

100 W급 LED 보안 등기구용 비대칭 배광의 2차 렌즈 설계

신익태^{1,a}, 양종경¹, 이동진², 박대희¹

¹ 원광대학교 전자재료공학과

² (주)Aithercomas Inc.

Secondary Optics Design of Dissymmetrical Light Distribution for 100 W LED Safety Luminaires

Ik-Tae Shin^{1,a}, Jong-Kyung Yang¹, Dong-Jin Lee², and Dae-Hee Park¹

¹ Electrical Materials Engineering, Wonkwang University, Iksan 570-749, Korea

² Aithercomas Inc., Seoul 121-848, Korea

(Received April 19, 2010; Revised May 13, 2010; Accepted May 23, 2010)

Abstract: This paper has studied dissymmetrical light distribution design using the secondary optics in the simulation. fundamental Lambertian radiation distribution based on LED has been cut off by the secondary optics, and the first surface slope of lens and second surface slope of total reflection area have been calculated through formula. PMMA (the index of refraction: 1.49361) which is material of lens has been selected. critical angle(42.02993°) between Air and PMMA has been calculated by snell's law, and total reflection angle slope has been selected about 16.67° to occur the total reflection. when the first surface slope and the second surface slope has been set up, Rays of all total reflection area have generated the total reflection. finally, designed LED Module has been estimated by Korean Industrial Standards for LED safety street lighting. dissymmetrical light distribution have been analyzed with reached effect of road illuminance, and average road illuminance which are each 70.6 lx, 40.35 lx, and 25.88 lx have been satisfied with Korean Industrial Standards for LED safety street lighting.

Keywords: LED, Secondary optics, Simulation design, LED safety luminaires

1. 서론

LED (light emitting diode) 는 기존 광원보다 많은 장점을 가지고 있다 [1]. LED가 지닌 기존 광원과 다른 점은 방향성을 가지고 있으며, RGB 조합으로 인한 색상의 컨트롤이 가능하며, VI 전압전류 변화량에 따른 광량 조절이 다른 광원보다 우수하다. 세계 각국에서는 현재 에너지와 CO₂ 절감을 위해 LED의 보

급과 확산은 계획적으로 진행 중에 있다. 실내조명기구뿐만 아니라 옥외조명기구에도 기존 광원을 대체하고자 하는 제품개발 및 연구가 진행 중에 있다. 그러나 LED를 옥외조명기구에 적용되기 위해서는 개선해야 할 요소들이 남아있다. 첫째로 효율개선이 이루어져야 하며, 둘째로 발열문제가 고려되어야 하고, 마지막으로 조명기구의 용도에 맞는 최적의 배광을 제공할 수 있어야 한다. 배광의 달성여부는 조명기구의 효율성 측면에서 매우 중요한 요소이다. 기존의 조명

a. Corresponding author: shinit83@gmail.com

기구에서는 주로 반사판을 통해 조명기구의 광학성능을 달성하였고, LED는 발산되는 빛이 지향성을 갖고 있는 특징으로 인해 굴절체를 적용한 프리즘이나 렌즈가 이를 대신하게 된다. LED의 경우 이미 패키지 단계에 포함되는 epoxy dome 형상에 따라 약간의 배광성능을 갖게 되는데 이는 매우 일반적인 형태로서 조명의 여러 요소를 고려해야 하는 경우에 적용하기에는 다소 한계를 가지고 있다. 따라서 광학 성능을 구현할 수 있는 부가적인 형태의 굴절체를 이용한 렌즈나 프리즘 등의 secondary optics은 LED를 적용한 조명기구에서 배광달성의 핵심요소가 된다. 조명환경이 조명대상범위를 벗어나게 되면 조사되지 않아도 될 부분에 불필요한 에너지를 소모하게 되며 이는 옥외 조명의 효율성 측면에서 많은 손실을 유발시킬 수 있다. 이러한 광 공해는 유형에 따라 산란광(sky glow), 현휘현상(glare), 누설광(light leakage) 침입광(light trespass) 등으로 규정하고 있으며 이러한 광 공해로 인한 피해를 줄이기 위해서 secondary optics을 이용한 옥외 조명용 비대칭 렌즈 설계는 빛의 이용 효율을 높이는 매우 중요한 요소이다 [2-5].

본 논문은 기본적인 LED의 lambertian 배광을 2차광학계를 이용하여 cut-off시켜 비대칭 배광을 설계하였으며 module형태로 구성하여 LED 보안가로등용 KS 규격에 따른 평균 노면조도를 시뮬레이션을 통하여 확인하였다.

2. 실험 방법

2.1 2차렌즈 설계이론

렌즈는 굴절의 성질을 가지는 굴절체로 제작된다. 굴절체는 굴절률, 투과율, 내열성 등을 종합적으로 고려하여 선택되어야 하며 이 중 굴절률은 렌즈의 설계 단계에 적용되는 요소이므로 설계에 앞서 렌즈의 재질에 대한 선택이 이루어져야 한다. 본 논문에서는 투과율이 우수하고 가공의 측면에서 장점을 갖는 아크릴(PMMA, 굴절률 1.49361)을 렌즈의 재질로 선택하였다. 렌즈의 효율성을 갖추기 위하여 광축을 중심으로 한 쪽면의 빛이 통과하지 못하게 막는 형태보다는 빛을 광축을 중심으로 다른 한쪽면으로 전반사시켜 LED 단일소자의 광속을 유지시켜주는 설계 과정이 필요하다.

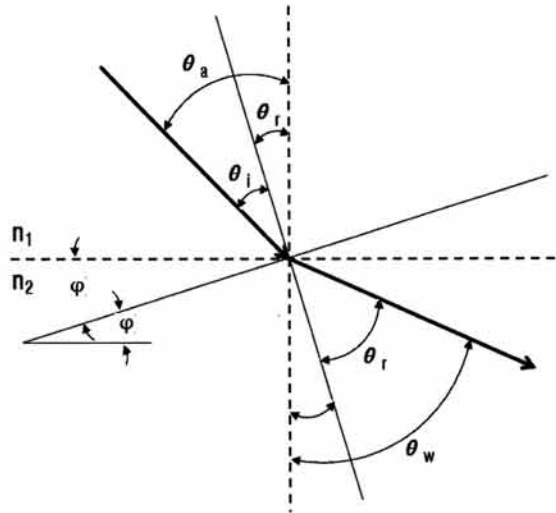


Fig. 1. Determination of refractor segments.

LED 단일소자 RAY의 지향각을 θ_i 라 하고 광학계를 통과한 RAY의 새로운 지향각을 θ_r 이라 하면, θ_i 와 θ_r 은 굴절의 법칙에서 입사각과 출사각이라 할 수 있으며 단면의 기울기는 다음의 그림과 수식을 통해 얻을 수 있다.

입사각을 θ_i , 출사각을 θ_r 라 하면 그림에서,

$$\theta_r + \varphi = \theta_w \quad \therefore \theta_r = \theta_w - \varphi$$

$$\theta_r + \varphi = \theta_a \quad \therefore \theta_i = \theta_a - \varphi$$

Snell's Law에 의하여

$$n_1 \sin(\theta_a - \varphi) = n_2 \sin(\theta_w - \varphi)$$

$$n_1 (\sin\theta_a \cos\varphi - \cos\theta_a \sin\varphi) = n_2 (\sin\theta_w \cos\varphi - \cos\theta_w \sin\varphi)$$

$$n_1 \sin\theta_a \cos\varphi - n_1 \cos\theta_a \sin\varphi = n_2 \sin\theta_w \cos\varphi - n_2 \cos\theta_w \sin\varphi$$

$$n_1 \sin\theta_a \cos\varphi - n_2 \sin\theta_w \cos\varphi = n_1 \cos\theta_a \sin\varphi - n_2 \cos\theta_w \sin\varphi$$

$$\cos\varphi (n_1 \sin\theta_a - n_2 \sin\theta_w) = \sin\varphi (n_1 \cos\theta_a - n_2 \cos\theta_w)$$

$$\frac{\sin\varphi}{\cos\varphi} = \frac{n_1 \sin\theta_a - n_2 \sin\theta_w}{n_1 \cos\theta_a - n_2 \cos\theta_w} = \tan\varphi$$

$$\therefore \phi = \tan^{-1} \frac{n_1 \sin \theta_a - n_2 \sin \theta_w}{n_1 \cos \theta_a - n_2 \cos \theta_w}$$

- ϕ : 단면의 기울기
- n_1 : 매질 1의 굴절률
- n_2 : 매질 2의 굴절률
- θ_a : 구간의 입사각
- θ_w : 구간의 출사각

여기서 θ_a 와 θ_w 는 구간의 입사각과 목표 지향각이므로 각 구간의 단면의 기울기를 구할 수 있다.

2.2 소자 실험구성

LED소자설계는 실제 제품(OSRAM_LUWW5AM)을 기반으로 시뮬레이션 설계를 하였다. tester 장비를 이용하여 광속, 배광분포도, 파장 분석을 각각 적분구(Everfine_0.3inchLED), goniophotometer(OPI-310) 그리고 CS-1000(Konica Minolta_CS-1000 tester) 장비를 이용하여 측정 해보았다. LED 단일소자의 전류공급은 Keithly 2430_source meter를 사용하여 350 mA를 주입하여 3가지 광 특성 실험을 측정해 볼 수 있었다. 그림 2는 광 특성 측정의 실험 구성도를 보여준다.

2.3 LED array 구성

Array가 배광에 영향을 주지 않도록 렌즈의 간격을 설정하면 LED와 lens의 개수가 변화해도 배광에는 변화를 주지 않는다. 따라서 칩 간격은 2차 광학계의 배광에 영향을 미치지 않는 범위 내에서 가로 × 세로 (18 mm × 36 mm) 그리고 2개의 53 W모듈 간격은 히트싱크의 부피를 고려하여 110 mm로 설정하였다. 40개의 렌즈를 모듈 형태로 구성하고 5 × 8로 LED를 배열하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 LED package 측정 및 simulation 결과

그림 4(a)와 (b)는 측정된 LED 단일소자의 파장과 배광분포도의 결과값을 나타내고 있다. 광속측정 결과

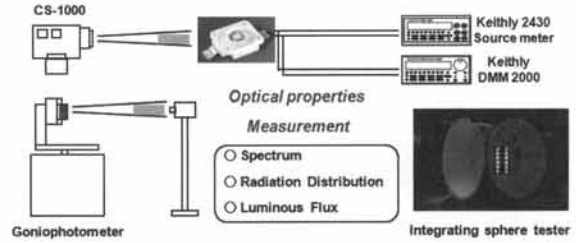


Fig. 2. Experimental set up of single LED.

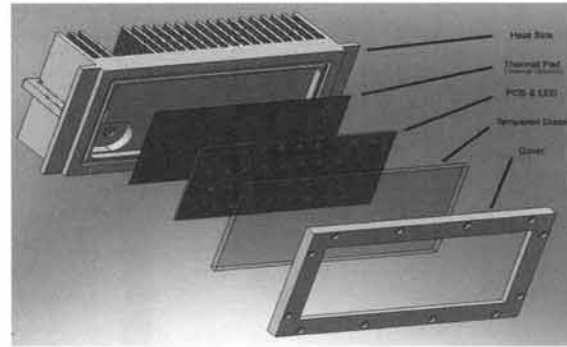


Fig. 3. Schematic of LED array.

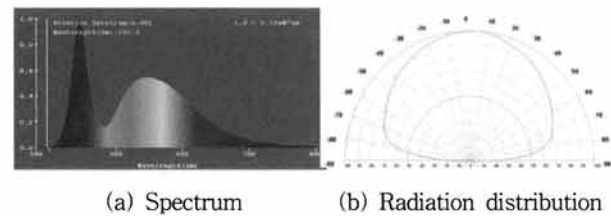


Fig. 4. Optic properties of single LED.

평균 99.2 lm값을 보였다. 배광 측정 결과 전형적인 lambertian 형태의 배광을 나타냈으며 view angle는 X축(0도), Y축(90도) 모두 약 170도를 나타냈다.

그림 5는 설계된 LED단일소자가 3D 형태로 모델링된 모습이다. 실제제품 99.2 lm과 시뮬레이션 99.248 lm은 0.05%의 오차율을 보였다.

3.2 2차 렌즈 설계결과

전반사 시킬 단면의 출사 각은 LED 단일소자의 view angle이 170도 이므로 85~0도 임을 알 수 있으며,

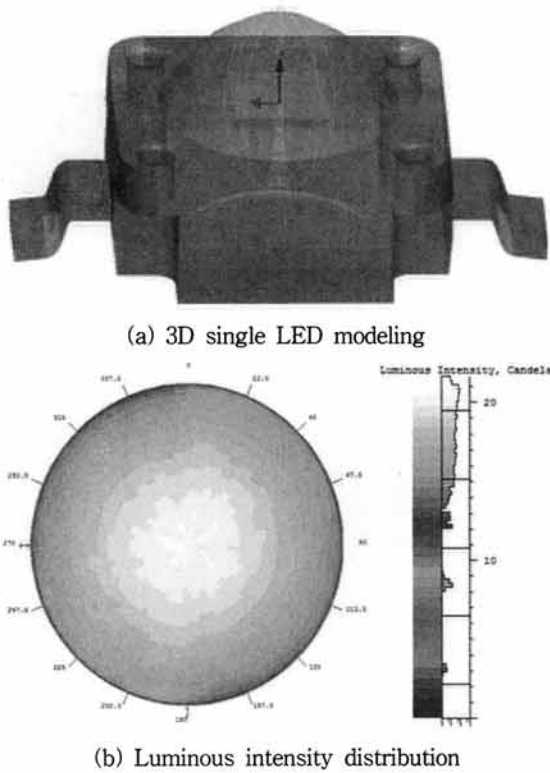


Fig. 5. Designed 3D modeling and optic properties.

매질변화에 따른 1차 단면의 입사각과 출사각을 구할 수 있다. 또한 굴절체의 세그먼트 결정 수식을 이용하여 광축(LED DIE)을 기준으로 법선에 대한 1차 단면의 기울기와 2차 단면의 기울기를 구할 수 있다. 굴절체의 단면 기울기 변화에 따른 전반사 경향성을 보기 위해 전반사 영역의 2차단면 변화를 5도 간격씩 변화 시켜 ray tracing 해 보았고 그림 6을 통해 확인할 수 있다.

2차 단면의 기울기가 광축(LED DIE)을 기준으로 15도 일 때 전반사됨을 확인 하였으며 세부 기울기 조정을 위해 1차 단면의 출사각(33.78°)을 기준으로 임계각(42.02993°) 이상인 42.03°의 전반사각을 설정 하였다. 그림 7은 LED DIE의 출사각부터 1차단면에 대한 두매질의 입사각과 출사각 그리고 2차단면에 대한 전반사(42.03°)를 작도한 그림이다.

최종적으로, LED 출사각은 85° 이며 1차단면의 입사각은 56.14° 출사각은 33.78° 이며 2차 단면의 입사각과 출사각은 서로 같은 42.03°를 이루며 전반사를

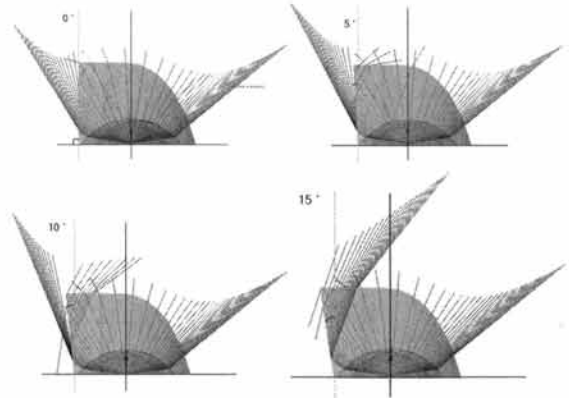


Fig. 6. Ray properties according to change incline angle of the second surface.

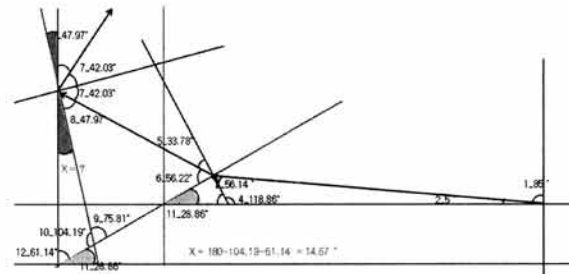


Fig. 7. Construction of ray path according to connect the secondary optics.

일으켰다. 1차 단면의 기울기 설정은 61.14°를 주었고 2차 단면의 기울기 설정은 14.67°의 기울기 설정을 주어 2차렌즈의 전반사부를 설계하였고 전반사영역의 단면이 모두 전반사가 발생함을 확인하였다.

3.3 2차렌즈와 결합한 모듈의 광특성 결과

그림 8은 2차 광학계를 결합한 완성된 LED 단일소자 및 모듈을 보여준다. 실험 결과 LED 단일소자(그림 8(b))의 광속은 97.248 lm 광도는 7.898 cd, LED 효율은 97.248 lm/W, LED 단일모듈(그림 8(a))의 광속은 3883.277 lm 광도는 309.021 cd, LED 단일모듈 효율은 73.269 lm/W, LED 보안가로등 모듈(그림 8(c))의 광속은 7766.638 lm, 광도는 618.049 cd, LED 보안가로등 모듈의 효율은 73.27 lm/W 의 값을 나타 내었다. 그림 9는 2차렌즈의 배광을 보여준다.

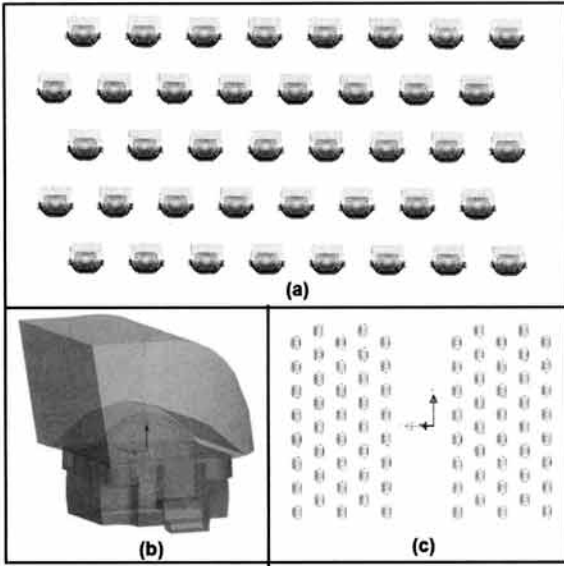


Fig. 8. 3D modeling with the secondary optics.

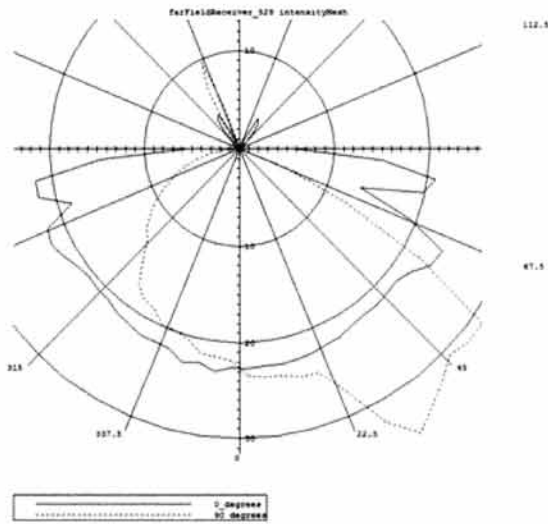


Fig. 9. Radiation distribution of LED module according to connect the secondary optics.

3.4 완성된 모듈의 KS 규격 평가

표 1 과 2는 KS(korean industrial standards) 에서 규정한 LED 보안가로등 규격을 나타내고 있다.

Table 1. Applied area according to installation height of LED safety street lamp.

설치 높이 [m]	가로 × 세로 [m]
4	8 × 4
5	12 × 6
6	16 × 8

Table 2. Illumination standards for pedestrian

야간보행자 교통량	지역	평균 노면 조도 [lx]
교통량이 많은 도로	주택지역	5
	상업지역	20
교통량이 적은 도로	주택지역	3
	상업지역	10

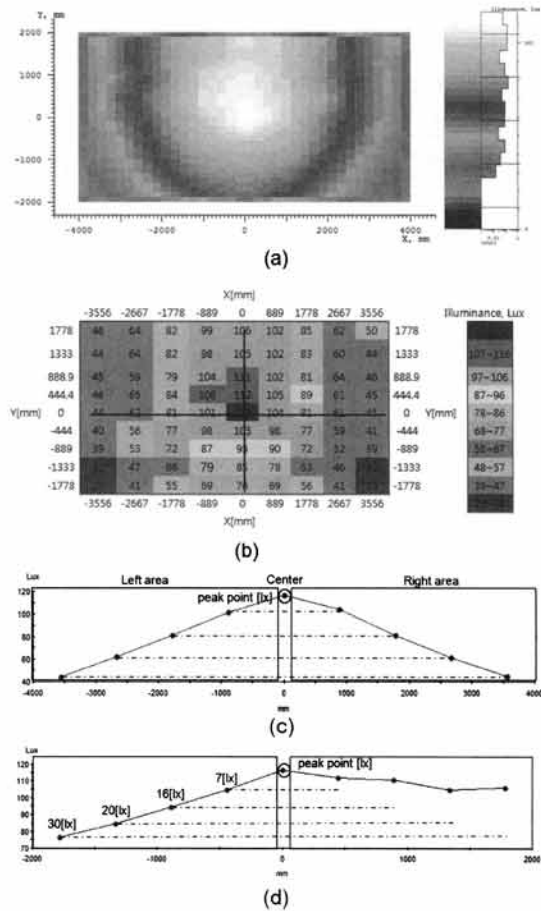


Fig. 10. Illuminance distribution properties according to installation height (installation height 4 m, applied area 8 m × 4 m).

시뮬레이션 결과가 KS규격에 만족하는지 여부를 확인하기 위하여 평균 노면조도를 평가해 보았다. 그림 10은 KS 규격인 가로 × 세로 (8 m × 4 m) 높이 4 m 에서 평균 노면 조도를 평가해 본 결과이다.

(a) chart는 가로 × 세로(8 m × 4 m) 높이 4 m의 노면조도 분포를 나타내고 있으며 (b) chart는 이를 보다 세분화 시킨 chart이다. (c) chart는 가로폭 (8 m)의 중심단면을 (d) chart는 세로폭 (4 m)의 중심단면을 그래프화 한 데이터 이다. Chart (a)와 (b)는 최소 29 lx 에서 최대 117 lx의 조도 특성을 보였고 평균 노면 조도는 70.6 lx 결과값을 보였다. (c) chart의 peak point는 center line 중심에 위치해 있는 것을 확인 할 수 있다. 또한 왼쪽지역 과 오른쪽 지역의 노면조도가 서로 센터를 중심으로 대칭형 분포를 이루고 있는 반면 (d) chart(4 m 세로 폭)는 2차렌즈 설계시 고려하였던 비 대칭형 노면조도 특성을 보였으며. 위치별 조도 차이는 각각 7 lx, 16 lx, 20 lx, 30 lx의 조도 차로 right area는 left area에 비해 평균 18.25 lx 높은 조도 특성을 보였다. (d) chart의 우편은 LED 보안가로등 설치시 가로등의 앞면부 이며 (d) chart의 좌편은 가로등의 후면부로서 비대칭 배광 설계로 인해 제어된 것 임을 데이터를 통해 확인할 수 있다. 구성된 LED 모듈을 LED 보안가로등용 KS 규격에 평가해 본 결과 70.6 lx, 40.35 lx, 25.88 lx의 평균노면 조도 특성이 나타났으며, LED 보안가로등용 KS 기준에 만족 하였다.

4. 결 론

본 논문은 점광원 가정법 설계를 이용하여 2차 광학계의 비대칭 배광을 시뮬레이션을 통하여 구현 하였다. LED의 기본적인 lambertian 배광을 보안 가로등 용도에 맞게 cut-off 시켜 후사광을 없애고 조사 지역에만 빛을 집광 시킬 수 있도록 1차 단면의 기울기가 61.14도와 2차 단면의 기울기가 14.67도 일때 전반사부의 모든 빛은 전반사를 발생하였다. 공기와 PMMA의 임계각(42.02993도)을 스넬의 법칙을 이용하여 구해보고 전반사를 발생시키기 위해 전반사각을

임계각이상인 42.03도의 전반사 각을 설정 하였다. LED 모듈을 구성은 가로 × 세로 18 mm × 36 mm 그리고 2개의 모듈 간격은 110 mm로 설정해보고 KS 규격에 맞추어 설계된 LED 보안가로등을 평가 하였다. 비대칭 배광이 노면조도에 미치는 범위를 2차광학계 시뮬레이션 설계를 통하여 분석 하였고 분석결과 2차 광학계 설계 시 고려하였던 광축을 중심으로 한쪽면의 빛을 통과 시키지 못하는 형태가 아닌 다른 한쪽 면으로 전반사 시켜 LED 단일 소자의 광축을 유지 할 수 있었다. 평균 노면조도는 70.6 lx, 40.35 lx, 25.88 lx 로 LED 보안가로등용 KS 기준에 모두 만족하였다.

감사의 글

본 연구는 에너지·자원기술개발 사업에서 지원하는 지능형 POWER LED 가로등 모듈 시뮬레이션 및 평가 사업과 호남 광역경제권 선도 산업 기술개발사업 에서 지원하는 실감형 조명 연출을 위한 옴니버스 LED 조명 장치 개발 의 연구비 지원에 의하여 수행 되었습니다.

REFERENCES

- [1] Y. Cho, Y. K. Choi, and S. H. Sohn, *Appl. Phys. Lett.* **89**, 051102 (2006).
- [2] L. Martin-Moreno, F. J. Garcia-Vidal, H. J. Lezec, K. M. Pellerin, T. Thio, J. B. Pendry, and T. W. Ebbesen, *Phys. Rev. Lett.* **86**, 1114 (2001).
- [3] J. Provine, J. Skinner, and D. A. Horsley, *IEEE International Conference on Micro Electro Mechanical Systems (IEEE, Istanbul, Turkey, 2006)* p. 377.
- [4] H. B. Chan, Z. Marcet, D. Carr, J. E. Bower, R. Cirelli, E. Ferry, F. P. Klemens, J. F. Miner, C. S. Pai, and J. A. Taylor, *Bell Labs Tech. J.* **10**, 143 (2005).
- [5] J. Olkkonen, K. Kataja, and D. G. Howe, *Opt. Exp.* **13**, 6980 (2005).