

Study of the Optical System Design of a Reflective LED Stand to Reduce Glare

Mi-Seon Kong and Mee-Suk Jung[†]

Department of Nano & Semiconductor Engineering, Korea Polytechnic University, 237, Sangidaehak-ro, Siheung 15073, Korea

(Received October 18, 2020; Revised November 2, 2020; Accepted November 2, 2020)

In this paper, a study of the design of a lighting optical system to form indirect light was conducted, to reduce the glare caused by the hot spot of the LED. In the case of using an LED for indoor lighting, glare is caused because of the high luminance and non-uniform luminance distribution. In particular, LED stands are located close to the user's eyes and are used for a long time, so research to reduce glare is essential. Therefore, in this paper an optical system structural study and the design of an LED stand for glare reduction were conducted. Afterward, the luminance analysis and comparison to an existing LED stand product confirmed that the reflective LED stand proposed in this paper had better performance in terms of glare.

Keywords: Illumination optics, Reflector, Luminance

OCIS codes: (120.5700) Reflection; (220.2945) Illumination design

눈부심 감소를 위한 반사형 LED 스탠드 광학계 설계에 관한 연구

공미선 · 정미숙[†]

한국산업기술대학교 나노반도체공학과
Ⓣ 15073 경기도 시흥시 산기대학로 237

(2020년 10월 18일 받음, 2020년 11월 2일 수정본 받음, 2020년 11월 2일 게재 확정)

본 논문에서는 LED의 hot spot으로 인해 발생하는 눈부심을 감소시키기 위하여 간접광을 형성하는 조명 광학계 설계에 관한 연구를 진행하였다. LED를 실내 조명의 광원으로 사용하는 경우, 높은 휘도와 hot spot으로 인한 불균일한 휘도 분포로 인해 사용자에게 눈부심을 발생시키는 문제점이 있다. 특히, LED 스탠드의 경우 사용자의 눈에 가깝게 위치되어 있으며, 장시간 사용되기 때문에 눈부심 감소를 위한 연구가 필수적이다. 따라서 본 논문에서는 눈부심을 감소시키기 위한 LED 스탠드 광학계 구조 연구 및 설계를 진행하였다. 이후, 기존 LED 스탠드 제품과의 휘도 비교 및 분석을 통해 본 논문에서 제안한 반사형 LED 스탠드가 눈부심 면에서 더 우수한 성능을 가지는 것을 확인하였다.

Keywords: 조명 광학, 반사경, 휘도

OCIS codes: (120.5700) Reflection; (220.2945) Illumination design

I. 서 론

기존의 조명은 광원으로 백열등과 형광등을 사용하였지만 최근 효율, 수명 및 환경적인 측면에서 우수한 특성을 가지는 LED로 광원이 대체되고 있다^{1,2}. 하지만 LED는 작은 면적에서 고휘도의 빛이 발산됨에 따라 천장등, 스탠드 조명과 같은 실내 조명으로 사용될 경우, 높은 휘도와 hot spot으로 인한 불균일한 휘도 분포로 인하여 눈부심을 발생시킨다. 이러한 눈부심은 피로감뿐만 아니라 사용자의 활동에 방해를 주기 때문에 이를 고려하여 조명의 광학계 설계가 이루어져야 한다³.

특히 LED 스탠드의 경우 사용자의 눈에 가깝게 위치되어 있으며, 장시간 사용되기 때문에 눈부심을 감소시키기 위한 연구가 필수적이다. 기존 LED 스탠드의 경우, 추가적인 광학계 없이 확산판이나 아크릴판 등을 사용하여 눈부심을 감소시키려고 하였으나, 이 경우에도 그림 1과 같이 LED의 노출로 인해 hot spot이 발생하기 때문에 눈부심이 제거되지 않는다.

따라서 본 논문에서는 LED의 hot spot으로 인한 눈부심을 감소시키기 위해 간접광을 형성하는 반사형 LED 스탠드 설계를 진행하고, 기존 LED 스탠드 제품과의 휘도 비교 및 분석을 통해 반사형 LED 스탠드의 눈부심을 평가하였다. 또

[†]E-mail: msoptic@kpu.ac.kr, ORCID: 0000-0003-3430-876X

Color versions of one or more of the figures in this paper are available online.

한, 스탠드 조명은 이동형 LED 등기구의 성능 요구사항에 해당하는 KS C 7656 기준을 만족해야 하기 때문에 해당 조명의 광학계 설계 시 이를 만족하는 것을 목표로 하였다. KS C 7656에서는 그림 2와 같이 조명 400 mm 아래 영역의 중심과 중심에서 300 mm 간격으로 떨어진 8개 위치에서의 조도 범위를 600~1,500 lux로 규정하고 있다.



Fig. 1. Glare of an LED stand.

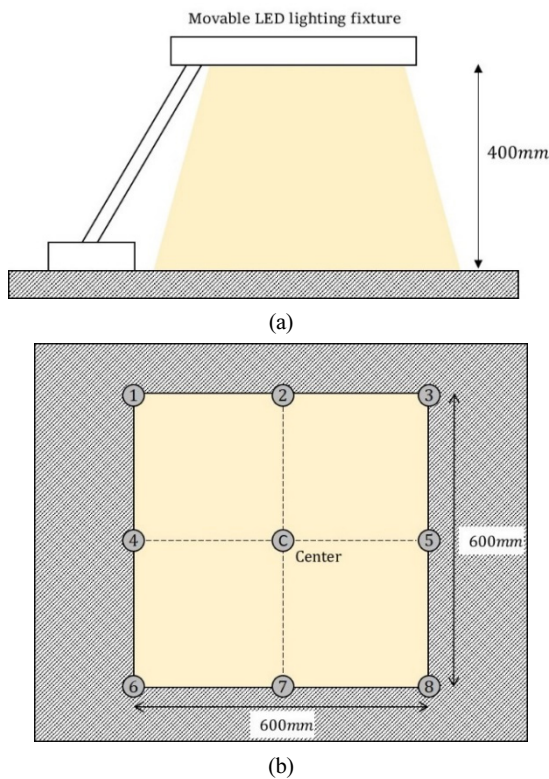


Fig. 2. KS C 7656. (a) Illuminance measurement (side view). (b) Illuminance measurement (top view).

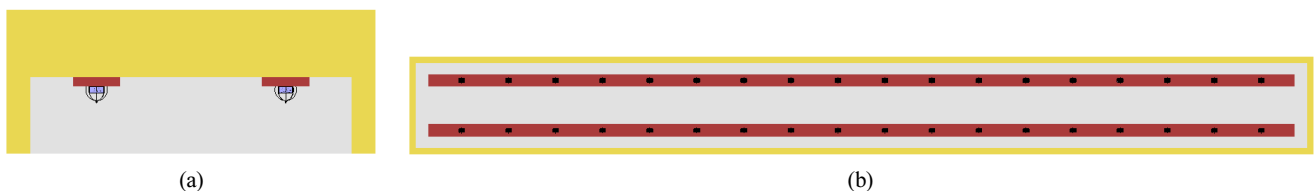


Fig. 3. Existing LED stand. (a) LED stand (Y-Z plane). (b) LED stand (reverse X-Z plane).

II. 본 론

2.1. 광원 선정 및 광학계 구조 도출

LED는 작은 면적에서 빛이 발산되기 때문에 power가 높은 경우 한 곳에 빛이 집중되어 눈부심 문제가 발생한다⁴⁾. 따라서 0.1 W 이하의 low power LED를 선정하여 빛을 분산시키고자 한다. 또한, 스탠드는 학습 시에 사용되는 조명으로 사용자의 집중력 향상을 위해 5,000~7,000 K의 색온도를 만족하는 광원을 선정하고자 한다⁵⁾. 이를 고려하여 선정된 광원은 power 0.061 W, size 1.4 mm (W)×3.0 mm (L)×0.8 mm (H), 색온도 7,000 K의 특성을 가지는 OSRAM사의 LED이다.

본 논문에서 제안하는 반사형 LED 스탠드의 크기는 기존 LED 스탠드와의 정확한 성능 비교를 위해 기존 LED 스탠드의 크기인 38 mm (W)×15 mm (H)×350 mm (L)와 동일하게 설정하였다. 기존 LED 스탠드의 형상은 그림 3과 같다. LED 광원이 직접적으로 노출될 경우 hot spot으로 인해 눈부심이 발생되기 때문에, 그림 4와 같이 LED를 45° 각도로 기울여 양쪽에 배치하고 위쪽의 반사경을 통해 간접광을 형성하였다. 이때 LED는 5 mm 간격으로 총 146개 배치하여 8.9 W의 광량을 가지도록 하였다. 이와 같이 광원 및 광학계를 배치할 경우, 광원이 직접적으로 노출되지 않으므로 이로 인해 발생하는 눈부심의 해결이 가능하다.

2.2. 반사경 설계

위와 같이 광원 및 광학계를 배치한 후 KS C 7656 기준을 만족시키기 위한 반사경 설계를 진행하였다. 반사경의 형상이 그림 5(a)와 같이 하나의 곡률로 이루어져 있을 경우, 하나의 LED line에서 나온 빛이 반사경에 반사되어 맞은편에 있는 LED line에 의해 차폐되므로 광량 확보에 어려움이 있다. 따라서 그림 5(b)와 같이 양쪽면에 위치되어 있는 LED line이 각각의 반사경을 갖도록 하여 광량을 확보하였다.

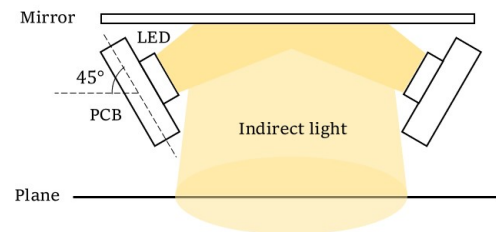


Fig. 4. LED slope structure.

조사영역에서의 광량 확보를 위하여 그림 6과 같이 점 A에서 출사하는 광들이 조사영역에 고르게 조사되도록 하는 점 B의 위치를 찾고자 하였다. 하지만, 그림 7과 같이 조사면적에 대하여 동일한 간격으로 광을 퍼뜨릴 경우, 조사영역 주변부로 도달하는 광선의 경로가 중심부로 도달하는 광선의

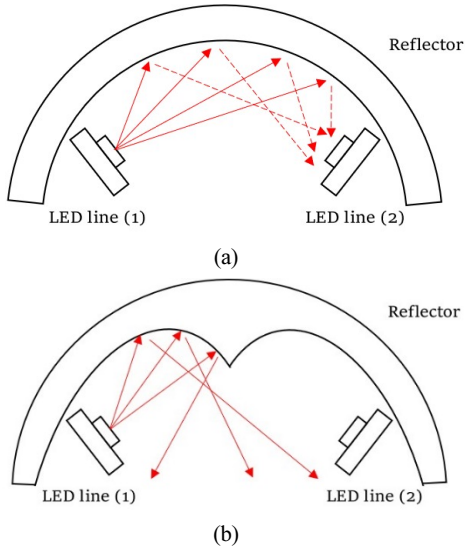


Fig. 5. Reflector shape. (a) Reflector shape with one curvature. (b) Reflector shape with two curvatures.

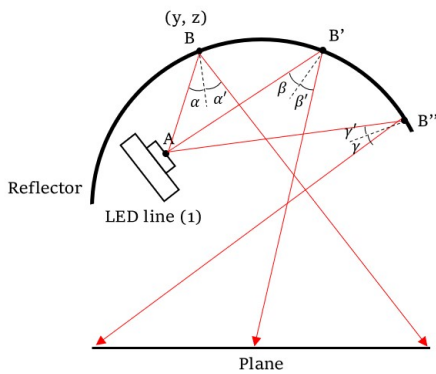


Fig. 6. Drawing figure of ray tracing.

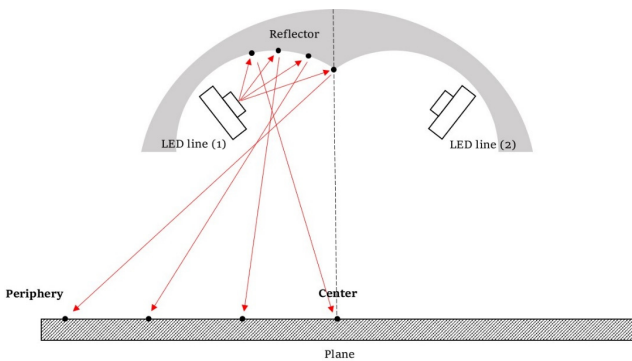


Fig. 7. Illuminance degradation in the periphery area.

의 경로에 비해 훨씬 길기 때문에 주변부에서 조도가 저하되는 문제가 발생한다⁶⁾. 따라서 그림 8과 같이 조사영역 주변부에 도달하는 광선의 수를 늘려 주변부 영역에서의 조도를 확보하였다.

해당 설계에 사용된 LED는 120°의 발산각을 가지고 있으므로 해당 각도 내에서 5° 간격으로 출사하는 광선에 대한 점 B의 작도를 진행하였으며, 해당 점들의 좌표를 표 1에 나타냈다. 그림 9는 해당 점들을 LightTools의 Fitted curve 기능을 이용해 선으로 연결한 모습이다. 이는 LED line (1)에 대한 반사경의 형상이며, LED line (2)에 대한 반사경은 해당 형상을 y축으로 대칭시켜 적용하였다. 반사경의 반사 특성은 재질에 따라 다르기 때문에 일반적으로 많이 사용되는 알루미늄을 반사경의 재질로 선정하였고, 가시광선 영역에서 반사를 90%를 적용하였다⁷⁾.

하지만 해당 작도는 광원이 point source라는 가정 하에 이루어졌기 때문에 약간의 오차가 발생할 수 있다. 따라서 위와 같이 도출된 좌표 값을 통해 반사경을 설계한 후, 추가적인 최적화를 진행하였다. 이를 통해 만들어진 반사형 LED 스탠드의 형상은 그림 10과 같으며, 조도 시뮬레이션 결과

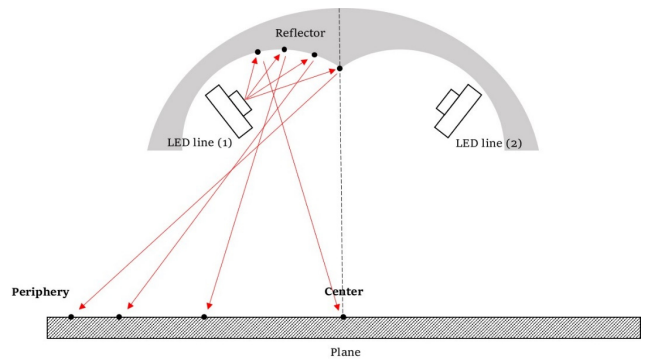


Fig. 8. Illuminance securing in the periphery area.

Table 1. Coordinates of point B according to each angle

Angle	Coordinates (z, y)	Angle	Coordinates (z, y)
-60°	(-10.522, 3.972)	0°	(-5.604, 4.331)
-55°	(-10.217, 4.088)	5°	(-5.058, 4.192)
-50°	(-9.896, 4.194)	10°	(-4.496, 4.011)
-45°	(-9.559, 4.289)	15°	(-3.920, 3.780)
-40°	(-9.203, 4.371)	20°	(-3.338, 3.497)
-35°	(-8.828, 4.439)	25°	(-2.757, 3.156)
-30°	(-8.433, 4.491)	30°	(-2.185, 2.753)
-25°	(-8.017, 4.526)	35°	(-1.636, 2.288)
-20°	(-7.579, 4.540)	40°	(-1.246, 1.897)
-15°	(-7.119, 4.532)	45°	(-0.880, 1.470)
-10°	(-6.636, 4.496)	50°	(-0.550, 1.010)
-5°	(-6.131, 4.431)	55°	(-0.266, 0.518)
		60°	(0, 0)

조사영역에서 최소 조도 654.33 lux, 최대 조도 1,423.3 lux로 KS C 7656 기준을 만족하는 것을 확인하였다.

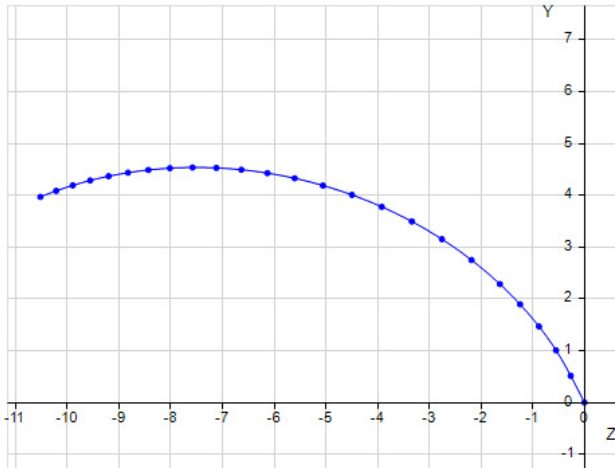


Fig. 9. Reflector shape using LightTools.

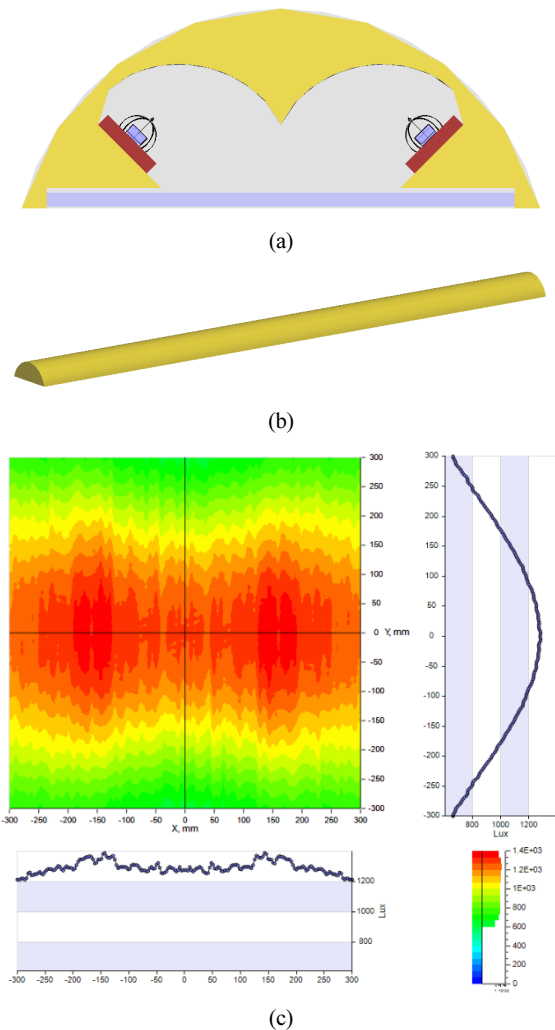


Fig. 10. Results of illumination simulation. (a) LED stand (Y-Z plane). (b) LED stand (isometric). (c) Illuminance.

2.3. 휘도 분석

휘도(luminance)는 광원을 바라보는 방향에서 본 단위면적 당 빛의 세기를 말하며 조명 기구에서 발생된 빛 또는 물체의 표면에 반사된 뒤 눈에 들어오는 빛이 얼마나 밝은지를 나타낸다^[8,9]. 이러한 휘도는 사용자의 시야 내에서 높은 값을 가질수록, 불균일한 분포를 가질수록 더 큰 눈부심을 야기시킨다. 이처럼 휘도는 눈부심과 밀접한 관계가 있다. LED 스탠드의 휘도 분석은 그림 11과 같이 LED 스탠드의 아랫면과 측면부에서 진행하였다. 휘도 시뮬레이션은 Spatial luminance profile을 통해 진행하였으며 사용자와 스탠드의 거리와 사람의 양안 간격을 고려하여 진행하였다. 이때, 사용자와 스탠드 간의 거리는 300 mm, 사람의 양안 간격은 65 mm로 설정하였다^[10].

LED 스탠드 아랫면에서 휘도 시뮬레이션을 진행한 결과, 기존 LED 스탠드의 경우 그림 12(a)와 같이 LED가 있는 위치에서 점의 형태로 hot spot이 발생한다. 반면, 반사형 LED 스탠드의 경우 그림 12(b)와 같이 면 형태의 휘도 분포를 가지며 불균일한 휘도 분포가 개선되었음을 확인할 수 있다. 또한, 기존 LED 스탠드의 경우 최대 휘도 392,550 nit로 반사형 LED 스탠드의 최대 휘도인 87,286 nit보다 약 4배의 값을 가진다. 조명의 휘도가 클수록, 휘도 분포의 균일도가 낮을수록 더 큰 눈부심이 야기되므로 본 논문에서 제안한 반사형 LED 스탠드가 기존 LED 스탠드 대비 더 적은 눈부심을 가지는 것을 확인하였다.

또한, 사용자의 위치에서 LED 스탠드의 눈부심을 평가하기 위하여 스탠드 측면부에서 휘도 시뮬레이션을 진행하였

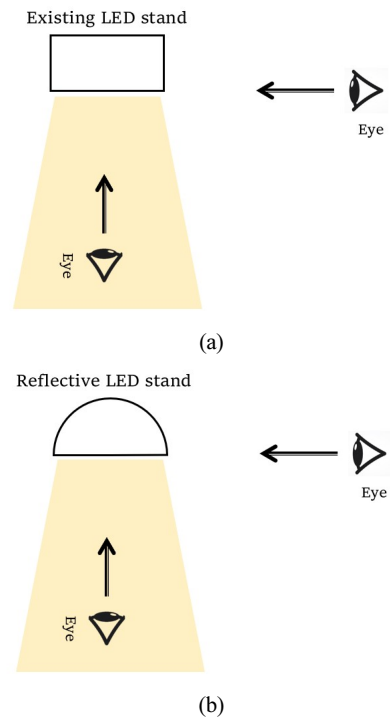


Fig. 11. Analysis of luminance. (a) Existing LED stand. (b) Reflective LED stand.

다. 일반적으로 LED 스탠드를 사용하는 경우 사용자의 눈높이에 맞게 LED 스탠드를 위치시키지만 학습 또는 작업 시 사용자의 움직임에 따라 눈높이와 각도가 달라지기 때문에 이를 고려하여 휘도 분석을 진행해야 한다. 따라서 그림 13과 같이 LED 스탠드 기준으로 0 mm, -20 mm, -40 mm 높이와 +6°, +3°, 0°, -3°, -6° 각도에 대해서 휘도 시뮬레이션을 진행하였다.

그 결과, LED 스탠드가 사용자의 눈높이에 위치되어 있을 시(y=0 mm) 기존 LED 스탠드와 반사형 LED 스탠드 모두 +6°의 각도에서는 휘도가 측정되지 않으며, +3°, 0°, -3°, -6° 각도에서는 표 2와 같은 휘도 분포 및 값을 보인다. 기존 LED 스탠드의 경우 LED가 노출되어 있기 때문에 LED 형상이 그대로 드러나 점의 형태로 hot spot이 발생한다. 반면, 반사형 LED 스탠드의 경우 hot spot 없이 비교적 균일한 휘도 분포를 가지는 것을 확인할 수 있다. 휘도가 측정되는 영역에서의 균일도를 비교한 결과, 모든 각도에서 반사형 LED 스탠드가 기존 LED 스탠드보다 약 120~220% 향상된 휘도

균일도를 가지는 것을 확인하였다. 또한, 반사형 LED 스탠드의 최대 휘도는 모든 각도에 대하여 기존 LED 스탠드의 최대 휘도보다 약 20~30% 작은 값을 가진다. 사용자의 시야 내에서 조명이 높은 휘도를 가질수록, 휘도 균일도가 낮을수록 더 큰 눈부심을 야기시키기 때문에 본 논문에서 제시한 반사형 LED 스탠드는 기존 LED 스탠드에 비해 눈부심 개선되었음을 확인할 수 있다.

이후, LED 스탠드를 기준으로 -20 mm, -40 mm 높이와 +6°, +3°, 0°, -3°, -6° 각도에 대하여 휘도 시뮬레이션을 진행한 결과, 표 3과 표 4와 같이 모든 높이 및 각도에서 반사형 LED 스탠드가 기존 LED 스탠드에 비해 휘도 분포의 균일도가 약 130~160% 향상되었으며 최대 휘도는 약 20~25% 감소된 것을 확인하였다. 조명의 휘도가 클수록, 균일도가 낮을수록 사용자에게 더 큰 눈부심을 야기하기 때문에 본 논문에서 제시한 반사형 LED 스탠드가 눈부심 면에서 더 우수한 성능을 가진다고 판단하였다.

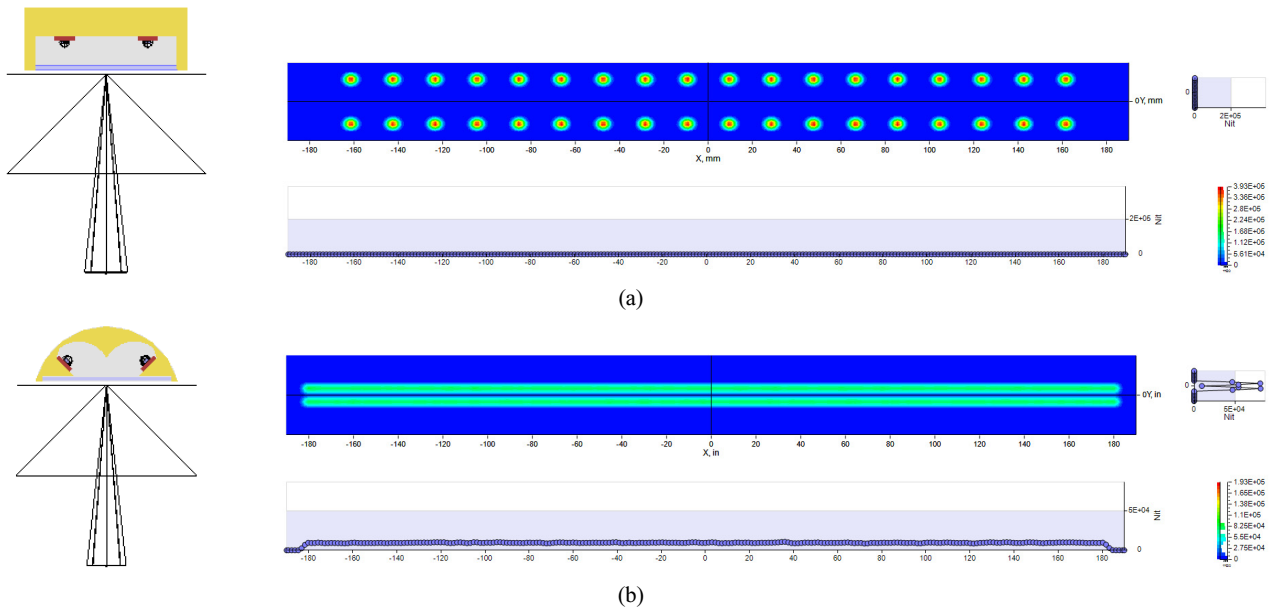


Fig. 12. Results of luminance simulation. (a) Existing LED stand. (b) Reflective LED stand.

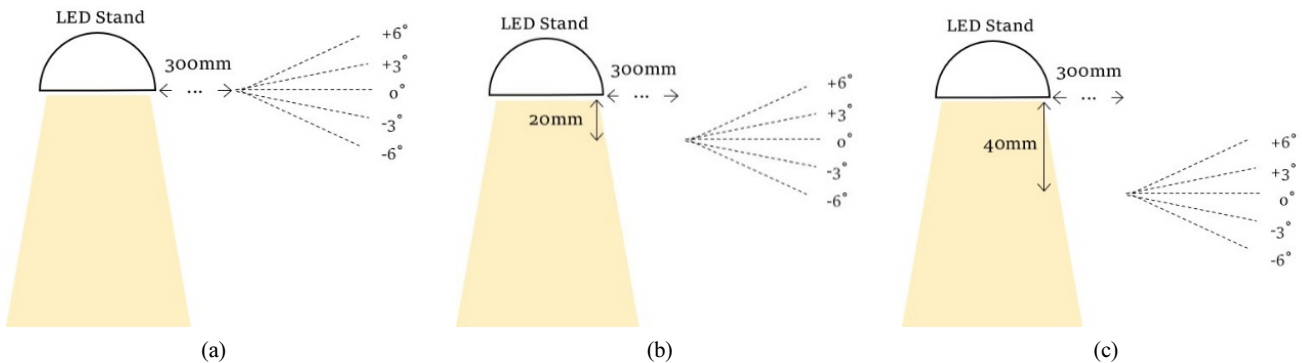


Fig. 13. Setting of side luminance analysis. (a) y=0 mm. (b) y=-20 mm. (c) y=-40 mm.

Table 2. Results of luminance simulation (y = 0 mm)

Angle	Existing LED stand		Reflective LED stand	
+6°				
	Min.	-	Min.	-
	Max.	-	Max.	-
	Uniformity	-	Uniformity	-
+3°				
	Min.	6.72 nit	Min.	18.77 nit
	Max.	70.82 nit	Max.	49.56 nit
	Uniformity	17.33%	Uniformity	54.94%
0°				
	Min.	51.25 nit	Min.	108.43 nit
	Max.	386.24 nit	Max.	304.70 nit
	Uniformity	23.43%	Uniformity	52.49%
-3°				
	Min.	126.66 nit	Min.	290.27 nit
	Max.	1035.47 nit	Max.	776.37 nit
	Uniformity	21.80%	Uniformity	54.43%

Table 2. Results of luminance simulation (y = 0 mm) (continued)

Angle	Existing LED stand	Reflective LED stand		
-6°				
	Min.	245.09 nit	Min.	533.71 nit
	Max.	1989.25 nit	Max.	1461.05 nit
	Uniformity	21.94%	Uniformity	53.51%

Table 3. Results of luminance simulation (y = -20 mm)

Angle	Existing LED stand	Reflective LED stand		
+6°				
	Min.	14.43 nit	Min.	30.69 nit
	Max.	130.88 nit	Max.	103.50 nit
	Uniformity	19.86%	Uniformity	45.74%
+3°				
	Min.	68.83 nit	Min.	163.82 nit
	Max.	536.34 nit	Max.	415.02 nit
	Uniformity	22.75%	Uniformity	56.60%
0°				
	Min.	157.42 nit	Min.	363.82 nit
	Max.	1234.54 nit	Max.	957.88 nit
	Uniformity	22.62%	Uniformity	55.05%

Table 3. Results of luminance simulation ($y = -20$ mm) (continued)

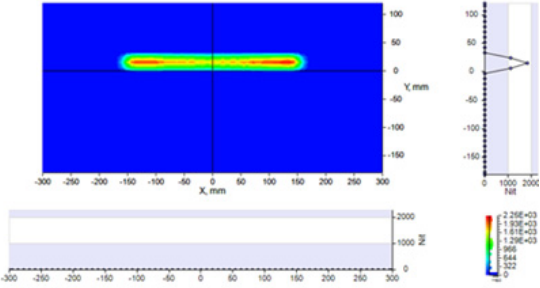
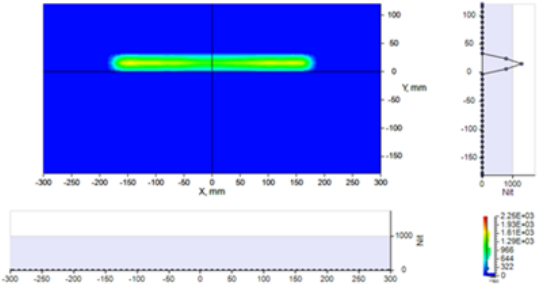
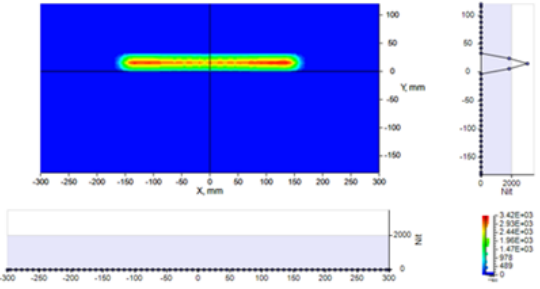
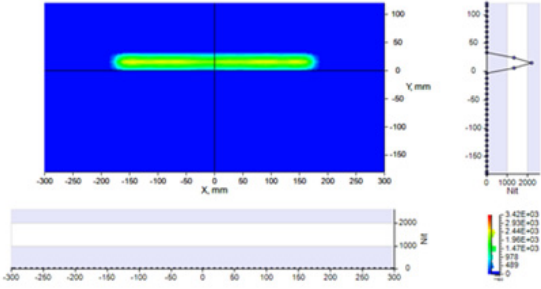
Angle	Existing LED stand		Reflective LED stand	
-3°				
	Min.	280.36 nit	Min.	651.24 nit
	Max.	2254.29 nit	Max.	1720.24 nit
	Uniformity	22.12%	Uniformity	54.92%
-6°				
	Min.	415.71 nit	Min.	951.84 nit
	Max.	3422.95 nit	Max.	2576.05 nit
	Uniformity	21.66%	Uniformity	53.96%

Table 4. Results of luminance simulation ($y = -40$ mm)

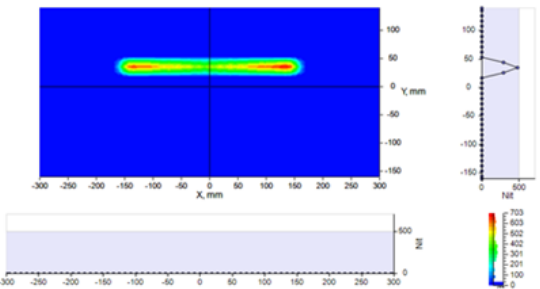
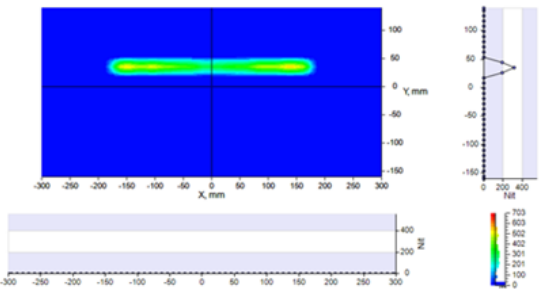
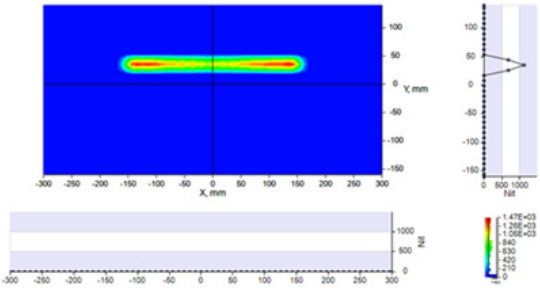
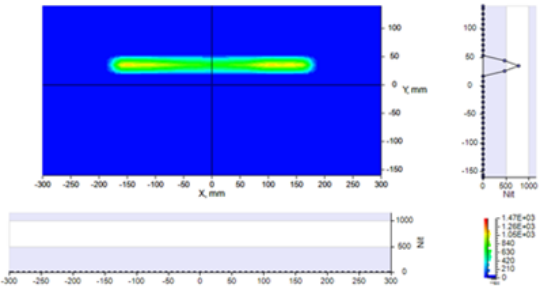
Angle	Existing LED stand		Reflective LED stand	
+6°				
	Min.	88.06 nit	Min.	210.77 nit
	Max.	703.30 nit	Max.	549.81 nit
	Uniformity	22.26%	Uniformity	55.42%
+3°				
	Min.	183.55 nit	Min.	467.50 nit
	Max.	1469.18 nit	Max.	1143.14 nit
	Uniformity	22.21%	Uniformity	58.05%

Table 4. Results of luminance simulation ($y = -40$ mm) (continued)

Angle	Existing LED stand		Reflective LED stand	
0°				
	Min.	313.88 nit	Min.	738.87 nit
	Max.	2542.26 nit	Max.	1894.64 nit
	Uniformity	21.98%	Uniformity	56.11%
-3°				
	Min.	455.93 nit	Min.	1010.83 nit
	Max.	3734.89 nit	Max.	2782.45 nit
	Uniformity	21.76%	Uniformity	53.30%
-6°				
	Min.	604.19 nit	Min.	1360.37 nit
	Max.	5084.38 nit	Max.	3923.25 nit
	Uniformity	21.24%	Uniformity	51.49%

III. 결 론

본 논문에서는 기존 LED 스탠드의 눈부심을 감소시키기 위한 광학계 배치 및 반사경 형상을 제시하였으며, 설계와 시뮬레이션을 통해 이를 입증하였다. 조도 시뮬레이션 결과, 최소 조도 654.33 lux, 최대 조도 1,423.3 lux로 이동형 LED 등기구 기준인 KS C 7656을 만족하는 것을 확인하였다. 이후, 휘도 시뮬레이션을 통해 본 논문에서 제시한 반사형 LED 스탠드의 눈부심을 평가하였다. 기존 LED 스탠드의 경우, 점 형태의 hot spot으로 인해 불균일한 휘도 분포를 가진다. 반면, 반사형 LED 스탠드의 경우 간접광의 형태로 빛이 발산되기 때문에 면 형태의 균일한 휘도 분포를 가진다. 이때 반사형 LED 스탠드의 휘도 균일도는 기존 LED 스탠드

대비 약 120~220% 향상된 값을 가지며, 최대 휘도는 약 20~30% 작은 값을 가진다. 이를 통해 본 논문에서 제시한 반사형 LED 스탠드가 눈부심 면에서 더 우수한 성능을 가지는 것을 확인하였다.

References

1. Y. M. Park, H. C. Bang, Y. H. Seo, and B. H. Kim, "Development of surface-mount-type crown-shaped lens for reducing glare effect of light-emitting diode light source," J. Korean Soc. Manuf. Technol. Eng. **23**, 64-68 (2014).
2. J. T. Kim, "Secondary optical lens design for beam divergence of light emitting diode," J. Korean Inst. Illum. Electr. Install.

- Eng. **31**, 67-71 (2017).
3. D. H. Nam and D. H. Lee, "Brightness uniformity evaluation of the LED planar light source using a illuminometer," Korean Inst. Illum. Electrical Install. Eng. **30**, 11-14 (2016).
 4. S. G. Chae, D. H. Jung, and Y. C. Lee, "Reflector design for LED pedestrian lighting using indirect reflectance type," J. Korean Inst. Illum. Electr. Install. Eng. **26**, 6-13 (2012).
 5. S. D. Jee and C. B. Kim, "Electroencephalogram analysis on learning factors during relaxed or concentrated attention according to the color temperatures of LED Illuminance," J. Korean Inst. Educ. Facil. **21**, 33-42 (2014).
 6. S. Y. Choi, S. M. Lim, and I. S. Yeo, "LED lens design for the improvement of illuminance uniformity," Korean Inst. Electr. Eng. 1607-1608 (2009).
 7. B. M. Yoon, S. J. Lee, G. S. Choi, J. C. Lee, and D. H. Park, "Optical property of LED module along reflector material by simulation," Proc. KIEE Conf. 1669-1670 (2006).
 8. B. J. Jung, "A study on the lens structure development used in LED security light with the high-efficiency diffuse light distribution characteristics," Ph. D. *Thesis*, Wonkwang University, Korea (2013).
 9. Y. L. Won, "Study on the asymmetric wide angle lens for linear type LED lamp with uniform luminance," M. S. *Thesis*, Pukyong National University, Korea (2017).
 10. D. J. Han and H. H. Kim. "Optical system design of compact head-up display (HUD) using micro display," J. Korea Acad.-Ind. Coop. Soc. **16**, 6227-6235 (2015).