

고출력 RGB 발광다이오드의 구동전압에 따른 발광효율 비교

송상빈*, 권용석**, 임성무**, 여인선**
 * 한국항로표지기술협회, ** 전남대학교 · HECS-RRC · POTRI

Luminous efficacy according to operating voltages of high flux RGB LEDs

Sang-Bin Song*, Yong-Seok Kwon**, Sung-Mu Im**, In-Seon Yeo**
 *The Korea Association of Aids to Navigation, ** Chonnam National University · HECS-RRC · POTRI

Abstract - This paper analyzes the effects of various operating voltages on the luminous efficacy of high flux RGB LEDs. At first, their equivalent diode model are established from measurements of the V-I characteristics. Operating voltages of three types are applied to a simple LED circuit: DC, square-wave, and full-wave-rectified sine wave. As the result, DC voltage driving gives the highest efficiency, but invokes much greater variation in the luminous flux and more shift in the peak wavelength.

1. 서 론

최근 LED의 응용 범위는 장수명, 고효율, 저출력의 장점뿐만 아니라 적색, 녹색, 파란색, 백색 등 다양한 색의 고휘도 및 고출력 LED가 개발됨으로써 단순한 신호등의 이용을 넘어 조명용으로 그 영역이 넓어지고 있다. 특히 최근 개발되고 있는 고출력 LED는 일반 조명기기를 대체하기 충분함으로 각광을 받고 있다.

그러나 1W이상의 고출력 LED는 종래의 고휘도 LED에 비해 열, 고전류 등의 문제로 그 이용이 까다롭다. 이것은 고휘도 LED에 비해 그 정격전류가 15배정도 높고, 구동시 발생하는 열 또한 50°C 이상으로 상대적으로 높기 때문이다.

이와 같은 높은 전류로 인한 열문제의 해결책으로 이 논문에서는 고출력 RGB LED에 다양한 구동전압을 인가하고, 그 발광효율을 비교하고자 한다. 효율을 비교하기 위해 각각의 RGB LED에 대한 전압-전류 특성을 분석해야한다. 그리고 분석한 결과를 이용하여 PSpice 시뮬레이션 모델을 설정하고 그 타당성을 증명하려한다. 또한 고출력 LED의 제어방식으로 주로 사용되는 DC, 구형파, 전파정류 사인파를 각각의 RGB LED에 인가하여 전기적·광학적 특성과 효율을 분석하고자 한다.[1]

2. 본 론

2.1 고출력 RGB LED의 특성

이 논문에서는 고출력 LED로써 현재 많이 사용되고 있는 고출력 1-Watt RGB LED를 사용하였다. 고출력 LED는 기존의 저전력 LED보다 많은 전류가 흐르기 때문에 소자에 높은 열이 발생하여 전기적·광학적 특성에 변화를 가져오게 된다. 따라서 고출력 RGB LED를 제어하기 위해서는 LED의 순방향전압과 전류, 그리고 광학적 특성을 분석할 필요가 있다.

그림 1은 논문에 사용한 고출력 1W RGB LED에 대한 순방향 전압에 따른 전류와 광출력 특성을 나타내고 있다. 그림에서 고출력 RGB LED는 전압의 변화에 따라 전류가 선형적으로 변화하는 것을 알 수 있다. 또한 적색 LED의 전압에 대한 전류 변화가 비교적 완만하게 변화하고, 녹색 LED의 경우는 비교적 크게 나타남을 알 수 있다. 따라서 전압제어를 통한 제어회로는 녹색 LED를 기준으로 구성할 필요가 있다.

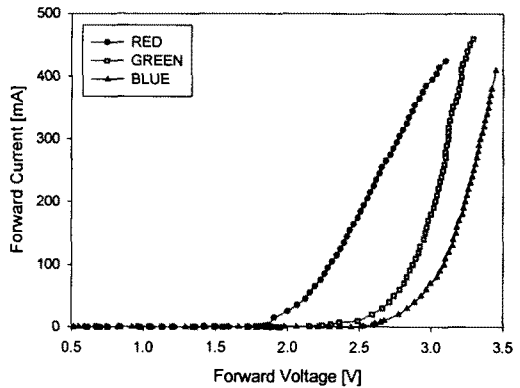


그림 1. 고출력 RGB LED의 전압-전류 특성

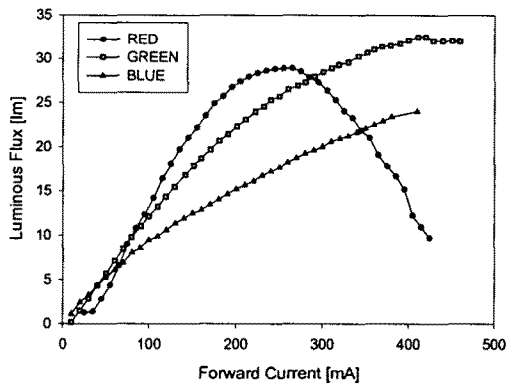


그림 2. 전류에 따른 고출력 RGB LED의 광출력 특성

그림 2는 고출력 LED의 순방향전류에 따른 광출력의 변화를 나타내고 있다. 녹색 LED와 청색 LED는 전류의 변화에 따라 광출력이 거의 선형적으로 변화하는 특성을 보이고 있으며, 적색 LED는 265mA에서 최고 광속을 나타내는 포물선 모양으로 정격전류 385mA에서 감소하는 특성을 보이고 있다. 따라서 적색 LED는 광출력이 최고 광속을 나타내는 동작전류 265mA에서 동작시키는 경우에 효율이 가장 좋다는 것을 알 수 있다.

2.2 고출력 RGB LED 다이오드 모델링

고출력 RGB LED의 제어회로를 구성하여 시뮬레이션을 수행할 경우, 고출력 RGB LED의 모델링이 중요한 요소중의 하나이다. 따라서 이 논문에서는 고출력 RGB LED의 전압-전류특성을 이용하여 고출력 LED의 모델을 결정하였다.

고출력 LED는 다이오드와 같은 전기적 특성을 나타내기 때문에, 고출력 LED의 모델은 일반적인 다이오드의 전기적 특성 모델과 측정된 전류에 대한 광출력 특성을 대입하여 구성하였다. 이렇게 설정된 고출력 LED의 모델은 고출력 LED의 전기적·광학적 특성에 대한 회로 분석에 사용할 수 있다.

먼저 측정된 고출력 LED의 전기적 특성에 대한 다이오드 모델링 파라미터를 결정하여 고출력 LED의 전압·전류 특성을 모델링하였다. 이상적인 PN 접합 다이오드의 전압-전류 특성은 식 1과 같은 Shockley 이론의 근사식으로 표현할 수 있다.

$$I_F = I_0 \left[\exp\left(\frac{qV_F}{nkT}\right) - 1 \right] \quad (1)$$

단, I_0 =역방향전류, I_F =순방향전류, V_F =순방향전압, n =이상적인 계수, k =볼츠만상수, q =전하량, T =절대온도

이러한 근사식에 대한 고출력 LED는 순방향전압이 수백mV 이상이기 때문에 괄호안의 1은 무시하고, 순방향전류가 수백mA 이상이기 때문에 저항 손실 성분을 추가하여 순방향전압의 모델식은 식 2와 같이 표현할 수 있다[2].

$$V_F \approx \frac{nkT}{q} \ln\left(\frac{I_F}{I_0}\right) + R_S I_F \quad (2)$$

따라서 실제 측정된 전압-전류 특성 데이터와 3개의 최대 변환점이 되는 전압과 전류값을 이용하여 식 2에서 중요한 파라미터 n , R_S , I_0 의 값을 결정하였다. 그 결과는 표1과 같다.

표 1. 고출력 RGB LED의 모델링 파라미터 값

Color	n	I_0	R_S
Red	2.15	5.29E-18	2.25
Green	5.23	8.08E-11	0.59
Blue	5.29	2.71E-11	0.65

결정된 모델링 파라미터 값을 이용하여 PSpice 시뮬레이션을 수행한 결과와 실제 측정된 데이터를 비교한 결과, 그림 3과 같다. 그림 3에서 변환점 3개는 파라미터 값을 계산하기 위해 사용된 전압과 전류값을 나타내고 있으며, 모델링에 의한 시뮬레이션과 실제 측정 데이터와 매우 근사하다.

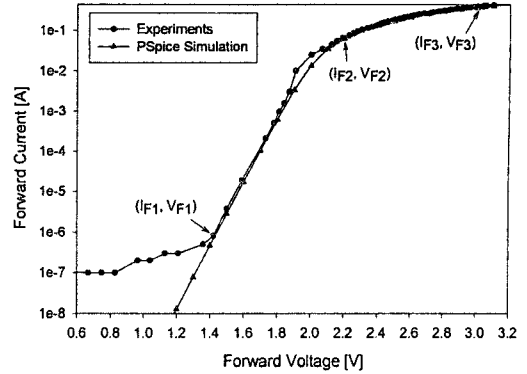


그림 3. 고출력 적색 LED의 시뮬레이션 결과와 실제 측정값

2.3 실험방법

고출력 LED 제어회로를 구성할 경우에 주로 사용하는 제어방식으로는 DC전압을 인가하는 방법과 PWM제어(구형파)에 의한 방법, 전파정류에 의한 사인파 구동방식이 주로 사용된다. 따라서 본 논문에서 이러한 방식들에 대하여 안정적인 파형들을 제공하여 구동전압에 따른 발광효율을 측정하기 위해 그림 4와 같은 실험 장치를 구성하였다.

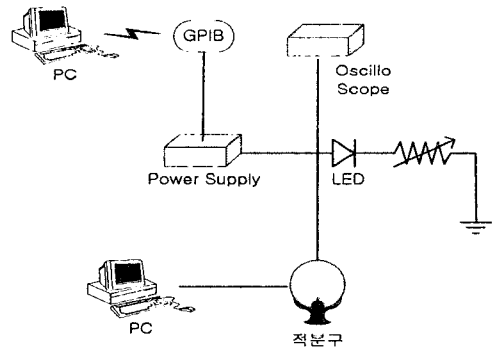


그림4. 실험장치 구성도

2.4 구동전압에 따른 고출력 LED의 시동 특성

표 2은 1W 고출력 RGB LED에 각각 DC전압, 구형파(Duty비 50%), 전파정류(주파수 100Hz)파형을 각각 인가했을 때 초기 30초에 측정된 측정값과 10분동안 안정된 후의 측정값을 비교하여 그 변화값을 나타내었다. 고출력 RGB LED는 DC전압이 다른 구형파나 전파정류에 비하여 시간에 대한 전류, 광속 그리고 피크파장의 변화폭이 크다. 특히 전류와 광속의 경우에는 그 변화폭이 매우 크다. 따라서 DC 전압으로 제어회로 설계시 시동 특성을 고려하여 설계해야 하며, 파장에 민감한 응용분야에 대해서는 DC전압보다는 전파정류나 구형파를 인가하는 것이 좋다.

그림 5는 구동전압으로 DC전압을 인가한 경우에 각각의 고출력 RGB LED의 시동 특성을 나타내고 있으며, 적색 LED의 광속변화가 심하게 일어나게 된다.

그림 6은 적색 LED에 대해 각각의 구동전압에 따른 광속의 변화를 나타낸 것으로, 구동전압이 DC전압일 경우에 LED가 점등된 후 약 2분내에는 광속 변화가 매우 심하게 나타난다.

표 2. 인가 파형에 따른 고출력 RGB LED의 시동 특성 변동률

$$\text{Relative difference } \Delta = \frac{M_2(t=10 \text{ min}) - M_1(t=30 \text{ sec})}{M_2(t=10 \text{ min})}$$

Color	Waveform	ΔV [%]	ΔI [%]	ΔF [%]	$\Delta \lambda$ [%]
Red	DC	5.79×10^{-1}	5.19×10^{-1}	6.92×10^1	1.65
	전파정류	3.16×10^{-1}	3.10×10^{-1}	1.40×10^1	1.55×10^{-1}
	구형파	3.33×10^{-1}	3.70×10^{-1}	2.46×10^1	3.08×10^{-1}
Green	DC	3.64	1.25×10^1	5.02×10^1	1.68
	전파정류	1.75	1.58×10^1	3.91×10^1	1.32
	구형파	1.91	3.05	2.98×10^1	0
Blue	DC	2.43	1.20×10^1	4.65×10^1	9.98×10^{-1}
	전파정류	2.17	4.81×10^{-1}	1.56×10^1	1.01×10^{-1}
	구형파	7.77×10^{-1}	2.38	1.01×10^1	1.01×10^{-1}

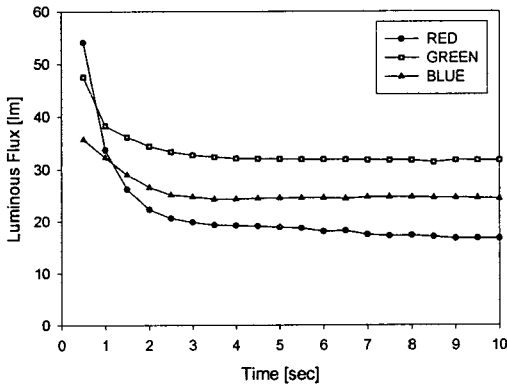


그림 5. DC전압 인가시 고출력 LED의 광속 시동특성

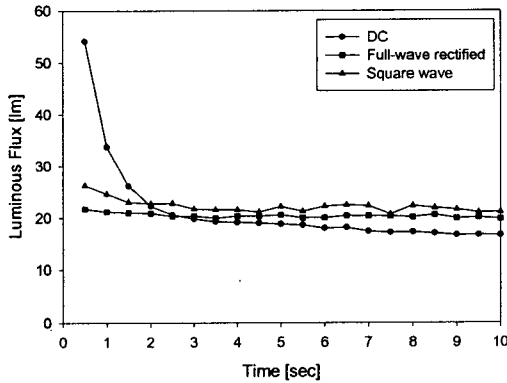
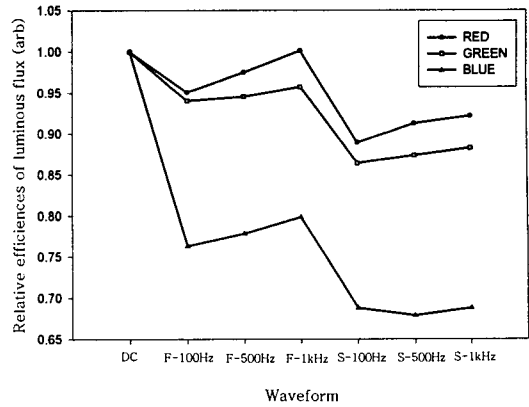


그림 6. 구동전압에 따른 적색 LED의 광출력 시동특성

2.5 구동전압에 따른 고출력 LED의 광출력 및 효율
 구동전압의 파형 및 주파수에 따른 광출력 및 효율을 비교하기 위하여, 입력전압을 DC전압, 전파정류전압, 구형파전압으로 설정하고 각각의 전파정류전압, 구형파전압에 대해 주파수를 100Hz, 500Hz, 1kHz로 변환하여 고출력 RGB LED에 인가하여 광출력 및 효율을 측정하였다. 그림 7은 녹색 LED의 구동전압 파형에 따른 발광효율을 나타내고 있다. 다른 파형보다도 DC전압이 가장 높은 효율을 나타내고 구형파일 때가 가장 낮은 효율을 나타내고 있으며, 주파수가 높으면 높을수록 약간씩 효율이 높게 나타남을 알 수 있었다.



(F: Full-wave rectified, S: Square wave)
 그림 7. 고출력 RGB LED의 전력에 따른 광출력 효율

3. 결 론

이 연구에서는 고출력 RGB LED에 대한 전압-전류 특성을 분석하여 다이오드 모델을 설정하고 각각의 구동 전압 파형에 따른 전기적·광학적 특성에 의한 효율을 비교 분석한 결과, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 고출력 RGB LED의 전압-전류 특성 데이터를 이용하여 LED 모델 파라미터를 결정하였고, 결정된 파라미터를 이용하여 시뮬레이션 한 결과, 실제 측정값과 매우 유사하여 그 타당성을 증명하였다.
2. 고출력 RGB LED에 DC, 구형파, 전파정류 사인파를 인가하여 약 10분간 시동특성을 분석한 결과, DC파형일 때 전기적·광학적 특성의 매우 크게 나타남을 알 수 있었다.
3. 고출력 RGB LED에 DC, 구형파, 전파정류 사인파를 인가하고 주파수를 변화시켜서 효율을 비교한 결과, 다른 파형보다도 DC전압이 가장 높은 효율을 나타냈으며 구형파일 때가 가장 낮은 효율을 나타냈다. 또한 구동전압의 주파수가 높으면 높을수록 약간씩 효율이 높게 나타남을 알 수 있었다.
4. 앞으로 분석된 고출력 RGB LED의 특성을 이용하여, 고출력 LED의 Array 구성방법과 각각의 구동전압 제어방식에 따른 특성과 효율을 비교하여 최적의 제어회로방식에 대한 연구가 진행되어야 한다.

이 연구는 한국과학재단지정 전남대학교 고품질전기 전자부품 및 시스템 연구센터 연구비의 일부 지원에 의해 연구되었음.

[참 고 문 헌]

[1] Xichao Mo, Yuanyue Zhang, "Consecutive PWM Driving Video LED Display System", IEEE International Symposium on Circuit and System, pp.1437-1439, 1997.
 [2] LuminLeds, "Advanced Electrical Design Models," Application Note 1149-3A.