

## 고출력 백색 LED 램프의 구동조건에 따른 온도 및 광 특성 평가

(Evaluation of the Device Temperature and Optical Characteristics in High Power White LED Lamp by Driving Condition)

윤장희\* · 엄정덕\*\*

(Janghee Yun · Jeongduk Ryeom)

### Abstract

In this paper, the effect of pulse current and generated heat on characteristics of the LED is measured and evaluated. For experiments, the LED driving circuit and digital logic which determines period and duty ratio of lighting are designed. At rated current, the temperature and optical characteristics of the LED with change in duty ratio and period are compared, and those of the LED with change in duty ratio and existence of cooling fan are also compared at constant average current. As a result, frequency does not affect device temperature and optical characteristic of the LED but duty ratio does. Also, the cooling fan is less effective on those of the LED at rated current.

Key Words : LED, Temperature, Color Temperature, Efficacy, Dimming

### 1. 서 론

최근 조명산업에서는 백열등, 형광등 같은 기존 조명을 친환경적이고 고효율, 장수명의 장점을 가진 발광다이오드(LED; light emitting diode)로 대체하려는 움직임이 활발하게 일어나고 있다[1]. 적, 녹, 청색 LED들을 조합하면 다양한 광색을 만들어 낼 수 있기 때문에 LED는 일반 조명용 광원 뿐 만 아니라 의학, 디스플레이, 감시 시스템 등 다양한 분야에서 그 응용범위가 넓어지고 있다. 그러므로 관련 업계에서는

10년 안에 LED가 주요 광원이 될 것이라고 전망하고 있다[2].

LED 램프의 광 출력은 구동조건에 매우 의존적이다. LED의 순방향 전류를 증가시키면 광량은 증가하지만, 누설 전류가 증가하여 전자와 정공이 활성층 이외의 다른 곳에서 재결합을 하게 된다[3]. 이때 재결합 에너지는 발광에 기여하지 못하고 열에너지로 소모되므로 LED의 광 효율은 떨어진다[4].

시간이 지나면서 접합 온도가 올라감에 따라 LED의 광 출력은 초기 상태보다 떨어지게 되고 효율 역시 줄어들게 된다. 게다가 온도의 상승은 LED의 성능과 수명에 직접적인 영향을 준다[5]. LED의 접합 온도가 85[°C]이상 오르게 되면 효율은 70[%]까지 떨어진다 고 알려져 있다[6]. 그뿐만 아니라 접합 온도의 증가는 LED의 색 좌표를 청색 쪽으로 이동시켜 색온도가 증

\* 주저자 : 숭실대학교 대학원 전기공학과 석사과정

\*\* 교신저자 : 숭실대학교 전기공학부 부교수

Tel : 02-828-7267, Fax : 02-826-5125

E-mail : cosmos01@ssu.ac.kr

접수일자 : 2011년 9월 26일

1차심사 : 2011년 9월 29일, 2차심사 : 2011년 11월 7일

심사완료 : 2011년 11월 11일

가하고 연색지수를 감소시킨다[7-8].

그러므로 LED 램프의 고효율, 장 수명 연구를 위해서는 LED 온도와 광 특성과의 관계를 잘 파악할 필요가 있다. 이를 위해 본 연구에서는 5[W] 백색 LED 램프를 사용하여 방열 구조의 영향이 없는 환경에서 구동조건과 LED 자체 온도의 관계에 대해 연구하였다. LED 램프의 평균전류가 일정할 때 시비율(duty ratio)과 주파수에 대한 LED 램프 후면부 온도와 휘도를 측정하였고 상대 광 효율을 계산하였다. 또한 냉각 팬이 있는 경우와 없는 경우로 나누어 구동전류와 LED 램프 후면부 온도, 색온도, 휘도를 측정하였고 상대 광 효율을 계산하였다.

## 2. 실험 방법

### 2.1 조명시뮬레이션 소프트웨어 개요

그림 1은 LED 램프 후면부 온도 및 광 특성을 측정하는 측정 장치의 구성도이다. 실험에 사용된 LED 램프는 OSRAM社의 PAR16 5[W] 백색 LED 램프이며 이것은 직렬로 연결된 3개의 LED로 구성되어 있다.

LED 램프의 점등 주기와 시비율은 FET에 의해 제어되며 FET의 ON/OFF 타이밍 펄스는 Altera社의 FPGA(Field Programmable Gate Array)를 사용하여 발생시켰다. 그리고 LED 램프와 저항을 직렬로 연결하여 LED 램프에 흐르는 전류를 제한하였다.

LED 자체 온도의 영향을 측정하기 위하여 방열 판 등의 구조물은 제거하였고 LED가 부착된 지점의 LED 램프 후면부 온도를 측정하여 LED 자체 온도로 보았다. 온도 측정은 T250(FLIR) 적외선 열화상 카메라를 사용 하였다.

색온도, 색좌표, 휘도 등을 측정하기 위하여 LED 전면부에 내부를 흰색으로 칠한 어둠상자와 확산판을 설치하여 LED에서 나오는 빛이 충분히 확산되게 하였다. 광 측정은 CS-200(Konica Minolta) 색채 휘도계를 사용하였다.

실험에 사용한 LED의 데이터 시트에 명시된 정격 전류의 범위는 100~400[mA]이고, 권장 사용전류는 350[mA]로 명시되어 있다[9]. 그러므로 실험의 전류

조건은 평균전류 100[mA]와 350[mA]로 정하였다. 그림 2는 적외선 열화상 카메라를 사용하여 LED 램프 후면부 온도를 측정한 화면이다. 3개의 LED는 원형 MCPCB(Metal Core PCB)에 직렬로 부착되어 있으며 그 중 한 LED의 후면부 온도를 측정하여 실험에 사용 하였다.

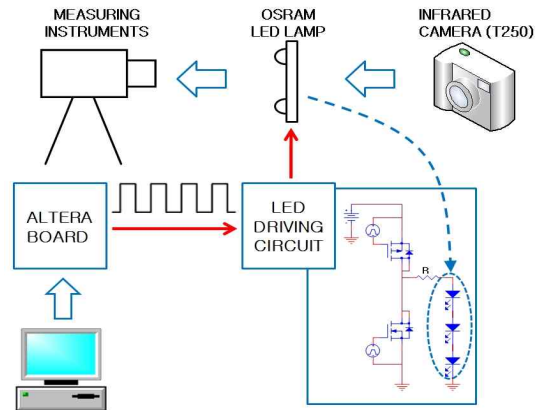


그림 1. 실험 장치 구성도  
Fig. 1. Block diagram of the experiment system

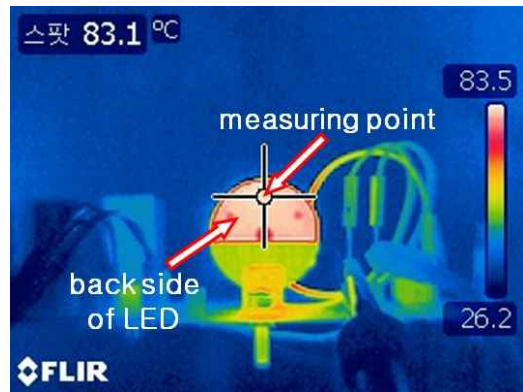


그림 2. LED 램프 후면부의 온도 분포 화상  
Fig. 2. Temperature on back side of white LED lamp

## 3. 실험 결과

### 3.1 전류의 시비율과 주파수 특성

그림 3은 LED의 평균 전류가 100[mA]로 일정할 때 시비율과 구동 주파수에 대한 LED 램프 후면부 온도

와 휘도를 나타낸 그래프이다. 시비율이 일정하면 구동 주파수가 100[Hz]부터 100[kHz]까지 변화여도 온도와 휘도의 측정값들은 모두 일정하였다. 그러나 시비율이 증가함에 따라 LED 램프 후면부 온도는 약 5[%] 감소하였고 휘도는 약 17[%] 증가하였다. 평균 전류가 일정할 경우, 시비율이 증가하면 최대전류는 감소하므로 최대전류가 낮을수록 LED의 밝기는 증가하고 온도는 감소한다고 할 수 있다.

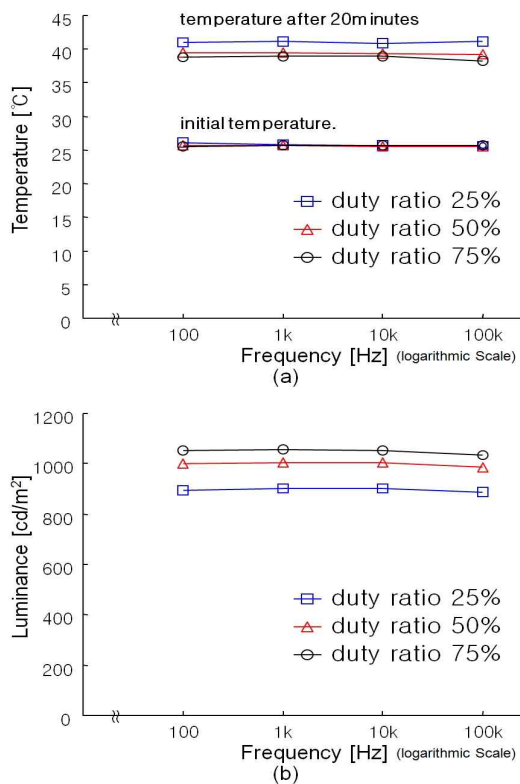


그림 3. LED의 주파수와 시비율에 따른 (a)온도 (b)휘도  
Fig. 3. Measured (a)temperature and (b)luminance with frequency and duty ratio of LED

LED 램프의 구동 조건에 따른 상대적인 광 효율의 변화를 비교하기 위하여 측정된 휘도값을 LED의 평균전력으로 나누어 단위 [W]당 휘도값을 구하였다. 그림 4는 일정한 평균전류 100[mA]에서 시비율과 주파수에 따른 상대 광 효율을 보인 그래프이다. 상대 광 효율은 주파수의 변화에는 무관하였고, 시비율이 0.25에서 0.75로 증가함에 따라 약 25[%] 증가하였다.

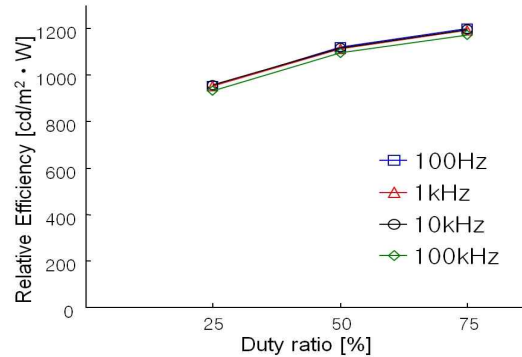


그림 4. LED의 주파수와 시비율에 따른 상대 광 효율  
Fig. 4. Measured relative luminance efficiency with frequency and duty ratio of LED

### 3.2 최대 전류 값과 LED 광 특성

두 번째 실험에서는 평균전류를 100[mA]로 일정하게 유지시키면서 시비율을 조정하여 최대전류를 100[mA]부터 1,000[mA]까지 100[mA]씩 증가 시켰을 때의 LED 램프의 특성을 측정하였다. 또한, 같은 방법으로 평균전류를 350[mA]로 일정하게 유지시키면서 최대전류를 350[mA]부터 1,000[mA]까지 변화시켜 이때의 LED 램프의 특성을 측정 하였다.

LED의 데이터시트에는 10[μs]동안 최대 허용 전류가 2[A]로 명시되어 있으므로[9] 평균전류가 100[mA]인 경우의 주기는 100[μs], 구동 주파수는 10[kHz]로 정하였다. 최대전류에서의 펄스폭을 평균전류 100[mA]의 경우와 동일하게 하기 위하여 평균전류 350[mA]의 경우의 주기는 28.6[μs], 구동 주파수는 35[kHz]로 정하였다. 각 최대전류에 대한 시비율과 펄스폭은 표 1에 나타내었다. 최대 전류는 정격 조건에서부터 정격보다 높은 1,000[mA]까지 증가시켰다. 냉각 팬이 있는 경우와 없는 경우로 나누어서 동일한 실험을 수행하여 방열 조건에 따른 LED 특성의 차이를 비교 평가하였다.

LED 램프의 평균전류를 100[mA]로 일정하게 유지시키면서 냉각 팬이 있는 경우와 없는 경우에, 최대전류에 따른 LED 램프 후면부 온도, 색온도, 휘도를 측정 한 결과를 그림 5에 나타내었고, 표 2에 그 측정값과 증감률을 나타내었다.

표 1. 최대전류의 시비율과 펄스폭  
Table 1. Duty ratio and pulse width of the peak current

최대전류 [mA]	평균전류 100[mA]		평균전류 350[mA]	
	시비율 [%]	펄스폭 [μs]	시비율 [%]	펄스폭 [μs]
100	100	-	-	-
200	50	50	-	-
300	33.3	33.3	100*	-
400	25	25	87.5	25
500	20	20	70	20
600	16.7	16.7	58.3	16.7
700	14.3	14.3	50	14.3
800	12.5	12.5	43.8	12.5
900	11.1	11.1	38.9	11.1
1,000	10	10	35	10

\* 시비율이 100[%]인 경우 최대전류는 350[mA]임.

표 2. 평균전류 100(mA)인 경우 측정값과 증감률  
Table 2. Measured value and percentage change at average current of 100mA

	최대전류 [mA]	온도 [°C]	색온도 [K]	휘도 [cd/m <sup>2</sup> ]	상대효율 [cd/m <sup>2</sup> W]
냉각 팬이 없는 경우	100	42.6	6270	844.4	955.2
	1,000	48.4	6899	517.8	488.5
	증감률	13.6[%] 증가	10[%] 증가	38.6[%] 감소	48.9[%] 감소
냉각 팬이 있는 경우	100	31.5	6197	860.6	964.8
	1,000	33.6	6836	524.8	490.5
	증감률	6.7[%] 증가	10.3[%] 증가	39[%] 감소	49.2[%] 감소

냉각 팬이 없을 때, 최대전류 100[mA](시비율 100[%])의 조건에 비해 최대전류 1,000[mA](시비율 10[%])의 조건에서 온도와 색온도가 각각 약 13.6%, 약 10[%] 증가하였고, 휘도와 효율은 각각 약 38.6%, 48.9[%] 감소하였다.

냉각 팬이 있을 때, 최대전류 100[mA](시비율 100[%])의 조건에 비해 최대전류 1,000[mA](시비율 10[%])의 조건에서 온도와 색온도가 각각 약 6.7%, 약 10.3[%] 증가하였고, 휘도와 효율은 각각 약 39[%],

49.2[%] 감소하였다.

최대전류 조건에서 LED 램프 후면부 온도는 팬이 있는 경우가 없는 경우 보다 평균 약 27.9[%] 크게 감소하였지만, 색온도는 약 1.1[%] 감소하고 휘도는 약 1.7[%], 상대 광 효율은 약 0.6[%] 각각 증가 하였다.

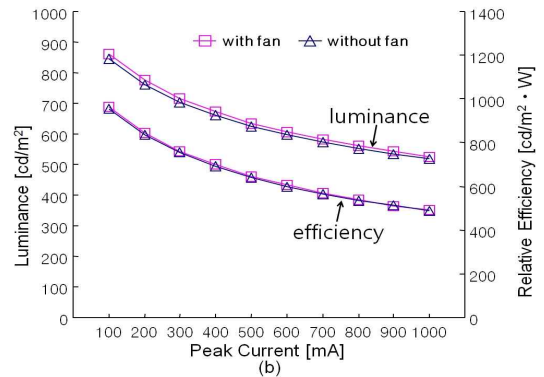
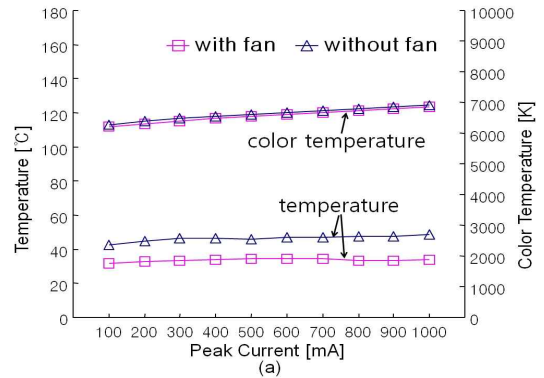


그림 5. 평균전류 100(mA)인 경우 냉각 팬 유무와 최대전류에 따른 (a)온도, 색온도 (b)휘도, 상대 광 효율

Fig. 5. Measured (a)temperature, color temperature (b) luminance, relative efficiency depending on peak current and cooling condition at average current of 100[mA]

LED 램프의 평균전류를 350[mA]로 일정하게 유지시키면서 냉각 팬이 있는 경우와 없는 경우에, 최대전류에 따른 온도, 색온도, 휘도를 측정된 결과를 그림 6에 나타내었고, 표 3에 그 측정값과 증감률을 나타내었다.

냉각 팬이 없을 때, 최대전류 350[mA](시비율 100[%])의 조건에 비해 최대전류 1,000[mA](시비율 35[%])의 조건에서 온도와 색온도가 각각 12.3[%],

7.3[%] 증가하였고, 휘도와 효율은 각각 26.5[%], 34.7[%] 감소하였다.

냉각 팬이 있을 때, 최대전류 350[mA](시비율 100[%])의 조건에 비해 최대전류 1,000[mA](시비율 35[%])의 조건에서 온도와 색온도가 각각 약 8.8[%], 약 6.5[%] 증가하였고, 휘도와 효율은 각각 약 25.2[%], 33.9[%] 감소하였다.

표 3. 평균전류 350(mA)인 경우 측정값과 증감률  
Table 3. Measured value and percentage change at average current of 350(mA)

	최대전류 [mA]	온도 [°C]	색온도 [K]	휘도 [cd/m <sup>2</sup> ]	상대효율 [cd/m <sup>2</sup> W]
냉각 팬이 없는 경우	350	81.2	6960	2199.7	686.1
	1,000	91.2	7470	1616.4	448.4
	증감률	12.3[%] 증가	7.3[%] 증가	26.5[%] 감소	34.7[%] 감소
냉각 팬이 있는 경우	350	49.9	6663	2293.5	706.1
	1,000	54.3	7097	1716.2	467
	증감률	8.8[%] 증가	6.5[%] 증가	25.2[%] 감소	33.9[%] 감소

최대전류 조건에서 LED 램프 후면부 온도는 팬이 있는 경우가 없는 경우 보다 평균 약 39.9[%] 크게 감소하였지만, 색온도는 약 4.6[%] 감소하고 휘도는 약 5.1[%], 상대 광 효율은 약 2.8[%] 증가 하였다.

이 실험에서는 LED 램프를 정격조건하에서 동작시켰기 때문에 냉각 팬의 존재여부가 색온도, 휘도, 상대 광 효율에 큰 영향을 주지 않았다. 즉 정격 범위의 일정한 평균전류로 구동하면 실험에 사용한 PAR16 LED 램프의 광 특성은 LED 자체 온도의 영향을 덜 받는다고 할 수 있다. 그러나 구동 조건이 정격 범위 내에 있더라도 평균전류가 100[mA]에서 350[mA]로 증가하면 LED 램프의 광 특성에 대한 온도의 영향은 점점 더 커지는 것으로 나타났다.

그림 7은 직경 500[mm] 적분구와 가시광 분광측정 장치를 사용하여 평균전류가 350[mA]인 경우 최대전류와 방열 조건에 따른 분광분포를 측정된 그래프이다. 실험 결과로부터 평균전류가 같더라도 최대 전류가 높을수록 청색광은 냉각 팬이 있는 경우와 없는 경

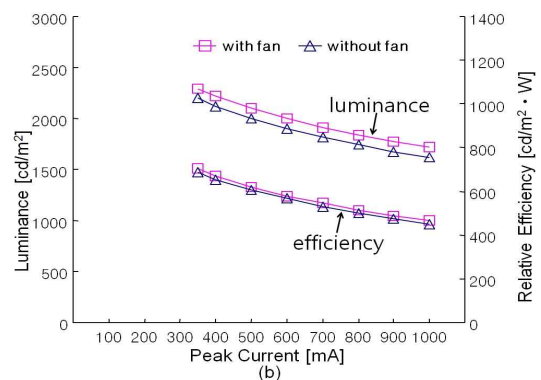
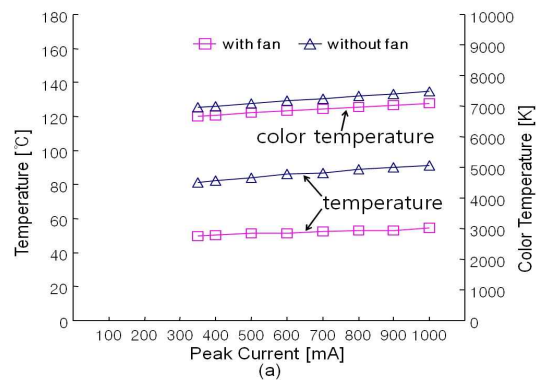


그림 6. 평균전류 350(mA)인 경우 냉각 팬 유무와 최대전류에 따른 (a)온도, 색온도 (b)휘도, 상대 광 효율

Fig. 6. Measured (a)temperature, color temperature (b) luminance, relative efficiency depending on peak current and cooling condition at average current of 350(mA)

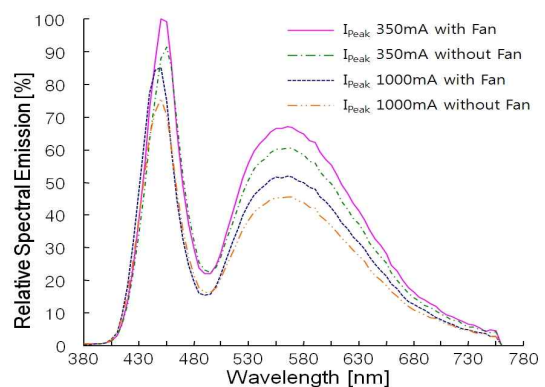


그림 7. 평균전류 350(mA)인 경우 냉각 팬의 유무와 최대전류에 따른 분광분포

Fig. 7. Measured spectrum distribution depending on peak current and cooling condition at average current of 350(mA)

우 각각 15.2[%], 17.4[%] 감소하였고 황색광은 각각 22.3[%], 25.8[%] 감소하였다. 청색 광의 감소 비율보다 황색 광의 감소 비율이 크므로 최대 전류의 증가에 따라 색온도가 증가한 것으로 사료된다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 PAR16 고출력 백색 LED 램프를 사용하여 구동조건에 따른 LED 램프 후면부 온도와 광 특성 변화를 측정 평가하는 실험을 하였다.

실험 결과, 이 LED 램프 후면부 온도와 광 특성은 동작 주파수에 무관하지만 시비율에 따라 변하는 것을 알았다. 또한, 정격 전류의 범위 내에서는 평균전류가 일정한 경우 최대 전류가 낮을수록 휘도와 광 효율이 높았으며 최대 전류가 높으면 온도는 증가하였고 색온도 역시 증가하여 점점 푸른색을 띄었다. 하지만 LED 온도변화가 광 특성에 미치는 영향은 큰 차이가 나지 않았다.

그러므로 정격 전류의 범위에서 실험에 사용한 PAR16 LED를 동작시킨다면 방열 조건이 LED의 광 특성에 미치는 영향은 미미하다고 보이며 LED 램프의 효율을 높이려면 동작 주파수 보다 시비율을 제어하여 최대 전류를 낮추는 것이 바람직하다.

추후 LED의 분광분포를 고려한 광 특성과 온도에 관한 정량적 측정, 평가가 필요하다고 사료되며 LED의 방열 기구는 제품마다 그 특징들이 다르므로 여러 LED 램프들의 방열 구조에 따른 특성을 측정, 평가하는 실험 또한 필요하다.

#### 감사의 글

본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 IT융합 고급인력과정 지원사업의 연구결과로 수행되었음. (NIPA-2011-C6150-1101-0002)

#### References

[1] Hyeung-Sik Choi, Jong-Su Yoon, Tae-Woo Lim, Hea-Yong Seo, "Temperature Control for LED with fan circulated air-cooling system", Journal of the Korean Society of

Marine Engineering, Vol.34, No.8, pp.1100-1106, November. 2010. [Korean].

[2] Xiaohui Qu, Siu-Chung Wong, Chi K. Tse, "Temperature Measurement Technique for Stabilizing the Light Output of RGB LED Lamps" IEEE TRANSACTIONS ON INSTRUMENTATION AND MEASUREMENT, Vol.59, NO.3, March. 2010.

[3] Arturas Zukauskas, Michael S. Shur, and Remis Gaska, "Introduction to Solid-State Lighting", Wiley-Interscience Publication, pp.79-82, 2002.

[4] M. F. Schubert, S. Chhajer, J. K. Kim, E. F. Schubert, D. D. Koleske, M. H. Crawford, S. R. Lee, A.J. Fischer, G. Thaler, M. A. Banas, "Effect of dislocation density on efficiency droop in GaInN/GaN light-emitting diodes" Appl. Phys. Lett., Vol.91, pp.23114, December. 2007.

[5] Sheng Liu, Jianghui Yang, Zhiyin Gan, Xiaobing Luo, "Structural optimization of a microjet based cooling system for high power LEDs" International Journal of Thermal Sciences, Vol.47, pp.1086 - 1095, 2008.

[6] Jeong Park, Moowhan Shin, Chin C. Lee, "Measurement of temperature profiles on visible light-emitting diodes by use of a nematic liquid crystal and an infrared laser" Optical Society of America, Vol.29, No.22, pp.2656-2658, November. 2004.

[7] S. Chhajer, Y. Xi, Y.-L. Li and Th. Gessmann, E. F. Schubert, "Influence of junction temperature on chromaticity and color-rendering properties of trichromatic white-light sources based on light-emitting diodes" JOURNAL OF APPLIED PHYSICS, Vol.97, pp.054506, February. 2005.

[8] Dae Woon Hong, Song Jae Lee, "A Study on High Power LED Lamp Structures" Korean Journal of Optics and Photonics, Vol.21, No.3, pp.118-122, June. 2010. [Korean].

[9] LW W51M Osram LED data sheet.

#### ◆ 저자소개 ◆



##### 윤장희 (尹長熙)

1984년 2월 26일생. 2010년 숭실대학교 전기공학부 졸업. 현재 숭실대학교 대학원 전기공학과 석사과정.



##### 염정덕 (廉正德)

1960년 5월 14일생. 1987년 서울대학교 전기공학과 졸업. 1989년 서울대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1992년 서울대학교 대학원 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.