

전방향으로 발광하는 LED Bulb를 위한 2차 광학계 설계

(Secondary Optical System Design for Omnidirectional LED Bulb)

장재현* · 윤순화 · 맹필재 · 유영문 · 김종태**

(Jae-Hyeon Jang · Soon-Hwa Yun · Pil-Jae Maeng · Yong-Moon Yu · Jong-Tae Kim)

Abstract

Secondary optical system designed for LED bulb which emits light in all directions was simulated with Energy Star standards. Components of the optical system were LED light source, the cover of the LED bulb and reflector which is to confirm the diffuser plate and LightTools software was used to design the illumination optics. The main points of the secondary optical system design are the location of the LED light source, the shape of the LED bulb cover, the location of the reflection plate, and the scattering properties of the diffusing plate.

Mechanism of the LED bulb is that the light emitted from the light source move on to the backward after reflected by the coated light cover from the inside and then the reflected light is scattered by the diffuser plate. The LED bulb was designed to satisfy the standard light distribution and color specifications of the Energy Star(IES LM-79-08).

Key Words : LED, bulb, Reflector, Energy Star, Diffuser

1. 서 론

1.1 연구의 배경

에디슨에 의하여 발명된 백열전구는 100년 이상 조명의 역할을 해왔다. 하지만 이 백열전구는 에너

지 효율(10~15lm/w)이 매우 낮다. 이로 인하여 백열전구를 사용하면 전기에너지를 낭비하게 되며 이산화탄소를 증가시키게 된다. 즉 백열전구 사용은 지구 온난화를 가속하게 만드는 원인이 되는 것이다. 세계 각국에서는 이를 막고자 2012년부터 백열전구 수입 수출뿐만 아니라 제작도 금지하고 있다 [1]. 이렇게 제한되고 있는 백열전구를 대체하기 위해 현재 조명광원으로 LED(Light emitting diode)를 사용하고 있다. LED 광원은 기존 조명과 달리 고효율, 고휘도, 고속응답성, 친환경성 등의 특징을 가지고 있으며, 적외선부터 가시광선, 자외선까지 다양한 파장으로 발광한다[2]. LED 광원으로 제작되는 조명기구 종류는 전구, 형광등, Par(Parabolic

* Main author : Pukyong National University
Science&Technology Convergence Specialized
Graduate School, LED Convergence Engineering

** Corresponding author : Pukyong National
University Department of Display Engineering,
Professor

Tel : 051-629-6410, Fax : 051-629-6408

E-mail : jtkim@pknu.ac.kr

Received : 2015. 1. 4

Accepted : 2015. 3. 2

aluminized reflector)조명, MR(Multifaceted reflector) 조명, 평판조명 등 다양하며, 지속적으로 LED를 기반으로 하는 조명이 등장하고 있는 추세이다. 하지만 LED 광원은 기존 광원과 달리 편 방향으로 발광하기 때문에 단품만으로 조명기구로 사용하기에는 부적절하다. 이러한 특성으로 LED 광원으로 한 조명기구는 확산판, 반사판, 렌즈를 사용해야 제작이 가능하다.

LED 광원으로 제작된 조명기구들 중 일반적인 전구형 조명은 배광 분포가 기존 조명으로 쓰인 백열전구 형태를 형성할 수가 없다. LED bulb는 백열전구에 익숙한 일반사람들이 느끼기에 익숙하지 않아 사용을 꺼려한다. 현재 백열전구와 유사한 배광을 구현하기 위한 방법으로 LED 패키지 배열을 수평이 아닌 수직으로 세우거나 2차 광학계를 사용해 설계하는 방법이 연구되고 있다[3].

1.2 연구의 목적 및 방법

본 연구의 목적은 조명광학을 시뮬레이션에 사용되는 LightTools 소프트웨어를 사용하여 설계한다. 시뮬레이션에 사용하는 데이터는 이론값과 더불어 측정값을 사용한다. 시뮬레이션 결과 이론값과 측정값을 비교해 보고 실제 제품을 설계할 때를 감안해 그 오차를 줄이고자 한다.

본 논문은 백열전구와 같이 전 방향으로 발광하는 LED bulb위한 2차 광학계 설계를 광원의 위치, LED bulb의 덮개 형상, 반사판의 코팅 위치, 확산판의 산란 특성을 기반으로 하였다. 반사판의 위치는 일반적으로 LED 패키지 주변에 설치해 반사하는 방법이 아닌 LED 덮개 안쪽 면에 일부 코팅함으로써 후배광이 나올 수 있게 설계하였다. Cap의 형상은 반사판에 반사된 빛이 옆면보다는 후면으로 반사가 더 잘 일어나게 설계하였고, 확산판은 산란특성을 통해 후배광으로 진출하는 빛이 한 방향으로 치우치지 않게 확산할 수 있도록 설계하였다. 위의 설계방식을 토대로 전방향으로 발광하는 기준은 Energy Star의 “Program Requirements for International LED Lamps”규격에 만족하도록 설계하였다.

2. 전방향으로 발광하는 LED bulb 배광분포 및 색도 규격

2.1 배광분포

전방향으로 발광하는 LED bulb의 배광분포와 색도 규격은 Energy Star의 “Program Requirement for International LED Lamps”에서의 광학 기준이다.

배광분포 규격은 두 가지 배광 조건을 만족해야 한다. 첫 번째 배광 조건에서는 수직 각 0°~135° 사이의 평균 광도 값과 0°~135° 사이의 임의 각도 광도 값이 평균 광도 값 보다 +20%보다 작아야 하며, -20%보다 커야 한다. 두 번째 배광 조건에서는 수직 각 135°~180° 사이의 광속 값이 총 광속의 5% 이상이어야 한다. 즉 0°~135° 사이의 광도 값이 평균 광도 값보다 각각의 광도의 최대와 최소와의 적은 편차를 가진 값을 가져 균일한 배광을 유지하는 것과 광원 뒤로 나오는 후배광이 총 광속의 5% 이상 존재해야 한다. 위의 배광규격은 수평면의 45°와 90°의 수직면만을 측정하면 되지만 본 논문은 모든 면을 대상으로 규격에 만족한지를 알아보았다. 표 1에서 위와 같은 배광 규격을 요약하였다[4].

표 1. Omnidirectional Lamp 규격
Table 1. Standard of Omnidirectional Lamp

Omni directional Lamp	균일도
	-20% < 0°~135°의 광도 평균값 < +20%
	후배광
	총광속의 5% < 135°~180°의 광속

2.2 색도

색도 규격은 ANSI-NEMA(American National Standards Institute - National Electrical Manufacturers Association)에 의해 색도별 백색광의 색좌표 범위가 제한되고 있다. 색도의 허용범위는 MacAdam ellipses에 의하여 결정되며, step에 따라 허용범위가 달라질 수 있다. ANSI-NEMA에서는 최

전방향으로 발광하는 LED Bulb를 위한 2차 광학계 설계

대 7~8step까지 허용을 하고 있으며 ANSI(American National Standards Institute) C78.337에서는 4step 이 내를 권고하고 있다[5].

표 2. CCT 3000K의 색도 사각범위 x, y 좌표와 중심 x, y 좌표
Table 2. CCT 3000K of chromaticity Quadrangles x,y coordinate and center x,y coordinate

3000K		
	x	y
Center Point	0.4338	0.4030
Tolerance quadrangle	0.4562	0.4260
	0.4299	0.4165
	0.4147	0.3814
	0.4373	0.3893

CIE 1931 x,y 색도 도표의 백색광에서 MacAdam ellipses는 6개가 있다. 하지만 이 6가지로 규정짓기에는 CCT(Correlated color temperature)를 다 표현할 수 없다. 그래서 사각범위로 다시 편성하여 8가지로 CCT를 나누어 놓았다. 그 사각범위 안에 x, y값이 들어온다면 규격에 만족하게 된다. 백열전구와 같은 발광 색을 내기위해서는 색좌표값 x, y가 3,000K의 사각범위 안에 들어야한다. 표 2는 3,000K의 사각범위 값을 나타낸다.

3. 기존 LED bulb와 기존 전방향 발광 LED bulb 배광형태

현재 시중에 출시되고 있는 LED bulb의 종류는 크게 두 가지가 있으며, 후배광이 있는 LED bulb와 후배광이 없는 LED bulb로 나뉘어진다. 후배광이 나오지 않는 LED bulb를 “A”사 LED bulb(SI-I7R12114)라고 칭하고, 후배광이 나오는 LED bulb를 “B”사 LED bulb(A1914FC1DG1)라고 하겠다. A사 LED bulb와 B사 LED bulb를 배광기(Goniophotometer, Neo Light 9700)로 측정하여 배광분포를 Energy Star 규격에 맞게 분석하였다.

표 3. A사와 B사의 규격 환산값
Table 3. Standard Conversion value of “A” and “B”

균일도		
Light bulb의 종류	A사	B사
0°~135°의 광도 평균값(cd)	103.4	80.1
+20%(cd)	124.1	96.1
-20%(cd)	82.7	64.1
Max(cd)	205.3	98.2
Min(cd)	10.5	28.1
후배광		
Light bulb의 종류	A사	B사
총광속(lm)	909.8	892.2
총광속의 5%	45.5	44.6
135°~180°의 총광속(lm)	13.8	33.2

표 3에서 균일도의 경우 A사의 LED bulb는 후배광이 없기 때문에 지향각이 130°로서 0°~135°의 광도 평균값에 최댓값 최솟값 모두 많이 차이 나고 B사의 LED bulb는 후배광을 갖고 있어 지향각이 250°로서 A사 보다는 많이 차이 나진 않지만 규격에 만족하지 않음을 알 수 있다. 후배광의 경우도 마찬가지로 A사 B사 LED bulb 모두 135°~180°의 광속은 총광속의 5% 미만이므로 규격에 만족하지 않음을 알 수 있다[6].

본 논문은 상기 회사와 달리 Energy Star 배광기준에 만족하는 LED bulb를 제작하기 위하여 LightTools로 2차 광학계를 설계하였다.

4. 전방향 발광하는 LED bulb 광학계 설계

전방향으로 발광하는 LED bulb의 구조는 광원, LED bulb의 덮개, 반사판, 확산판, 방열판 총 다섯 가지가 있다. 이 모두가 광학계 설계 시 고려해야 되는 부분이다. 광원의 방향, LED bulb의 덮개의 형상, 반사판의 위치, 확산판의 산란 특성, 방열판의 모양이 잘 설계되어야 전방향으로 발광하는 LED bulb를 시뮬레이션할 수 있다.

4.1 광원부 설계

전방향으로 발광하는 LED bulb 광원으로 COB (Chip on board) 패키지를 사용하였다. COB 패키지는 일반 SMD 패키지와 달리 고출력이고 열특성이 좋으며, 조명기구에 간편히 붙이는 방법으로 공정 또한 간편하다[7]. COB 패키지의 모델로 Cree사의 XLamp CXA1512를 선택하였고, COB패키지의 광학적 특성을 알기 위해 적분구(Integrating Sphere System, OPI-1000(2M))로 측정하였다.

표 4. XLamp CXA1512 COB 패키지의 광학적 특성
Table 4. Optical property of XLamp CXA1512 COB package

COB 패키지	총광속(lm)		광효율(lm/W)	
	1471.1		112.3	
	CCT(K)	연색성	x	y
	2994	88.3	0.4404	0.4105

표 4의 광학적 데이터와 COB 패키지의 실제 크기 데이터로 시뮬레이션에 사용하였다[8].

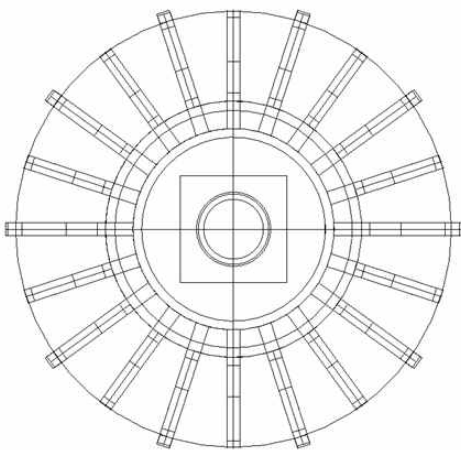


그림 1. COB 패키지를 위에서 본모습
Fig. 1. The look on the COB Package

전방향으로 빛을 보내기 위해서는 광원인 COB 패키지 위치와 방향을 설정해야 한다. 앞전에 설명했던

A사와 B사의 패키지의 위치는 A사의 경우 방열판면과 수평방향으로 놓여 있었고, B사의 경우 수직방향으로 구성되어 있었다. 본 논문은 2차 광학계로 LED bulb의 덮개 안쪽 면을 코팅하여 반사판을 설치하는 방법으로 B사의 패키지 위치보다는 A사의 위치가 적합하다. 패키지의 공정은 방열판의 수직방향으로 배열하는 것 보단 수평방향으로 배열하는 방법이 공정하기 쉽다.

4.2 LED bulb의 덮개 형태와 반사판 설계

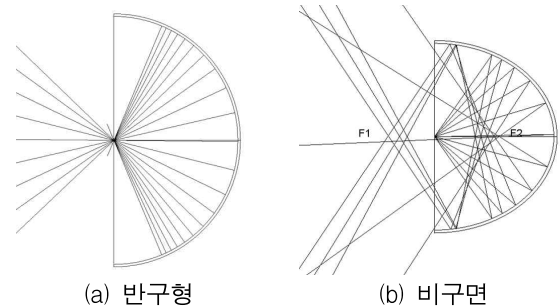


그림 2. LED bulb의 덮개 형태
Fig. 2. Shape of LED bulb cover (a) Half sphere (b) Aspherical surface

LED bulb의 덮개 형태는 반구형과 비구면으로 나눌 수 있다. 그림 2의 두 형태의 덮개 안쪽 면은 미리 코팅으로 모든 빛이 반사될 수 있게 설정했다. (a), (b)는 각각의 중심에서 광선이 반사되어 후방으로 광원면을 피해 통과되는지 광선추적한 모식도이다. (a)는 반구형의 덮개 형상이다. 반구형 중심에서 나온 광선은 코팅된 면에서 반사되어 다시 반구형 중심으로 되돌아간다. (b)는 비구면형의 덮개 형상이다. 비구면형 중심에서 나온 광선은 코팅면에 반사되어 측면 후방으로 가는 것을 볼 수 있다. 즉 반구형은 광원 쪽으로 광선이 되돌아가고 비구면은 광원을 피해 측면으로 나아가는 것을 알 수 있다.

시뮬레이션 정밀도를 높이기 위해서 이상적인 비구면이 아닌 시중에 판매하는 C사의 덮개 형태를 3차원 측정기(Tree Dimension Coordinate Measuring Machine, AXOPM)로 측정한 값을 사용하여 시뮬레이션으로 재현하였다.

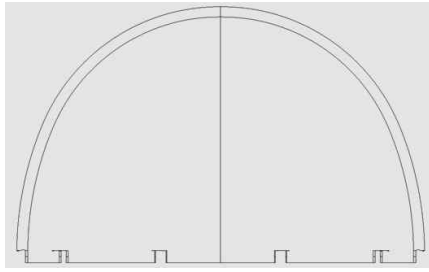


그림 3. 시뮬레이션상의 LED bulb의 덮개 형태
Fig. 3. Shape of cover on simulation

반사판은 앞서 재현한 덮개 안쪽에 코팅을 해야 한다. 하지만 후면뿐만 아니라 전면에도 광선을 내보내야 하기 때문에 일부분만 코팅해야 한다. 최적의 코팅 위치를 찾기 위해서는 그림 4의 (a)와 같이 덮개 안쪽면을 전부 코팅한 후 중심에서 방사된 광선을 추적한다. 최적의 반사면은 반사된 광선 중 후방으로 나가는 부위를 (b)와 같이 다시 광선을 방사하여 보다 정밀하게 찾아 최적화된 반사면을 찾는다.

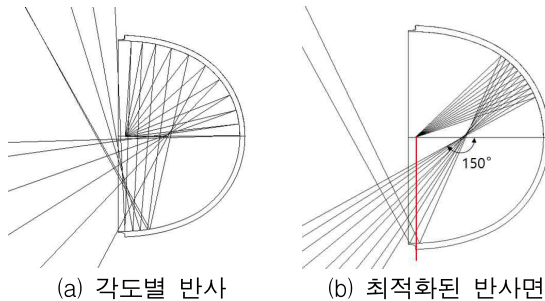


그림 4. 덮개 안쪽의 반사면에 의한 반사
Fig. 4. Reflection of cover in the reflector
(a) Angle by reflection
(b) Optimized mirror plane

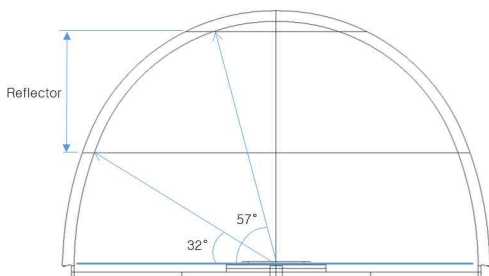


그림 5. 덮개 안쪽에 세부적인 반사판 위치
Fig. 5. Detailed reflector position inside cover

그림 5와 같이 최적화된 반사면의 세부적인 위치는 광원을 중심으로 수평면에서 최소 32°~최대 57° 사이의 면을 말한다.

4.3 확산판 설계

광선은 반사판의 최적의 설계에 의하여 후방으로 나갈 수 있다. 하지만 후방으로 나온 빛이 골고루 퍼지지 않고 반사된 방향으로만 나아간다면 균일한 분포를 얻을 수 없다. 그렇기 때문에 확산판을 사용하여 빛을 산란시켜 주어야 한다. 빛을 단순 산란하는 방법은 총 3가지이다. Lambertian 산란, Gaussian 산란, CosNth 산란이 있다. 이 중 특정한 방향성이 있는 Gaussian 산란특성으로 시뮬레이션하였다.

Gaussian 산란은 σ 값에 의하여 산란 분포가 변한다. σ 값이 작으면 좁은 산란특성을 보이고 σ 값이 크면 넓은 산란 특성을 보인다[9]. 후방으로 나온 빛을 규격에 맞게 산란하기 위해서는 산란특성의 σ 값을 7로 설정하여 시뮬레이션하였다. 이론값인 Gaussian 산란특성은 이상적으로 시뮬레이션될 수 있다. 그렇기 때문에 σ 값의 7과 유사한 확산판인 Edmond사의 Holographic 확산각 15° 확산판을 사용하였다. 그림 6은 Gaussian 산란 $\sigma=7$ 의 산란 그래프이고 그림 7은 확산각 15° 확산판 산란 그래프이다. 확산각 15° 확산판의 산란특성은 산란 측정기(Bidirectional Scattering Distribution Function Measurement System, RT-300)로 측정하였다. 이 두 가지 산란 특성을 최종 시뮬레이션 데이터로 사용하였다.

4.4 전방향으로 발광하는 LED bulb 완성도

그림 8은 앞서 설계 해온 LED 광원, LED bulb의 덮개, 반사판의 코팅, 확산판을 모두 모아서 설계한 전방향으로 발광하는 LED bulb의 완성도이다. 광원의 위치인 COB 패키지는 방열판과 수평방향으로 중심에 위치해 있다. 반사판은 세 가지로 분리된 덮개 중간에 분리된 덮개 안쪽에 코팅되어 있다. 확산판은

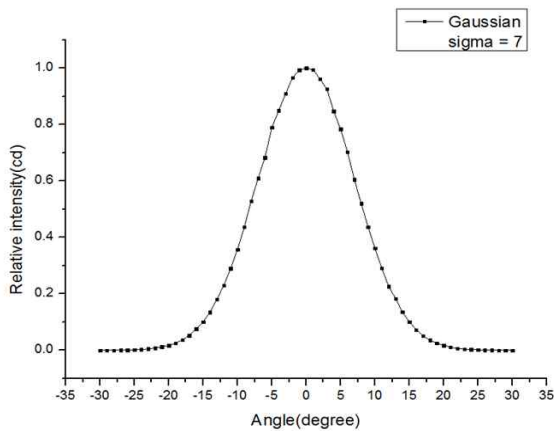


그림 6. Gaussian 산란 $\sigma=7$ 의 산란분포
Fig. 6. Scattering distribution of Gaussian Scattering $\sigma=7$

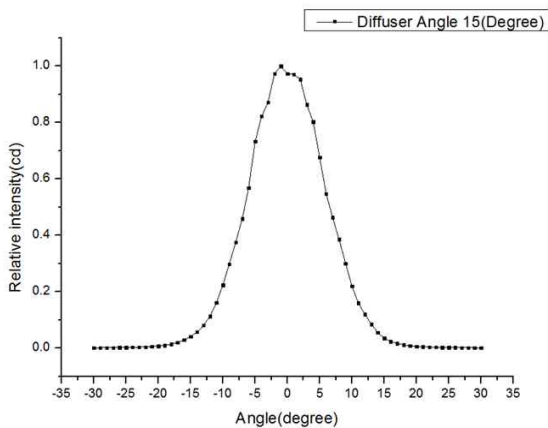


그림 7. 확산각 15° 산란분포
Fig. 7. Scattering distribution of Diffuser Angle 15°

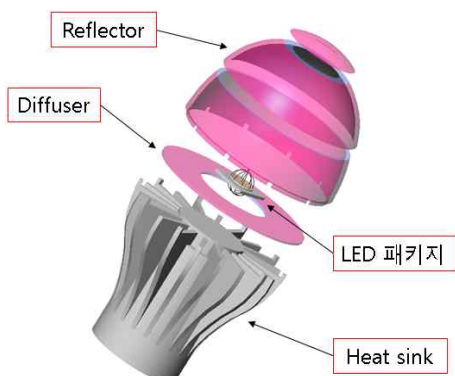


그림 8. 전방향으로 발광하는 LED bulb 완성도
Fig. 8. Omnidirectional LED bulb completeness

가장 뒤쪽에 위치하고 있으며 반사판에 의하여 반사된 빛은 확산판에 산란되어 고르게 퍼지도록 구성해 놓았다.

5. 시뮬레이션 결과 및 분석

5.1 시뮬레이션 배경 결과 및 분석

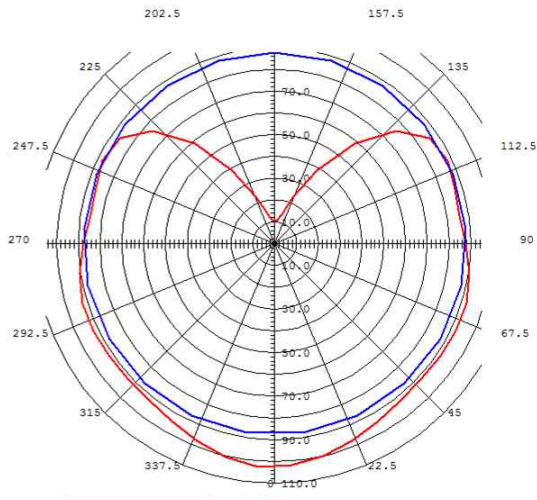
위에서 설계한 LED 광원, LED bulb의 덮개 형태, 반사판의 코팅 위치 그리고 확산판의 산란특성을 종합하여 최종 시뮬레이션을 하였다.

표 5. Gaussian 산란 $\sigma=7$ 과 확산각 15°의 규격 환산값
Table 5. Standard Conversion value of Gaussian Scattering $\sigma=7$ and Diffuser angle 15°

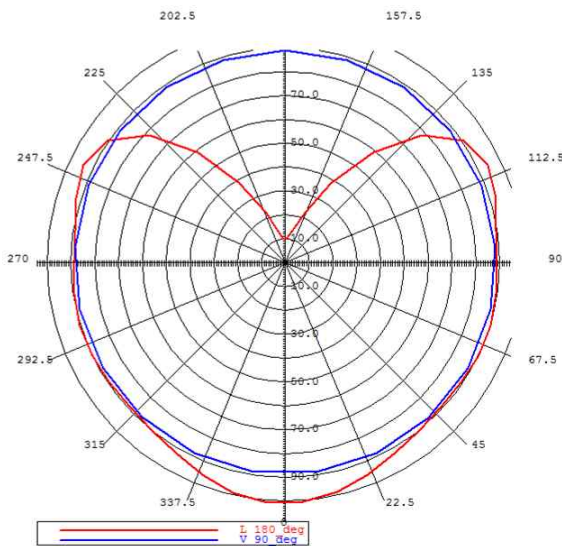
균일도		
산란특성의 종류	Gaussian 산란 $\sigma=7$	Diffuser angle=15°
0°~135°의 광도 평균값(cd)	92.0	92.3
+20%(cd)	110.4	110.8
-20%(cd)	73.6	73.9
Max(cd)	108.1	108.9
Min(cd)	78.2	78.5
후배광		
산란특성의 종류	Gaussian 산란 $\sigma=7$	Diffuser angle 15°
총광속(lm)	1052.1	1048.8
총광속의 5%	52.6	52.4
135°~180°의 총광속(lm)	82.1	69.8

Energy Star 규격에 배광 데이터를 적용한 결과 표 5와 같은 결과를 얻었다. 균일도 면에서는 Gaussian 산란과 확산각 15° 둘 다 규격에 만족함을 알 수 있다. 두 산란특성의 최댓값과 최솟값이 거의 비슷하게 시뮬레이션이 되었다. 후배광 면에서도 둘 다 규격에 만족함을 알 수 있었지만 균일도와는 달리 Gaussian 산

란이 확산각 15°보다 많이 나오는 결과를 얻었다. 그 이유는 산란분포가 일치하지 않아 생긴 결과로 볼 수 있다.



(a) Gaussian 산란 $\sigma=7$ 배광곡선



(b) 산란각 15° 배광곡선

그림 9. 시뮬레이션 배광곡선 (a) Gaussian 산란 $\sigma=7$ 배광곡선 (b) 산란각 15° 배광곡선

Fig. 9. Simulation light distribution (a) Gaussian Scattering $\sigma=7$ light distribution (b) Diffuser angle 15° light distribution

5.2 시뮬레이션 색도 결과 및 분석

시뮬레이션 결과 CCT는 2972K의 결과가 나왔다. 앞서 언급한 규격에서는 8개의 CCT가 있었다. 본 논문에서 목표로 한 CCT는 3000K으로 약간의 오차가 있지만 만족하였다. 그리고 CCT 3000K을 기준으로 시뮬레이션 결과가 색좌표 x, y 사변형 규격 영역 안에 들어오는지 분석하였다.

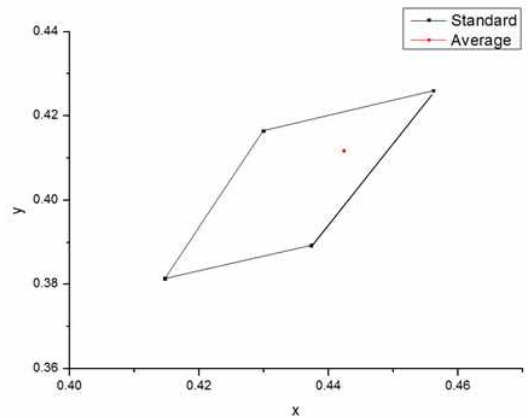


그림 10. x, y 좌표의 사변형 규격 4점과 시뮬레이션 Average

Fig. 10. Standard four point of x, y coordinate and simulation average

그림 10에서 보는 것과 같이 사변형 안에 평균값이 들어가니 규격에 만족함을 알 수 있다.

6. 결론

본 논문에서는 전방향으로 발광하는 LED bulb를 2차 광학계 설계를 통해 백열전구와 같은 배광곡선이 될 수 있게 시뮬레이션하였다. 2차 광학계 설계는 LightTools로 시뮬레이션하였다. 또한 설계 데이터는 실제 측정값을 기반으로 설계하였다. 전방향으로 발광하는 LED bulb는 LED 광원, LED bulb의 덮개 형상, 반사판의 위치, 확산판의 산란특성에 의해 설계되었다. 시뮬레이션 결과 배광과 색도 두 가지 규격을 적용하여 만족하는지 여부를 분석하였다. 배광규격은 배광 균일도와 후배광으로 규정하고 있는데, 확산판의 산란특성으로 이론값(Gaussian 산란 $\sigma=7$)과 실제 데

이터 값(Diffuser angle=15°)의 평균최대 광속과 최소 광속은 각각 108.5cd, 78.35cd로서 평균광도 92.15cd의 편차 ±20% 범위 이내에 들어오기 때문에 균일도를 만족하고 있으며, 후배광에 대해서도 총광속량의 5%에 해당하는 52.5lm보다 크므로 Energy Star 배광규격을 만족한다. 또한 색도규격에서는 LED package의 CCT 값이 2,972K으로 시뮬레이션 한 결과 색좌표 평균값은 (x=0.4424, y=0.4117)로서 3,000K의 색도규격 범위 안에 분포하고 있음을 확인하였다. 실제 위의 구성으로 제품을 제작한다면 Energy Star 규격에 만족하는 전방향으로 발광하는 LED bulb를 제작할 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

이 논문은 부경대학교 자율창의학술연구비(2014년 : 과제 번호C-D-2014-0239)에 의하여 연구되었음.

References

[1] Youn-mi Park, Myung-koon Lee, "Feasibility Analysis on Replacing LED Lighting with Incandescent Bulbs in Public Institution", Climate Change Research, Vol. 1, No.3, pp. 205~210, 2010.

[2] Chi-hun Kim, "LED Light, To be the light of future", LCERI Report, pp. 2-19, 3. Jun. 2009.

[3] Gi-hoon Kim, Sung-joong Kim, Yu-sin Kim, Kyung-ho Shin, Hyun-sik Kim, Sang-bin Song, Min-ki Kwon, "A Study of Optical design of LED Bulb for Upper Hemispherical intensity distribution from LED PKG on Flat PCB" The Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers, pp. 157-158, May. 2013.

[4] "Program Requirements for Integral LED Lamps Eligibility Criteria - Version 1.4", United States Environmental Protection Agency, 2012.

[5] In-tae Kim, An-seop Choi, "Analysis on the Range of White Light according to MacAdam Ellipses Steps", The Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers, pp. 108-109, 19. Oct. 2012.

[6] Yu-sin Kim, Ho-june Bae, Gi-hoon Kim, Hyun-sik Kim, Sang-bin Song, "Analysis of the Electrical and Optical Properties in Omnidirectional LED Bulbs by Energy Star", Journal of KIEEME vol. 25, No.9, 99. 750-754, Sep. 2012.

[7] Bum-sik Seo, Ki-joung Lee, Young-seek Cho, dea-Hee Park, "A Study on Improving the Efficiency of a Heat Dissipation Design for 30W COB LED Light Source" Journal of KIEEME, pp. 158-163, Feb. 2013.

[8] "XLamp CXA1512 LED data sheet", Cree, 7, Nov. 2014.

[9] Gyeong-ju Park, "Optical Design and Characterization of LCD Backlight Unit with RGB LEDs" Yeungnam University, Graduate School, Department of Physics, June. 2012.

◇ 저자소개 ◇



장재현(張在現)

1988년 11월 9일생. 2013년 부경대학교 물리학과 졸업. 현재 부경대학교 과학기술 융합전문대학원 LED 융합공학과정 재학.



윤순화(尹順和)

1984년 1월 24일생. 2007년 동의대학교 메카트로닉스공학과 졸업. 현재 부경대학교 LED-해양 융합기술 연구센터 전임 연구원.



맹필재(孟必在)

1987년 2월 10일생, 2014년 부경대학교 과학기술융합전문대학원 LED 융합공학 과정 공학석사. 현재 태양전기공업 전임 연구원.



유영문(金永文)

1955년 4월 6일생. 1994년 고려대학교 재료공학 졸업(박사). 현재 부경대학교 과학기술전문대학원 교수.



김종태(金鍾太)

1962년 1월 20일생. 1993년 한국과학기술원 물리학과 이학박사. 현재 부경대학교 융합디스플레이공학과 교수.