

고휘도 LED 광원을 사용하는 광색가변 기술에 관한 연구

유용수\*, 송상빈, 김완호, 여인선  
 전남대 전기공학과 · HECS · POTRI

A study on color variable technique using high brightness LEDs

Yong-Su Yu\*, Sang-Bin Song, Yan-Ho Kim, In-Seon Yeo  
 Dept. of Electrical Engineering · HECS · POTRI, Chonnam National University

**Abstract** - This paper suggests a method of color variation technique to generate stable white light. The light from high brightness RGB LED was mixed according to the RGB LED luminance ratio. A microcontroller-based PWM control circuit and switching circuit is used to achieve full color variation. It is confirmed that the stable white light and full color variation is possible

1. 서 론

고휘도 LED를 광원으로 사용하는 광색가변 기술은 저전력, 고효율, 빠른 응답특성을 가지고 있는 고휘도 LED광원의 Duty비와 PWM제어를 통하여 다양한 광색을 가변하는 기술이다. 그러나 고휘도 LED는 반도체 소자로서 과전압 및 과전류, 온도에 매우 민감하게 반응하여 LED의 파괴 및 수명저하, 그리고 광출력이 변화하는 단점이 있다. 또한 고휘도 LED는 일반 LED보다 높은 전압에서 동작되고 입력전류의 변화에 의한 광출력의 변화폭도 크기 때문에, 동작되는 고휘도 LED의 개수에 따라 입력전류를 조절하여 주어야 한다. 그리고 내부 임피던스의 차이에 의하여 발생하는 전기적·광학적 특성변화에 대한 고려도 함께 이루어져야 한다.

본 논문에서는 고휘도 RGB LED의 전기적·광학적 특성을 고려하고, 이를 바탕으로 비교적 회로구성을 간단하게 할 수 있는 마이크로컨트롤러를 사용하여 각각 ON/OFF 및 PWM제어를 위한 광색가변신호를 발생하는 제어회로를 구성하였다. 또한 PWM제어신호에 의하여 안정적으로 전류를 제어하는 스위칭회로를 구성하였다. 그리고 안정적인 휘도값을 갖는 광색을 나타내기 위하여 고휘도 RGB LED의 비율을 선정하고, 이를 이용하여 안정적인 광색을 나타내는 RGB LED의 Duty비와 다양한 광색변환을 위한 PWM제어 신호를 발생하는 프로그램을 구성하였다.

2. 본 론

2.1 고휘도 LED의 특성

2.1.1 고휘도 RGB LED의 전기적 특성

고휘도 RGB LED는 전류구동소자로서 전류량을 조절하여 제어하게 된다. 또한 각각의 종류에 따라 조금씩 다른 전압-전류 특성을 가진다. 그림 1은 실험에 사용된 고휘도 RGB LED의 전압-전류특성을 나타내고 있다. 그림 1에서 알 수 있듯이 고휘도 RGB LED는 전압에 대한 전류의 변화가 크며, 특히 고휘도 적색 LED는 동작전압에 대한 전류의 변화가 다른 고휘도 LED에 비하여 더 심하며, 약간의 과전압에도 파괴되기 쉽다. 그러므로 각각의 고휘도 RGB LED가 정격상태에서 동작할 수 있도록 회로를 구성하여야 한다. 표 1은 고휘도 RGB LED의 기본적인 사양을 나타내고 있으며, 녹색과 청색 고휘도 LED는 Toyoda Gosei, 적색 고휘도 LED는

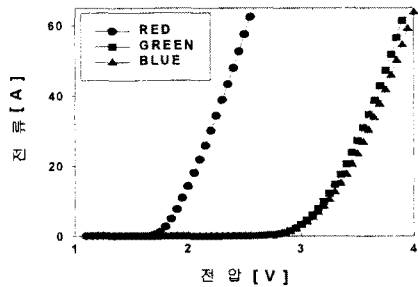


그림 1. 고휘도 RGB LED의 전압-전류

Fig. 1. voltage vs current of high brightness RGB LED samples.

HP제품을 선정하였다. 고휘도 RGB LED의 방사범위와 정격전류는 모두 같으며, 녹색과 청색 고휘도 LED의 정격전압은 거의 비슷하지만 적색 고휘도 LED의 정격전압은 상대적으로 낮다.

표 1. 실험에 사용된 고휘도 RGB LED의 특성

Table 1. Characteristics of high brightness RGB LED samples.

방사색	방사범위 [ ° ]	순방향전류 I <sub>F</sub> [mA]	순방향전압 V <sub>F</sub> [V]	재료
Red	30	20	2.0	AlInGaP
Green	30	20	3.3	GaP(N)
Blue	30	20	3.4	GaN/SiC

2.1.2 고휘도 RGB LED의 광학적 특성

고휘도 RGB LED의 광학적 특성은 LED의 재료나 제조 방법에 따라 다른 특성을 갖으며, 그림 2는 전압에 대한 RGB LED의 광출력을 나타내고 있다. 전압에 대한 광출력 특성은 전압-전류 곡선과 비슷하게 나타나며, 청색 고휘도 LED의 광출력이 녹색 고휘도 LED보다 약간 높은 값을 나타내고 있다. 또한 고휘도 적색 LED의 광출력은 LED의 전압에 대하여 상당히 급격하게 변하는 것을 알 수 있으며, 고휘도 청색 LED의 광출력이 고휘도 녹색 LED에 비하여 상대적으로 높은 값을 나타내고 있다. 고휘도 RGB LED의 전압에 대한 광출력은 일정전압까지는 비례적으로 증가하지만 일정한 전압이상이 되면, 전압이 증가하여도 광출력이 감소하게 되며, 그 이상의 높은 전압이 인가되면 LED가 파괴되거나, 본래의 특성이 손상된다. 광출력은 1830-C optical meter를 사용하여 측정하였으며, radiance(W/cm<sup>2</sup>)나 current(A) 단위로 측정하였다.

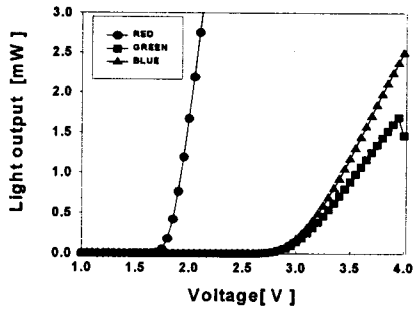


그림 2. 고휘도 RGB LED의 전압-광출력  
Fig. 2. Voltage vs light output of high brightness RGB LEDs.

그림 3은 고휘도 RGB LED에 대한 스펙트럼 분석 결과를 나타내고 있으며, 고휘도 RGB LED의 스펙트럼 분석은 스펙트럼분석기(Princeton Instruments, Model ST-121)를 사용하여 분석하였다. 측정조건은 고휘도 RGB LED 모두 20mA를 동작전류로 선정하였고, 스펙트럼 분석은 분석기의 측정 범위 내에서 측정하기 위하여 detector의 빛의 양을 조절하여 측정하였다. 스펙트럼 분석에서 적색 고휘도 LED의 파장은 639nm, 녹색 고휘도 LED는 523nm 그리고 청색은 470nm로 측정되었다. 이것으로 고휘도 적색 LED의 상대적 빛의 세기가 가장 세고, 그림 2의 전압에 대한 광출력특성에서와 같이 고휘도 청색 LED의 빛의 세기가 고휘도 녹색 LED의 빛의 세기에 비하여 높게 나타나는 것을 확인 할 수 있다. 또한 고휘도 적색 LED와 청색 고휘도 LED의 스펙트럼은 파장대가 좁은 선스펙트럼을 보이고 있음을 알 수 있다.

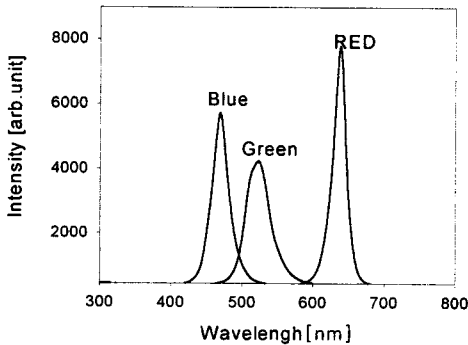


그림 3. 고휘도 RGB LED의 스펙트럼  
Fig. 3. Spectrum of high brightness RGB LED samples.

## 2.2 고휘도 RGB LED의 광색가변회로

제어회로는 먼저 AT89C4051 마이크로컨트롤러 1개와 D Flip-Flop 1개, 스위칭에 필요한 NPN 트랜지스터 8개로 구성하였으며, PWM 신호의 전달지연을 제거하기 위하여 D Flip-Flop의 출력측에 Buffer IC를 연결하였다. 그림 4는 광색가변회로의 다이어그램을 나타내고 있으며, 마이크로컨트롤러에 연결된 D Flip-Flop은 고휘도 LED를 추가로 연결하는 경우에 사용된다. 제어회로의 각 핀은 각각 한색의 고휘도 LED를 제어하게 되며, 각각의 스위칭부는 각각 한색의 고휘도 LED array가 연결 되어 있다.

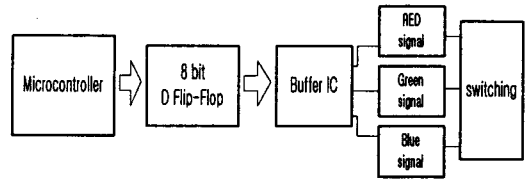


그림 4. 광색가변회로 다이어그램  
Fig. 4. Color variation circuit diagram.

### (1) 마이크로컨트롤러부

마이크로컨트롤러 AT89C4051은 4 Kbyte의 ROM과 128×8bit RAM이 내장되어 있어서 외부 ROM이나 RAM이 필요하지 않고 기능과 space면에서도 많은 장점을 가지고 있다. 또한 통신포트를 이용하여 컴퓨터와 직접 interface를 할 수 있다.

### (2) 8 bit D Flip-Flop부

AT89C4051의 P0포트는 모두 래치 특성을 갖는 모든 D Flip-Flop의 입력 핀과 연결되어 있고, P3포트 중 2개의 포트가 D Flip-Flop을 직접 선택하기 D Flip-Flop에 연결되어 있다.

### (3) Buffer IC부

Buffer IC의 8bit 입력은 D Flip-Flop의 출력과 연결되어 있다. Buffer IC의 각 핀은 스위칭 트랜지스터의 베이스핀에 각각 연결된다. Buffer IC 역시 P3포트 중 2개의 포트가 Buffer IC를 동작시키기 위하여 연결된다. Buffer IC는 74HC541을 사용하였다.

### (4) 스위칭부

스위칭부는 16개의 고휘도 LED를 연결하여 동작하여도 안정적으로 전류를 제어할 수 있고, PWM제어신호에도 안정적으로 동작할 수 있도록 설계하였다.

## 2.3 안정적인 휘도값을 갖는 RGB 비율

일반적으로 백색을 얻기 위해서는 RGB의 상대적인 비율을 1로 하면 백색을 만들 수 있으며, 본 논문에서는 휘도값을 기준으로 RGB의 비율을 선정하였다. 먼저 안정적인 휘도값을 갖는 RGB의 비율을 선정하기 위하여 1830-C optical meter의하여 측정된 고휘도 RGB LED의 광출력을 다음 식을 이용하여 휘도값으로 환산하였다.

$$L = \frac{\text{detector power (W)} \cdot 683 \cdot V(\lambda)}{\pi \cdot A}$$

단,

L : 휘도(cd)

detector power : 광출력(W)

V(λ):시감도(Photopic Spectral Luminous Efficiency)

π : 입체각

A : 발광면적(cm<sup>2</sup>)

그림 5는 고휘도 RGB LED의 전류에 대한 휘도값을 나타내고 있다. 입체각은 고휘도 LED의 방사각을 기준으로 계산하였으며, 발광면적은 고휘도 LED의 외부에서 입체각내의 면적을 사용하였다. 또한 시감도는 스펙트럼에 의하여 측정된 고휘도 RGB LED의 파장값을 이용하여 시감도값을 선정하였다. 그림 5를 이용하여 일정한 휘도값을 갖는 고휘도 RGB LED의 비율이 1:1.5:5임을 알 수 있었다. 또한 고휘도 LED의 전류변화에 대한 휘도값의 변화가 매우 선형적임을 확인할 수 있었다. 이것은 Duty비를 조정하여 전류값을 변화하면 휘도값을 조절할 수 있음을 의미한다. 실험에서 RGB LED의 개수는 8개 12개 20개를 선정하였고, 각각의 Duty비를 조정하여 일정한 휘도값을 갖는 백색을 나타내도록 하였다.

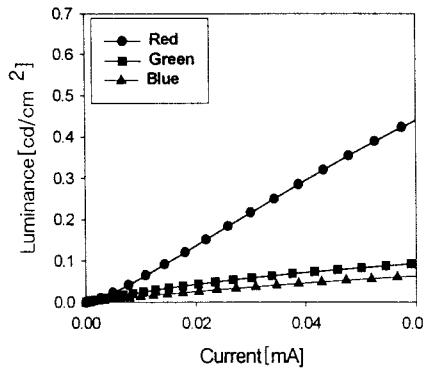


그림 5. 고휘도 RGB LED의 전류-휘도  
Fig. 5. Current vs luminous of high brightness RGB LEDs.

### 2.4 광색가변 프로그램 구성

프로그램의 구성은 일정한 휘도값을 갖는 백색을 얻기 위한 PWM신호와 패턴에 의해 다양한 광색을 가변하는 PWM신호를 나누어 발생하도록 구성하였다.

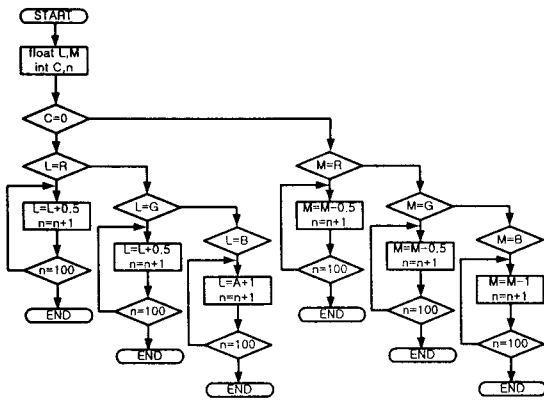


그림 6. PWM 제어 순서도  
Fig. 6. PWM control flowchart.

그림 6은 PWM제어 및 다양한 광색을 가변하는 프로그램의 순서도를 나타내고 있다. 일정한 휘도값을 갖는 PWM신호는 RGB 비율을 100%로 선정하였고, 각각 100단계로 나누어 증가 또는 감소하도록 하였으며, 다양한 광색가변을 위한 Duty비는 RGB의 정격을 100%로 선정하고 1%씩 증가 또는 감소하도록 구성하였다.

### 2.5 실험 및 결과

그림 5는 청녹색에서 자주색으로 가변되고 있을 때의 전압파형을 나타내고 있으며, PWM제어신호에 의하여 고휘도 RGB LED의 동작파형이 적절하게 이루어지고 있음을 확인 할 수 있었다.

그림 6은 광색변화에 따른 색좌표를 나타내고 있으며, 청색-적색-녹색-청색순으로 변화 할 때를 측정한 것이다. 색좌표변화에서 고휘도 RGB LED의 duty비 제어에 따라 광색이 다양하게 변화하는 것을 확인할 수 있었으며, 일정한 휘도비에 의하여 제어되는 신호에 의하여 백색이 구현되는 것을 확인 할 수 있었다.

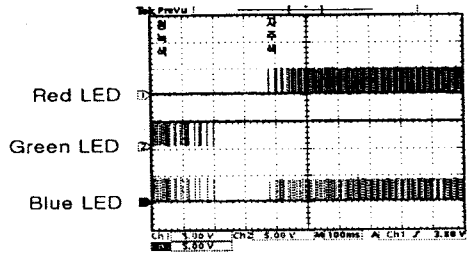


그림 7. 고휘도 RGB LEDs의 동작전압 파형  
Fig. 7. Operating voltage of high brightness RGB LEDs.

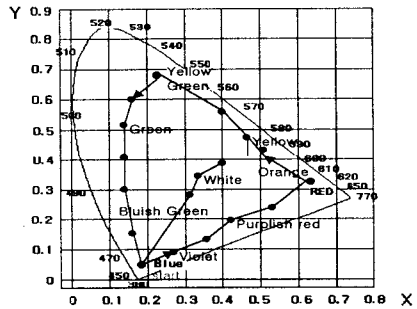


그림 8. 광색가변에 따른 색좌표  
Fig. 8. Chromacity diagram according to color variation.

## 3. 결 론

일정한 휘도를 유지하는 고휘도 RGB LED의 비율을 선정하여 백색을 구현할 수 있었으며, 제어신호에 따라 고휘도 RGB LED의 동작파형이 안정적으로 동작하는 회로를 구성 할 수 있었다. 또한 프로그램에 의하여 10만가지 이상의 다양한 광색을 표현할 수 있었으며, 다양한 광색가변 패턴에 의해 Dynamic한 광색가변이 이루어짐을 알 수 있었다. 앞으로 Duty비에 대한 입력전류를 완전히 선형화 하여 좀더 세밀한 광색제어가 가능하도록 하고, 온도변화에 대한 고휘도 RGB LED의 특성변화에 대한 보상에 대하여 많은 연구가 진행되어야 할 것이다.

### [참 고 문 헌]

- [1] D. Braun, "Crosstalk in passive matrix polymer LED displays," Synthetic Metals, 92, pp.107-113, 1992.
- [2] R.F. Karlicek, JR. M.G. BROWN, I. ELIASHEVICH, A. GURARY, M. SCHURMAN, and R. STALL, "Mass Production of High Brightness Blue and Green LEDs by MOCVD," pp. 91-98, 1999.
- [3] R.T. Huang, and P. Holm, "Design and fabrication of AlGaInP LED array with integrated GaAs decode circuits," IEEE transactions on electron devices, 45(11), pp. 2283-2290, 1998.
- [4] Xichao Mo, Yuanyue Zhang, "Consecutive PWM Driving Video LED Display System", IEEE International Symposium on Circuit and System, pp.1437-1439, 1997.
- [5] Yu Ri Song, et al., "The study on optimal design and optical properties of LED module for full-color displays", International conference on properties and applications of dielectric materials, pp.56-959,1997.