

## 발광 스펙트럼 제어를 통한 표준광원 A 대체형 LED 개발

(Development of LED Alternative to Standard Illuminant A Using Emission Spectrum Control)

조재현\* · 장민석 · 김동원 · 김완호 · 김기훈 · 김강웅 · 송상빈 · 김재필\*\*

(Jae-Hyun Cho · Min-Suk Jang · Dong-Won Kim · Wan-Ho Kim · Gi-Hoon Kim ·  
Kang-Woong Kim · Sang-Bin Song · Jae-Pil Kim)

### Abstract

In this study, a standard illuminant A type LED that has similar emission spectrum as the standard illuminant A was developed using LED chip(emission peak: 405[nm]) and four types of phosphors(blue, green, orange and red). Using the design of experiment for spectrum control, the trend of the change of spectrum shape influenced by the change of interaction among phosphors and their density could be examined. Computer simulation through the optimization of the design of experiment revealed that, among four phosphors, the most influential one on the shape of the spectrum was green phosphor. Using the obtained optimal combination ratio of the four phosphors, an alternative LED illuminant to the actual standard illuminant A was developed and the spectrums of these two were confirmed identical. Using this standard illuminant A type LED, a portable transmittance meter with the range of measurement error of  $\pm 1.0[\%]$  was developed.

Key Words : Standard Illuminant A, LED, Phosphor, Emission Spectrum, Design of Experiment

### 1. 서 론

Light emitting diode(LED)는 기존 조명보다 소형화, 장수명, 높은 에너지 효율 등에서 장점을 가지고 있으며, 형광등과 같은 기존 조명에서 발생하는 환경오염물질을 사용하지 않으므로 미래조명으로서 주목을 받고 있다[1]. 이런 장점을 활용하여 LED는 현재

신호등, LCD BLU, 자동차, 표시용 광원, 등에 사용되고 있으며[2-3], 점차 발광효율이 증가함에 따라 그 활용 영역을 일반조명용 및 휴대용 분석 장비 분야[4-5] 등으로 넓혀가고 있다.

분광계측기는 빛의 물리적 성질을 이용하여 피측정물의 여러 가지 특성을 알아내는 장비로서 대부분 표준광원을 탑재하고 있다. 표준광원의 종류는 국제조명위원회(CIE)의 규정에 따라 표준광원 A, C, D50, D55, D65, D75까지 여러 종류가 있으며, 사용 목적에 따라 광원의 종류가 달라지게 된다[6]. 이러한 표준광원 중에서 A광원(가스충전상태의 텅스텐 백열전구 표준)은 여러 분야에 활용도가 높은 광원으로서 표준 광

\* 주저자 : 경기대학교 신소재공학과  
\*\* 교신저자 : 한국광기술원 신광원조명사업단 책임연구원  
Tel : 062-605-9342, Fax : 062-605-9359  
E-mail : jpkim@kopti.re.kr  
접수일자 : 2011년 9월 22일  
1차심사 : 2011년 9월 29일  
심사완료 : 2011년 10월 14일

원기, 표준 측색기, 조도계, 휘도계, 색차계 등에 사용되고 있다[7-8]. 최근에는 각종 필름, 렌즈, 유리 제조 공정, 자동차 정비공업사 등에서 가시광 측정기로서 활용성이 증가하고 있으며, 이 밖에도 신규 건설되는 건물에 유리 시공 수요가 많아짐에 따라 이를 검사하기 위한 측정기의 수요도 증가하고 있다. 그러나 기존의 표준광원은 부피가 크고 열이 많이 발생하는 등의 문제점을 안고 있어 휴대가능한 분광분석기 개발에 있어서는 새로운 형태의 표준광원이 요구되고 있다. 본 연구개발에서는 표준광원 A를 대체할 수 있는 LED 광원을 개발하고자 4가지의 형광체를 사용하였으며, 일반 실험으로 파악이 어려운 형광체간의 교호작용을 규명하고, 스펙트럼 형태를 제어하기 위하여 실험계획법(design of experiment, DOE)을 활용하였다[9].

## 2. 실험

LED 표준광원의 제작에 사용된 패키지는 3528(가로 35[mm], 세로 28[mm])형태의 open 패키지이며, 칩은 Tekcore사의 표준 칩(발광대역 400~405[nm])을 사용하였다. 사용된 봉지재는 실리콘 봉지재(다우코닝: OE6550)였으며, 형광체는 blue(B), green(G), orangered(OR)의 경우 실리콘계열의 형광체(Force4사)를 red(R) 형광체(Dott technology사)는 나이트라이드 계열의 것을 사용하였다.

적용된 각각의 형광체에 대한 발광 스펙트럼은 그림 1과 같으며, blue, green, orangered, red 형광체의 발광 피크는 각각 460[nm], 490[nm], 540[nm], 570[nm] 그리고 630[nm]였다. 제작된 광원의 광 특성 측정에 사용된 장비는 Instrument System사의 CAS 140CT이다.

형광체를 혼합한 봉지재는 10<sup>-1</sup>[torr]에서 5분 동안 탈포 시킨 후, 디스펜서(MUSASHI, FAD@320s)를 이용하여 토출하였다. 경화는 convection oven을 이용하여 70[°C]에서 1시간, 150[°C]에서 2시간동안 가열하여 진행하였다.

다수의 요인이 있는 실험에서 주효과와 상호효과를 조사할 경우 널리 사용되는 실험계획법으로서 요인설

계(factorial design)법을 들 수 있다[10]. 본 실험에서는 실험계획법은 4인자, 2수준 완전요인 설계법을 이용하여 수행하였으며, 실험 반복 횟수는 4회였다. 사용된 프로그램은 MINTAB 15.1 한글 version 이었다. 각 인자의 수준은 예비 실험을 통하여 결정하였으며, 실험계획법의 특성 값인 결과치는 표준광원 A의 630[nm]를 기준으로 지정 파장(405[nm], 460[nm], 490[nm], 540[nm], 570[nm])에서의 상대 강도를 사용하였다. 제작된 LED의 광학 특성은 Instrument systems社의 CAS-140CT를 이용하여 측정하였으며, 인가 전류는 20[mA], 측정온도는 상온이었다.

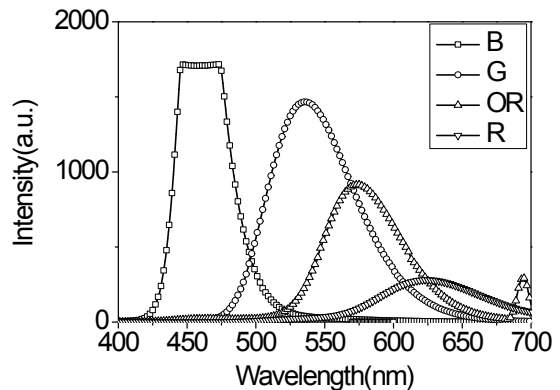


그림 1. Blue(B), green(G), orangered(OR), red(R) 형광체에 대한 발광스펙트럼

Fig. 1. Emission spectrum of blue(B), green(G), orangered(OR), and red(R) phosphor

## 3. 본 론

### 3.1 실험계획법 조건 및 결과

표 1은 실험계획법의 실험 조건 및 각각의 조건에 따른 지정 파장의 상대 강도를 나타낸 것이다. Blue 형광체의 첨가량은 23~27[wt%], green 형광체의 첨가량은 5~7[wt%], orangered 형광체의 첨가량은 1~1.2[wt%], red 형광체의 첨가량은 1.2~1.4[wt%] 범위였다. 결과 수치에 해당하는 지정 파장은 405, 460, 490, 540, 570, 630[nm]이었으며, 이들 파장의 상대강도는 630[nm]의 스펙트럼 강도를 1로 하였을 때의 상

대 비로 나타내었다.

표 1. 스펙트럼 제어를 위한 실험계획법 조건 및 결과  
Table 1. Result and condition of design of experiment to control spectrum

번호	형광체 첨가량(wt%)				피크 파장에서 상대 강도					
	B	G	OR	R	405	460	490	540	570	630
1	23	5	1.0	1.2	0.2280	0.5161	0.4172	0.7258	0.7796	1
2	27	5	1.0	1.2	0.1071	0.3827	0.3188	0.5990	0.7411	1
3	23	7	1.0	1.2	0.0984	0.2681	0.2937	0.7016	0.8220	1
4	27	7	1.0	1.2	0.1131	0.4025	0.4206	0.9063	0.9438	1
5	23	5	1.2	1.2	0.2477	0.4019	0.3360	0.6308	0.7804	1
6	27	5	1.2	1.2	0.1069	0.4508	0.3735	0.6825	0.8466	1
7	23	7	1.2	1.2	0.1526	0.3789	0.3703	0.7943	0.9257	1
8	27	7	1.2	1.2	0.0788	0.2880	0.3315	0.8043	0.9130	1
9	23	5	1.0	1.4	0.1894	0.5303	0.4384	0.7576	0.8636	1
10	27	5	1.0	1.4	0.0799	0.2990	0.3005	0.6583	0.7638	1
11	23	7	1.0	1.4	0.1129	0.2925	0.3145	0.7419	0.8817	1
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:

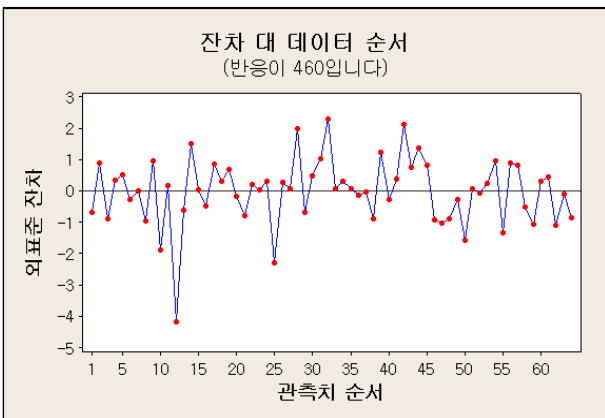


그림 2. 460(nm)의 상대강도에 대한 실험 순서별 외표준 잔차  
Fig. 2. Standardized residual of relative intensity for 460(nm)

그림 2는 대표적인 결과로 실험 순서에 대한 460[nm]에 대한 상대 강도의 외표준 잔차를 나타낸 그림이다. 실험 순서에 대한 외표준 잔차 대부분이 실

험이 -3부터 3 사이에 위치하여 실험이 매우 잘 진행 되었음을 나타내었다. 일반적으로 외적 스튜던트화 잔차는 -3부터 3 사이에 데이터가 위치하면 매우 경향성 있는 실험이 진행되었음을 의미하는 것으로 신뢰도가 95[%] 이상이다[9].

그림 3은 본 실험 범위의 형광체 첨가 농도에서 특정 파장에서의 주효과도를 나타낸 것이다. 460[nm]에서는 청색 형광체 보다 green 형광체에 대한 효과가 가장 크게 나타났으며, 이는 green 형광체의 여기 파장이 405[nm] 근처와 460[nm] 근처에 넓게 걸쳐 있기 때문으로 사료된다. 이 밖에도 490[nm]에서는 blue와 orangered 형광체가 상대 강도에 가장 큰 영향을 미쳤으며, 540과 570[nm]에서는 green 형광체가 가장 영향을 크게 미치는 영향인자로 나타났다.

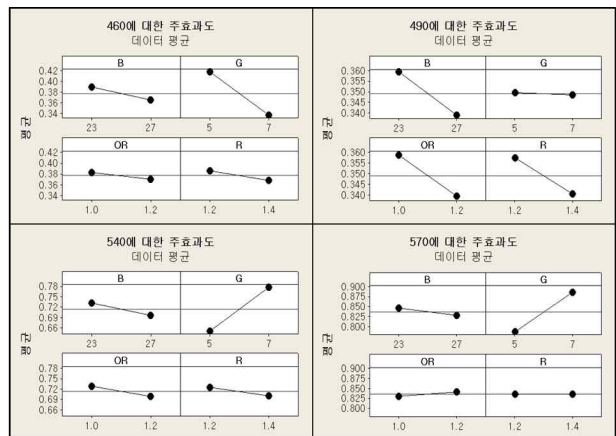


그림 3. 지정 파장에서의 상대강도에 대한 주효과도  
Fig. 3. Main effect plot for the relative intensity at selected wavelength

그림 4는 지정된 피크의 상대 강도에 대한 interaction plot을 나타낸 것인데 일부 형광체 상호간에 교호작용이 매우 큼을 알 수 있다. 먼저 가장 큰 교호 작용을 보이는 형광체는 blue 형광체와 orangered, red 형광체로 blue 형광체가 발광하는 빛을 orangered와 red 형광체가 다시 여기 광원으로 사용하여 발광하기 때문으로 사료된다. 이밖에도 490[nm]에서 blue 형광체와 green 형광체도 매우 큰 교호 작용을 보이는데 이 또한 앞선 설명과 비슷한 원인에 의한 것으로 사료된다.

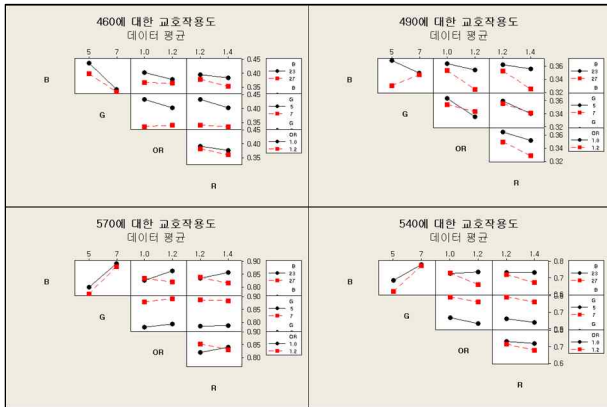


그림 4. 지정 파장에서의 상대강도에 대한 교호작용  
 Fig. 4. Interaction plot for the relative intensity at selected wavelength

### 3.2 형광체 조합 최적화

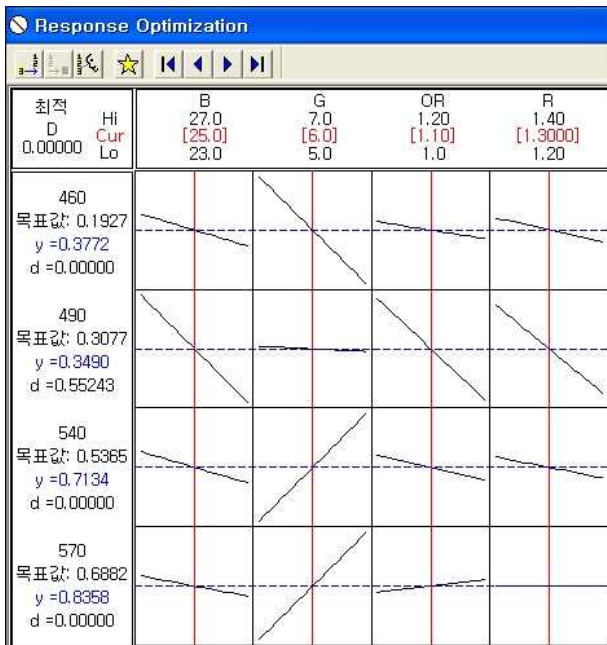


그림 5. 실험계획법에 의한 형광체 조합 최적화  
 Fig. 5. Response optimization of the major factors for phosphors

그림 5는 실험계획법에 의한 최적화 결과로 4종의 형광체 조성을 변화시켜 표준광원과 유사한 형태의 스펙트럼을 가질 수 있도록 나타내었다. 지정된 파장의 상대 강도가 표준광원의 상대강도에 가장 유사하

게 최적화 되면 첨가되는 형광체의 양을 산출할 수 있는데 최적의 형광체 조합은 blue : 25[wt%], green : 6[wt%], orangered : 1.1[wt%], 그리고 red : 1.3[wt%] 임을 알 수 있었다.

그림 6~9는 실험계획법의 최적화 도구를 이용하여 4가지 형광체(blue, green, orangered, red)가 실험 범위 내에서 발광스펙트럼에 어떠한 영향을 미치는지 나타낸 것이다.

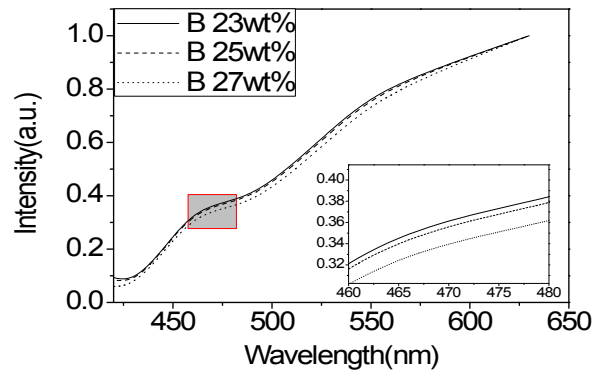


그림 6. Blue 형광체 첨가 농도에 따른 스펙트럼 변화 (green : 6[wt%], orangered : 1.1[wt%], red : 1.3[wt%])  
 Fig. 6. Spectrum change depending on addition of blue phosphor

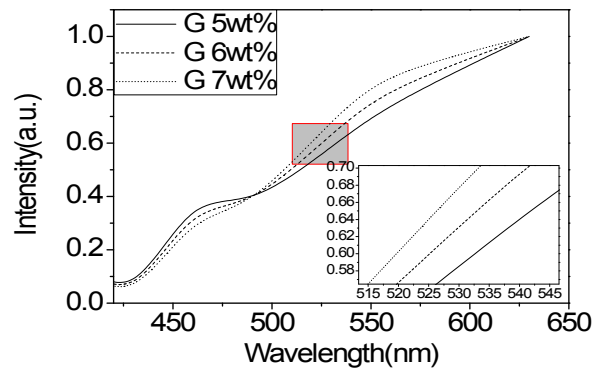


그림 7. Green 형광체 첨가 농도에 따른 스펙트럼 변화 (blue : 25[wt%], orangered : 1.1[wt%], red : 1.3[wt%])  
 Fig. 7. Spectrum change depending on addition of green phosphor

본 실험에서 적용한 형광체의 첨가농도 범위에서 각각의 형광체가 스펙트럼에 미치는 영향은 매우 다름

을 알 수 있다. 그림 6, 8, 9에 blue, orangered, red 형광체가 스펙트럼의 형상에 미치는 영향을 나타내었다. 세 형광체의 경우 본 실험 범위 내에서 상대적으로 스펙트럼의 형상에 미치는 영향이 적음을 알 수 있다.

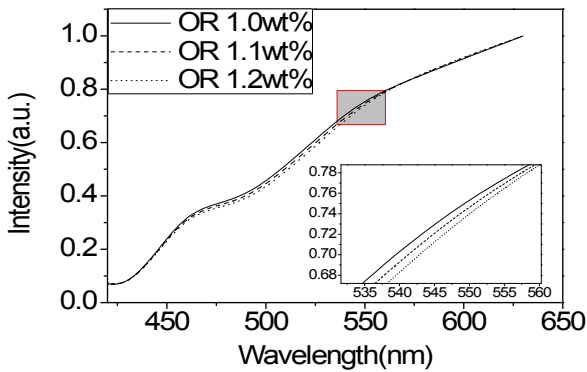


그림 8. Orangered 형광체 첨가 농도에 따른 스펙트럼 변화(blue : 25[wt%], green : 6[wt%], red : 1.3[wt%])  
 Fig. 8. Spectrum change depending on addition of orangered phosphor

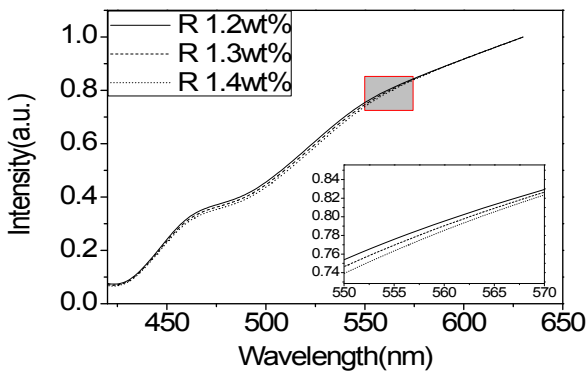


그림 9. Red 형광체 첨가 농도에 따른 스펙트럼 변화 (blue : 25[wt%], green : 6[wt%], orangered : 1.1[wt%])  
 Fig. 9. Spectrum change depending on addition of red phosphor

반면 전체적인 스펙트럼 형상에 가장 큰 영향을 미치는 형광체는 그림 7에서 볼 수 있듯이 green 형광체였으며, green 형광체의 농도를 변화시키면 스펙트럼의 전체형상을 쉽게 제어할 수 있음을 알 수 있었다. 이와 같은 영향은 형광체의 첨가량이 다른 형광체에

비해 상대적으로 많은 것도 있지만, green 형광체의 흡수 파장이 넓고 흡수 강도 또한 크다는 점도 영향을 미쳤을 것으로 사료된다.

실험계획법의 최적화 도구를 이용하여 얻은 스펙트럼과 동일한 조건(blue: 25[wt%], green : 6[wt%], orangered : 1.1[wt%], red : 1.3[wt%])으로 LED 광원을 제작하였다. 측정된 스펙트럼의 일치 정도를 조사하였으며, 그 결과를 그림 10에 나타내었다. 비교 실험한 두 스펙트럼이 매우 유사함을 알 수 있었으며, 실험계획법을 활용하여 스펙트럼을 모사하는 것이 매우 정확함을 알 수 있었다.

### 3.3 휴대용 투과율 측정기 제작

제작된 표준광원 A 대체형 LED 광원의 광학적 특성을 표 2에 나타내었다. Luminous intensity는 19.8[mA] 전류에서 13.80[cd]를 나타내었으며, 색온도는 2,920[K]를 나타내었다. CRI는 83.80을 나타내었으며, 지향각은 110[°]를 나타내었다. 이러한 개발된 LED의 광학 특성은 표준광원 A의 특성과 매우 유사한 것으로 휴대용 투과율 측정기에 적용하였다.

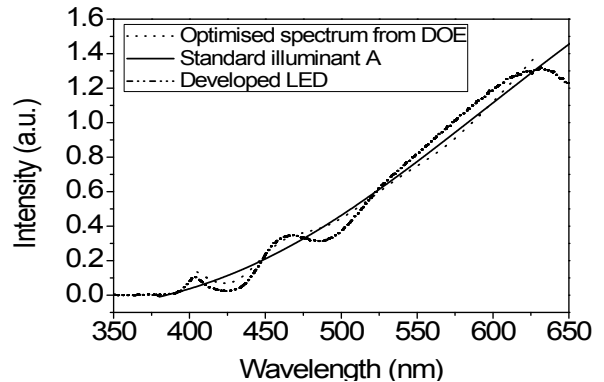


그림 10. 실험계획법에 의해 최적화된 스펙트럼과 개발된 LED 스펙트럼  
 Fig. 10. Developed LED spectrum from experiment and optimised spectrum from DOE

표준광원 A 대체형 LED 광원을 적용하여 측정 오차  $\pm 1[\%]$  이내의 측정기 개발하였으며, 시제품을 그림 11에 나타내었다. 발광부는 표준광원 A 대체형

LED를 적용하였고 수광부에는 photo diode를 사용하여 측정기를 구성하였다. 투과율의 파장 범위는 450~650[nm]로 하였으며, 정확도는  $\pm 1.0[\%]$  이내였다.

표 2. 표준광원 A 대체형 LED에 대한 광학 특성  
Table 2. Optical properties for the standard illuminant A type LED light

Voltage:	3.418[V]
Current:	19.8[ $\mu$ A]
Dominant Wavelength:	580.4[nm]
Color Temperature:	2,920[K]
Color Purity:	0.686
Radiant Intensity:	4.8626e-002[W/sr]
Center Luminous Intensity	13.80[cd]
General CRI:	83.80
View angle:	110[ $^{\circ}$ ]



그림 11. 개발된 휴대용 투과율 측정기  
(좌) 수광부, (우) 발광부  
Fig. 11. Developed transmittance measurement system (left) light receiving part, (right) light emitting part

#### 4. 결 론

본 논문에서는 표준광원 A를 대체할 수 있는 LED 광원을 개발하기 위하여 4종(blue, green, orange, red 형광체)의 형광체를 이용하였으며, 이들 형광체의 발광 스펙트럼을 제어하기 위하여 실험계획법(DOE)

을 활용하였다. 실험계획법에 의해 4종의 형광체간에 교호작용이 이루어지고 있음을 알 수 있었으며, 교호작용이 가장 큰 green 형광체의 첨가량을 조절함으로써 스펙트럼의 형상을 제어할 수 있었다. 실험계획법에 의해 모사된 조건(blue : 25[wt%], green : 6[wt%], orange : 1.1[wt%], red : 1.3[wt%])으로 표준광원의 스펙트럼과 유사한 LED 광원을 제작할 수 있었다. 개발된 표준광원 A 대체형 LED를 이용하여 휴대용 투과율 측정기에 적용한 결과 오차 범위  $\pm 1.0[\%]$ 의 측정기를 제작할 수 있었다.

#### 감사의 글

본 연구는 지식경제부 및 한국산업기술평가관리원 산업원천기술개발사업(정보통신)의 일환으로 수행하였음. [K110039177, 사용자중심 자연광 구현이 가능한 교육 시설 및 주거용 LED 조명 디자인 및 시스템 개발]

#### References

- [1] 日本照明學會, “LED 照明ハンドブック”, pp. 28~41 2006.
- [2] Z. Liu, S. Liu, Kai Wang, X. Luo, “Status and prospects for phosphor-based white LED packaging,” Front. Optoelectron. China Vol. 2, No. 2, pp. 119-140, 2009.
- [3] D.A. Steigerwald, J.C. Bhat, D. Collins, R.M. Fletcher, M.O. Holcomb, M.J. Ludowise, P.S. Martin, S.L. Rudaz, “Illumination With Solid State Lighting Technology,” IEEE J. Sel. Topics Quantum Electron, Vol. 8, No. 2, pp. 310-320, 2002.
- [4] F. Xu, Z. Lv, X. Lou, Y. Zang, and Z. Zhang, “Nitrogen dioxide monitoring using a blue LED,” Applied Optics, Vol. 47, No. 29, pp. 5337-5340, 2008.
- [5] M. Pokrzywnicka, R. Koncki, and L. Tymecki, “A concept of dual optical detection using three light emitting diodes,” Talanta, Vol. 82, pp. 422-425, 2010.
- [6] Alex Ryer, “Light Measurement Handbook”, international light Inc. pp. 21-22, 1998.
- [7] 김진한, “색채의 원리”, 시공사, p. 25, 2002.
- [8] Philips Lighting, “Color Rendering Properties of LED Light Source,” Proceedings of SPIE, 2002.
- [9] 임용빈, 박성현, 안병진, 김영일, “실용적인 실험계획법”, pp. 2-14, 자유아카데미, 2008.
- [10] S. Kumar, M. Florendo, and K. Kittmer, “A Wire Bond Process Optimization Strategy for Very Fine Pitch Development”, Pre-print SEMICON Singapore Assembly Seminar, May 1999.

◆ 저자소개 ◆



**조재현 (趙宰賢)**

1972년 2월 22일생. 2007년 경기대학교 산업정보대학원 신소재공학과 졸업(석사). 2011년 경기대학교 대학원 신소재공학과 박사과정. 1999년~현재 (주)디에스 기술연수소 선행개발팀장.



**장민석 (張珉碩)**

1984년 12월 3일생. 2010년 전남대학교 일반대학원 신소재공학과 석사과정. 현재 한국광기술원 신광원조명사업단 연구원.



**김동원 (金東元)**

1956년 1월 13일생. 1988년 한국과학기술원 재료공학과 졸업(박사). 1991년~현재 경기대학교 신소재공학과 교수.



**김완호 (金完鎬)**

1975년 4월 18일생. 2002년 2월 전남대학교 일반대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 한국광기술원 신광원조명사업단 선임연구원.



**김기훈 (金李朴)**

1970년 4월 24일생. 2006년 8월 강원대학교 일반대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 한국광기술원 신광원조명사업단 선임연구원.



**김강용 (金康雄)**

1964년 4월 17일생. 현재 (주)티앤아이 대표이사.



**송상빈 (宋相彬)**

1969년 10월 1일생. 2006년 8월 전남대학교 공과대학 전기공학과 졸업(박사). 현재 한국광기술원 신광원조명사업단 단장. 본 학회 평의원.



**김재필 (金宰必)**

1970년 2월 26일생. 2002년 광주과학기술원 신소재 공학과 박사 졸업. 2003년~현재 한국광기술원 신광원조명사업단 책임연구원.