

Energy Star 기준에 따른 Omnidirectional LED 벌브의 전기적 광학적 특성 분석

김유신^{1,a}, 배호준¹, 김기훈¹, 김현식¹, 송상빈¹

¹ 한국광기술원 신광원조명사업단

Analysis of the Electrical and Optical Properties in Omnidirectional LED Bulbs by Energy Star

Yu-Sin Kim¹, Ho-June Bae¹, Gi-Hoon Kim¹, Hyun-Sik Kim¹, and Sang-Bin Song¹

¹ Department of New Lighting Solution R&DB Sector, Korea Photonics Technology Institute(KOPTI),
Gwangju 500-779, Korea

(Received July 30, 2012; Revised August 12, 2012; Accepted August 17, 2012)

Abstract: An LED (light emitting diode) has the advantages of lower power consumption, energy saving, high efficiency, long lifetime, and environmental friendliness so that it has been getting the spotlight as a next-generation light source. Thus, the application range of an LED has been extended to various fields including indoor and outdoor lighting. Recently, the high efficient LED lighting has been developed, an LED has been extended its market rapidly every year and is expected to replace the general light source within near future. In this study were measured electrical and optical properties for 6 types of LED bulbs which are being developed to replace the general incandescent lamps, and were analysed under the standard of the omnidirectional lamp required by the Energy Star.

Keywords: Omnidirectional LED bulb, Energy star, Optical properties, Electrical properties, DOE

1. 서 론

LED (light emitting diode)는 기존의 광원에 비해 수명이 거의 반영구적으로 에너지 절감 효과가 뛰어나며, 고휘도 저전력의 녹색광원이다. 그리고 LED는 광원의 사이즈가 작아 램프 및 조명기구의 소형화와 슬림화가 가능하며, 다양한 파장의 LED를 이용한 색온도의 제어가 용이하여 디자인 측면에서도 강점을 가지고 있다. 이에 LED는 실내·외 조명을 비롯하여 다양한 분야로 응용 범위가 확대되고 있다. 이와 같이 LED는 차세대 광원으로써 그 시장은 매년 큰 폭으로 성장하고 있으며, 최근에는 고효율의 LED 조명

이 개발됨에 따라 빠른 시간 안에 기존 광원을 대체할 것으로 전망된다. 특히, 기존 백열램프와 형광램프를 대체하기 위한 LED 램프의 개발이 많이 이루어지고 있다.

현재 개발되고 있는 기존의 백열램프 대체용 bulb형 LED 램프의 경우 방열 구조와 광학 설계에 의해 크기나 외형적인 형태에 있어서 기존 백열램프와 차이를 보이고 있다. 이러한 차이점에 의해 기존의 백열램프는 전방향으로 광속을 발산하는 omnidirectional 형태의 배광 형태를 보이는데 반해 현재 개발되고 있는 bulb형 LED 램프는 상향배광 (수직각 90°~180°)이 적은 경우가 많다.

이에 본 연구에서는 기존 백열램프를 대체용으로

a. Corresponding author: yusinkim@kopti.re.kr

개발되고 있는 bulb형 LED 램프의 전기적·광학적 특성을 알아보기 위해 측정 및 분석을 수행하였다. 특히, energy star에서 발표한 omnidirectional lamp의 성능 기준을 토대로 현재 개발되고 있는 국내·외 bulb형 LED 램프 제품들의 전기적·광학적 특성을 분석하였다.

2. 실험 방법

2.1 Energy star and omnidirectional LED bulb

DOE (department of energy)는 미국 정부행정기관으로 에너지와 환경에 관한 업무를 관장하는 미국 에너지부이다. DOE의 주요 업무는 에너지보존, 에너지 관련 연구, 미국 내 에너지 생산에 관한 업무 관장, 미국 에너지국 연구소의 기초 및 응용 과학 분야 지원 등이다. 그리고 DOE는 여러 가지 에너지 절약 프로그램을 시행하고 있다. 그 중에 energy star는 EPA (environmental protection agency)와 DOE가 공동 도입한 에너지 효율 인증 프로그램으로 에너지의 비효율적인 사용으로 인한 이산화탄소 배출과 오염 물질을 줄이기 위한 프로그램이다. 또한 energy star는 소비자가 성능, 기능 혹은 편리성을 추구하면서도 제품의 에너지 효율을 쉽게 식별하고, 구매할 수 있도록 하여 에너지 절약 제품의 사용을 장려하기 위한 제도이다. 그리고 omnidirectional lamp는 energy star의 “Qualifying Criteria for Integral LED Lamps”에서 요구하는 품목 중 하나이며, 전기적·광학적 특성의 요구 조건을 제시하였다 [2].

Omnidirectional lamp는 기존의 백열램프를 대체할 수 있는 bulb형 LED 램프 중 빛의 방향성이 있거나 장식용으로 사용되는 램프를 제외한 것으로 그 형태는 다음 그림 1의 백열램프 형태 중 A와 BT, P, PS, S, T이다 [3]. 그리고 표 1은 energy star에서 요구하는 백열램프 대체용 모든 LED 램프와 omnidirectional lamp의 광학적인 항목이다 [2].

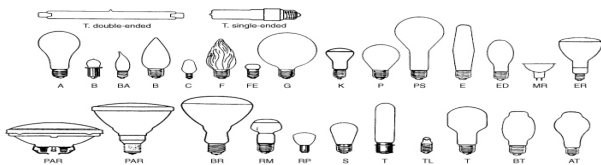


Fig. 1. Typical bulb shapes (not to scale).

Table 1. Requirements for all lamps and omnidirectional lamps.

All Lamps			
Criteria Item	Energy Star Requirements		
Correlated Color Temperature (CCT) and D _{uv}	Lamp must have one of the following designated CCTs (per ANSI C78.377-2008) consistent with the 7-step chromaticity quadrangles and D _{uv} tolerances listed below (see Appendix A for more information).		
	Nominal CCT	Target CCT(K) and tolerance	Target D _{uv} and tolerance
	2,700 K	2,725 ± 145	0.000 ± 0.006
	3,000 K	3,045 ± 175	0.000 ± 0.006
	3,500 K	3,465 ± 245	0.000 ± 0.006
4,000 K	3,985 ± 275	0.001 ± 0.006	
Color Rendering Index (CRI)	Minimum CRI (Ra) of 80. In addition, the R9 value must be greater than 0.		
Power Factor	For lamp power ≤ 5 W and for low voltage lamps, no minimum power factor is required. For lamp power >5 W, power factor must be ≥ 0.70. Note: Power factor must be measured at rated voltage.		
Omnidirectional Lamps			
Criteria Item	Energy Star Requirements		
Minimum Luminous Efficacy	- LED lamp power <10 W : 50 lm/W - LED lamp power ≥10 W : 55 lm/W		
Luminous Intensity Distribution	Products shall have an even distribution of luminous intensity (candelas) within the 0° to 135° zone (vertically axially symmetrical). Luminous intensity at any angle within this zone shall not differ from the mean luminous intensity for the entire 0° to 135° zone by more than 20%. At least 5% of total flux (lumens) must be emitted in the 135°-180° zone. Distribution shall be vertically symmetrical as measured in three vertical planes at 0°, 45°, and 90°. See Appendix B for illustration.		

3. 결과 및 고찰

3.1 측정 방법 및 결과

3.2 측정 개요

본 연구에서는 다음 그림 1과 같이 현재 시판되고

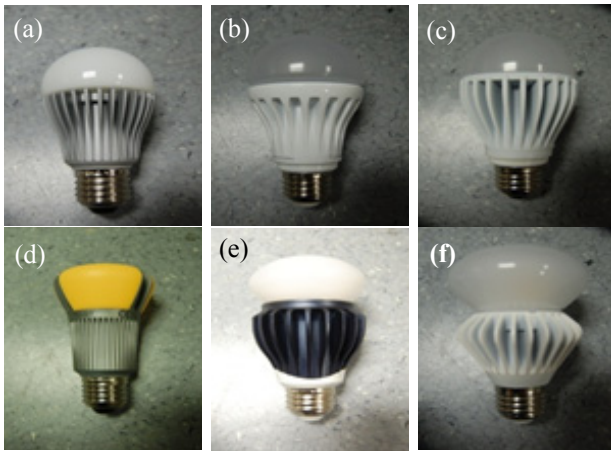


Fig. 2. The image of selected LED bulbs.

있는 6가지 타입의 LED bulb를 선정하였으며, 조명 기구의 광학적 성능과 전기적 성능을 IESNA LM-79-08 매뉴얼 기준 [3-6]에 따라 측정을 수행하였다. 각 LED bulb는 특성에 맞는 전압, 전류, 주파수를 공급하였고, 측정 시 주위 온도는 $25 \pm 1^\circ\text{C}$ 를 유지하였으며, 전원·전압 변화 후 10~60분 후에 특성이 안정된 이후에 측정을 시작하였다.

광학적 성능의 측정에 사용된 장비로는 C-type 램프의 배광 측정 장비인 goniophotometer와 광속과 색특성의 측정 장비인 integrating sphere가 사용되었다. 그리고 전기적 성능의 측정에는 power analyzer가 사용되었다.

3.3 측정 결과

본 연구에서는 표 2와 같이 각각의 bulb형 LED 램프의 총광속과 광원 효율, 상관색온도 (CCT: correlated color temperature), 연색성 (CRI: color rendering index), 배광 분포와 같은 광학적 특성과 전압, 전류, 소비 전력, 역률 (PF: power factor) 등의 전기적 특성을 측정하였다. 그리고 측정된 상관색온도와 그에 따른 energy star에서 나타내는 nominal CCT를 나타냈다. 이때 표 1에서와 같이 nominal CCT값의 기준이 4,000 K까지만 규정되었기 때문에 C 제품의 CCT 측정값이 제시한 기준 범위를 벗어난 5,000 K으로 nominal CCT값을 none으로 분류하였다.

본 연구에서 선정한 bulb형 LED 램프의 역률을 측정한 결과 모든 램프의 역률이 energy star에서는 요

Table 2. Measurement results of electrical properties and optical properties.

Lamp	Electrical Properties			
	Power Consumption [W]	Voltage [V]	Current [A]	Power Factor [%]
A	6.7	229.93	0.05	0.83
B	6.0	99.96	0.06	0.99
C	9.2	219.98	0.04	0.98
D	12.5	219.91	0.06	0.99
E	12.7	119.96	0.11	0.99
F	10.9	219.99	0.05	0.97

Lamp	Optical Properties				
	Total Flux [lm]	Luminous Efficacy [lm/W]	CCT [K]		CRI
			Measurement	Nominal	
A	209.96	31.34	4,093	4,000	68
B	421.05	70.18	2,919	3,000	83
C	796.06	86.53	5,077	None	77
D	915.7	73.20	2,612	2,700	80
E	845.04	66.80	2,672	2,700	80
F	743.42	68.20	2,629	2,700	82

구하는 최소 기준 값인 0.7 (소비전력 5 W 이상의 제품 기준)을 만족하는 것으로 나타났다. 이는 전기적 특성의 요구 조건은 모두 만족하는 결과이다.

그림 3과 같이 연색성 측정 결과, A와 C 램프의 연색성 측정값이 68과 77로 energy star에서 요구하는 연색성의 최소 기준 값인 80을 만족하지 못하였고, 그 외의 다른 램프들은 모두 만족하는 것으로 나타났다. 그러나 연색성 기준을 만족하는 램프들도 기준치를 겨우 상회하는 수준으로 bulb형 LED 램프의 연색성 향상이 필요하다.

Energy star에서는 제품을 소비 전력 10 W를 기준으로 요구하는 광원 효율은 50 lm/W와 55 lm/W로 구분된다. 본 연구에서 측정한 광원 효율의 결과, 그림 4와 같이 10 W 미만의 제품인 A와 B, C 램프에서 A 램프의 광원 효율이 31.34 lm/W로 최소 기준값인 50 lm/W에 미치지 못하였고, B와 C 램프의 광원

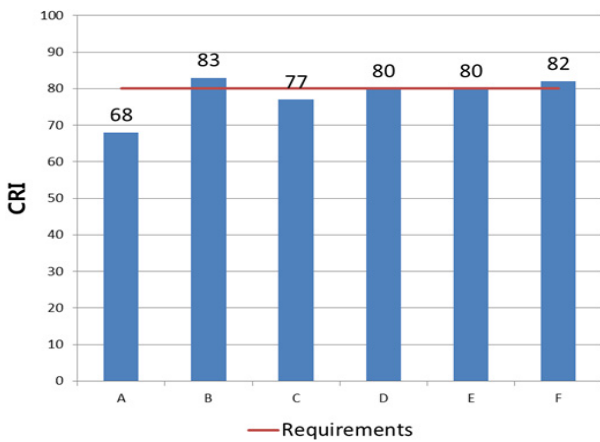


Fig. 3. Results of the color rendering index.

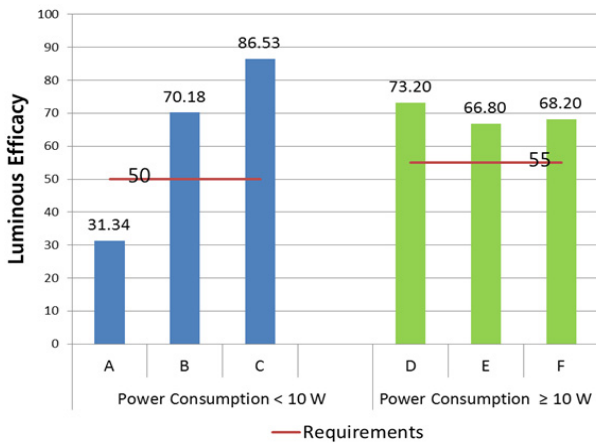


Fig. 4. Results of the luminous efficacy.

효율은 70.18 lm/W와 86.53 lm/W로 최소 기준 값에 만족하였다. 그리고 10 W 이상인 D와 E, F 램프의 광원 효율 측정 결과에서는 모두가 55 lm/W 이상의 광원 효율을 나타냈다.

그림 5는 표 1에서 명시한 omnidirectional lamp에서 요구하는 배광 분포의 두 가지 조건을 나타낸 것이다. 두 가지 조건 중 한 가지는 수직각 0°~135° 사이의 평균 광도값과 수직각 0°~135° 사이에서 임의의 각도의 광도값의 차이가 10% 이내이어야 한다는 조건이다. 그리고 나머지 한 가지 조건은 수직각 135°~180°의 광도값이 램프의 전체 광속의 5% 이상이어야 한다는 조건이다.

이에 본 연구에서는 측정 램프의 배광 분포 특성을 energy star의 배광 분포 요구 조건과 비교하기 위하

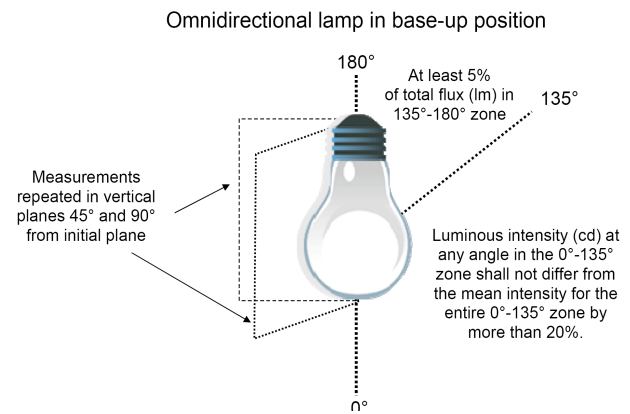


Fig. 5. Diagram of omnidirectional lamp zones.

Table 3. Measurement results of the luminous intensity distribution.

Lamp	the deviation[%](between the average luminous intensity vale of vertical angle of from 0° to 135° zone)		the rate of total flux in from 135° to 180° zone
	Min/Avg	Max/Avg	
A	74.35	48.49	3.70
B	93.15	91.67	1.07
C	92.77	86.56	0.94
D	15.26	13.42	11.58
E	19.23	11.52	10.00
F	16.82	18.33	9.74

여 먼저, 측정 램프의 수직각 0°~135°의 평균 광도값과 수직각 0°~135° 사이의 광도값 중 최소 광도값과 최대 광도값과의 비교를 통해 편차를 계산하였다. 그리고 전체 광속 대비 수직각 135°~180°의 광속 비율을 계산하였다.

표 3은 본 연구에서 측정한 각 bulb형 LED 램프의 배광 분포를 나타낸 결과이다. 그 결과, 수직각 0°~135°의 평균 광도값 대비 편차에 있어서 10 W 미만인 A와 B, C 램프에서 모두 20% 이상의 차이를 보이며 energy star의 요구 조건을 만족하지 못하는 것으로 나타났다. 10 W 이상의 램프인 D와 E, F는 모두 20% 미만의 편차를 보이며 요구 조건에 만족하는 것으로 나타났다. 그리고 전체 광속대비 135°~180°의 광속 비율의 분석 결과 10 W 이상 램프인 D,

E, F에서만 만족하는 것으로 나타났다. 이와 같이 본 연구에서 선정한 6개의 bulb형 LED 램프 중에서 energy star에서 요구하는 omnidirectional lamp의 요구 조건을 만족하는 램프는 10 W 이상의 램프인 D와 E, F로 나타났다.

4. 결론

본 연구에서는 현재 시판되고 있는 6가지 LED bulb를 선정하여 energy star에서 제시하고 있는 omnidirectional lamp의 조건에 의거하여 전기적 광학적 성능을 측정하고 분석하였다. 그 결과, 전기적 특성 중 energy star에서 제시하고 있는 역률의 경우는 모든 제품이 최소 조건을 크게 상회하고 있는 것으로 나타났다.

그리고 본 연구에서 선정한 6개의 제품 중 A 제품이 광원 효율과 연색성의 요구 조건을 만족하지 못한 것으로 나타났으며, C 제품은 연색성 요구 조건을 만족하지 못하였다. 또한 energy star에서 요구하는 배광 분포의 조건에 있어서 A와 B, C 램프가 모두 만족하지 못하고, D와 E, F의 램프는 조건을 만족하는 것으로 나타났다.

연색성의 요구 조건에 만족하지 못한 제품의 경우는 현재 LED 소자의 연색성이 향상되고 있기 때문에 향후 높은 연색성의 LED 소자를 사용한다면 문제점이 개선될 것으로 보인다. 그리고 더불어 투과율이 향상된 bulb를 사용한다면 제품의 효율 조건을 만족시키는데 큰 문제는 없을 것으로 사료된다.

그러나 energy star에서 요구하는 배광형태 조건을 만족하지 못하는 제품 A와 B, C의 경우는 bulb가 반구의 형태를 보이고 있으며, 제품 D와 E, F는 각기 다른 bulb 형태를 보이고 있다. 특히 제품 D의 경우는 반사에 의해 상향광이 발생되도록 bulb에 반사재질의 광학설계가 이루어졌으며, 제품 E와 F는 베이스 부분의 방열구조와 연계되어 상향광 구현이 가능하도록 형상 설계가 이루어져 있다.

이와 같이 omnidirectional lamp의 조건을 만족하는 배광형태를 구현하기 위해서는 bulb의 형상에 가장 큰 영향을 받는 것으로 사료된다. 따라서 향후 기존 백열램프 대체용 bulb형 LED 램프의 개발에 함에 있어서 energy star에서 요구하는 omnidirectional lamp의 조건을 만족시킬 수 있도록 LED 소자의 배열이나 bulb의 형상이나 구조, 방열 구조 설계와 같은 광학 설계와 방열 구조 설계가 고려되어야 할 것이다.

REFERENCES

- [1] Inoue and Nishiie, 2007 Annual Conference of The Illuminating Engineering Institute of Japan (2007)
- [2] Natural Resources Canada. Energy Star Qualifying Criteria for Integral LED Lamps Ver. 1.3 (2010)
- [3] M. Rea, The IESNA Lighting handbook. 9th ed. (The Illumination Engineering Society of North America, New York, 2000)
- [4] R. Lee, Lighting Programs, Standards and LM-80, (Certification Standard at LM80/TM21, 2012)
- [5] IESNA, Approved Method : Electrical and Photometric Measurements of Solid-State Lighting Products(IES LM-79-08),(The Illumination Engineering Society of North America, New York, 2008)
- [6] IESNA, Approved Method: Measuring Lumen Maintenance of LED Light Sources (IES LM-80-08), (The Illumination Engineering Society of North America, New York, 2008)