

## 간접 반사 방식의 LED 보안등기구 반사판 설계

(Reflector Design for LED Pedestrian Lighting Using Indirect Reflectance Type)

채성기\* · 정동환 · 이윤철\*\*

(Sung-Gi Chae · Dong-Hwan Jung · Yoon-Chul Lee)

### Abstract

In this paper, we took an indirect reflectance type that irradiates light from an LED module, which reflects light from a reflector onto the road. This LED pedestrian lighting design produces minimal glare from a relatively simple structure. Using LightTools 7.2, we conducted a study on the varying shape and curvature of the reflector. In order to further investigate this data, we researched the ratio of the DLOR and ULOR, the average illuminance, and the uniformity of the illumination. Based on this research, we selected optimum conditions to realize the actual LED pedestrian lighting using RELUX software. We found the average illuminance value to be 22[1x] and the illuminance uniformity ratio to be 0.23, which met the criteria of the proposed standards set in KS C 7658. In addition, it also satisfied the criteria of the standards set in KS A 3701 by having TI (Threshold Increment) at 7[%].

Key Words : Pedestrian Lighting, LED Lighting, Indirect, Reflector, LightTools

### 1. 서 론

#### 1.1 연구의 배경

보행자를 위한 보안등은 노상의 장애물이나 상황을 명확하게 인지하기 위해서 노면에 충분한 조도가 입사되어야 하고 음영이 지지 않도록 균제도가 확보되어야 한다. 또한 조명기구의 부착 높이가 비

교적 낮아 보행자의 시야중심 부근에 빛이 조사되기 쉬우므로 눈부심에 의한 시각 기능 저하가 발생되지 않도록 조명기구를 선정해야 한다(참고문헌 [4]). 현재 보안등 관련 KS 기준에서는 조도 및 조도 균제도만을 제한하고 있으나 국내 도로 특성 상 보안등이 보행자 뿐 만 아니라 운전자를 위한 조명 기능을 겸하고 있기 때문에 안전사고 예방을 위해 눈부심 평가가 고려되어야 한다. 그리고 2012년 2월 1일 환경부에서는 『인공조명에 의한 빛 공해 방지법』을 공포하여 ‘빛 방사허용기준’ 정할 계획에 있으며 이미 서울시에서는 빛 공해를 일으킬 수 있는 상향광속률(ULOR)을 제한하는 조례를 시행하고 있어 조명기구 제작 시 이에 대한 검토 역시 필요하다.

\* 주저자 : 한국광기술원 LED평가기술센터 연구원  
\*\* 교신저자 : 한국광기술원 LED평가기술센터 선임연구원  
Tel : 062-605-9365, Fax : 062-605-9369  
E-mail : chals@kopti.re.kr  
접수일자 : 2012년 3월 7일  
1차심사 : 2012년 3월 10일, 2차심사 : 2012년 3월 26일  
심사완료 : 2012년 3월 28일

보안등에 쓰이는 광원으로는 고압나트륨등(HPS)과 메탈할라이드등(MH), 그리고 LED 등이 있으며 HPS와 MH 같은 방전방식 등기구는 LED에 비해 높은 소비전력과 램프 제작공정 시 발생하는 유해물질 그리고 배광 분포 조절이 용이하지 않은 단점이 있어 점차 LED로 대체되어 가고 있는 추세이다. 하지만 다른 광원에 비해 작은 면적의 발광부를 가진 LED 소자는 휘도가 높아 눈부심이 생기는데 이를 해결하기 위한 방안으로 확산판, 반사판, 렌즈를 사용한다. 확산판을 사용할 경우 낮은 투과율로 인해 조명기구의 광량 감소가 수반되며 배광분포가 램버시안 타입으로 고정되어 있어 노면의 폭보다 길이가 긴 실외환경에서는 조도균제도가 좋지 않아 특별한 경우 외에는 쓰이지 않으며, 조명기구 내부에 반사판을 장착할 경우 방열을 위한 Heat Sink와 조합해야 하므로 설계상의 난점이 있다. 가장 많이 쓰이는 렌즈의 경우에는 배광 분포가변이 상대적으로 용이하나 제조 단가가 비싸고 눈부심을 예방할 수 있는 조명기구에 의한 차폐각이 없는 단점이 있다.

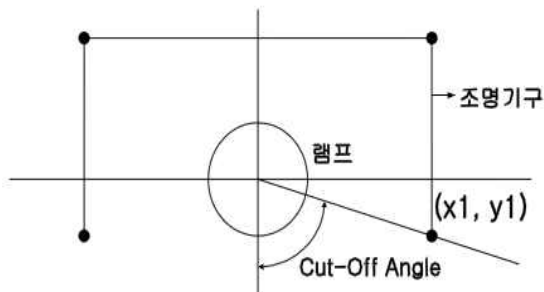


그림 1. Cut-off Angle과 시작점 (참고문헌 [5])  
Fig. 1. Cut-off Angle and Start point

표 1은 국내에서 판매중인 LED 보안등 제품을 배광기(Goniophotometer)를 활용하여 측정된 IES 파일을 조명환경 분석프로그램인 RELUX에 적용하여 계산한 시뮬레이션 결과이다. B·F·G社 제품은 기구 내부에 반사판을 사용한 제품이며, C·D社 제품은 LED 모듈 접합 각도를 가변하였고, 나머지 제품은 2차 렌즈를 사용하였다. 결과를 살펴보

면 조명기구에 의한 차폐각이 없는, 즉 개구각(Cut-off angle)이 90[°]인 LED 보안등의 경우 대체적으로 조도 균제도는 좋으나 불능글레이어 규제의 정도 수치(Threshold Increment)가 높아 눈부심이 있었으며, 개구각이 좁은 제품은 TI는 낮은 수치를 보여 상대적으로 눈부심이 적으나 조도 균제도는 좋지 않은 특성을 보였다.

표 1. LED 보안등 광학 특성  
Table 1. Optical property of LED pedestrian lighting

제조사	Cut-off Angle	TI	조도균제도
A 社	90[°]	12[%]	0.70
B 社	60[°]	6[%]	0.07
C 社	90[°]	11[%]	0.20
D 社	90[°]	7[%]	0.21
E 社	80[°]	11[%]	0.08
F 社	90[°]	9[%]	0.38
G 社	90[°]	11[%]	0.36
H 社	90[°]	11[%]	0.72
I 社	90[°]	22[%]	0.16

### 1.2 연구의 목적 및 방법

따라서 본 논문에서는 TI 수치를 낮출 수 있도록 반사판을 LED 모듈과 별도로 분리하여 광원의 조사 방향이 노면이 아닌 하늘로 향하게 하여 넓은 면적을 가진 반사판을 맞고 다시 입사 면으로 향하도록 설계하였으며, 조도 균제도를 확보하기 위해 반사판의 형상을 달리해 가며 적절한 반사판 형태를 선정하였다.

그리고 최적 조건을 찾기 위해 반사판의 곡률 및 반사판과 LED 모듈과의 거리를 가변 해 가며 노면에서의 평균조도, 조도균제도 변화를 살펴보았으며, ULOR을 검토하였다. 다음 표 2는 본 연구의 분석 방법 및 절차를 간단히 나타낸 것이다.

표 2. 연구 분석 방법 및 절차  
Table 2. Analysis methods and procedures for research

반사판 형상 가변	
- LightTools를 이용해 반사판 형상 설계 - 각 형상 별로 배광분포 변화 고찰 - 적절한 반사판 형상 선정	
곡률 변경 가변	반사판과 LED모듈의 간격 가변
- 전광선속 비교 - ULOR & DLOR 비교를 통한 효율 비교 - Photometric Centre를 이용한 평균조도 및 조도균제도 비교	- 전광선속 비교 - ULOR & DLOR 비교를 통한 효율 비교 - Photometric Centre를 이용한 평균조도 및 조도균제도 비교
Relux 시뮬레이션 (KS C 7658조건)	
-노면에서의 조도, 조도균제도, TI 평가	

## 2. 불능글레어(Disability Glare)

불능글레어에 의한 시각 저하를 수치적으로 계산할 수 방법이 이미 규명되어 있으며 그것에는  $L_{sec}$ , TI가 있다. 두 수치는 상수에 의한 비례관계에 있으므로 본 논문에서는 TI에 대해서 살펴보았으며 계산식은 수식 (1)과 같다.

$$TI = \frac{k \cdot E_c}{L_{av}^{0.80} \cdot \theta^2} \quad (1)$$

도로의 종류 및 환경에 따라 다르긴 하나 조명 시설의 TI는 10[%] 이하가 되는 것을 권고하고 있으며, Relux 시뮬레이션 툴을 이용해 편리하게 계산할 수 있다.

## 3. 반사판 설계

### 3.1 반사판 형상에 따른 배광분포 변화

반사판 형상에 따른 배광분포 변화를 보기 위해서

광학 설계 프로그램인 LightTools를 이용하여 시뮬레이션 하였다. 반사판의 크기는 바람의 영향과 추후 유지보수를 위해 가능한 작게 제작하는 것이 바람직하나 LED 모듈에서 나오는 ULOR을 최소화 할 수 있는 크기로 설정하였다. 반사율은 현재 시판중인 고효율 전자재의 반사율이 94[%] 수준이고, 반사율이 98[%]인 반사판이 개발되어 나오고 있는 상황을 감안하여 표 3과 같이 선택하였다. 본 논문에서 설계한 LED 보안등은 반사판에 의한 배광분포 변화를 고찰하는데 초점이 맞추어져 있으므로 LED 모듈 설계는 정사각형 형태의 비교적 단순한 구조로 설계하였다. 따라서 LED PKG의 지향각이 반영된 램버시안 형태의 배광분포를 보인다.

표 3. LightTools 7.2 시뮬레이션 조건  
Table 3. Simulation condition using LightTools 7.2

반사판	크기[mm]	1200×600
	반사율[%]	95
	흡수율[%]	5
	두께[mm]	2
	반사 방식	Specular
LED 모듈	크기[mm]	180×180
	재질	Aluminum
	LED PKG 수[개]	49
	반사율[%]	75
	흡수율[%]	25
LED PKG	반사 방식	Lambertian
	크기[mm]	5×5
	타입	SMD
	전광선속[lm]	120
	View Angle[°]	120
Total No. of Rays		10,000,000

LED 광 조사 방향은 방전 램프와 다르게 반구 형태로 발광하기 때문에 단순 곡면을 가진 반사판으로 목표 배광에 도달하기에 어려움이 따른다. 따라서 본 논문에서는 1개의 볼록 곡면과 2개의 오목 곡면의 복합 구조로 설계하였으며, 설계한 50[W]급 LED 모듈에서 처음 조사된 빛 중 볼록 곡면에 먼저 도달할 경우 확

산 반사가 되어 오목 곡면으로 향하게 되고 오목 곡면에 도달한 빛은 다시 노면으로 집광시키는 구조로 설계하였다.

표 4. 반사판 형태에 따른 배광분포  
Table 4. Luminous intensity distribution depending on the reflector shape

Shape	Figure	L.I.D
Without Reflector		
Flat		
Concave		
Convex		
Convex + Concave		

### 3.2 반사판 곡률 반경 가변

오목과 볼록의 복합 곡면의 곡률에 의해 배광분포 형태가 달라지므로 이에 대한 검토가 선행되어야 한다. 곡면의 휘어진 정도를 표현하는 곡률은 원의 경우 원주 상 어디에서도 일정하며 원의 반지름의 역수이고 이를 곡률 반경이라 한다. 이 곡률 반경을 가변 하여 배광 분포의 변화, 노면에 입사된 평균조도 및 조도 균제도, Downlight와 Uplight의 비율을 검토하였다. 곡률 반경 가변 범위는 600[mm]의 가로 길이를 가진 반사판에 포함되어야 하는 2개의 오목 면과 한 개의 볼록면을 만들 수 있는 최소의 곡률반경 100[mm]에서 최대 곡률반경 150[mm] 미만으로 정하였으며,

5[mm] 간격으로 곡률 반경을 변화 시켜 광학 특성을 살펴보았다.

본 논문에서 설계한 LED 보안등 모든 각도에서 동일한 배광분포를 보이는 램버시안 형태가 아니기 때문에 C=0[°] Plane과 C=90[°] Plane 모두에서 적절한 배광 분포를 보이는지 종합적으로 고려해야 한다. C=0[°] Plane의 배광분포를 나타낸 그림 2을 살펴보면 곡률 반경이 130[mm]인 지점에서 목표 배광에 근접 하면서 각도 별 광도가 가장 큰 값을 보였으나 그림 3의 C=90[°] Plane에서는 상대적으로 직하 방향에 광도가 집중된 배광형태를 보였으며 곡률 반경이 145[mm]일 때는 C=90[°] Plane에서 가장 빛이 넓게 퍼지며 중심광도가 낮고 C=0[°] Plane에서도 목표 배광에 가까운 형태를 띠고 있다. 따라서 곡률 반경이 145[mm]일 때가 가장 적절한 배광 분포를 보이고 있는 것으로 판단된다.

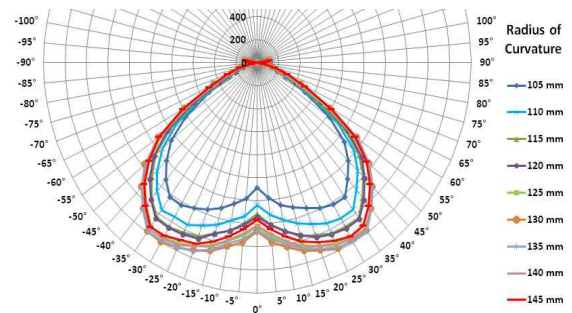


그림 2. 곡률 가변에 따른 배광분포(C=0[°] Plane)  
Fig. 2. Luminous intensity distribution depending on the different curvature(C=0[°] Plane)

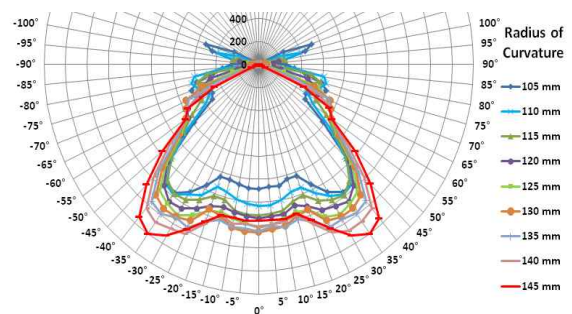


그림 3. 곡률 가변에 따른 배광분포(C=90[°] Plane)  
Fig. 3. Luminous intensity distribution depending on the different curvature(C=90[°] Plane)

이를 검증하기 위해 조명기구에서 나오는 전광선속 중 노면 방향으로 향하는 DLOR(Down Light Output Ratio)과 그 반대 방향으로 향하는 ULOR(Up Light Output Ratio)의 비율을 계산하여 곡률 반경과의 연관성을 살펴보았다. 그림 4를 살펴보면 곡률 반경이 증가할수록 유효 입사면 방향으로 진행되는 DLOR의 비율은 증가하고 빛 공해를 유발할 수 있는 방향으로 진행되는 ULOR의 비율은 감소하는 경향을 보였다. 이를 통해서 1개의 볼록 곡면과 2개의 오목 곡면이 포함된 반사판을 만들 수 있는 최대의 곡률 반경이 적합함을 알 수 있었다.

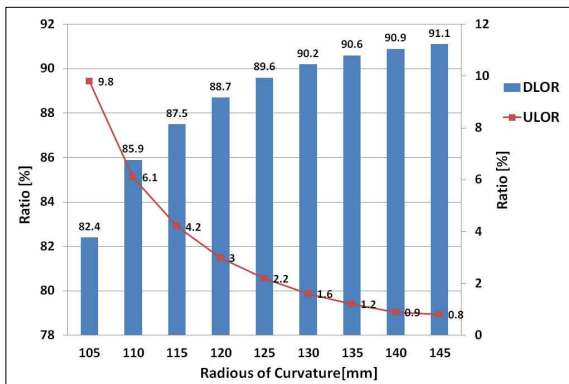


그림 4. 곡률 가변에 따른 DLOR 및 ULOR  
Fig. 4. DLOR and ULOR depending on the different curvature

배광 분포 및 DLOR의 비율은 조명기구 자체가 가지는 광학 특성을 나타낸 것으로 노면 방향으로 빛이 진행하더라도 실제 유효한 입사 면적 및 설치 환경에 따라 적절성 여부가 달라진다. 따라서 LED 보안등 설치 높이 및 적용 면적을 고려하여 평가하기 위해 KS C 7658에 제시된 LED 보안등의 보행자에 대한 조명 기준 분류를 참고하여 평균노면조도 및 조도 균제도를 살펴보았다. Photometric Centre를 이용하여 LED 보안등 설치 조건 높이가 6[m]일 때 16[m]×8[m]의 면적에서 시뮬레이션하였으며 추후 Relux 시뮬레이션과 비교 검증을 위해 Candela factor를 0.8로 설정하여 보수율을 대신하였다.

다음 그림 5는 Photometric 시뮬레이션 결과를 나타낸 것으로 평균노면조도는 곡률반경에 비례하여 증가

하였으며 조도 균제도는 곡률 반경이 135[mm]일 때 까지 서서히 감소하다가 그 이후로 증가하는 경향을 보였다. 평균노면조도가 최대가 되며 조도 균제도를 확보할 수 있는 곡률 반경 145[mm]를 가진 반사판이 적합한 것으로 사료된다.

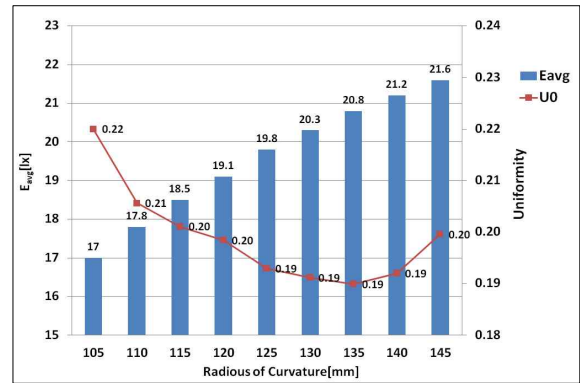


그림 5. 곡률 가변에 따른 평균노면조도 및 조도균제도  
Fig. 5. Average Illuminance and Illuminance uniformity depending on the different curvature

### 3.3 LED 모듈과 반사판 사이 간격 가변

곡률 반경이 증가할수록 배광분포 및 노면에서의 광학성능이 좋아짐을 확인하였으므로 최대 곡률 반경 149[mm] 선택하였으며 그 다음 과정으로 반사판과 LED 모듈과의 간격을 가변하였다. 앞 절과 마찬가지로 간격 가변에 따른 배광 분포 변화 및 LOR, 평균노면조도, 조도 균제도의 변화를 살펴보고 적절한 간격을 찾기 위한 시뮬레이션을 진행하였다. 최대 간격 범위 설정은 간격이 250[mm] 이상일 경우 전광선속 중 ULOR의 비율이 10[%]를 초과하기 때문에 그 이상은 무의미하여 10[mm]에서 250[mm]까지 10[mm]씩 간격을 증가시켜가며 시뮬레이션하였다.

그림 6을 살펴보면 C=0[°] Plane에서는 반사판과 LED 모듈사이의 거리가 30[mm]일 때 가장 적합한 배광 분포를 보였으나 그림 7의 C=90[°] Plane에서는 중심광도 쪽으로 매우 집중되는 형태를 보여 결과적으로 부적합한 배광 분포를 보이고 있다. 곡률 가변에 의한 배광분포 변화와 달리 간격 가변에 따른 배광 분

포 변화는 두드러진 경향성이 나타나지 않아 적합성 여부를 판단하기 쉽지 않기 때문에 ULOR과 DLOR의 비율 및 노면 평균 조도와 조도균제도 변화를 종합적으로 고려하는 방법을 택하였다.

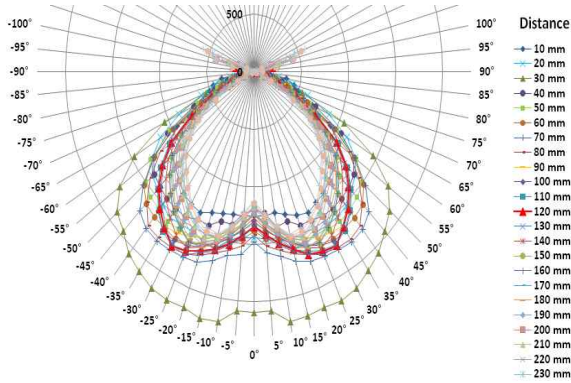


그림 6. 간격 가변에 따른 배광분포(C=0° Plane)  
Fig. 6. Luminous intensity distribution depending on the different distance(C=0° Plane)

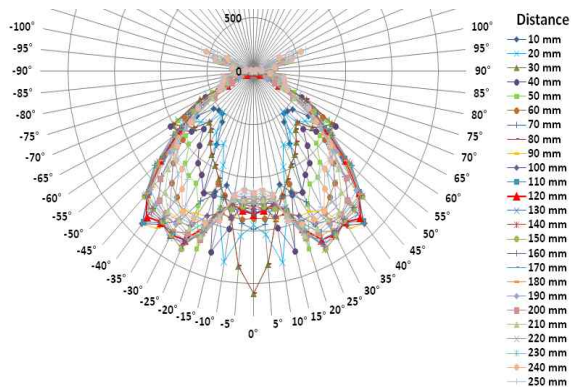


그림 7. 간격 가변에 따른 배광분포(C=90° Plane)  
Fig. 7. Luminous intensity distribution depending on the different distance(C=90° Plane)

DLOR은 간격이 120[mm]와 130[mm]일 때 91.7[%]로 가장 높은 비율을 보였으며 ULOR은 간격이 120[mm]일 때 까지 기울기가 1에 근접하였으며 130[mm] 이후로는 기울기가 2가 되며 1[%] 이상의 비율을 보였다.

평균 조도는 간격이 벌어질수록 증가하다 130[mm]일 때 21[lx]를 최고로 그 이후 간격이 멀어질수록 점차 감소하였다. 그리고 조도 균제도는 간격이 벌어질

수록 감소하다 간격 70[mm]를 기점으로 증가하는 경향을 보였다.

따라서 DLOR이 가장 높고 ULOR이 1[%] 미만이며, 노면 평균 조도가 최대가 되고 조도 균제도가 0.22가 되는 간격 120[mm]가 가장 적절한 것으로 판단된다.

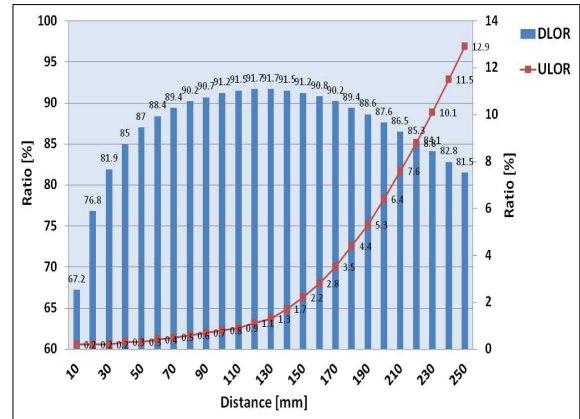


그림 8. 간격 가변에 따른 DLOR 및 ULOR  
Fig. 8. DLOR and ULOR depending on the different distance

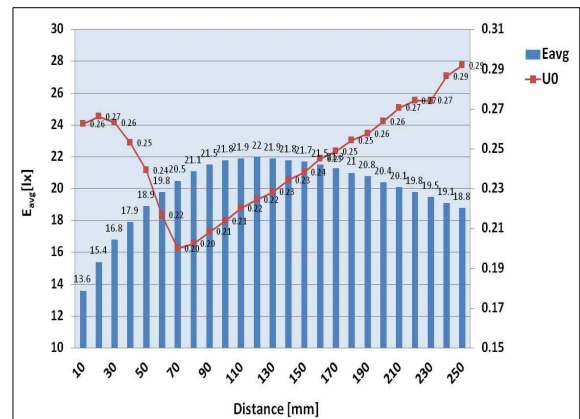


그림 9. 간격가변에 따른 평균노면조도 및 조도균제도  
Fig. 9. Average Illuminance and Illuminance uniformity depending on the different distance

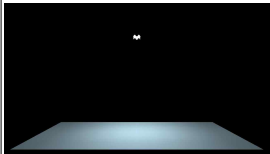
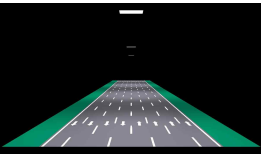
### 3.4 RELUX 시뮬레이션을 통한 검증

앞 절의 결과를 통해 반사판은 오목과 볼록의 복합 곡면의 곡률 반경이 149[mm]이며 LED 모듈과의 간

격을 120[mm]로 설정하였을 때 적합함을 확인하였다. IES 파일을 이용해 광학 특성을 살펴본 결과 전광선속은 5,479[lm]이며 컨버터를 포함하지 않은 소비전력 49[W]를 적용시켰을 때 광효율은 112[lm/W]임을 확인하였다. 위 조건 및 광학 특성 데이터로 LightTools 시뮬레이션을 하여 얻어진 IES 파일을 Relux를 이용해 LED 보안등이 설치되는 환경을 재현하여 노면에서의 광학 성능 및 TI 수치를 확인하였다. 앞서 살펴본 바와 같이 KS C 7658에 제시된 LED 보안등 설치 조건은 보안등 1개를 기준으로 한 것이므로 조명기구가 연속 배열된 상태에서 계산하는 TI 수치를 확인하기 위해서는 시뮬레이션 조건을 다르게 하였다.

두 시뮬레이션 조건 모두 LED 보안등의 설치 높이는 KS C 7658에 명시된 조건 중 가장 높은 위치로 설정하였으며, 실제 LED의 보수율 계산을 위해서 필요한 Factor를 시뮬레이션만으로 계산하기 어렵기 때문에 LED 조명의 광속감소율을 고려하여 보수율은 0.8로 선택하였다. TI 수치계산을 위한 시뮬레이션 설정시 한 쪽 배열에 암 길이 4[m]를 택한 이유는 KS C 7658과 마찬가지로 조명기구가 노면 폭의 정중앙에 위치할 수 있도록 하기 위해서이다.

표 5. RELUX 시뮬레이션 조건 및 결과  
Table 5. Condition and result of simulation using RELUX

구분	조도 시뮬레이션	TI 시뮬레이션
이미지		
조건	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 설치높이 : 6[m]</li> <li>- 적용면적 : 16[m] × 8[m]</li> <li>- 보수율 : 0.8</li> <li>- Tilt : 0[°]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 설치높이 : 6[m]</li> <li>- 노면 폭 : 8[m]</li> <li>- 설치 간격 : 16[m]</li> <li>- 배열 : 중앙</li> <li>- 보수율 : 0.8</li> <li>- Tilt : 0[°]</li> </ul>
결과	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 평균노면조도 : 22[lx]</li> <li>- 조도균제도(U0) : 0.23</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- TI : 7[%]</li> </ul>

시뮬레이션 결과 KS C 7658에 제시된 보행자에 대한 조명 기준 중 제한치가 가장 높은 ‘교통량이 많은 도로를 가진 상업 지역’에 적합한 평균노면조도 및 조도 균제도를 나타내었으며, TI 수치의 경우 역시 KS A 3701에서 제한하고 있는 10[%] 범위 안에 속하는 값을 보였다.

#### 4. 결 론

본 논문에서는 조도 균제도 향상 및 불능글래어 감소를 위해 간접 반사 방식의 LED 보안등용 반사판을 설계하였다. 기존 보안등의 광원으로 사용되었던 MH와 HPS와 같이 4 φ방향으로 빛이 조사되는 램프의 경우 단순 오목 곡면으로 불능글래어 차단 및 조도 균제도 향상을 취할 수 있으나 2 φ 방향으로 빛이 조사되는 LED 광원은 복합 곡면을 사용하여 함을 확인할 수 있었다. 이 경우 복합 곡면의 곡률 반경 및 LED 모듈과 반사판 사이 간격에 의해 배광 분포가 변화하기 때문에 최적의 조건을 확인할 필요성이 있었다. 또한 실제 LED 보안등이 사용되는 환경을 재현하여 이를 검증하였으며 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 반사판 곡면의 곡률 반경 및 LED 모듈과 반사판 사이의 간격을 변화 시켜 본 결과 곡률 반경 149[mm], 간격 120[mm]일 때 평균 조도·DLOR이 최대였으며, 적절한 수준의 ULOR과 조도 균제도를 확보할 수 있었다
2. 상대적으로 저렴한 반사판과 구조가 단순한 LED 모듈만을 사용하여 설계한 LED 보안등으로 KS의 조명 기준을 만족함과 동시에 TI 수치를 낮출 수 있어 LED 보안등의 본래 목적인 보행자 및 운전자의 안전이 확보될 것으로 예상된다.
3. 본 결과는 시뮬레이션 툴을 이용해 획득한 것이며 추후 실제 반사판을 제작하여 이를 검증할 예정이다.

## References

- [1] Illuminating Engineering Society of North America, The IESNA Lighting Handbook Reference & Application, 9th ed., New York, Chapter 11, Chapter 21, 2000.
- [2] Commission Internationale de L'éclairage, CIE 140. Road Lighting Calculation, 2000.
- [3] 조재흥 · 장수 · 황보창권 · 조두진, 광학, 제 4판, 두양사, pp 219-230, 2008.
- [4] 조계술 · 양준석 · 서범관, 조명핸드북, 성안당, pp. 45-48, pp 210-213, 2009.
- [5] 김 훈 · 김기훈, 반사판 광학형상 설계 기술, 한국조명전기설비학회논문지, 제15권 제5호, 2001. 10.
- [6] 기술표준원, KS C 7658. LED 가로등 및 보안등기구, 2011.
- [7] 기술표준원, KS A 3701. 도로조명기준, 2007.

## ◇ 저자소개 ◇



### 채성기(蔡成基)

1982년 2월 14일생. 2010년 전남대 전기공학과 졸업. 2012년 전남대 전기공학과 광원및조명시스템 전공 졸업(석사). 현재 한국광기술원 LED평가기술센터 연구원 재직.



### 정동환(丁東煥)

1986년 11월 21일생. 현재 한국광기술원 LED평가기술센터 연구원 재직(LED 조명 실증 인프라 구축 사업).



### 이윤철(李玠徹)

1976년 8월 6일생. 현재 한국광기술원 LED평가기술센터 선임연구원 재직.(LED 표준화, LED 조명 실증 인프라 구축 사업)