

논문 2006-43SC-6-5

소형 3파장 LED 백라이트의 온도 보상 구동

(Temperature compensated operation for small trichromatic LED backlight)

이 동 우*, 박 무 윤*, 황 수 룡*, 김 진 하*

(Dong-Woo Lee, Mu-Youn Park, Soo-Ryong Hwang, and Jin-Ha Kim)

요 약

적, 녹, 청색 3파장 LED를 적용한 LCD 백라이트 조명은 백색 LED를 적용한 것에 비해 넓은 색재현성과 LCD 투과율을 실현할 수 있으나, 온도 변화에 따른 휘도 저하와 색좌표 변동 문제 등의 신뢰성을 확보하지 않으면 안된다. 본 논문에서는 정전류 전원을 사용하는 소형 3파장 LED 백라이트 조명에 온도 보상 소자로서 써미스터를 사용한 저가형 온도 보상 장치에 대해 소개하고, 설계 및 실험 결과를 나타내었다. 이 방법에 의해 휘도 저하율을 54% 개선하였고, 색좌표 변동율을 51% 줄일 수 있었다.

Abstract

Trichromatic LED backlight renders higher colour gamut and panel transmittance to the LCDs than the phosphor-converted white LED backlight. In realization, however, several technical challenges arise, such as colour shift, due to the ambient temperature change, brightness decrease along with the temperature increase, colour mixing, minimizing the total number of chips and so on. In this paper we designed and tested the low cost temperature compensating circuit, using a thermistor as a temperature compensating element, for stabilizing the brightness and maintaining the colour coordinates of the trichromatic backlight units. By applying the temperature compensating circuit, the decrement rate of the brightness and colour shift rate were achieved by 54% and 51% respectively comparing with uncompensated case.

Keywords : LED, 백라이트, 3파장, 써미스터, 온도

I. 서 론

최근에는 LCD TV와 모니터 등에 적, 녹, 청색 각 파장의 LED를 조합한 3파장 LED 형태의 백라이트가 속속 등장하고 있다. 그 주된 이유는 CCFL(냉음극 형광램프) 백색 광원에 비해 3파장 LED의 조합으로 이루어진 백색 광원의 뛰어난 색재현성 때문이다. 본격적인 상업화를 위해서는 CCFL에 비해 떨어지는 LED의 광효율과 높은 원가 문제를 극복해야만 하는 한계를 안고 있다.^{[3],[4]}

그러나 소형 모바일 기기에 3파장 LED 백라이트 조명을 적용함에 있어서는 최근 소형 LCD 모듈에서 많이

사용되고 있는 백색 LED 백라이트 조명으로 그 경쟁 구도가 바뀌게 된다. 소형 모바일 기기에 적용된 백색 LED는 CCFL에 의한 LCD 백라이트 조명에 비해 모바일 기기의 슬림화, 안정성을 가져왔고, 간단한 구동 회로 구현이 가능하며, LED의 긴 수명은 제품 수명의 연장을 가져왔다.

그럼에도 불구하고 최근에 출시되는 DMB(디지털 멀티미디어 방송) 기기, PMP(퍼스널 멀티미디어 플레이어) 기기, 모바일 게임기 등은 점점 더 높은 비디오 품질이 요구되고 있어 NTSC의 50% 이하 색재현성을 보이는 백색 LED 백라이트 조명은 분명히 한계를 가지고 있다. LED의 장점들을 가지면서도 높은 색재현성을 실현할 수 있는 3파장 LED 백라이트 조명이 모바일 기기에 요구되는 이유가 여기에 있다.^[5]

이와 같이 3파장 LED 백라이트 조명이 백색 LED

* 정회원, 삼성전기(주)

(Samsung Electro-Mechanics Co., Ltd.)

접수일자: 2006년4월21일, 수정완료: 2006년11월2일

백라이트 조명에 비해 장점이 있는 것은 확실하지만, 반면에 선결해야 할 단점도 있다. 그것은 바로 적, 녹, 청색 각 파장의 LED가 온도 변화에 따라 각기 다른 발광 특성을 가짐에 따라 필연적으로 발생하는 3파장 조합 백색광의 온도 의존 특성이다. 즉, 상온에서 이상적인 백색광이 되도록 각 파장의 LED 구동 조건을 설정했다고 하더라도 주위 온도가 변함에 따라 각 LED는 발광 효율의 차이, 휘도 변화율의 차이 등에 의해 초기에 설정해 놓은 색좌표가 변하게 되고, 백색광의 휘도 또한 달라지게 된다.^{[2],[6]}

이러한 이유에서 3파장 LED 백라이트 조명을 구동하는 회로는 백색 LED의 그것보다 복잡해 질 수밖에 없다. 첫번째로 3가지 각 파장의 LED를 서로 다른 조건으로 구동하기 위해서는 최소한 3개의 구동 채널이 필요하게 되고, 온도에 따른 색좌표 변동을 줄일 수 있는 온도 보상 수단이 필요하다. 본 논문에서는 3가지 파장의 각 LED를 구동하는 3채널 정전류 구동 회로와 온도 보상 소자로서 온도 변화에 따라 저항값이 바뀌는 써미스터를 이용한 회로를 고안하여 온도 보상 효과를 실험하였다.

II. 본 론

1. 3파장 백라이트의 구성

본 논문에서 실험을 위해 사용한 LED 백라이트 모듈은, LED 칩을 패키지 공정부터 백라이트 조립까지 자체 제작한 것으로서, 적, 녹, 청색 각 1개씩의 LED 칩을 하나의 서브모듈로 패키징 하고, 1개의 백라이트 모듈에 그 서브모듈 2개를 조립한 형태이다.^[1] 그림1에 백라이트 모듈의 사진을 나타내었는데, 백라이트 우측에 화살표(→)로 표시된 두 부분에 각각 1개씩의 LED 서브모듈이 장착되어 있다. LED는 모두 상온에서 최대

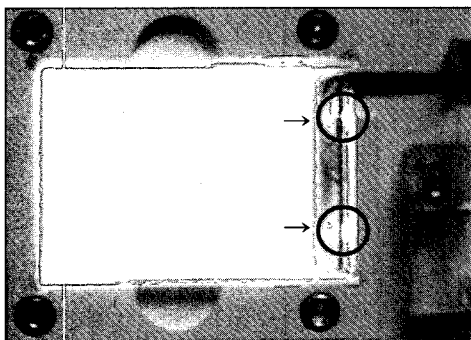


그림 1. 실험에 사용한 백라이트 모듈
Fig. 1. Backlight module used in the experiment.

전류 정격이 30mA/chip 정도의 특성을 갖는 소형 LED chip을 사용하였고, 상온에서 적색과 녹색 LED는 10~15 mA/chip, 청색 LED는 5~7 mA/chip 정도의 전류 구동 조건으로 백라이트 중앙부에서 측정된 백색광의 휘도가 2500~3500 cd/m² 정도가 되도록 조정하였다. 그러나 온도 보상을 위한 실험에서는 고온에서 LED chip의 허용 전류값을 감안하여 초기 구동 조건을 조금 완화시켜 전체 휘도를 조정하였다.^[10]

2. LED 구동 회로

3파장 LED 백라이트에서 LED를 구동하기 위한 회로는 그림2에 나타낸 것과 같은 Boost type의 DC-DC 컨버터를 직접 설계 제작하여 사용하였다.^{[7],[8]} 일반적인 휴대전화의 배터리 전압 수준의 입력 전압을 8.5V 정도의 출력 전압으로 변환하는 Boost 컨버터 회로를 제작하였고, 출력 전압은 시판중인 PWM(Pulse Width Modulation) 피드백 제어 IC를 사용하여 안정화시켰다. 그림 2에서는 출력 채널1(CH1)에 적색 LED 2개를 직렬로 연결하여 동작시키고 있는 것만을 나타내었으나 채널2(CH2)와 채널3(CH3) 각각에도 적색 LED와 동일하게 연결된 녹색과 청색 LED가 연결된다. 각 채널의 구동 전류는 MOSFET의 게이트-소스 전압(VGS)에 의해 제어되는 정전류 구동 전원이다. 'Analog Dimming Control' 단에서 각 채널의 구동 전류를 설정하여 상온에서 백라이트 백색광의 색좌표 및 휘도를 조정하고, PWM Dimming을 위해서는 'PWM Control' 단을 이용할 수 있다. 온도 변화에 따른 각 채널의 구동 전류 제

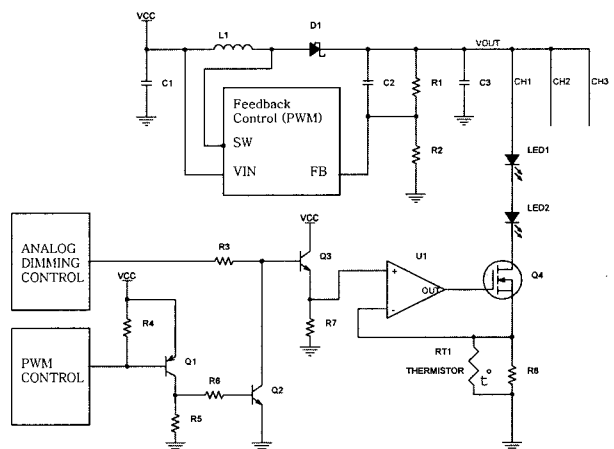


그림 2. 3파장 LED 백라이트에서 각 파장별 LED를 구동하는 회로
Fig. 2. LED driving circuit which drives individual LEDs, R,G,B, independently in the trichromatic LED backlight.

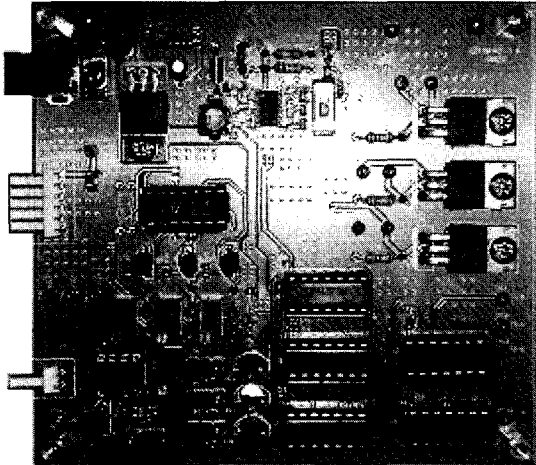


그림 3. 3파장 LED 백라이트 구동용 PCB 보드
Fig. 3. Driving circuit board for trichromatic LED backlight

어는 서론에서 설명한 것과 같이 별도의 피드백 시스템을 사용하지 않고 MOSFET의 소스 단자에 연결된 부하저항(고정저항과 써미스터 병렬 연결구조)만에 의해 결정된다. 즉, 온도 변화에 따라 써미스터의 저항값이 변하고, 이에 따라 MOSFET에 흐르는 전류값이 변함으로써 LED의 구동 전류가 가변되고 있다.

또, 그림3은 실제 실험에 사용하기 위해 제작된 PCB 보드이다. 실제 보드에는 입력 전원을 Regulation 하는 회로와 적, 녹, 청색 LED 구동 펄스를 순차적으로 생성시켜 구동하는 FS(Field Sequential) 구동 회로도 포함되어 있다.

III. 실험

일반적으로 온도가 높아짐에 따라 동일한 구동 조건을 유지하더라도 LED의 발광 효율은 떨어지게 되는데, 온도 의존성은 적색>녹색>청색 파장의 순서로 크게 나타나게 되어 온도가 올라감에 따라 백라이트의 백색광은 녹색 및 청색 편향성을 띠게 된다. 만약 온도가 높아졌을 때 적, 녹, 청색 파장의 각 휘도비가 상온에서와 동일하게 유지될 수 있다면 색좌표의 변동도 최소화될 수 있을 것이다.

1. 실험 방법

우선 상온(25℃)에서 80℃까지를 온도 보상 실험의 범위로 선정하였고, 상온에서 적, 녹, 청색 각 파장의 휘도가 80℃에서도 유지되도록 하기 위한 전류값을 LED 사양서를 통해 결정하였다. 사양서에 나타난 바로는 청

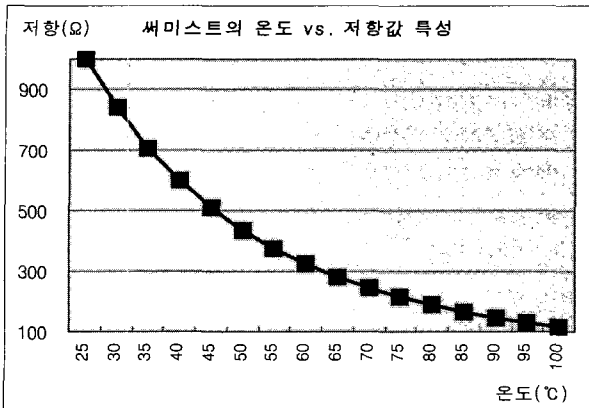
색 LED의 경우 온도 변화에 따라 휘도 감소가 거의 나타나지 않는 특성을 가지고 있었기 때문에 청색 LED를 제외한 적, 녹색 LED에 대해서만 보상하기로 하였다. 이렇게 하여 상온에서의 전류값에 비해 80℃에서 보상되어야 할 전류값의 비율은 적색의 경우 130%, 녹색의 경우 115%로 설정되었다.

구동 전류는 상온에서의 설정 조건을 유지한 채 그림 2에 나타난 것과 같이 MOSFET 드레인 전류(≈소스 전류)에 직렬 접속되어 있는 부하 저항값의 크기가 가변됨으로써 선형적으로 조정될 수 있다. 이 부하 저항값이 온도 변화에 따라 자동으로 가변되도록 하기 위해 써미스터를 사용하고 있다.

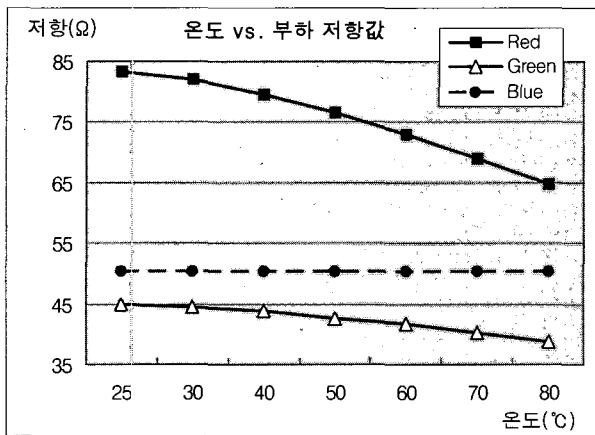
온도 상승에 따라 더 높은 전류가 흐르기 위해서 부하 저항값은 낮아져야 하는데 이 조건을 만족시키기 위해 NTC(Negative Temperature Coefficient) 써미스터를 사용하였다.^[9] LED 구동에 필요한 범위의 전류값을 얻기 위해서는 각 채널당 수십Ω 정도의 부하 저항이 연결되어야 하고, 온도 상승에 따라 선형적인 전류 보상 효과를 얻으려면 부하 저항값도 상온에서부터 80℃까지 선형적으로 감소되어야 한다. 일반적으로 칩형 써미스터는 NTC의 경우 상온에서 kΩ 단위 이상의 저항값을 갖는 제품이 많기 때문에 본 실험에서는 상온에서 1kΩ의 저항값을 가지고 B-상수가 3200K(계산하면 80℃에서 ≈188Ω)인 제품을 사용하였다. 그림4에 나타난 것과 같이 NTC 써미스터 자체만의 온도 특성에 비해 고정저항과의 병렬연결에 의해 총부하 저항값의 범위와 선형성이 동시에 개선됨을 알 수 있다.

고정저항을 선택하는 데 있어서는 사용하고자 하는 구동 전압이 주어졌을 때 Analog Dimming단의 가변저항 조절에 의해 LED 구동에 필요한 전류값의 최대 범위 이상까지 조절이 가능하도록 총부하 저항값(고정저항//써미스터)을 계산하여 선택해야 한다. 본 실험에서는 적색 LED 구동 채널에는 91Ω 고정저항과 써미스터를 병렬 연결하였고, 녹색LED 구동 채널에는 47Ω 고정저항과 써미스터를 병렬 연결하였으며, 청색 LED 구동 채널은 51 Ω 고정저항만을 연결하여 상온에서 고온까지 목표한 설정 전류가 흐를 수 있도록 하였다.

이와 같이 각 채널별로 저항의 선택을 완료하고, 써미스터를 백라이트 모듈과 가까이 부착한 후, 백라이트 모듈을 오븐 속에 넣고 외부의 구동 회로보드(그림3)와 케이블로 연결한다. 이 때, 백라이트 모듈의 발광부가 외부에서 정면으로 보이도록 오븐의 투명 창에 밀착시켜 고정한다. 오븐의 정면 창으로부터 1m 정도 떨어진



(1)



(2)

그림 4. (1) 씨미스터의 온도에 따른 저항값 추이
(2) 씨미스터와 고정저항을 병렬연결한 경우 온도에 따른 저항값 추이

Fig. 4. (1) Resistance change in temperature variation of the thermistors (2) Resistance change in temperature variation in case that the thermistors is connected to a fixed resistors in parallel.

외부에 스펙트라 컬러리미터(Spectra-Colorimeter)를 설치한다. LED 구동상태의 전기적 특성은 구동 보드에서 각 채널별로 멀티미터를 이용하여 측정할 수 있도록 하였다.

모든 측정 준비가 완료되면 오븐 내부의 온도가 상온(25°C)일 때 백라이트 모듈을 켜고 30초가 지난 후 스펙트라 컬러리미터로 백색광의 휘도와 색좌표(x,y)를 측정하고, 구동 보드에서는 각 채널별로 LED의 순방향 전압, 구동전류, 부하 저항값을 측정한다. 상온에서의 측정이 끝나면 백라이트를 끄고 오븐의 내부 온도를 30°C까지 올린 후 상온에서와 동일한 방법으로 측정한다. 30°C~80°C까지는 10°C 단위로 높여가면서 동일한 방법으로 측정한다. 씨미스터가 있는 경우의 효과와 비

교하기 위해 씨미스터가 없는 경우에도 동일한 방법으로 측정하여 비교 데이터로 사용하였다. 두 경우에 저항값의 선택 및 사용 샘플의 편차 등에 의해 상온에서의 휘도 등 초기값에 약간의 차이가 있으나 온도 변화에 따른 추이를 확인하는 데는 문제가 없다.

2. 실험 결과

씨미스터를 사용하지 않은 경우와 사용한 경우에 대해 상온에서 80°C까지 백라이트 주변 온도에 따른 측정 데이터를 표1에 나타내었다.

실험 결과를 분석해 보면 다음과 같은 사실을 알 수 있다.

첫째, LED의 순방향 전압은 씨미스터 유무에 관계없이 비슷한 감소 경향을 보인다. 즉, 강제로 더 많은 전류를 흘리더라도 순방향 전압은 전류와 무관하고 온도에 대부분 의존성이 있음을 알 수 있다. LED의 순방향 전압은 제작된 LED의 반도체 재료가 가지는 에너지 갭 Eg의 온도 특성과 일치하는데, Eg는 온도에만 의존성을 가지는 파라미터이기 때문이다.

둘째, 그림 5에서 보는 바와 같이 온도가 상승함에 따라 구동 전류는 증가하고 있으며, 이는 부하 저항값이 감소하는 추이를 그대로 반영하고 있다. 저항값의 감소 경향이 완전히 선형적이지 못한 경향이 전류의 증가 추이에도 나타나고 있으나, 80°C에서 목표로 했던 전류의 증가량은 상온 대비 적색 LED 27%, 녹색 LED 14.3%로 목표값인 30%, 15%에 비해 약간 낮은 경향을 보였다.

셋째, 그림6에서 보는 바와 같이 백색광의 휘도는 전류 보상 수단이 없는 경우 초기값 대비 14%가 감소했

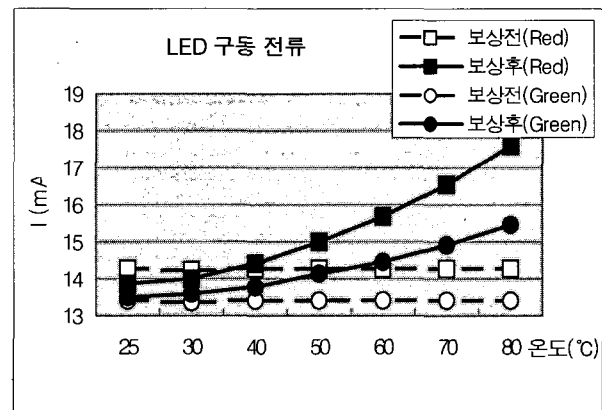


그림 5. 보상 전후의 온도에 따른 동작전류 추이
Fig. 5. Change of driving current in temperature variation of before and after the compensation.

표 1. (1) 써미스터가 있는 경우와 (2) 써미스터가 없는 경우의 온도에 따른 채널별 LED 구동 특성

Table 1. LED driving behaviour of each channel in temperature variation.

(1) with the thermistors (2) without the thermistors

(1)

온도 (°C)	Red		Green		Blue		휘도 (cd/m ²)	휘도 (정규화)	색좌표 x	색좌표 y
	VF(V)	I(mA)	VF(V)	I(mA)	VF(V)	I(mA)				
25	3.67	13.84	6.17	13.51	5.98	6.94	1834	1.000	0.304	0.308
30	3.67	14.00	6.16	13.57	5.98	6.87	1846	1.007	0.304	0.308
40	3.64	14.41	6.13	13.79	5.95	6.87	1839	1.003	0.303	0.309
50	3.62	14.98	6.09	14.12	5.90	6.87	1815	0.990	0.302	0.310
60	3.59	15.68	6.05	14.44	5.85	6.85	1779	0.970	0.298	0.311
70	3.56	16.56	6.02	14.89	5.80	6.81	1739	0.948	0.296	0.313
80	3.54	17.58	5.99	15.44	5.76	6.79	1713	0.934	0.294	0.315

(2)

온도 (°C)	Red		Green		Blue		휘도 (cd/m ²)	휘도 (정규화)	색좌표 x	색좌표 y
	VF(V)	I(mA)	VF(V)	I(mA)	VF(V)	I(mA)				
25	3.68	14.27	6.20	13.40	5.88	6.85	1772	1.000	0.301	0.311
30	3.68	14.24	6.20	13.38	5.87	6.83	1775	1.002	0.301	0.311
40	3.65	14.27	6.17	13.42	5.84	6.87	1742	0.983	0.298	0.312
50	3.62	14.29	6.12	13.42	5.79	6.87	1697	0.958	0.293	0.311
60	3.59	14.27	6.08	13.42	5.75	6.87	1638	0.924	0.288	0.310
70	3.56	14.29	6.04	13.42	5.71	6.87	1583	0.893	0.282	0.309
80	3.53	14.27	6.00	13.42	5.66	6.87	1524	0.860	0.276	0.309

(표 1에서 사용한 측정 파라미터에 대한 설명)

VF(V) : 2개의 LED가 직렬 연결된 상태의 양단 순방향 전압

I(mA) : LED 구동 전류 또는 순방향 전류

휘도(정규화) : 상온에서의 휘도를 1로 보았을 때의 온도별 상대 휘도

색좌표 x,y : 'CIE 1931 Chromaticity Diagram'를 기준으로 본 색좌표

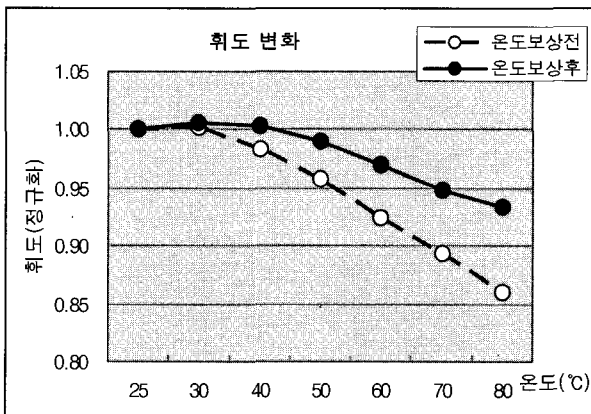


그림 6. 보상 전후의 휘도 변화 추이

Fig. 6. Brightness change of before and after the compensation.

으나, 써미스트에 의한 전류 보상시 6.4% 감소에 그쳐 54.3%의 개선 효과가 있음을 알 수 있다.

넷째, 그림7에서 보는 바와 같이 백색광의 색좌표는 보상 전에 0.0251 변동이 발생하였으나 보상 후에는 변

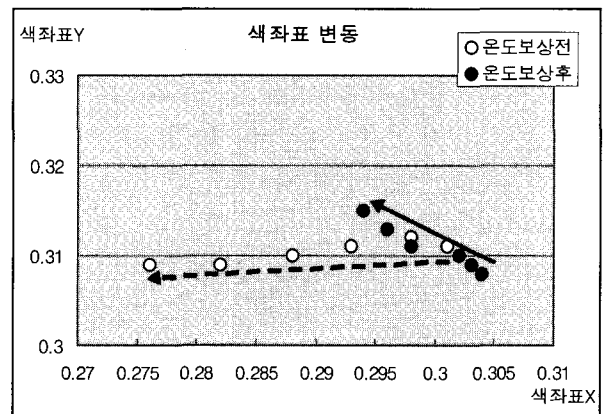


그림 7. 보상 전후의 색좌표 변동 추이

Fig. 7. Colour coordinate change of before and after the compensation.

동량이 0.0122로서 51.3%의 개선 효과가 있었다. 색좌표의 변동량은 초기 색좌표를 (x,y)라고 하고, 80°C에서의 색좌표를 (x',y')라고 했을 때, $((x-x')^2+(y-y')^2)^{1/2}$ 로 계산된다. 색좌표의 변동을 육안으로 관측하면 써미

스터가 없는 경우에는 뚜렷하게 청록색으로 편향된 백색임을 느낄 수 있지만, 써미스터가 있는 경우에는 초기 색상 대비 변화를 느낄 수가 없었다.

IV. 결 론

실험 결과에 의하면, 광량 또는 컬러를 직접 피드백 받아서 전류로 보상하는 방법이 아니더라도 미리 LED의 온도에 대한 특성을 기초로 하여 온도에 따라 보상이 되어야 할 전류량을 예측하고, 이를 반영하여 써미스터를 포함한 부하 저항의 저항값 변화량에 상응하는 구동 전류가 보상되도록 하는 방법으로도 휘도 저하 및 색좌표 이동 문제를 상당히 많이 개선할 수 있음을 알 수 있었다.

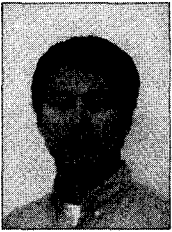
그러나 안정된 온도 보상 시스템을 만들기 위해서는 다음과 같은 문제가 추가로 검토되어야 한다.

본 실험의 출발점은 전류를 보상함으로써 휘도의 저하를 방지하고자 하는 것이었다. 그러나 근본적으로 휘도의 저하와 색좌표의 변동 중에서 무엇이 더 우선되는 성능 지표인가에 대한 검토가 필요하다. 온도에 따른 휘도 변화가 없도록 하려고 하면, 그 결과 발생할 수 있는 과도한 전류 보상은 높은 전력의 소모를 가져올 뿐 아니라 LED의 허용 전류를 초과한 구동으로 결국 LED의 수명에도 영향을 미치게 될 것이다. 이에 반해 온도 상승에 따라 휘도 저하가 조금 있더라도 색좌표 변화가 적은 쪽으로 개선의 목표를 설정하는 것은 좋은 방법이 될 수도 있다. 다만, 그렇게 하기 위해서는 각 파장의 휘도와 색좌표 사이의 관계성을 정확히 파악한 후 설계가 이루어져야 하고, 온도 상승에 따른 LED의 허용 전류도 반드시 고려되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] Jin-ha Kim, "High efficiency trichromatic LED backlight for mobile LCDs", Proc. SPIE vol. 6134, pp. 66-75, San Jose, U.S., Jan 2006.
- [2] E. Fred Schubert, "Light-Emitting Diodes", Cambridge Univ. Press, pp. 55-83, 96-98, 219-241, 2003.
- [3] W. Folkerts, "LED backlighting concepts with high flux LEDs", SID symposium digest 35, pp. 1226-1229, 2004.
- [4] G. Harbers, "High performance LCD backlighting using high intensity red, green, blue light emitting diodes", SID symposium digest 32, pp. 702-706, 2001.
- [5] 카란타르 카릴, "광역 색 재현성 액정 디스플레이를 실현한 고휘속 R,G,B LED 백라이트", 월간 디스플레이, 36-40쪽, 2005년 7월
- [6] Armand Perduijn, "Light output feedback solution for RGB LED backlight applications", SID symposium digest 34, pp. 1254, 2003년
- [7] 김희준, "스위치 모드 파워 서플라이", 성안당, 10-17쪽, 1997년
- [8] Eddy Wells, et al., "디스플레이와 드라이버", EDN Japan 별책 회로설계 아이디어집, 15-25쪽, 2005년
- [9] 어 관, "부온도 계수 써미스터 (NTC Thermistor)의 특성과 응용", 대한전자공학회지 제21권 8호, 19-29쪽, 1994년
- [10] Lumileds Lighting Website, <http://lumileds.com>

저 자 소 개



이 동 우(정회원)
 1994년 경북대학교
 전자공학과 학사 졸업.
 1994년~1999년 삼성테크윈(주)
 카메라 사업부
 2000년~현재 삼성전기(주)
 중앙연구소/OS사업부

<주관심분야 : Analog & Digital 회로설계,
 광전자부품 Applications>



황 수 룡(정회원)
 1999년 한국외국어대학교
 물리학과 학사 졸업.
 2002년 고려대학교
 물리학과 석사 졸업.
 2002년~현재 삼성전기(주)
 중앙연구소

<주관심분야 : 반도체, 소자 Packaging>



박 무 윤(정회원)
 1995년 성균관대학교
 전자공학과 학사 졸업.
 1997년 성균관대학교
 전자공학회 석사 졸업.
 1997년~2001년 삼성전자
 정보통신연구소

2001년~2003년 JDS Uniphase 근무.
 2003년~현재 삼성전기(주) 중앙연구소
 <주관심분야 : 광통신소자, 디스플레이 소자,
 Photovoltaic>



김 진 하(정회원)
 1992년 한국과학기술대 물리학과
 학사 졸업.
 1994년 한국과학기술원 물리학과
 석사 졸업.
 1994년~1997년 삼성전자(주)
 반도체 연구소

1997년~1998년 한국과학기술원 전자광학 연구
 센터
 1998년~1999년 FIBERPRO/도남시스템(주)
 2003년 Univ. of Texas at Austin 전기공학 박사
 졸업.
 2003년~현재 삼성전기(주) 중앙연구소
 <주관심분야: Nanophotonics & Nanofabrication,
 LED, 광통신소자, Photovoltaics>