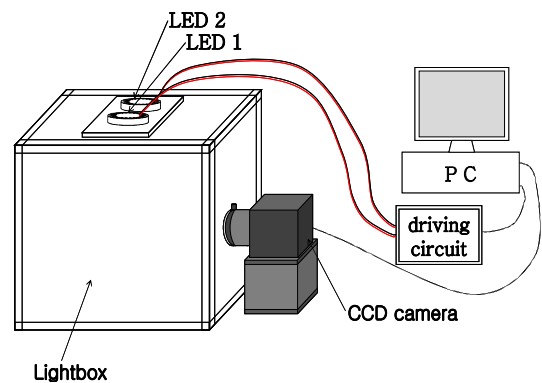


그림 1. 실험 장치 구성도
Fig. 1. Block diagram of experiments system

2.2 실험 방법

그림 2는 두개의 LED 램프를 점등하기 위해 FET에 인가되는 PWM, PNM, mPNM 및 BSM 조광방식의

스위치 타이밍도이다. PWM과 PNM 방식은 두 개의 LED 램프를 동시에 점등 및 소등 하였으며, mPNM과 BSM 방식은 두 개의 LED 램프를 독립적으로 점등 및 소등 하였다. 실험에 적용된 PNM 방식은 플리커의 저감을 위하여 종래 PNM 방식의 64/255, 128/255

점등 구간을 4등분하여 4개의 48/255 점등 구간을 갖도록 분산시켜 배열하였다.

본 논문에서 제안된 mPNM 방식은 2개의 LED 램프에 각각 인가하는 PNM 방식의 점등 타이밍 펄스 배열을 한 주기 안에서 점등구간이 가급적 서로 중첩되지 않도록 설계한 것이다. 역시 본 논문에서 제안된 조광방식인 BSM 방식은 0~255/255의 총 256 조광단계 중 1/255, 2/255, 4/255의 보조 점등구간을 제외한 모든 구간을 8/255씩 분할하여 선택적으로 점등하도록 한 것이며, 두 그룹의 LED들을 개별 제어하여 이 LED들의 점등 타이밍이 최대한 중첩되지 않도록 최적화함으로써 플리커의 발생을 저감시켰다. 그림에서 회색부분은 LED 램프의 on구간, 흰색부분은 LED 램프의 off구간을 나타낸다. 그림 2 (a)는 조광단계가 25%인 경우를 나타낸 것으로, PWM을 제외한 방식들은 bit 가중치를 가지는 보조 점등주기들의 점등기간을 조합하여 25%에 해당하는 점등구간 (=64/255)을 갖도록 하였다. 마찬가지로 그림 2(b)와 (c)는 각각 조광단계가 50% (=128/255), 75% (=192/255)인 경우를 나타내고 있다.

주어진 조광단계와 조광방식으로 LED 램프를 점등하고 이때 조명된 피사체를 CCD카메라로 촬영하였다. 그리고 촬영된 동화상을 프레임 별로 분리하여 얻은 화상 프레임에서 Matlab을 이용하여 각 화소의 밝기(brightness) 데이터를 추출하고 이들의 평균을 내어 각 프레임의 밝기 데이터를 얻었다. 화소의 밝기 데이터는 8bit 256단계의 상대적인 값이므로 이때 얻어진 프레임 밝기 데이터도 256단계의 상대적인 값이다. 이 수치를 사용하여 플리커의 발생정도를 SNR 값으로 나타내었다. 이 SNR 값은 화면의 최대밝기를 기준으로 각 프레임의 밝기 변화 정도를 나타내는 수치이다. 다음의 식 (1)의 값을 식 (2)에 대입하면 SNR 값을 얻을 수 있다.

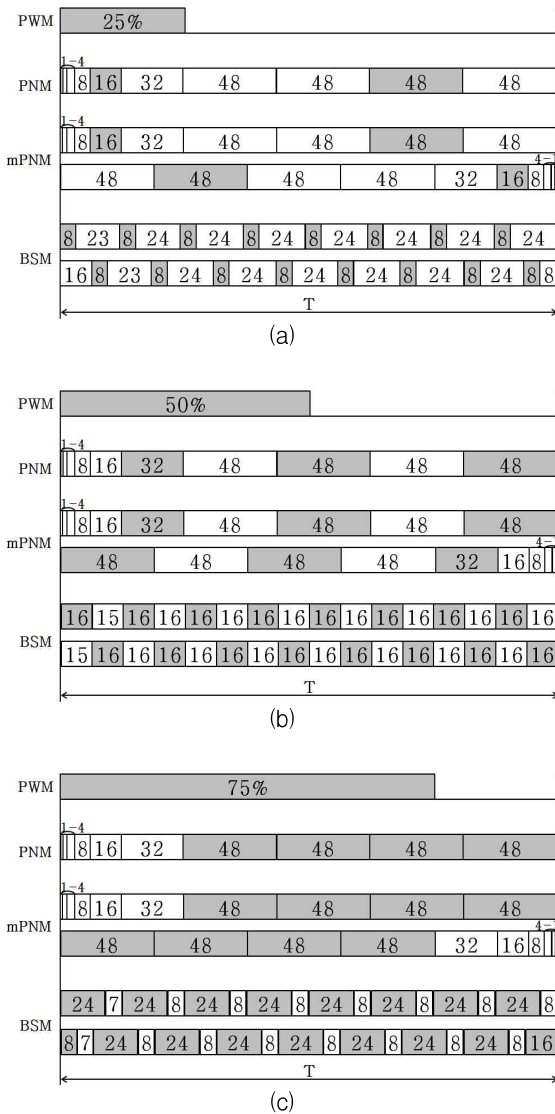


그림 2. PWM, PNM, mPNM, BSM 방식의 FET 스위치 타이밍도 (a) 25% 조광단계, (b) 50% 조광단계, (c) 75% 조광단계

Fig. 2. Switch timing chart for FETs with PWM, PNM, mPNM and BSM methods (a) 25% dimming level, (b) 50% dimming level (c) 75% dimming level

$$MSE = \sum_{i=1}^{\text{프레임수}} \left\{ \frac{(\text{최대밝기} - i\text{프레임의 밝기})^2}{\text{프레임수}} \right\} \quad (1)$$

$$SNR = 20 \times \log \left(\frac{\text{최대밝기}}{\sqrt{MSE}} \right) \quad (2)$$

3. 실험 결과 및 검토

그림 3은 점등 주파수 70Hz에서 LED 램프의 조광 방식에 따라 촬영된 프레임의 밝기 변화를 나타낸 그래프이다. 가로축은 프레임수를 나타내고 세로축은 8bit 256단계의 프레임 밝기를 나타낸다.

이 프레임 밝기는 촬영된 동화상의 각 프레임에서 R, G, B 데이터를 추출하여 합하고 평균하여 얻었다. 그림 3에서 점선은 프레임의 최대 밝기의 값이고 실선은 각 프레임에서 얻어진 밝기의 값이다. 점선과 실선의 값의 차이가 플리커의 발생 정도를 나타내므로 이 값의 차이가 클수록 플리커가 더 강하게 발생한다고 할 수 있다.

그림 3 (a)는 25%의 조광단계에서 프레임의 밝기 변화를 나타낸 그래프이다. 종래의 PWM과 PNM 방식에 비해 논문에서 제안한 BSM 방식은 점선과 실선의 차이가 작다. PWM 방식의 경우 프레임의 최대 밝기와 최소 밝기의 차이가 약 34%로 매우 크지만, BSM 방식은 그 차이가 3%로 PWM 방식보다 매우 작다. 조광단계 50%인 그림 3 (b)에서도 마찬가지로 PWM과 PNM 방식은 유사한 모양의 그래프를 나타내며, 이들에 비하여 BSM 방식으로 촬영된 동화상의 프레임 밝기 차이가 현저하게 낮다. 조광단계가 75%인 그림 3(c)에서는 mPNM 방식의 화면 밝기 차이가 1.27%로 가장 적었으며 BSM 방식과 mPNM 방식 모두 PWM 방식이나 PNM 방식에 비해 밝기의 차이가 육안으로 구별하기 어려울 정도로 감소되었다.

그림 4는 점등 주파수 50Hz, 60Hz, 70Hz에서 LED 램프를 25%의 조광단계로 점등하였을 때의 프레임 밝기 그래프이다. 카메라 셔터 주파수와 같은 점등 주파수인 60Hz에서는 PWM 방식과 BSM 방식에서 모두 화면상의 밝기 차이가 거의 없는 것을 확인할 수 있다. 하지만 점등 주파수 50Hz와 70Hz에서 PWM 방식은 BSM 방식 보다 프레임의 밝기 차이가 크기 때문에 육안으로도 플리커가 쉽게 관찰되었다.

그림 5는 50Hz의 점등 주파수와 25%의 조광단계에서 PWM 방식과 BSM 방식으로 LED 램프를 점등하고 CCD 카메라로 촬영한 동화상의 프레임을 추출한 화상이다. 그림 5 (a)는 PWM 방식으로 조광한 경우

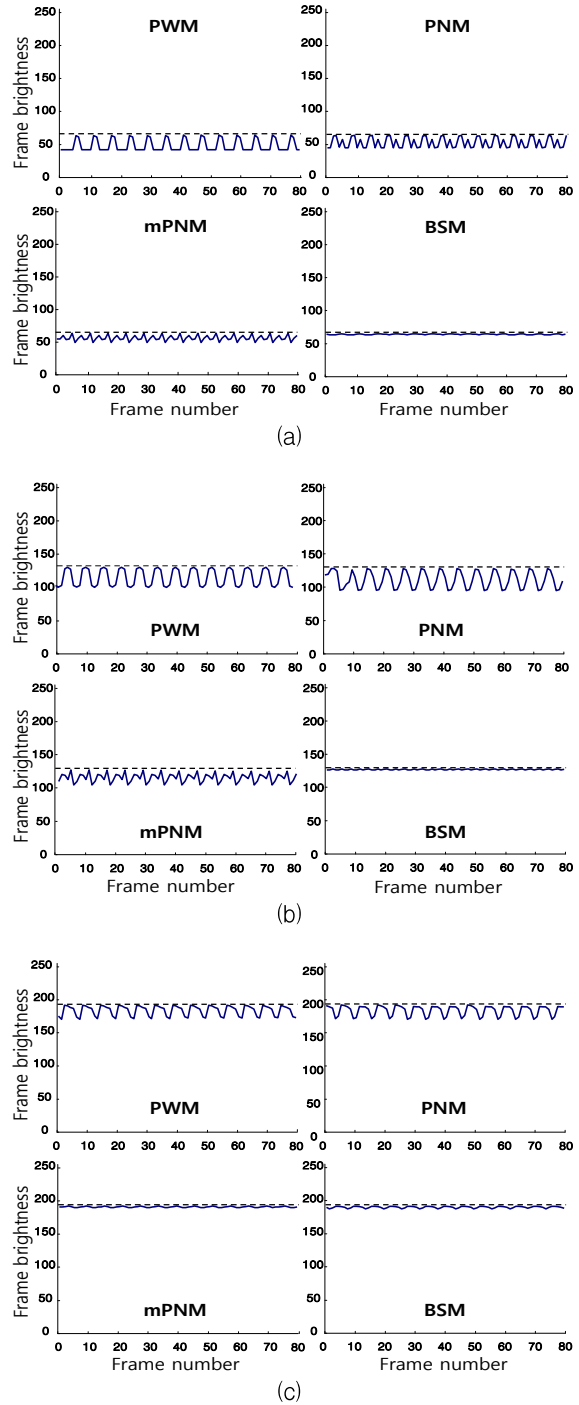


그림 3. 조광방법에 따른 프레임 밝기 (a) 조광단계 25%, (b) 조광단계 50%, (c) 조광단계 75%
 Fig. 3. Frame brightness according to dimming methods (a) 25% dimming level, (b) 50% dimming level, (c) 75% dimming level

에 촬영한 프레임 화상으로 각 프레임의 밝기가 주기적으로 어두워졌다가 다시 밝아짐을 반복하는 플리커 현상을 확인할 수 있다. 그림 5 (b)는 BSM 방식으로 조광한 경우에 촬영된 프레임 화상으로 각 프레임의 밝기 변화가 육안으로 구별할 수 없을 만큼 적어 플리커 현상이 감소 된 것을 확인할 수 있다.

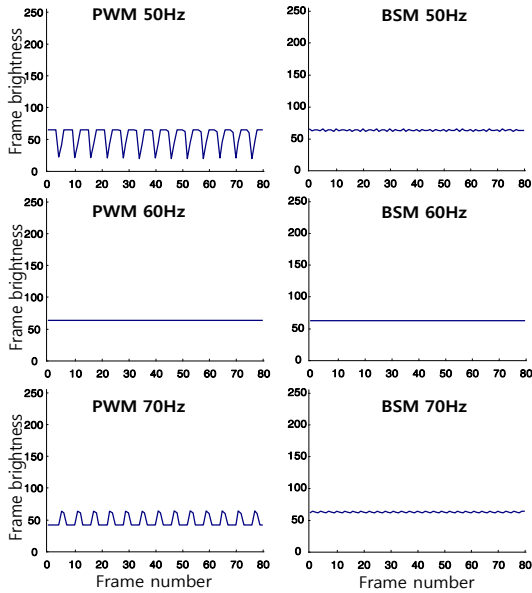


그림 4. 다양한 주파수에서의 프레임 밝기
Fig. 4. Frame brightness in various frequency

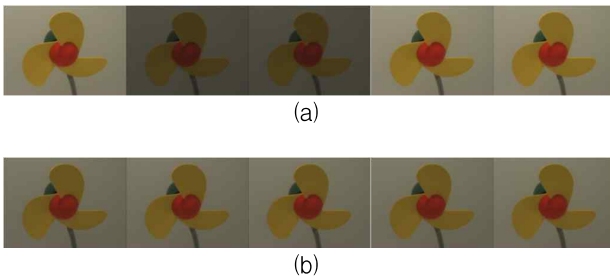


그림 5. 조광방식에 따른 동영상의 프레임 밝기 비교
(a) PWM, (b) BSM
Fig. 5. Comparison between frame brightness of video image depending on dimming methods (a) PWM, (b) BSM

표 1은 LED램프의 점등 주파수가 70Hz인 경우, 25%, 50%, 75%의 조광단계에서 촬영한 동화상의 프레임 밝기, 프레임 밝기의 맥동률, SNR 값을 표로 나

타낸 것이다. 맥동률은 다음의 식 (3)으로 구하였다. 여기서 E_{max} 는 프레임 밝기의 최대값이고 E_{min} 은 최소값이며 E_{mean} 은 평균값이다.

식에서와 같이 맥동률이 낮다는 것은 프레임 밝기의 평균값과 각 프레임의 값의 차이의 비가 적다는 것으로 플리커가 적게 발생한다는 것을 의미한다. 그리고 SNR 값은 클수록 플리커의 발생 정도가 적은 것을 의미한다.

$$\frac{E_{max} - E_{min}}{E_{mean}} \times 100\% \tag{3}$$

표 1. 조광방식에 따른 프레임 밝기 측정 결과
Table 1. Experimental results for frame brightness depending on dimming methods

Dimming level	Dimming method	Frame brightness	Ripple factor	SNR
25%	PWM	48.9	45.9%	25.3
	PNM	47.8	51.8%	23.4
	mPNM	53.4	34.4%	31.6
	BSM	64.3	3.6%	78.2
50%	PWM	112.3	27.0%	36.7
	PNM	111.6	29.5%	36.5
	mPNM	116.9	19.5%	45.0
	BSM	127.1	1.6%	93.2
75%	PWM	183.6	11.3%	56.7
	PNM	183.6	11.4%	56.6
	mPNM	190.9	1.3%	96.8
	BSM	190.1	1.9%	92.9

조광단계가 25%인 경우 BSM 방식은 다른 조광방식에 비해 맥동률과 SNR값 모두 크게 개선되었다. SNR값은 PWM < PNM < mPNM < BSM 순으로 높은 값을 가졌다. BSM 방식은 PWM 방식보다 SNR값이 약 67% 개선되었다. 조광단계가 50%인 경우에도 비슷한 추이를 보였으며, 이 경우 BSM 방식은 LED 램프 1, 2가 완벽하게 서로 보완하여 점등되므로 SNR 값이 다른 방식에 비해 매우 높다. 조광단계 50%에서 BSM의 SNR값은 PWM 방식에 비해 약 60% 개선되었다. 75%의 조광단계에서는 mPNM 방식이 가장 높

은 SNR값을 가졌으며 PWM 방식 보다 약 41% 개선되었다.

실험 결과 모든 조광방식에서 조광단계가 높아질수록 플리커는 감소하였다. 조광단계가 높아질수록 밝기의 변하지 않는 부분이 커지므로 상대적으로 밝기가 변하는 부분의 비율이 작아져 플리커가 감소하는 것이다. 조광방식별로 보면 PNM방식은 기존의 PWM 방식과 플리커 발생 정도가 거의 유사하다. 두 개의 LED 램프를 독립적으로 점등시킬 수 있는 mPNM 방식과 BSM 방식은 조광단계에 따라 한주기내의 점등 구간을 적절히 분산시킬 수가 있으므로 플리커 저감에 효과적이다.

그림 6은 70Hz의 점등 주파수와 25%, 50%, 75%의 조광단계로 LED 램프를 조광제어하였을 때, PWM, PNM, mPNM 그리고 BSM 방식에서의 SNR값을 그래프로 나타낸 것이다. 모든 조광단계에서 BSM 방식은 매우 높은 SNR값을 가지며, PWM 방식과 PNM 방식은 모든 조광단계에서 유사한 값을 나타내었다. 그러므로 단순히 bit 가중치로 분할한 보조 점등주기를 가지는 디지털 구동방식은 플리커 측면에서는 PWM 보다 우수하다고 할 수 없다. 그러나 본 논문에서 제안한 mPNM이나 BSM 방식은 이러한 보조 점등구간의 분산방식을 두 개의 LED 램프에 서로 보완적으로 적용할 수 있으므로 비 점등기간을 줄일 수 있어서 플리커를 효과적으로 저감시킬 수 있다.

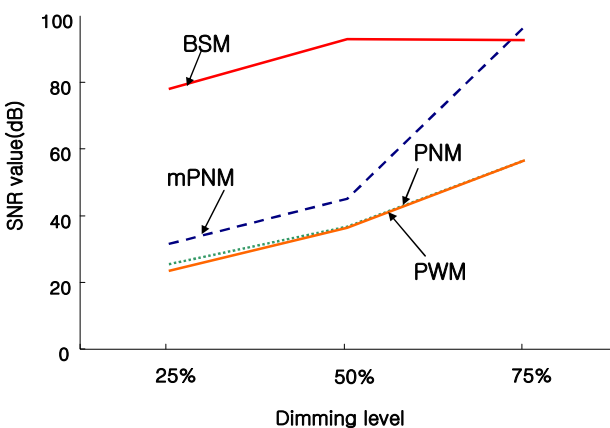


그림 6. 조광방식별 조광단계에 대한 SNR 값
 Fig. 6. SNR values according to dimming level depending on dimming methods

한편 mPNM 방식의 경우는 48/255와 같이 비교적 큰 보조 점등기간이 존재함으로 인해 오히려 두 LED 램프의 점등 타이밍이 중첩되는 경우가 많아서 BSM 방식보다 플리커 개선효과가 덜하다. BSM 방식도 조광단계가 높아지면 두 LED 램프의 점등시간 중 중첩되는 부분이 많아지므로 플리커 저감효과가 다소 떨어진다. 또한 높은 조광단계에서는 프레임의 평균 밝기가 높으므로 상대적으로 플리커가 거의 관측되지 않는다.

본 연구는 카메라의 셔터 속도와 LED의 점등주기가 다를 경우에 발생하는 플리커를 측정/평가한 것이므로 일반 LED 램프가 아닌 방송용 조명에 사용되는 고 연색지수의 LED 램프를 사용하여도 같은 결과를 얻는다. 또한 향후에 이 기술을 실제 방송국에 설치된 LED 조명시스템에 적용하고자 할 경우, 다수의 LED 램프에 대한 DMX512 제어방식에 이 기술을 응용 적용함으로써 더 효과적으로 플리커 현상을 저감할 수 있을 것으로 사료된다.

4. 결 론

본 연구에서는 방송 조명용으로 사용하는 LED 램프의 플리커 저감을 위해 새로운 LED 램프 조광방식인 mPNM과 BSM 방식을 제안하였다. 이 방식들은 하나의 점등주기를 여러 개의 보조 점등주기들로 나누고 두 개의 LED 램프가 소등기간을 감소시키고 점등기간이 중첩되지 않도록 서로 보완하여 점등되도록 한 것이 특징이다.

카메라의 셔터 주파수와 LED 램프의 점등 주파수가 다른 경우에 종래의 조광방법인 PWM, PNM 방법과 제안된 방법인 mPNM, BSM 방법에서 플리커가 발생하는 정도를 CCD카메라로 촬영하였다. 그리고 촬영된 동화상을 프레임 단위로 추출하여 프레임 밝기를 구하고 플리커 발생 정도를 SNR값으로 수치화하였다.

실험결과 두 개의 LED 램프의 점등 구간을 효과적으로 분산시키는 mPNM과 BSM 방식이 종래의 PWM 이나 PNM 방식보다 플리커 발생정도가 개선되었으며, 특히 BSM 방식은 모든 조광레벨에서 플리

커 저감정도가 매우 우수하였다.

추후에는 고속카메라를 사용하는 경우, LED 램프의 조광 방식과 카메라 frame주파수에 따른 플리커 발생 정도를 측정, 평가하고 그 개선방안을 연구할 필요가 있다. 또한 화면상의 플리커에 대하여 사람이 인지하는 정도를 플리커 평가에 반영하는 연구가 필요하다.

감사의 글

본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신산업진흥원의 IT융합 고급인력과정 지원사업의 연구결과로 수행되었습니다. (NIPA-2013-H0401-13-1002)

References

- [1] Nan Chen, Henry Shu-Hung Chung, "A Driving Technology for Retrofit LED Lamp for Fluorescent Lighting Fixtures With Electronic Ballasts", IEEE Transactions on Power Electronics, Vol.26, No.2, pp.588-601, 2011.
- [2] Kook-Se Lee, Nam-Mee Moon, "Analysis of Characteristics of White LED Light Source for TV Lighting", Journal of broadcast engineering, Vol.17, No.5, pp.461-473 2010. [Korean]
- [3] Huang-Jen Chiu, Yu-Kang Lo, Jun-Ting Chen, "A High-Efficiency Dimmable LED Driver for Low-Power Lighting Applications", IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol.57, No.2, pp.753-743, 2010.
- [4] Z. Vaitonis, A. Stonkus, A. Zukauskas, "Effect of junction temperature oscillation on output characteristics of a light-emitting diode under pulse-width and pulse-frequency modulation driving methods", IET Optoelectron, Vol.6, pp.52-56, 2012.
- [5] Arturas Zukauskas, Michael S. Shur, and Remis Gaska, "Introduction to Solid-State Lighting", Wiley-Interscience Publication, p.136, 2002.
- [6] L. Svilainis, "LED brightness control for video display application", Displays, Vol.29, Issue 5, pp.506-511, 2008.
- [7] Marc Dyle, Nadarajah Narendran, Andrew Bierman, and Terence Klein, "Impact of Dimming White LEDs: Chromaticity Shifts Due to Different Dimming Methods", Fifth International Conference on Solid State Lighting, pp.291-299, 2005.
- [8] Shinho Kang, Jeongduk Ryeom, "A Study on Digital Control Method of LED luminance", Journal of KIIE, Vol.24, No.1, pp.28-34, January 2010. [Korean]

◇ **저자소개** ◇



김도영(金度咏)

1990년 3월 23일생. 2013년 숭실대학교 전기공학부 졸업. 현재 숭실대학교 대학원 전기공학과 석사과정.



윤장희(尹長熙)

1984년 2월 26일생. 2010년 숭실대학교 전기공학부 졸업. 2012년 숭실대학교 전기공학과 졸업(석사). 현재 숭실대학교 전기공학과 박사과정.



엄정덕(廉正德)

1960년 5월 14일생. 1987년 서울대학교 전기공학과 졸업. 1989년 서울대학교 전기공학과 졸업(석사). 1992년 서울대학교 전기공학과 졸업(박사) 1992~1995년 LG전자(주) 영상미디어(연). 1996년 일본 전기·통신대학 외국인연구자. 1997~1999년 삼성SDI(주) 기술본부. 2000~2005년 경주대학교 컴퓨터전자공학부 조교수. 2006년~현재 숭실대학교 전기공학부 부교수.