

## 고출력 발광다이오드의 구동전압 유형에 따른 특성

(Characteristics of high-power RGB LEDs according to types of operating voltage)

임성무\* · 권용석\* · 송상빈\*\* · 여인선\*\*\*

전남대학교 전기공학과\*, 한국항로표지기술협회\*\*, 전남대학교 · HECS-RRC · POTRI\*\*\*  
(Sung-Mu Lim\* · Yong-Seok Kwon\* · Sang-Bin Song\*\* · In-Seon Yeo\*\*\*)

### Abstract

This paper analyzes the effects of various operating voltages on the electrical and light output characteristics of 20mW(5mm- $\phi$ ), 1W and 5W high-power RGB LEDs. Operating voltages of three types are compared on a simple LED circuit: DC, full-wave rectified DC, and square-wave DC. As a result, it is found that the 1W and 5W high-power LEDs should be provided with appropriate heat sinks that hold down the increase of junction temperature. As for the operating efficiency the case of full-wave rectification gives the highest value.

### 1. 서 론

최근 5W 고출력 발광다이오드가 개발되면서 광출력이 100 [lm] 이상으로 향상되어 일반 조명기기를 대체할 수 있게 되었다[1]. 그러나 1W 이상의 고출력 발광다이오드는 종래의 고휘도 발광다이오드에 비해 열, 고전류 등의 문제로 광출력과 스펙트럼 특성의 변화를 초래하고 수명에 막대한 영향을 미친다[2][3].

또한 현재 5mm 고휘도 발광다이오드와 1W, 5W 고출력 발광다이오드가 조명으로 사용되고 있으며, 이러한 종류의 발광다이오드에 대하여 단순히 직류전압을 인가하여 발광다이오드를 구동시키고 있기 때문에 발광다이오드의 종류에 따라 그 특성의 변화가 다르게 나타나고 있는 실정이다.

이 논문에서는 각각의 5mm 고휘도 발광다이오드와 1W, 5W 고출력 발광다이오드에 대하여 직류와 PWM 구형파, 전파정류 구동전압을 인가할 경우에 있어서의 전기적·광학적 특성을 비교·분석하였으며, 각각의 구동전압에 따라서 발광다이오드의 시동특성을 비교·분석하였다. 또한 각각의 발광다이오드에 전원전압(AC 220V)을 직류와 전파정류 구동전압을 발광다이오드에 인가할 수 있는 구동시스템을 구성하여 발광효율을 비교하였다.

### 2. 본 론

#### 2.1 측정대상

이 논문에서는 많은 응용분야에 사용되고 있는 5mm 고휘도 RGB 발광다이오드와 조명용으로 각광받고 있는 1W, 5W 고출력 RGB 발광다이오드를 측정대상으로 하였다. 표 1은 측정대상으로 사용한 각각의 발광다이오드의 특성을 나타내고 있다. 5W 발광다이오드의 경우, 적색 발광다이오드가 아직까지 실용화되어 있지 않아서 측정대상에서 제외하였으며, 녹색과 청색 발광다이오드는 다이오드 자체를 사용하면 특성변화가 심하고 다이오드 칩 파괴가 발생하므로 방열판(길이 3cm, 폭 1.5cm, 높이 0.5cm)을 사용하여 측정하였다.

표 1. 사용된 발광다이오드의 특성

	Color	IF [mA]	VF [V]	Light Output
5mm	Red	20	2.0	2,400 [mcd]
	Green	20	3.4	1,000 [mcd]
	Blue	20	3.4	3,500 [mcd]
1W	Red	385	2.9	44 [lm]
	Green	350	3.4	30 [lm]
	Blue	350	3.4	10 [lm]
5W	Green	700	6.8	120 [lm]
	Blue	700	6.8	30 [lm]

## 2.2 실험방법

고출력 발광다이오드 제어회로를 구성할 경우에도 주로 사용하는 제어방식으로는 직류전압을 인가하는 방법과 PWM제어(구형파)에 의한 방법, 전파정류에 의한 사인파 구동방식이 주로 사용된다. 따라서 본 논문에서는 이러한 구동방식에 대하여 안정적인 파형들을 제공하고 구동전압에 따른 광학적·전기적 특성을 측정하기 위하여, 그림 1과 같이 실험 장치를 구성하였다.

먼저 다양한 전압파형을 구성하는 소프트웨어를 이용하여 원하는 전압파형을 구성하고, 구성된 전압파형을 GPIB 통신을 이용하여 전력공급장치에 인가하여 전압파형을 발생하도록 하였다. 그리고 발생된 전압파형을 발광다이오드에 인가하고, 오실로스코프를 이용하여 발광다이오드의 전압과 전류를 측정하였으며 적분구를 이용하여 광출력을 측정하였다.

이러한 실험장치에 의해 각각의 측정 발광다이오드에 직류전압, 전파정류전압(120 Hz), 구형파(100 Hz, 500 Hz, 1,000 Hz)을 인가하여 전기적·광학적 특성과 시동특성을 측정하였다.

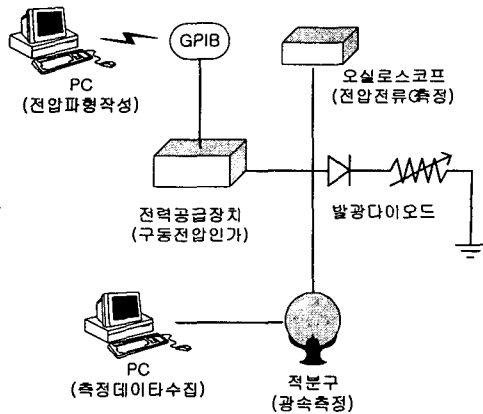


그림 1. 실험장치 구성도

## 2.3 발광다이오드의 전압-전류 특성

그림 2는 5mm와 1W 발광다이오드 전압-전류 특성을 나타내고 있으며, 전류 측정치는 발광다이오드의 정격전류에 대한 백분율로 나타내었다. 그림에서 5mm와 1W 발광다이오드의 전압-전류 특성이 매우 유사하였으나, 1W 발광다이오드가 5mm 발광다이오드보다 전압에 따른 전류의 변화가 완만하게 변화하는 것을 알 수 있었다. 특히 적색 발광다이오드가 다른 광색 발광다이오드보다

전압에 따른 전류변화가 상당히 완만하게 나타나며, 이러한 적색 발광다이오드에 방열판(길이 3cm, 폭 1.5cm, 높이 0.5cm)을 사용할 경우에는 사용하지 않는 경우보다도 전압에 따른 전류변화가 급격하게 변화함을 알 수 있다.

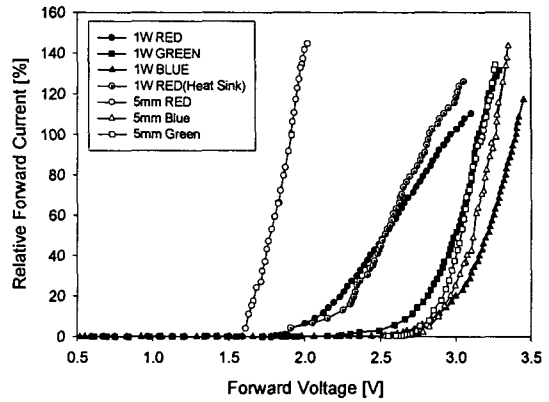


그림 2. 5mm 와 1W RGB LED의 전압-전류 특성 (방열판을 사용하지 않음)

그림 3은 5W 발광다이오드의 전압-전류 특성을 나타낸 것으로서, 5W 발광다이오드 칩은 1W 발광다이오드의 4개 칩을 직·병렬로 연결한 것으로 5W 발광다이오드의 동작전압이 1W 발광다이오드의 동작전압에 두 배가 됨을 알 수 있다.

실험에 사용된 5W 발광다이오드는 접합온도 25°C에서 정격전류가 700mA이지만, 발광다이오드 자체로 점등하였을 경우에는 높은 동작전류에 의해 접합온도의 상승을 초래하여 발광다이오드의 전압-전류 특성이 매우 불안정하게 된다. 특히 동작전류가 400mA 이상일 경우에 접합온도가 약 100°C 이상으로 상승하여 다이오드 접합온도의 최고 온도에 도달하게 되어 다이오드 칩이 파괴된다. 따라서 이 논문에서는 5W 발광다이오드에 방열판을 사용하여 특성변화를 안정화시켰지만, 약 500mA 이상에서는 칩 파괴현상이 나타나서 450mA를 최고전류로 하여 측정하였다. 그림에서 녹색 발광다이오드는 방열판을 사용한 경우가 방열판을 사용하지 않는 경우보다 동일 동작전류에 대해서 동작전압이 작게 나타남을 알 수 있으며, 이러한 특성 때문에 5W 발광다이오드를 사용할 경우에는 온도 특성을 신중하게 고려해야 함을 알 수 있다.

또한 구동전압에 따른 5W 발광다이오드의 전압-전류 특성을 비교하면, 전파정류 구동전압을 인가했을 경우가 직류 구동전압을 인가했을 경우보다 동작전류에 대한 동작전압이 매우 낮게 나타남을 알 수 있으며, 이러한 특성은 5mm와 1W 발광

다이오드에서도 동일하게 나타난다. 따라서 발광다이오드의 구동회로를 설계할 경우에 이러한 전압-전류 동작 특성을 고려하여 설계해야 한다.

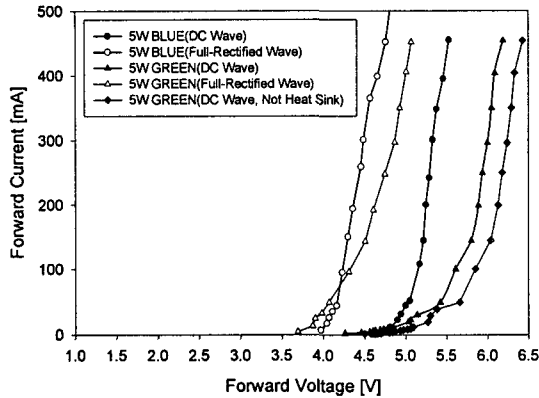


그림 3. 5W GB LED의 전압-전류 특성 (방열판 사용)

### 2.4 발광다이오드의 광학적 특성 및 효율

5mm 발광다이오드는 동작전류에 비례하여 광출력이 변화하였으며, 비교적 안정적인 광출력을 나타내었다. 그림 4는 1W 발광다이오드의 동작전류에 따른 광출력 변화를 보이고 있으며, 청색과 녹색 발광다이오드는 비교적 안정적인 광출력 특성을 나타내고 있으나, 적색 발광다이오드의 경우 방열판을 사용하지 않으면 낮은 광출력과 정격전류에서 광출력이 낮게 나타난다. 이것은 적색 발광다이오드가 접합온도에 매우 민감하게 반응함을 알 수 있으며, 설계시 이에 대해 충분한 고려가 필요하다.

그림 5는 5W 발광다이오드에 방열판을 사용하지 않는 경우와 구동전압을 직류와 전파정류 파형을 인가할 경우의 광출력을 나타내고 있다. 1W 적색 발광다이오드와 마찬가지로 5W 발광다이오드도 경우에도 정격전류에서 최대 광출력이 나타나지 않으며 매우 낮은 광출력을 나타낸다. 따라서 구동전압에 따른 5W 발광다이오드도 접합온도에 민감하게 반응하기 때문에 적절한 방열 대책이 필요함을 알 수 있다. 또한 구동전압으로 직류전압을 인가할 경우가 전파정류 전압을 인가한 경우보다 광출력이 높게 나타나고 있지만 전류에 따른 광출력의 변화가 전파정류 전압 인가시보다 비선형적인 특성을 나타내고 있다.

그림 6은 각각의 발광다이오드에 대한 광출력 효율 특성을 나타낸 것으로, 구동전압이 직류전압일 때 최대 광출력효율을 나타내고 있다. 또한

5mm 적색과 5W 발광다이오드를 제외하고 전파정류 전압이 구형파보다 광출력 효율이 높게 나타나고 있다.

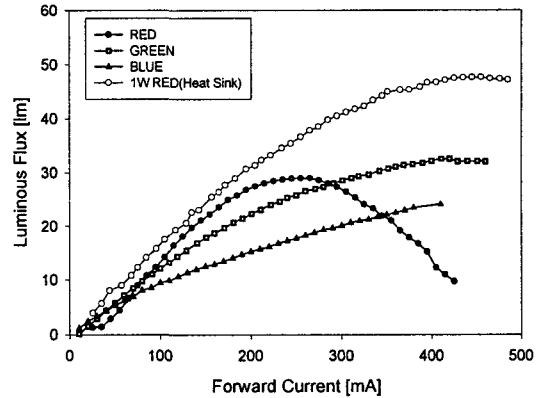


그림 4. 전류에 따른 1W RGB LED의 광출력 특성 (방열판을 사용하지 않음)

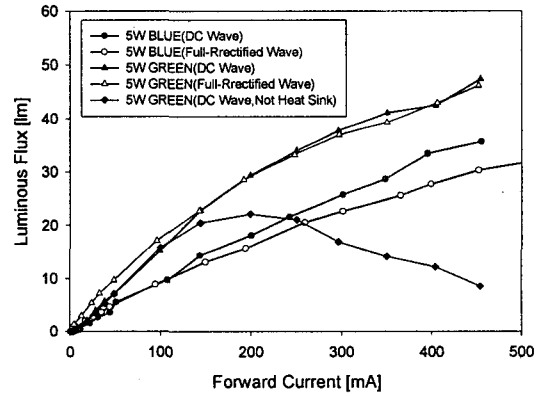


그림 5. 전류에 따른 5W GB LED의 광출력 특성 (방열판 사용)

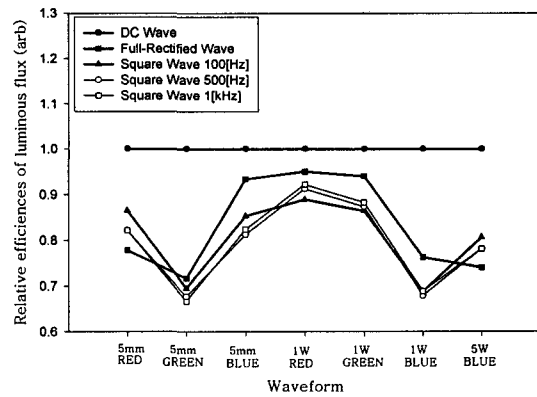


그림 6. 발광다이오드의 전류에 따른 광출력 효율

## 2.5 발광다이오드의 시동 특성

발광다이오드의 시동특성을 측정하기 위하여 측정대상 발광다이오드에 각각 DC전압, 구형파(Duty비 50%), 전파정류(주파수 100 Hz)파형을 각각 인가하고 동일한 광출력이 발생하도록 구성하였다. 표 2은 초기 30초에 측정된 측정값과 10분동안 안정된 후의 측정값을 비교하여 그 변화값을 나타내었다. 발광다이오드는 직류전압이 구형파나 전파정류전압에 비하여 시간에 대한 전압, 전류, 광속 변화폭이 크고 구형파전압이 매우 작게 나타남을 알 수 있다. 또한 5mm와 1W 발광다이오드는 구형파전압의 주파수가 증가할수록 변동폭이 줄어들지만, 5W 발광다이오드는 주파수가 증가할수록 변동폭이 증가하는 특성이 있다. 따라서 DC 전압으로 제어회로 설계시 시동특성을 고려하여 설계해야 하며, 구형파전압을 인가할 경우에는 발광다이오드의 종류에 따라 적절한 구형파 주파수를 선정할 필요가 있다.

표 2. 인가 파형에 따른 발광다이오드의 시동 특성 변동률

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

LED	Waveform	$\Delta V$ [%]	$\Delta I$ [%]	$\Delta P$ [%]
5mm Blue	DC	2.1	0.6	4.1
	전파정류[120Hz]	0.4	7.8	3.1
	구형파[100Hz]	0.0	2.7	0.9
	구형파[500Hz]	0.5	1.5	0.4
	구형파[1kHz]	0.5	2.7	0.2
1W Blue	DC	2.4	12.0	46.5
	전파정류[120Hz]	2.2	0.5	15.6
	구형파[100Hz]	0.8	2.4	10.0
	구형파[500Hz]	3.7	0.0	8.5
	구형파[1kHz]	0.0	11.9	5.3
5W Blue	DC	0.9	4.1	5.0
	전파정류[120Hz]	0.2	3.5	4.3
	구형파[100Hz]	0.1	0.2	0.3
	구형파[500Hz]	0.5	3.1	1.0
	구형파[1kHz]	5.9	3.8	2.3

그림 7은 직류전압인가시 청색 발광다이오드의 광출력 시동특성을 나타내고 있으며, 구동전압으로 DC전압을 인가한 경우에 1W와 5W 고출력 발광다이오드는 광출력의 변화가 매우 심하게 나타남을 알 수 있다. 또한 1W와 5W 고출력 발광다이오드에 방열판을 사용할 경우에는 5mm 발광다이오드와 같이 매우 안정적인 시동특성을 나타내고 있다.

그림 8은 적색 발광다이오드에 대해 각각의 구동전압에 따른 광출력의 변화를 나타낸 것으로, 구동전압이 DC전압일 경우에 발광다이오드가 점등된 후 약 2분내에는 광속 변화가 매우 심하게 나타나고, 구형파와 전파정류의 주파수가 낮으면 낮을수록 광출력의 변화가 크게 나타남을 알 수 있다.

따라서 발광다이오드의 시동특성을 양호하게 하기 위하여 고출력 발광다이오드는 방열판을 최적 설계해야 하며, 직류전압 방식보다는 구형파나 전파정류전압 방식을 사용하는 것이 좋음을 알 수 있다.

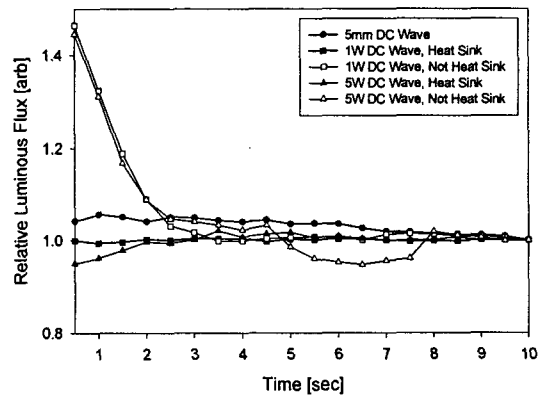


그림 7. 직류전압 인가시 청색 발광다이오드의 광출력 시동특성

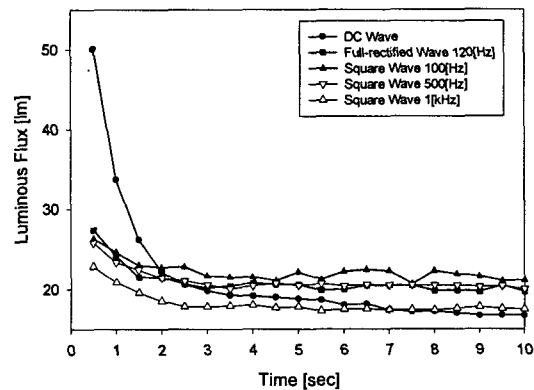


그림 8. 구동전압에 따른 적색 발광다이오드의 광출력 시동특성

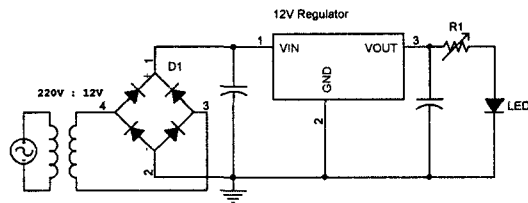
## 2.6 발광다이오드 구동시스템의 효율

발광다이오드에 직류전압과 전파정류전압을 인가할 수 있는 간단한 회로를 구성하여 구동시스템의 효율을 측정하였다. 그림 9는 이러한 직류전압 구동시스템과 전파정류전압 구동시스템의 구성을 보여주고 있다. 직류전압 구동시스템은 교류전원(

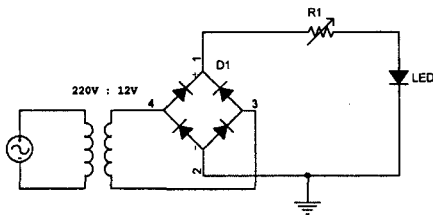
220V AC 60Hz)을 트랜스포머를 거쳐서 12V 레귤레이터를 사용하여 발광다이오드에 직류전압을 인가시켰고, 전파정류회로는 트랜스포머의 출력측에 직접연결하여 전파정류전압을 인가하였다.

표 3은 이렇게 구성된 구동시스템을 청색 발광다이오드 5mm와 1W, 5W 발광다이오드에 적용하여 효율을 측정해 본 결과를 나타내고 있다. 5mm 발광다이오드는 10개를 병렬로 연결하고 1W 발광다이오드는 2개를 병렬로 연결하여 측정하였으며, 측정장비는 PM3300을 사용하였다.

표 3에서 발광다이오드의 구동시스템을 적용할 경우에는 직류전압방식보다 전파정류전압방식이 효율이 매우 좋게 나타났으며, 역률도 직류전압방식보다 약 0.07 높게 나타남을 알 수 있다. 따라서 발광다이오드의 출력측의 효율은 직류전압방식이 매우 높으나, 전원교류전압을 직류로 전환하기 위하여 시스템 효율의 저하를 가져와서 전체 효율은 낮게 나타남을 알 수 있다.



(a) 직류전압방식



(b) 전파정류전압방식

그림 9. 발광다이오드의 간단한 구동시스템

표 3. 청색 발광다이오드 구동시스템의 효율

LED 종류	구동 방식	입력 전력 [W]	입력 전류 [mA]	역률	광속 [lm]
5mm ×10개	직류	4.57	23.34	0.87	1.3
	전파정류	4.47	20.77	0.95	
1W ×2개	직류	7.31	36.34	0.90	6
	전파정류	6.64	30.29	0.98	
5W ×1개	직류	8.68	42.62	0.90	31
	전파정류	8.11	37.20	0.97	

### 3. 결 론

이 연구에서는 5mm 고휘도 발광다이오드와 1W, 5W 고출력 발광다이오드에 직류전압, 전파정류전압, 구형파전압을 인가하여 전압-전류 특성과 광학적 특성, 시동특성을 측정하였고 간단한 구동시스템을 구성하여 시스템 효율을 비교 분석한 결과, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 5mm 발광다이오드는 전류에 따른 전압과 광출력 특성은 비례적으로 변화되며 매우 안정적인 특성을 나타내며, 1W와 5W 발광다이오드는 전류의 증가에 따라 광출력의 변화가 크게 나타나고 정격전류에서 최대 광출력이 나타나지 않는다. 따라서 1W와 5W 발광다이오드는 전류의 상승에 따른 접합온도를 상승을 억제할 수 있는 최적의 방열판 설계가 필요하다.

2. 발광다이오드에 직류, 구형파, 전파정류전압을 인가하여 약 10분간 시동특성을 분석한 결과, 직류전압일 때 전기적·광학적 특성 변화가 매우 크게 나타났으며 방열판을 사용할 경우에는 특성변화가 양호하게 나타났다. 그리고 전파정류와 구형파 전압의 주파수가 높을수록 시동특성은 좋아짐을 알 수 있다.

3. 발광다이오드에 직류전압과 전파정류전압으로 구동하는 간단한 시스템을 구성하여 효율을 측정 한 결과, 전파정류전압이 효율이 좋게 나타났으며 역률도 직류전압보다 높게 나타났다.

4. 앞으로 구동전압 유형에 따른 각각의 발광다이오드의 특성을 이용하여 발광다이오드의 방열판 설계와 다이오드 어레이 구성방법, 구동전압 제어 방식을 결정하고 최적의 구동시스템을 구성하는 연구가 진행되어야 한다.

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

### 참 고 문 헌

- [1] Gerd O. Mueller, et al., "Light emitting diodes for solid state illumination," International Display Workshops 2000, pp.821-824, 2000.
- [2] John D. Bullough, "Light emitting diode lighting system," NLRIP Lighting Answers, Vol. 7, Issue 3, pp.1-23, 2003.
- [3] F. M. Steranka et. al., "High-power LEDs - technology status and market applications," July 2002, Lumileds Lighting.