

조명용 LED 램프의 사용 시간에 따른 연색지수 특성변화

(Aging-Time Dependence of Color Rendering Index of a LED Lamp for Lighting)

손민우* · 이덕희 · 서정철**

(Minwoo Son · Duck Hee Lee · Jung-Chul Seo)

Abstract

We measured color rendering index(CRI) of a LED lamp for lighting for aging-time. We chose bulb type white LED lamp six samples and halogen lamp one sample and applied 220V, 60Hz to all the samples for 1,000hours at ordinary temperature. The CRI was measured every 20hours and the CRI change of the LED lamp was compared with the halogen lamp's CRI change. As time goes, efficiency of the halogen lamp decreased and the CRI maintained uniformly. The other hand, efficiency of the LED lamp decreased but the CRI increased. The CRI of the LED lamp has been stabilized since 600hours. The CRI change of the LED lamp was analyzed with a spectrum, color coordinate and color temperature.

Key Words : LED Lamp, Color Rendering Index, Change, Aging-Time, 1,000hours

1. 서 론

1.1 연구의 배경

우리는 조명용 LED 램프의 표준과 기준물 개발을 목적으로 여러 연구를 진행해왔다. 특히 기준물 개발에 있어서는 광원의 광 특성 안정화 작업이 중요한데

* 주저자 : 한국산업기술대학교 나노 광 공학과 석사과정
** 교신저자 : 한국산업기술대학교 나노 광 공학과 부교수
* Main author : The master's course, Department of Nano optical Engineering, Korea Polytechnic University

** Corresponding author : Professor, Department of Nano optical Engineering, Korea Polytechnic University

Tel : 010-8804-0010, Fax : 031-8041-0729

E-mail : jcseo@kpu.ac.kr

접수일자 : 2013년 11월 6일

1차심사 : 2013년 11월 12일, 2차심사 : 2013년 12월 30일

심사완료 : 2014년 1월 27일

조명용 LED 램프의 연색지수 안정화를 목표로 연구를 하던 중 사용시간에 따라 변화하는 조명용 LED 램프의 광 특성들과 관련하여 연색지수가 변화되는 추세를 확인할 수 있었다.

1.2 연구의 목적

연색성은 색의 3요소(색 시료 - 물체, 광원, 눈) 중에 광원의 특성에 의한 것으로 동일한 색 시료가 광원의 특성에 따라 색상이 다르게 보이는 현상을 말한다. 연색성은 연색지수로 규정한다. 연색지수는 인공광원의 색 재현 능력을 나타내는 지표이며, 조명용 램프의 선택 기준이 되는 중요한 측정량이다. 특히 사람이 정확한 색을 인지해야 하는 분야에서 그 중요성이 부각된다. 태양광의 평균연색지수를 100으로 하며 인공광원의 평균연색지수가 100에 가까울수록 색 재현 능력이

우수하다.

시중에서 판매하고 있는 LED 램프는 생활조명, 상품 진열, 인테리어 등 용도에 맞게 다양한 제품이 출시되고 있는데, 조명용으로는 평균연색지수(Ra) 75 수준의 제품이 많다. 제조사에서는 제품을 출시할 때 기본 성능(광속, 색온도, 연색지수 등)을 측정하여 표기하는데, 사용시간에 따라 어떤 특성 변화를 보이는지에 대한 정보는 기재하지 않는다. 장시간 조명기구를 사용하는 곳이나 특히 정확한 조명환경이 요구되는 곳에서는 최적의 환경을 갖추기 위해 제품의 교체시기를 고려해야 하는데, 현재는 육안으로 파악할 수밖에 없다. 시간 변화에 따른 정보가 제공된다면 램프의 사용시간과 교체주기를 판단하는데 도움이 될 것으로 기대한다.

또한 연색지수는 사람이 광원에 비춰진 사물을 볼 때, 느끼고 인지하는 감성적인 부분에 많은 영향을 미치므로 연색지수의 특성변화는 조명용 LED 램프의 사용에 있어서 필히 고려되어야 할 특성으로 생각된다[1-2].

우리는 조명용 LED 램프의 연색지수를 측정하였고, 사용시간에 따른 변화를 스펙트럼, 색좌표, 색온도와 관련하여 분석하였다.

2. 본 론

2.1 연색성과 연색지수

물체 고유의 색을 재현해내는 특성을 연색성(Color rendering) 이라고 하며, 이것을 수치적으로 정량화한 것이 평균연색지수(Color rendering index : Ra)다.

연색지수를 규정하는 방법으로는 시험색 시편 사용 방법과 파장 대역법이 있다. 시험색 시편 사용방법은 여러 색 시편의 색을 기준광원 아래에서의 색좌표 값과 시험광원 아래에서의 색좌표 값을 비교하여 그 색차(ΔE)를 가지고 일련의 계산과정을 통하여 연색지수를 구하는 방법이다. 한편, 파장 대역법은 광원의 분광분포를 파장범위별로 일정한 가중치를 주어 자연광선과 얼마나 차이가 나는지 나타내는 방법이다. 최근의 광계측 장비는 파장 대역법으로 연색지수를 측정한다.

2.2 측정 장비

그림 1은 우리가 보유한 연색지수 측정 장비이다. 이 장비는 적분구, 전원 공급 장치(AC, DC), 분광기, CCD 광 검출기, 신호처리기 등으로 구성되어 있으며, 연색지수 이외에 전광선속과 광 효율 및 광원의 전기적 특성 등을 측정할 수 있다. 이 장비는 특정 장비제작회사에서 제공하는 교정값과 할로겐램프 기준물을 사용하여 측정신뢰성을 확보하였으며, 사양은 다음과 같다.

- Integrating sphere diameter : 40inch(1m)
- Wavelength range : 380nm~780nm
- Wavelength accuracy : ± 0.3 nm
- Wavelength repeatability : ± 0.1 nm
- Spectral resolution(Band pass) : 1nm
- Chromaticity coordinate accuracy : ± 0.001
- Photometry accuracy : $\pm 4\%$
- Photometry repeatability : $\pm 1\%$
- Test parameters
 - : Chromaticity coordinate, (x, y) and (u, v)
 - : Color temperature
 - : Rendering indices
 - : Peak wavelength and FWHM
 - : dominant wavelength
 - : Efficiency etc.

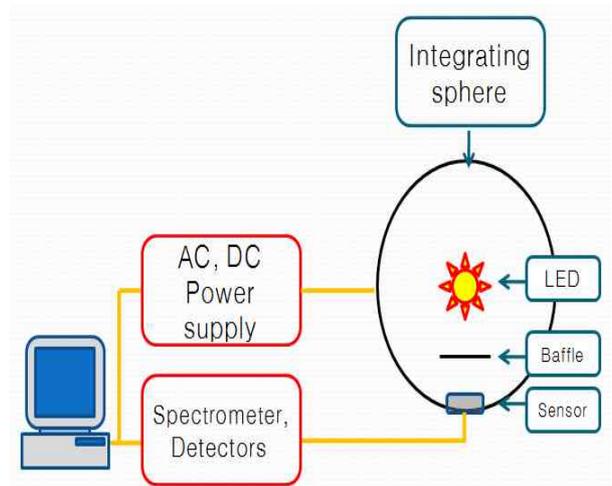


그림 1. 실험 장비
Fig. 1. Measurement system

2.3 실험방법 및 결과

제조사별 전구 형태의 조명용 백색 LED 램프 여섯 종류와 비교 군으로 할로겐램프(100W) 한 종류를 선정, 총 일곱 개 램프에 일반 가정에서와 같은 220V, 60Hz의 전압을 인가하여 상온(20℃, 35%)에서 작업을 진행하였다[3]. 20시간 후 상온에서 1시간 식히고 프리 에이징(free aging) 300초, 측정간격 10초, 측정 횟수 10회의 방법으로 연색지수를 측정하였다. 이 과정

을 반복하며 작업을 1,000시간 진행하였다. 할로겐램프는 광특성이 일정하게 유지되는 것을 알고 있다. 따라서 본 실험에서 할로겐램프의 연색지수가 일정하게 측정되는 것을 통해 장비의 연색지수 측정 능력을 신뢰할 수 있다.

그림 2는 조명용 LED 램프 여섯 종류의 효율, 그림 3은 평균연색지수를 나타낸 것이다. 그림과 같이 조명용 LED 램프와 할로겐램프 모두 총 1,000시간의 에이징 시간 동안 효율이 뚜렷하게 감소하였다. 그러나 할로겐램프는 거의 일정한 평균연색지수를 보였고, 조명

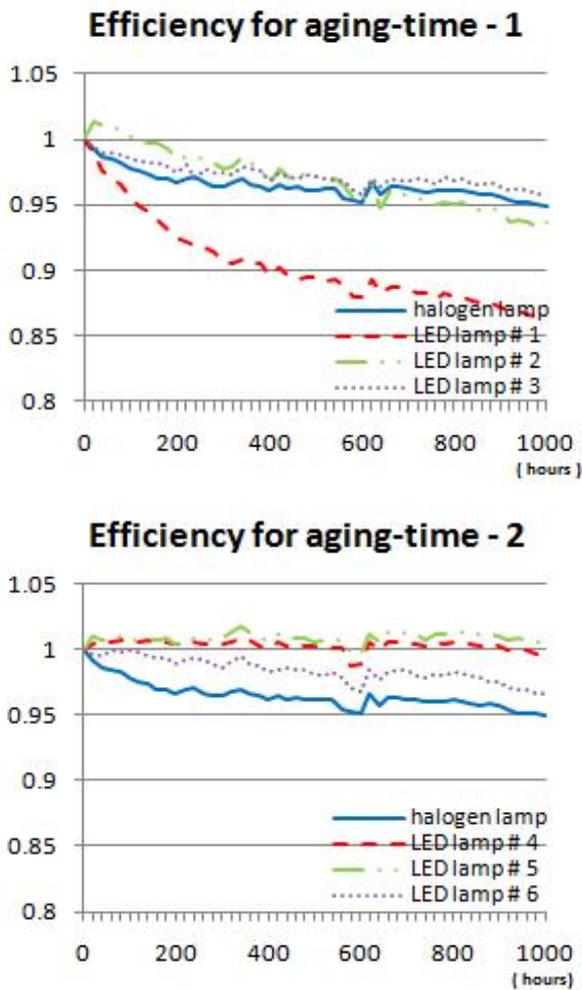


그림 2. 조명용 LED 램프와 할로겐램프의 시간에 따른 효율 변화(규격화)
 Fig. 2. Efficiency change of LED lamp for lighting and halogen lamp for aging-time (normalization)

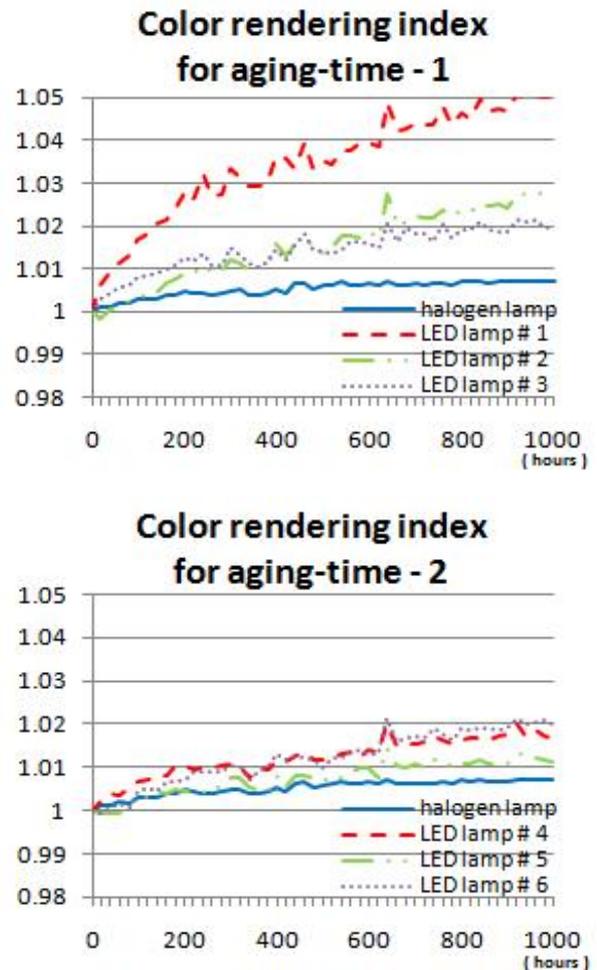


그림 3. 조명용 LED 램프와 할로겐램프의 시간에 따른 평균연색지수 변화(규격화)
 Fig. 3. CRI change of LED lamp for lighting and halogen lamp for aging-time(normalization)

용 LED 램프의 평균연색지수는 일정량 증가하다가 600시간 이후로는 안정화되는 추세를 보였다.

표 1은 실험 램프들의 효율, 평균연색지수 특성 변화량을 정리한 것이다. 대부분의 조명용 LED 램프들이 비슷한 효율과 평균연색지수 변화추세를 보였지만 조명용 LED 램프 # 5처럼 1,000시간 에이징 후에도 효율에 큰 변화가 없는 램프도 있었다. LED 램프의 평균연색지수 변화를 스펙트럼, 색좌표, 색온도와 관련하여 분석하였다.

표 1. 조명용 LED 램프와 할로겐램프의 효율, 평균연색지수 변화량(0시간 → 1,000시간)
Table 1. Efficiency and CRI change amount of LED lamps for lighting and a halogen lamp(0hour → 1,000hours)

	Efficiency (lm/W)	CRI (Ra)
LED lamp # 1(7.5W)	78.8 → 68.2(-13.5%)	74.9 → 78.6(+4.9%)
LED lamp # 2(5.8W)	77.7 → 72.8(-6.3%)	72.9 → 74.8(+2.6%)
LED lamp # 3(8W)	67.6 → 64.9(-4.0%)	70.1 → 71.5(+2.0%)
LED lamp # 4(7W)	59.8 → 59.6(-0.3%)	69.2 → 70.4(+1.7%)
LED lamp # 5(7W)	78.0 → 78.3(+0.4%)	69.2 → 70.0(+1.2%)
LED lamp # 6(5W)	59.4 → 57.4(-3.4%)	76.1 → 77.6(+2.0%)
halogen lamp(100W)	14.7 → 14.0(-4.8%)	99.2 → 99.9(+0.7%)

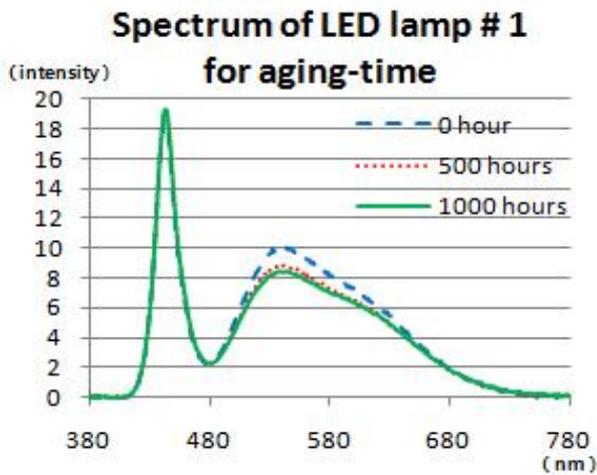


그림 4. 조명용 LED 램프 # 1의 시간에 따른 스펙트럼변화

Fig. 4. Spectrum change of LED lamp for lighting # 1 for aging-time

그림 4는 조명용 LED 램프 # 1의 스펙트럼을 측정 한 것이다. 시간이 지남에 따라 블루(blue) LED 부분(왼쪽 봉우리)의 스펙트럼은 일정하나 형광체 부분(오른쪽 봉우리)의 스펙트럼 강도가 뚜렷하게 감소하였다. 표 2는 조명용 LED 램프 # 1의 형광체 부분의 피크 강도와 반치폭, 전체 광량의 변화를 정리한 것이다.

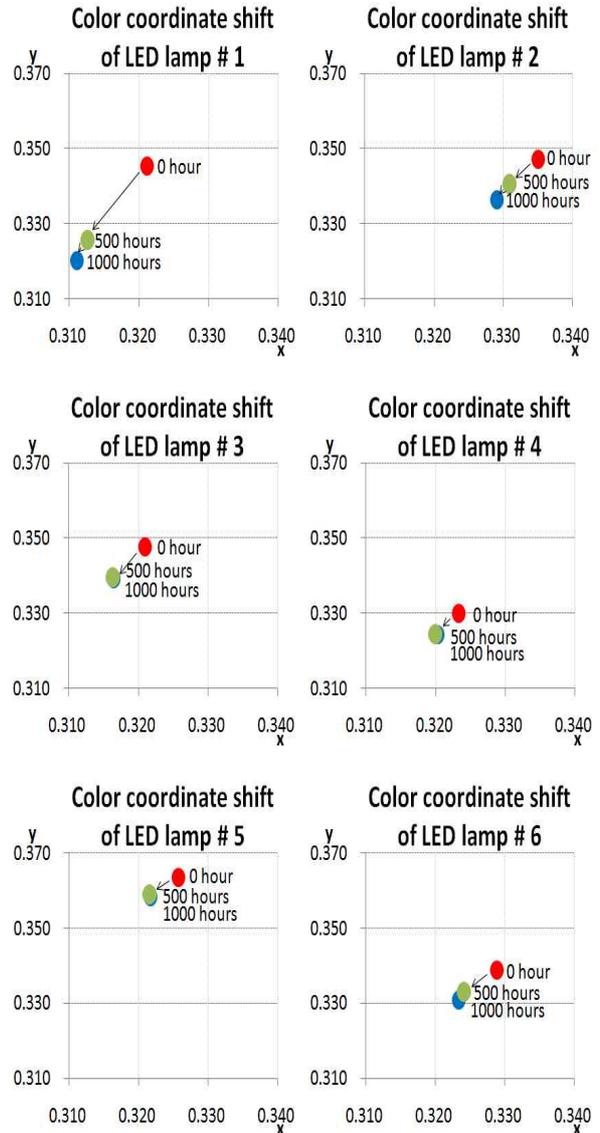


그림 5. 조명용 LED 램프의 색도상에서의 색좌표 이동(0시간 → 1,000시간)

Fig. 5. Color coordinate shift of LED lamp for lighting on chromaticity diagram (0hour → 1,000hours)

형광체 부분의 스펙트럼 강도 감소는 색도도 (Chromaticity diagram) 상에서 조명용 LED 램프의 색좌표가 블루 쪽으로 이동한 것으로 나타났다. 그림 5는 조명용 LED 램프의 사용시간이 늘어나면서 색좌표가 블루 쪽으로 이동한 것을 보여준다. 색좌표가 흑체궤적을 따라 블루 쪽으로 이동 할수록 색온도는 증가한다.

표 2. 조명용 LED 램프 # 1의 시간별 스펙트럼 실제 변화량 (480nm~680nm)
Table 2. Real spectrum change amount of LED lamp for lighting # 1 by aging-time (480nm~680nm)

hours	peak wavelength (intensity)	FWHM (nm)	dominant wavelength (nm)	total luminous intensity (intensity x nm)
0	541nm (10.09)	135	505.08	1,815.62
500	541nm (8.87)	139	486.95	1,711.42
1,000	544nm (8.47)	141	483.74	1,688.51

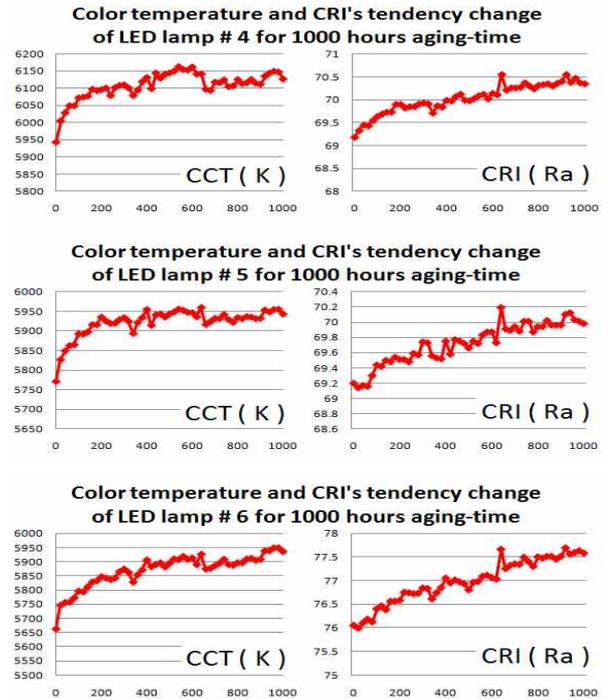


그림 6. 조명용 LED 램프의 색온도 및 연색지수 추세 변화 비교

Fig. 6. Color temperature and CRI's tendency change comparison of LED lamp for lighting

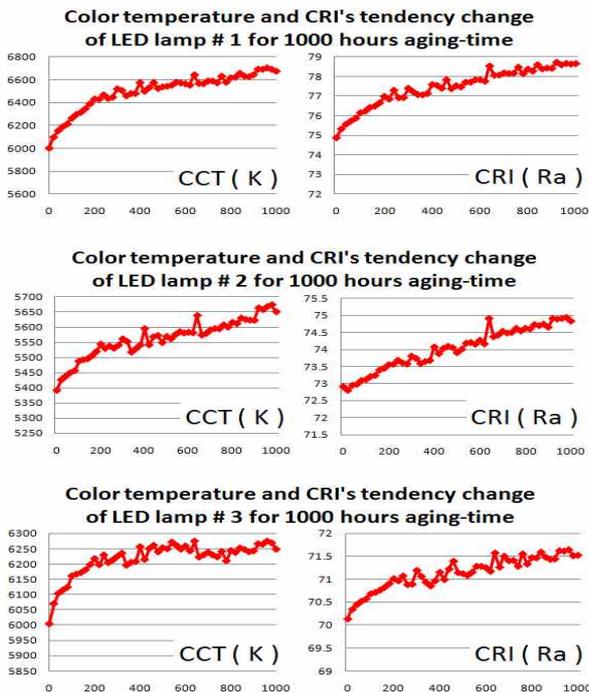


그림 6은 조명용 LED 램프의 색온도와 연색지수를 보여준다. 총 1,000시간 사용 후, 조명용 LED 램프의 색온도는 모두 증가했다. 표 3은 조명용 LED 램프의 색온도 특성 변화량을 정리한 것이다. 본 연구에서는 5,392.4K에서 6,642K의 색온도 분포를 나타내는 LED 램프들로 실험을 진행하였다. 총 1,000시간 에이징에 따른 색온도와 평균연색지수 추세변화를 비교해보면 모두 그림 6과 같이 두 특성의 변화 추세가 유사함을 알 수 있다. 약 5,400K에서 6,600K 분포내의 조명용 LED 램프는 색온도가 증가하면 평균연색지수도 증가함을 확인할 수 있다[4].

3. 결 론

조명용 LED 램프(색온도 약 5,400K에서 6,600K의 분포)를 오래 사용하면 스펙트럼의 오른쪽 부분이 감

소하고, 색좌표가 블루 쪽으로 이동하며, 색온도가 증가한다. 이로 인해 평균연색지수가 색온도와 비슷한 추세로 증가하는 결과가 나타난다. 스펙트럼의 오른쪽 부분에 감소는 사용시간에 따른 조명용 LED 램프의 형광체 부분 특성변화와 직접 관련이 있으며, 효율 감소 또한 야기한다. 형광체 부분의 스펙트럼이 많이 감소한 조명용 LED 램프일수록 큰 변화폭으로 색좌표, 색온도, 연색지수의 특성이 변화한 것을 확인하였다.

표 3. 조명용 LED 램프의 색온도 변화량(0시간 → 1,000시간)

Table 3. Color temperature change amount of LED lamps for lighting(0hour → 1,000hours)

	Color temperature(K)
LED lamp # 1(7.5W)	6,002 → 6,672(+11%)
LED lamp # 2(5.8W)	5,392 → 5,650(+4.8%)
LED lamp # 3(8W)	6,003 → 6,247(+4.1%)
LED lamp # 4(7W)	5,942 → 6,126(+3.1%)
LED lamp # 5(7W)	5,770 → 5,942(+3%)
LED lamp # 6(5W)	5,663 → 5,937(+4.8%)

결과적으로 조명용 LED 램프의 사용시간에 따른 연색지수 특성변화는 형광체의 특성변화로 인한 일련의 광 특성 변화 과정에 기인하는 것을 확인하였다[5].

본 연구는 사용시간에 따른 연색지수 특성변화 추세를 살펴볼 수 있어서 향후 LED 램프의 연색지수 연구에 기여할 것으로 기대한다.

References

[1] Hyun-Sun Kim, Yu-sin Kim, An-Seop Choi, "A study on the characteristics changr of Correlated color temperature and spectral distribution for improvement of color appearance", Proceedings of KIEE Annual Spring Conference 2010, pp.13~16, May. 2010.
 [2] Soon-Duk Jee, Sang-Hyuk Lee, Kyoung-Jae Choi, Joung-Kyu Park, Chang-Hae Kim, "Sensibility evaluation on the correlated color temperature in white LED lighting", Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers, Vol.22, No.4, pp.1~12, April. 2008.

[3] Hyun-Woo Choi, Jae-Hyeon Ko, "Analysis of luminous characteristics of white LEDs depending on yellow phosphors", Korean Journal of Optics and Photonics, Vol.24, No.2, pp.64~70, April. 2013.
 [4] S. Ghajed, 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, No.5, pp.054506, March. 2005.
 [5] Janghee Yun, Jeongduk Ryeom, "Evaluation of the device temperature and optical characteristics in high power white LED lamp by driving condition", Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers, Vol.25, No.11, pp.33~38, November. 2011.
 [6] E. Fred Schubert, Light-Emitting Diodes, Cambridge University Press, Shaftesbury Rd Cambridge CB2 8RU United Kingdom, pp.313~331, 2006.
 [7] IEC 62717, LED modules for general lighting-performance requirements.
 [8] Toru Yoshizawa, Handbook of optical metrology, CRCPrLLc, 6,000 Broken Sound Parkway NW, Suite 300 Boca Raton, FL 33487-2742, pp. 40~63, 2007.

◇ 저자소개 ◇



손민우(孫敏雨)

1986년 4월 21일생. 2012년 3월 한국산업기술대학교 나노 광 공학과 졸업. 현재 한국산업기술대학교 대학원 나노 광 공학과 재학.



이덕희(李德熙)

1972년 12월 20일생. 2005년 국립 공주대학교 대학원 물리학과 졸업(박사). 한국전자통신연구원. 한국표준과학연구원 근무. 현재 한국산업기술대학교. 한밭대학교 강의.



서정철(徐汀喆)

1962년 10월 28일생. 1997년 KAIST 물리학과 졸업(박사). 1986~2005년 한국표준과학연구원 책임연구원. 2005년~현재 한국산업기술대학교 나노광 공학과 부교수.