

## 조광제어에 의한 LED램프의 광특성 변화 분석

(Analysis of Luminous Quantity Changes by the Dimming Control of the LED Lamp)

장인현\* · 김유신 · 최안섭\*\*

(In-Hyun Jang · Yu-Sin Kim · An-Seop Choi)

### Abstract

Until now, dimmable fluorescent luminaires has been widely used for dimming systems, and LED is currently attracting attentions as a alternative lamp due to environmental problem issues. LED, one of eco-friendly high efficiency lamp, has advantage that dimming is easy than fluorescent luminaire. But there have been not enough research on technical development and application for LED dimming. Therefore, to analyze luminous quantity of dimmable LED, the illuminance, color temperature, luminance, and current were measured in the whole range of dimming. In the results of this study, the dimmable LED of various types showed a similar trend in the changed luminous quantity by dimming.

Key Words : LED, Dimming Control System, The Defect of LED Dimming, Luminous Quantity

## 1. 서 론

### 1.1 연구의 배경

현재 전 세계적으로 에너지 소비가 증가함에 따라 에너지 고갈과 환경오염 문제가 심각한 문제로 대두되고 있다. 이에 따라 세계 각국에서는 저에너지, 고효율, 친환경에 적극적인 관심을 가지고 있다. 특히 가장 널리 사용되어지고 있는 형광램프는 정책적 규제의 대상이 되고 있다[1]. 이에 따라 건축조명 분야에서는 신·재생에너지의 활용이나 주광을 이용한 자연채광

의 극대화, 고효율 조명기기의 사용 등과 같이 건축물에서 소비되는 에너지의 절감을 위하여 다양한 연구들이 진행되고 있다[2].

LED는 대표적인 친환경 고효율 조명기구의 하나이며 건축조명에 적용성이 높아지면서 매우 빠른 속도로 시장이 확대되고 있다[3]. 현재 우리나라는 LED산업을 21세기 신성장동력산업으로 육성하는 정책을 발표하였으며, 2012년 세계 3대 LED 생산국을 목표로 하고 있다[4]. 또한, LED의 효율 향상을 위하여 2015년까지 120[lm/w]급, 2020년까지 200[lm/w]급 기술 개발 계획을 수립하였다[5-6].

이와 같이 LED 조명기구는 기존 조명기구를 대체할 가장 유력한 차세대 광원으로 우리나라 뿐만 아니라 세계 각국에서도 관심과 투자가 급속도로 증가하고 있는 실정이다. 그러나 고효율 LED 조명기구의 개발과 더불어 조명에너지 절감을 극대화하기 위

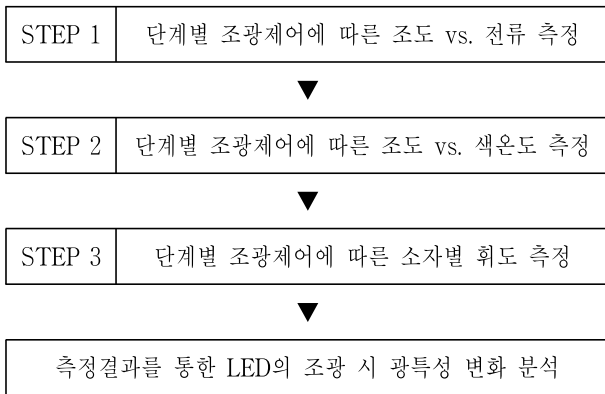
\* 주저자 : 세종대학교 건축공학과 석사과정  
\*\* 교신저자 : 세종대학교 건축공학과 교수  
Tel : 02-3408-3761, Fax : 02-3408-4331  
E-mail : aschoi@sejong.ac.kr  
접수일자 : 2010년 6월 18일  
1차심사 : 2010년 6월 24일  
심사완료 : 2010년 8월 18일

해서는 효과적인 LED 조광(Dimming) 기술의 적용이 필요하다. 따라서 다양하고 효율적인 LED 조광 방식 및 기술개발을 위한 끊임없는 연구가 수행되어야 한다.

### 1.2 연구의 목적 및 방법

본 연구는 LED램프의 조광 시 나타나는 광특성 변화와 문제점을 분석하기 위하여 LED램프의 조광에 따른 광특성을 측정하였다. 이를 통해 효율적인 LED 조광방식의 개발을 위한 기초자료로 제시하고자 한다. 조광제어에 따른 LED램프의 광특성 측정은 광원의 조광범위 단계를 일정하게 나누어 수행되었다. 이에 따라 단계별 조광에 따른 각 광원의 조도와 전류, 색온도를 측정하였고, 측정결과를 비교하여 상관관계를 도출하였다. 그리고 소자별 조광에 따른 오차를 보기위해서 RGB 및 White LED램프의 각 소자별 휘도를 측정 후 측정값의 변화를 분석하였다. 다음의 표 1은 본 연구의 방법 및 절차를 도식화한 것이다.

표 1. 연구의 방법 및 절차  
Table 1. Research procedure





### 2. 측정방법 및 광특성 측정 개요

본 연구에서는 LED램프의 광특성 측정을 위해 총 3 단계의 실험을 수행하였다. 다음 표 2는 3단계의 광특성 측정을 위해 공통적으로 사용한 실험광원 및 측정장비의 개요를 나타낸 것이다.

실험광원은 서로 다른 색온도를 가진 6[W] Bar type LED램프 5종류를 사용하였다. 이는 정전압 구동 회로방식이며, 소자의 표면온도는 40[°C] 이하로 측정되어 방열에는 문제가 없었다. 조명박스는 동일한 조건하에서 각 LED램프의 측정값을 얻기 위해 별도로 제작한 것이다. 조명박스의 형태는 전면의 한 방향만 열려있는 검정색의 반밀폐형이며, LED램프는 조명박스 내부의 상단에 고정시켜 배치하였다. 그리고 색차계(CL-200)는 조명박스의 바닥 중앙에 위치되어 조도와 색온도가 측정되도록 하였고, 측정은 측정값의 신뢰성을 높이기 위하여 타 조명광과 주광의 영향이 없는 조건하에서 수행되었다. 조광제어는 전류를 제어하는 방식으로써 각 광원별 256단계로 조절 가능한 조명제어소프트웨어를 활용하였고, 조광제어단계는 전체 조광범위를 15단계씩 증가시켜 총 18단계로 설정하였다.

표 2. 광특성 측정 개요  
Table 2. Outline of measurement of luminous quantity

항목	내용	
실험 광원	- N사 6[W] 2700[K] White Bar type LED×1EA - N사 6[W] 4000[K] White Bar type LED×1EA - N사 6[W] 4700[K] White Bar type LED×1EA - N사 6[W] 6000[K] White Bar type LED×1EA - N사 6[W] 6500[K] White Bar type LED×1EA	
측정 장비	- 색차계 : CL-200 - LED 조명박스 : 600×350×440(mm) - 조명제어소프트웨어 프로그램	
		
LED 조명박스	색차계	
	6[W] White Bar type LED	조명제어소프트웨어

본 연구에서는 조도 및 전류의 측정을 위해 6[W] RGB Bar type LED램프 1종류와 28[W] 형광램프 1종류의 광원을 추가적으로 사용하였다. 형광램프의 측정은 LED램프와의 광특성 비교를 위해 사용하였다. 전류의 측정은 전력계(WT210)를 설치하여 수행하였다. 다음의 표 3은 전류 및 조도 측정의 실험개요를 나타낸 것이다.



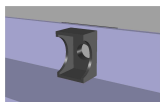
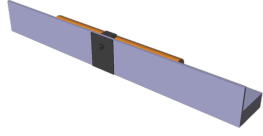
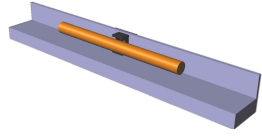

표 3. 조도 및 전류 측정 실험개요  
Table 3. Outline of measurement of illuminance and an electric current

항목	내용
실험광원	- N사 6[W] RGB Bar type LED × 1EA - O사 28[W] T5 직관형 형광램프 × 3EA
측정장비	- 전력계 : WT210
	 6[W] RGB Bar type LED
전력계	28[W] T5 직관형 형광램프

조도 및 색온도의 측정은 표 2의 실험광원과 실험장비를 사용하였으며, 조도 및 전류 측정과 동일한 방법으로 수행하였다. 그리고 휘도의 측정은 추가적으로 3종류의 RGB Bar type LED램프를 사용하여 수행되었다. 측정은 조광단계에 따라 각 소자별로 진행하였으며, RGB Bar type LED의 경우 R, G, B 소자별로 구분하여 수행하였다. 또한 소자가 일렬로 배열되어 있는 Bar type LED의 특성상 측정하고자 하는 소자에 근접해 있는 타 소자에 의한 조명광 유입의 영향을 차단하기 위하여 별도의 실험기구를 제작하였다. Bar type LED를 고정시킬 수 있는 받침대 형태로 제작한 실험기구의 사용은 각 소자별 측정 위치를 일정하게 하여 목표로 하는 소자 하나의 정확한 측정값을 얻게 한다.

측정 시 조광제어는 LED램프의 광출력을 50[%], 100[%]일 때의 두 경우로 나누어 각 소자별로 2회씩 측정하였다. 그리고 휘도계(LS-110)와 LED 소자를 일직선 상에 놓여지도록 하여 측정하였다. 다음 표 4는 휘도 측정의 실험개요를 나타낸 것이다.

표 4. 휘도 측정 실험개요  
Table 4. Outline of measurement of brightness

항목	내용	
실험광원	- C사 6.2[W] RGB Bar type LED × 1EA - C사 6[W] RGB Bar type LED × 1EA - N사 6[W] RGB Bar type LED × 1EA	
측정장비	- 휘도계 : LS-110 - LED램프 실험받침대(제작)	
		
휘도계	6[W]/6.2[W] LED	실험받침대 상세
		
실험받침대 모델링 전면		실험받침대 모델링 후면
		
휘도 측정 실험 구성도		

### 3. 측정결과

#### 3.1 광원별 전류와 조도의 관계

본 연구에서는 조광단계별 전류 세기에 따른 조도의 변화를 통해 각 조명기구의 조광시 전류와 조도의 상관관계를 도출하였다. 다음 표 5는 6종류의 LED램프와 형광램프의 조광단계별 조도와 전류 측정값과 각

광원의 전류 세기에 따른 조도의 변화를 그래프 및 추세선으로 나타낸 것이다.

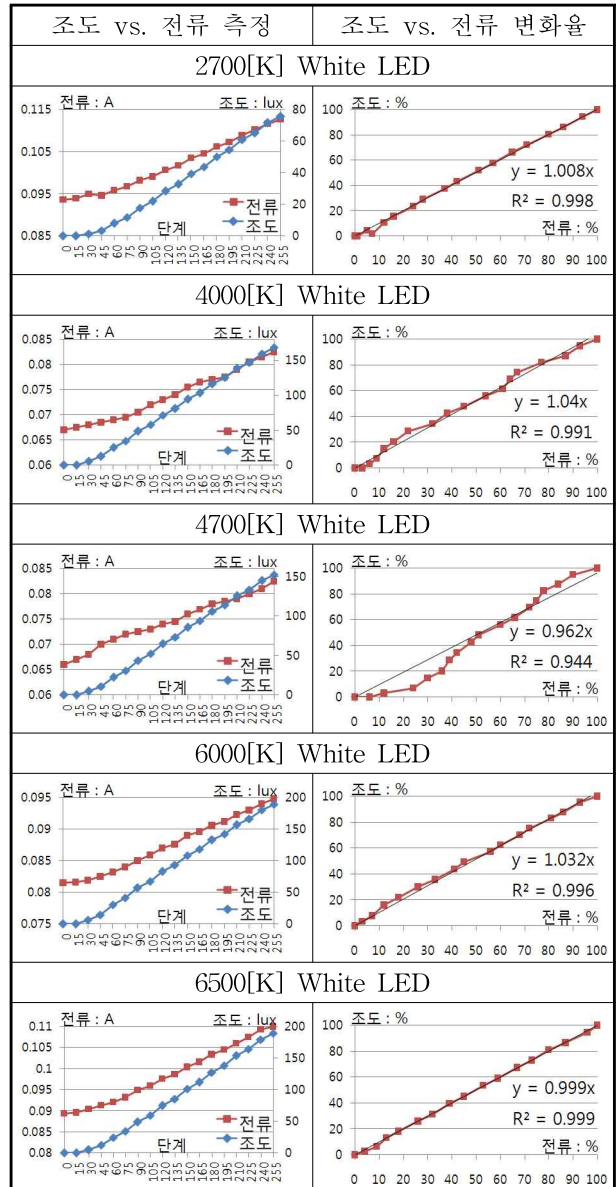
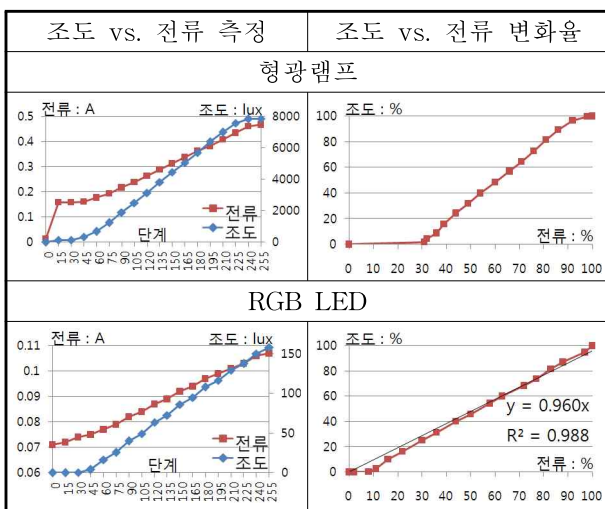
조도의 변화에서는 LED램프와 형광램프 모두 0에서부터 256까지의 단계별 조광에 따라 조도의 증가량이 점진적으로 커지는 것으로 나타났다. 그러나 낮은 조광단계에서는 조도의 변화가 작았으며, 높은 조광단계에서는 LED램프가 조도의 증가량이 일정한 비율로 늘어난 것에 반해 형광램프의 경우에는 조도의 변화가 작아지는 것으로 나타났다.

그리고 전류의 변화에서는 조광을 하지 않더라도 LED램프와 형광램프의 회로 내에 기본전류가 흐르고 있었으나, 형광램프의 경우 상대적으로 기본전류의 세기가 매우 작았다. 조광단계에 따라 LED램프에 흐르는 전류의 세기는 대체적으로 완만하게 증가하였고, 형광램프의 경우에는 낮은 조광단계에서 전류가 큰 폭으로 증가한 후 점차적으로 상승하였다.

각 광원은 광량이 서로 다르기 때문에 증가율을 백분위(%)로 변환하여 조광단계별 전류의 세기에 따른 조도의 변화를 나타내었다. LED램프의 경우 전반적으로 전류와 조도의 증가 비율은 선형비례관계를 가지고 있었으며, 각 비율의 절대값은 큰 차이가 없었다.

표 5. 각 광원의 조도와 전류 측정 결과 및 변화율 비교

Table 5. Result of measurement of illuminance and an electric current and comparison of rate of charge



그러나 형광램프는 전류의 증가가 약 30[%]일 때까지 조도의 증가 변화가 매우 작다가 이후 급격하게 증가하였다. 이를 바탕으로 LED램프와 형광램프를 비교하면, 전류가 50[%] 입력되었을 때 모든 LED램프는 약 50[%] 내외, 형광램프는 약 30[%]의 조도값이 나타난다. LED램프는 같은 전력을 사용할 때 형광램프보다 효율적이며, 조광제어에 유리한 것으로 나타났다.

이와 같이 측정된 LED램프는 조광제어 시 입출

력의 관계에 있어서 가장 효율적이라는 정비례관계의 이상적인 형태와 유사하였다. 이를 객관적인 분석을 위한 수치적 비교를 수행하기 위해서 그래프의 추세선을 이용한 결정계수  $R^2$ 로 나타내었다. 조광제어를 위한 조도와 진류 관계의 이상적인 형태는 그래프의 기울기와 결정계수가 1이며, 측정된 LED램프는 각각 1에 가까운 추세선 기울기와 결정계수를 가진 것으로 나타났다. 따라서 추세선은 선형에 가까운 형태이며 정비례함수와 매우 흡사하였다.

### 3.2 LED 램프별 조도와 색온도의 관계

본 연구에서는 조광단계별 조도와 색온도의 변화를 통해 두 요소의 상관관계를 분석하였다. 다음 표 6은 각각의 LED램프의 조광단계별 조도와 색온도의 측정 결과 및 조도변화에 따른 색온도의 변화율을 그래프로 나타낸 것이다. 표 6에서 보여지듯이 낮은 조광단계에서는 색온도가 함께 낮아지고 조광단계를 높일수록 색온도 역시 높아지면서, 단계별 조광제어에 따라 색온도가 변화하였다.

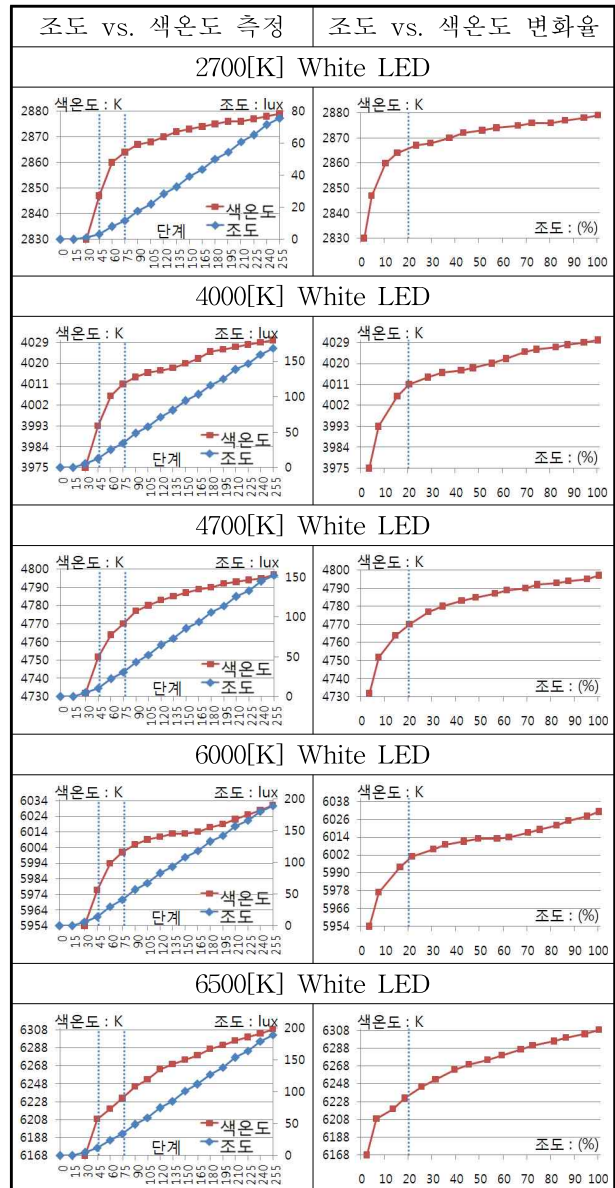
색온도의 절대값은 LED램프별로 최소값과 최대값의 차이가 각각 달랐으며, 2700[K] LED램프에서 6500[K] LED램프 순으로 49[K], 55[K], 65[K], 77[K], 141[K]의 차이가 발생하여 높은 색온도를 가질수록 절대값의 변화는 큰 것으로 나타났다. 그러나 전체 색온도에 대한 변화율은 최소 1.28[%], 최대 2.23[%]로 작은 차이를 보였으며 색온도 크기에 따른 규칙성은 없었다.

색온도의 변화는 램프별로 조광단계별 변화량에서 조금씩 차이가 있었으나, 전체적인 흐름은 유사하였다. 그러나 조도는 조광단계에 따라 일정하게 상승하는 반면에 색온도는 조도가 낮은 조광단계에서 변화폭이 크고 이 외의 조광단계에서는 변화폭이 작게 나타나 조도의 변화와는 다른 경향을 보였다.

조도와 색온도의 변화량 비교를 통해 각 LED램프별 조광 시 출력에 따른 색온도 변화의 흐름과 구간별 특징을 분석하였다. 각 LED램프는 색온도와 조도가

표 6. 각 광원의 조도 및 색온도 측정 결과 및 변화율 비교

Table 6. Result of measurement of illuminance and color temperature and comparison of rate of charge



서로 다르기 때문에 상대적인 비교를 위하여 변화 비율을 백분위([%])로 나타내었다. 표 6에 보여지듯이 색온도는 조도의 출력이 약 30[%] 이하일 때 증가량이 큰 것으로 나타났으며, 이 후의 조도출력에서는 대체적으로 완만한 증가를 보였다. 즉 조광범위(광속기

준)가 30[%] 이하 일 때는 색온도의 변화가 심하게 나타나기 때문에 기존의 색온도와는 차이가 많이 발생하여 공간의 색 전체 이미지에 영향을 줄 수 있으므로 주의해야 한다. 이는 조광단계별 색온도의 변화 흐름과 유사하였으며, 측정된 LED램프 모두 같은 결과가 도출되었다.

### 3.3 LED 소자별 휘도 변화

LED램프의 소자별 휘도의 측정은 조광 시 각 소자

별 광량의 균등분포를 분석하기 위해 수행하였다. 다음 표 7은 조광단계에 따른 LED램프의 소자별 조광시 오차를 확인하기 위하여 휘도 측정값을 그래프로 나타낸 것이다. 표 7에서 보여지듯이 각각의 LED램프는 조광 시에 소자별 휘도가 상이한 것으로 나타났다.

다음 표 8은 각 소자별 휘도 측정값의 상이한 정도를 평균과 표준편차 및 이에 따른 오차율로 나타낸 것이다. 표준편차란 자료의 분산 정도를 나타내는 수치로 정의되며 표준편차가 0일 때는 관측값이 모두 동일한 크기이고, 표준편차가 클수록 관측값 중에는 평균

표 7. LED 소자별 휘도 측정 결과

Table 7. Result of measurement of brightness of each LED element

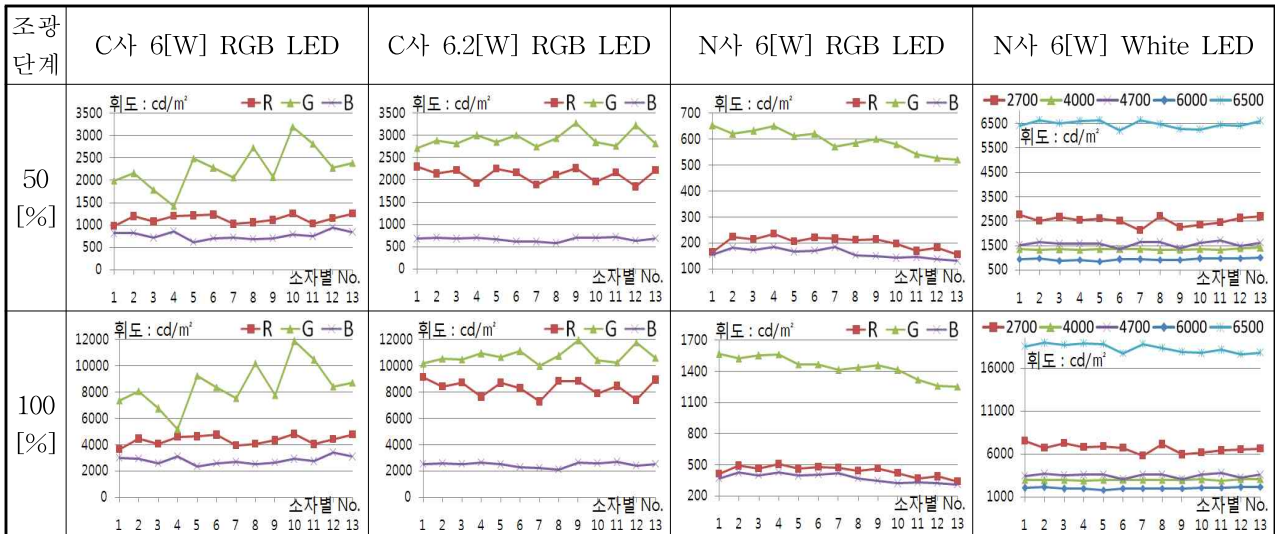


표 8. LED 소자별 휘도 측정값의 표준편차 및 오차율

Table 8. Standard deviation and relative error of measurements of brightness of each LED element

조광 단계	항 목	C사 6[W] RGB LED			C사 6.2[W] RGB LED			N사 6[W] RGB LED			N사 6[W] White LED				
		R	G	B	R	G	B	R	G	B	2700[K]	4000[K]	4700[K]	6000[K]	6500[K]
50 [%]	휘도평균	1132.62	2280.77	763.80	2108.69	2913.54	662.66	200.47	593.02	159.00	2515.46	1344.77	1556.46	928.64	6455.38
	표준편차	94.92	462.19	87.05	153.48	174.43	43.64	25.03	43.98	18.60	184.83	26.79	104.94	44.58	149.21
	오차율	8.38	20.26	11.39	7.27	5.98	6.58	12.48	7.42	11.70	7.35	1.99	6.74	4.80	2.31
100 [%]	휘도평균	4335.85	8456.85	2802.23	8338.23	10736.4	2474.46	438.38	1436.31	371.43	6635.38	2972.15	3482.85	2007.46	18303
	표준편차	362.83	1725.12	291.52	614.96	582.08	170.54	49.70	106.99	42.44	498.29	53.61	214.42	92.56	499.39
	오차율	8.36	20.39	10.40	7.37	5.42	6.89	11.34	7.45	11.43	7.51	1.80	6.16	4.61	2.73

에서 떨어진 값이 많이 존재한다. 오차율이란 오차가 나는 정도로서 측정값의 정밀도를 분석 할 때 유용하며 본 연구에서는 휘도평균에 대한 표준편차의 비율 (표준편차÷휘도평균×100)을 말한다.

측정한 LED램프는 표준편차가 최소 18.6에서 최대 1725.12까지 다양했으며, RGB LED램프의 경우에는 표준편차의 크기가 G, R, B 소자의 순으로 휘도가 높은 소자일수록 크게 나타났다. 오차율은 RGB LED의 경우에는 대부분 10[%] 내외였으나, C사 6[W] LED램프의 G 소자는 약 20[%]로 나타났다. 그리고 White LED램프는 오차율이 최대 7.51[%]로써 대부분 RGB LED램프에 비해 상대적으로 낮은 오차를 보였다. 이는 오차율 평균이 RGB LED램프는 10.16[%], White LED램프는 4.64[%]로 나타나는 것으로써 명확하게 드러났다.

또한 동일한 LED램프의 경우에는 조광단계를 50[%], 100[%]인 경우로 나누어 2회를 측정하였으며, 각 소자의 오차율은 유사하게 나타났다. 단 휘도측정의 본질상 LED 소자의 위치에 따른 일부 오차는 발생할 수 있을 것이라 판단된다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 조광에 따른 LED램프의 광특성을 측정하고 이를 바탕으로 측정값을 비교 및 분석하였다. 다음은 측정결과를 요약한 것이다.

- 1) 전류의 세기에 따른 조도의 변화는 선형비례관계의 흐름으로 나타나 정비례관계의 이상적인 형태와 유사하였다. 이는 조광 시 전력과 밝기의 변화가 서로 유사한 흐름을 가진다는 것이다. 이와 같이 LED램프의 조광제어는 타 광원에 비해 조광제어가 용이하다는 장점이 있다. 그러나 전류의 경우에는 램프가 소등이 된 경우에도 일정하게 흐르고 있었다. 이는 기존 연구[7]를 통해 전압의 제어를 이용한 조광의 경우에도 일정하게 전력이 소비되고 있는 것으로 나타났다. 따라서 보다 효율적인 조광제어와 에너지 소비의 절감을 위해서는 소등이 되었을 때의 전력소비를 최소한으로 끌어내리는 기술이 필요할 것

으로 사료된다.

- 2) 조도와 색온도의 변화량 비교에서 색온도는 조도의 출력이 낮을 때 증가량에 큰 변화를 보이는 것으로 나타났고, 이 외에는 대체적으로 완만한 증가를 보였다. 이는 조도 및 색온도 각각의 변화 비율이 상이하다는 것으로서 LED의 조광제어를 위해서는 색온도와 관련한 문제점이 반드시 고려되어야 한다. 그러나 색온도에 대한 기존 연구[8-9]는 선호도의 조사가 전부이며, 조광이나 물리적 특성에 관한 연구가 미비하다. 따라서 실제 건축조명으로 색온도를 이용하기 위해서는 조광에 따른 색온도의 변화를 최소화하거나, 색온도의 변화가 조광제어 구간별로 차이가 나타나는 원인을 규명하는 등의 구체적인 연구가 필요하다.

- 3) LED램프는 조광 시 소자별로 휘도가 서로 다르게 나타났다. 그러나 LED의 이상적인 조건은 모든 소자들의 광량이 편차 없이 동일한 값을 가지는 것이다. 따라서 각 소자별 광량의 불균형에 관한 조광 균일화(Uniformity)의 문제는 해결해야 할 과제이다. 그러나 빛을 한 치의 오차도 없이 물리적으로 동일하게 만들어낸다는 것은 실질적으로 어려운 일이다. 따라서 건축조명에 적용하기 위해서는 소자별 균일성의 영향을 감안한 허용 오차범위의 기준이 정립되어야 한다.

이상과 같은 측정결과를 향후 LED 조광 시 발생할 수 있는 문제점을 해결하고, LED 조광방식의 개발을 위한 기초적 자료로 사용될 수 있을 것이다. 또한 LED 조광에 따른 광속, 효율 변화 및 각 소자별 색온도, 수명 변화 등의 조광에 대한 끊임없는 연구가 계속 진행되어야 할 것이다.

#### 감사의 글

이 논문은 2010년도 교육과학기술부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구(No. 20100016737)이며, 본 연구의 저자의 일부는 『2단계 BK21 사업』의 지원비를 받았음.

## References

- [1] EU 집행위원회, EU 전기전자제품 유해물질제한지침(RoHS), 무역·환경 정보네트워크, 2006.
- [2] 도은진, 「생활공간의 녹색혁명, 제로 에너지 빌딩」, 2009.
- [3] 유영문, LED Lighting 기술/시장 동향 및 전망, 한국광기술원, 2008.
- [4] 광복 63년 및 대한민국 건국 60년 경축사, 2008.
- [5] 저탄소 녹색성장 실현을 위한 문화 전략, 문화체육관광부 미래문화기획단, 2009.
- [6] 21세기 「새빛 프로젝트」 - '서울광원의 LED 교체 기본계획 및 LED 테스트베드 설치·운영 계획', 맑은환경본부, 2009.
- [7] L. Doulos, A. Tsangrassoulis, F. Topalis, Quantifying energy savings in daylight responsive systems: The role of dimming electronic ballasts, Energy and Buildings 40, 2008.
- [8] Boyce, P.R., Hunter, C.M., Carter, C.B., Perceptions of full-spectrum, Polarized Lighting, 2002.
- [9] Peter R. Boyce, Human factors in lighting, 2nd Edition, Lighting Research Center, 2003.

## ◇ 저자소개 ◇



### 장인현(張仁炫)

1983년 6월 21일생. 2010년 세종대 건축공학과 졸업. 현재 세종대 건축공학과 석사과정.



### 김유신(金有信)

1981년 1월 2일생. 2005년 세종대 건축공학과 졸업. 2007년 세종대 건축공학과 건축환경설비전공 졸업(석사). 현재 세종대 건축공학과 박사과정.



### 최안섭(崔安燮)

1967년 10월 4일생. 1991년 한양대 건축공학과 졸업. 1993년 The Pennsylvania State University 건축공학 건축조명시스템 전공 졸업(석사). 1997년 The Pennsylvania State University 건축공학 건축조명시스템전공 졸업(박사). 현재 세종대 건축공학과 교수. 본 학회 이사.