

## HID 램프용 반사각의 3차원 설계법 개발

(The Development of 3 Dimensional Reflector Design Method for HID Lamps)

김진우\* · 박중환 · 김진구 · 김 훈

(Jin - Woo Kim · Jong - Hwan Park · Jin - Gu Kim · Hoon Kim)

### 요 약

기존의 2차원 설계법을 이용하여 3차원 압출성형 HID 경면 반사판 형상 설계에 적용할 수 있는 3차원 설계법을 개발하였다. 이 설계법을 적용하여 터널용 HID 조명기구의 반사판 형상을 설계하고 그 성능을 예측하였다.

### Abstract

Using previous two-dimensional reflector design method, the three-dimensional reflector design method is developed for extrusion molding HID specular reflector optical design. Using this method, a HID reflector for tunnel was developed and estimated its performance.

Key Words : extrusion molding, reflector, three-dimensional, tunnel, the aimed luminous intensity, uniformity

### 1. 서 론

국내에서 사용해 오던 반사각의 설계법은 대개 2차원 설계법에 머물러 있다고 해도 과언이 아니다. 대표적인 2차원 설계법으로는 SpeROD II를 들 수 있는데 이것은 출력광도는 반사각 segment의 입체각이 증가함에 따라 반사각 segment가 램프의 전체상을 가지기 전까지 증가하다가, 램프의 전체상을 가지게 되는 입체각 이상이 되면 더 이상 증가하지 않는다는 것을 기본원리로 하여 반사각을 설계하는 것이다[1][2].

이와 같은 2차원 설계법은 정해진 한 방향에 대해

서는 원하는 설계법을 얻을 수 있겠지만 그 이외의 방향에 대해서는 우리가 원하는 설계법을 얻을 수 없는 것은 당연하다고 하겠다.

이에 지금까지의 반사각 설계법을 기반으로 하여 새로운 3차원 설계법을 제시, 원하는 조명환경에 적합한 반사각을 설계하고자 한다.

### 2. 목표 조도의 설정

#### 2.1 조명환경의 설정

2차원 설계법으로 설계되어진 반사판의 대표적인 용도는 터널용 조명기구라고 할 수 있다. 지금까지의 터널용 등기구는 도로 폭을 기준으로 하여 이 방향의 반사판을 설계한 후, 이를 램프 길이에 적당한 만큼 길게 늘이는 방법으로 설계되었다. 하지만 도로 길이 방향을 무시한 까닭으로 인해 야간에 조명기구의 격등 점등 시 나타나는 도로표면의 얼룩을

\* 주저자 : 강원대학교 전기공학과 석사과정  
Tel : 033-250-6290, Fax : 033-241-3775  
E-mail : idiotcok@kwnu.kangwon.ac.kr  
접수일자 : 2003년 1월20일  
1차심사 : 2003년 1월24일  
심사완료 : 2003년 3월14일

## HID 램프용 반사각의 3차원 설계법 개발

피할 수 없었다. 이를 개선하는 방법으로, 또 3차원 설계법의 효용성을 입증하는 방법으로 터널의 조명 환경을 택하여 이를 개선하는 방향으로 3차원 반사판 설계법을 설명해 나가기로 하겠다.

터널의 조명환경은 우선 4차로를 기준으로 하고, 등기구의 설치높이 및 배열은 6.5[m], 2열로 한다. 또한 등기구의 설치 간격은 5.5[m]로 하며, 이로 인해 적등 점등 시의 설치 간격은 11[m]가 되도록 한다.

### 2.2 목표 조도 및 배광 설정

터널내 도로 표면의 목표조도를 구함으로써 원하는 목표 배광을 만들어 낼 수 있다. 목표조도는 일정한 간격의 grid를 표면위에 그린 후, grid상의 각 point에 조도값을 설정함으로써 구할 수 있으며 이때 각 point 상의 조도값 레벨은 KS의 도로조명기준에 따라 종합균제도  $U_0$ , 차선축 균제도  $U_1$ 를 고려하여 설정한다. 이는 전체 요구되어지는 광속과 직결되는 문제이므로 이 과정에서는 세심한 주의가 필요하다.

이렇게 구한 목표조도를 램프 중심을 기준으로 5도간격의 방사선을 그린 후 총 72개의 구역으로 나누어 각각의 구역의 면적과 그 구역에 필요한 광속을 구하게 된다. 광속은 조도와 면적의 곱으로 나타난다.

또한 각 방향 방사선 상의 조도를 구하여 0도, 45도, 90도, 135도, 180도, 225도, 270도, 315도의 목표배광을 구한다. 목표배광은 거리의 역 제곱 법칙으로 구할 수 있다.

$$E = \frac{I_{\theta}}{r^2} \cos \theta \quad (1)$$

$$I_{\theta} = \frac{E \cdot r^2}{\cos \theta} \quad (2)$$

위 식을 이용하여 각 방향의 목표 광도 값을 구하게 된다. 본 논문에서는 좀 더 정확한 형태의 반사각을 만들어내기 위해 5°간격의 방사선 상의 광도값을 Lagrange interpolation을 사용하여 산출했다[3].

그림 1부터 그림 4는 0, 90, 180, 270도의 각 방향 목표 배광곡선을 나타낸다.

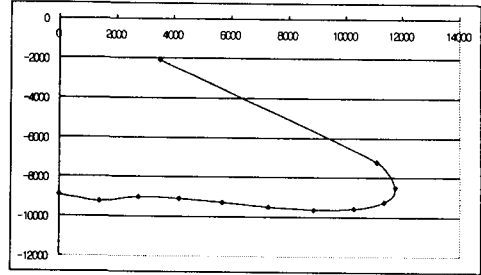


그림 1.  $\nu=0$  에서의 목표 배광  
Fig. 1. The proposed candela distribution of  $\nu=0$

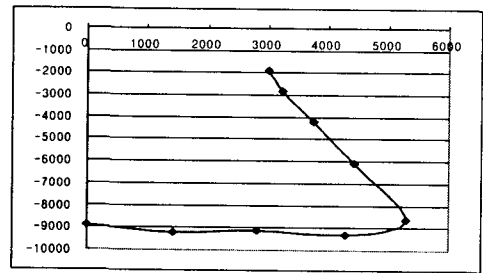


그림 2.  $\nu=90$  에서의 목표 배광  
Fig. 2. The proposed candela distribution of  $\nu=90$

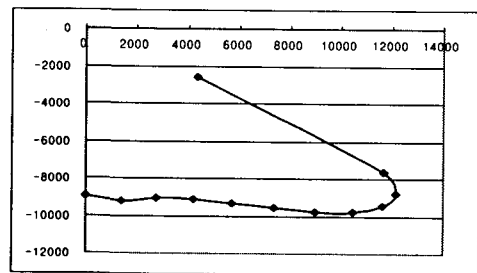


그림 3.  $\nu=180$  에서의 목표 배광  
Fig. 3. The proposed candela distribution of  $\nu=180$

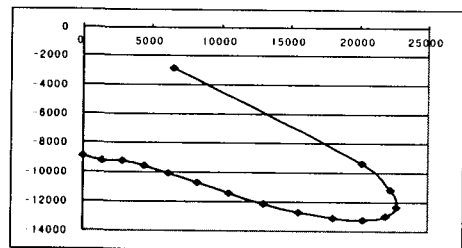


그림 4.  $\nu=270$  에서의 목표 배광  
Fig. 4. The proposed candela distribution of  $\nu=270$

### 2.3 $\gamma, \delta$ 의 산출

앞의 과정에서 우리는 5도 간격으로 나누어진 각 방향의 필요 광속을 계산할 수가 있었다. 이를 바탕으로 반사판 개구부의 segment의 크기와 램프에 대해 기울어진 각도를 계산하게 된다[4].

램프가 놓여진 베이스 부분을  $\gamma=0^\circ$  로 설정하고 각 방향으로 반사되어야 할 요구광속에 관한 표를 만든다.

여기서 400[W] 램프에 대한 광속은 배광 예측 소프트웨어인 포토피아 ver 1.5를 사용하여 bare lamp의 각 방향 광도를 구한 후에 여기에 구대계수를 곱하는 방법으로 5도 간격의 광속 값을 계산한 것이다.

필요한 요구 광속은 과정 2.2에서 구해진 요구광속에서 bare lamp의 직사광속을 빼준 값이 된다.

$\delta$  는 ray의 반사각이 되며,  $\gamma$  는 입사각이 된다.

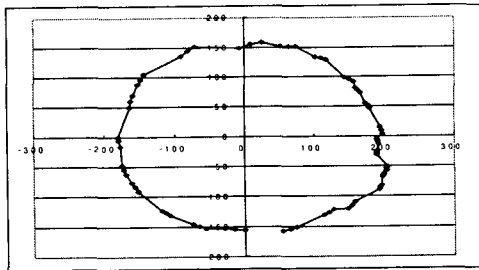


그림 5.  $\gamma, \delta$  로 계산되어진 반사판 개구부 모양  
Fig. 5. An opening shape calculated for each  $\gamma, \delta$

### 3. 반사판 각 방향 단면의 설계

지금까지 우리는  $\gamma, \delta$  를 산출함으로써 5도 간격으로 나누어진 각 구간별 필요 광속과 원점에 대해 각 구간이 기울어진 각도, 크기를 구할 수가 있었다[4].

이를 바탕으로 각 방향의 반사각 단면들을 설계해 나간다. 편의를 위해 여기서의 반사광의 입사각은  $\alpha$ , 반사각은  $\beta$  라고 칭한다. 반사판 각 방향 단면의 설계는 2장에서 설명하였던  $\delta, \gamma$  쌍에 대해 수평방향 단면을 구하는 방법과 동일하며  $\delta, \gamma$  가 수평각에 대한 설계라면  $\alpha, \beta$  의 설계는 수직각에 대한 설계라고 할 수 있겠다.

조명 · 전기설비학회논문지 제17권 제2호, 2003년 3월

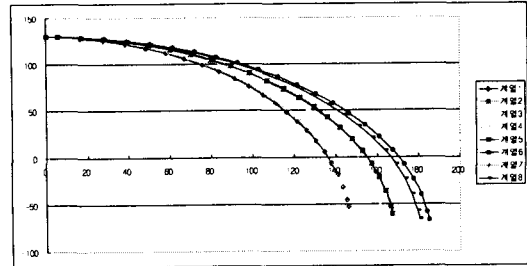


그림 6. 반사판 각 방향별 단면 모양(계열 1부터 0°에서 315°까지 45° 등간격 단면)  
Fig. 6. Shape of reflector cross-section for each direction

여기에서 필요한 광속값은 목표조도로부터 산출한 각 방향 목표 배광값에 각 입체각을 곱한 값에서 램프로부터의 직사 광속을 뺀 값이 되며, 차후 반사판 세그먼트의 연결을 용이하게 하게 위해 여기서는 반사 세그먼트의 크기를 결정하는  $\alpha$  는 등간격으로 나누고  $\beta$  를 반사판에 의해 반사되어지는 광속값과 필요 광속값 간의 비교로 그 크기를 결정한다.

그림 7은 이렇게 결정한 각 방향의 반사각 단면의 각 방향 모양을 보여주고 있다.

### 4. 반사각 형태의 완성

반사판 형태의 최종 형태는 지금까지 구한 수평각에 대한 설계인  $\gamma, \delta$ , 수직각에 대한 설계인  $\alpha, \beta$  의 조합으로 이루어진다. 각 값을 구함으로써 반사판 세그먼트의 좌표를 구할 수 있으며 이 좌표들을 연결하여 반사판의 형태를 만들어 낼 수가 있다.

그림 7은 완성된 터널용 반사판의 모양을 나타내고 있다. 수평 360°를 5°간격으로 나누어 각각의 수직각에 대한 설계인  $\alpha, \beta$  를 구하고 이를 연결한 것이다.

#### 4.1 포토피아 ver1.5 시뮬레이션 결과

설계된 반사각의 성능을 평가하기 위해 배광 예측 소프트웨어인 포토피아를 이용하여 배광을 살펴 보았다. 그림 8은 포토피아 시뮬레이션 결과 배광 분포를 나타낸다.

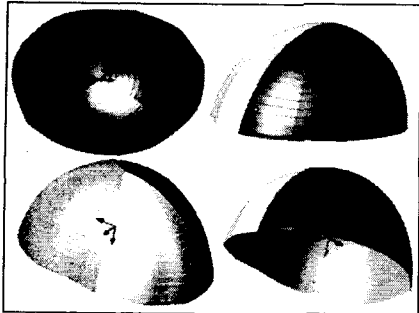


그림 7. 완성된 반사갓의 각 방향 겨냥도  
Fig. 7. Aim view of completed reflector shape

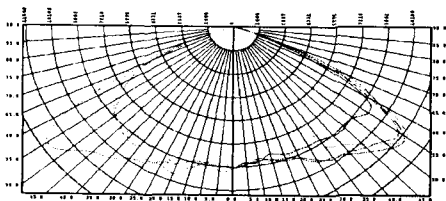


그림 8. 포토피아 시뮬레이션 결과 배광 분포  
Fig. 8. The resulted candela distribution by Photopia simulation

#### 4.2 루멘마이크로 시뮬레이션 결과

설정한 조명 환경인 터널에서 설계된 반사갓의 성능을 알아보기 위해 조명환경에서의 원하는 면에 대한 조도를 시뮬레이션 할 수 있는 루멘마이크로를 사용함으로써 반사갓 설치시 바닥면의 조도치를 알아 볼 수 있었다. 여기서 LLF(lamp loss factor)는

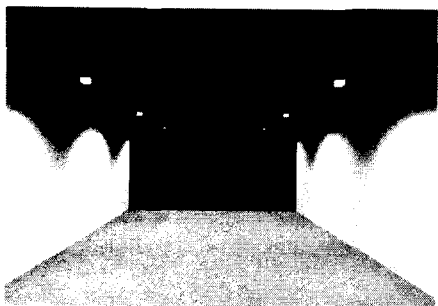


그림 9. 루멘마이크로 렌더링 결과  
Fig. 9. Simulation result from Lumen-micro

0.8로 설정하였으며, 그 외의 설치 조건은 앞에서 언급한 실제 터널내 조명환경과 일치 시켰다. 그림 9와

그림 10은 각각 루멘마이크로 시뮬레이션 결과 중 렌더링 결과와 터널 바닥면의 등조도 곡선을 나타낸다. 이 결과 터널 도로의 전반 균제도가 0.75정도의 값이 나옴을 알 수 있다.

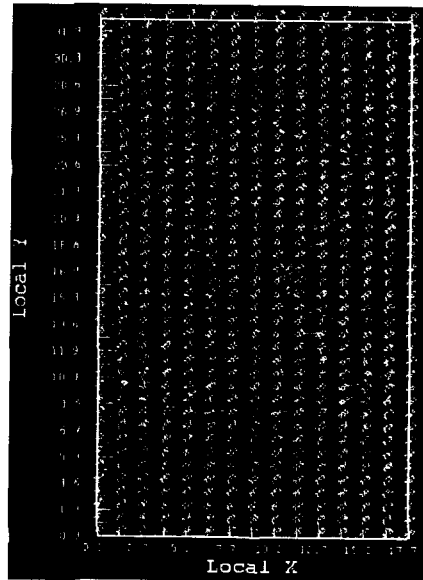


그림 10. 터널 바닥면의 등조도 곡선  
Fig. 10. Iso-lux diagram of road surface in tunnel

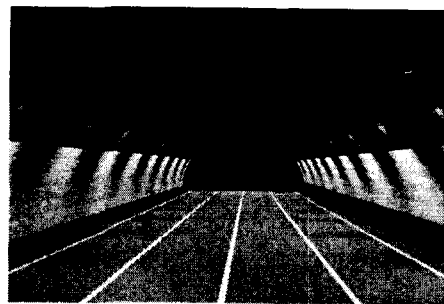


그림 11. 라이트 스케이프 시뮬레이션 결과  
Fig. 11. Simulation result from Light-scape

더 상세한 시뮬레이션 결과를 알아보기 위해 실제 터널내 조명환경과 같은 조건을 시뮬레이션 할 수 있는 라이트 스케이프를 이용하여 시뮬레이션 해 보았으며(그림 11), 그 결과 루멘마이크로 실행시의 결과 값과 유사한 결과를 얻어 낼 수 있었다. 벽면에 얼룩지는 것은 차단각의 조절로 개선가능하다.

## 5. 결 론

앞에서도 언급했듯이 지금까지의 반사각의 2차원 설계법으로는 실제 조명환경에서는 충분한 성능을 주지 못한다. 조명환경이라는 것은 다양하며 그에 맞는 설계법 또한 다양해져야 한다. 본 논문에서는 그런 반사각의 설계법 중 조명환경에 가장 충실히 그 성능을 발휘할 수 있는 설계법인 3차원 설계법에 대한 한가지 알고리즘을 담고 있다. 아직은 완성된 반사각의 형태가 실제 제작이 가능한가에 대한 문제를 안고 있다고 할 수 있지만, 이것은 3차원 설계법에 대한 앞으로의 더 충실한 연구가 있을 때 충분히 개선되어질 수 있는 문제다.

## References

- [1] Jae-san Hwang, "Development of Specular Reflector Design Algorithm and Design Tool", Thesis of Master Kangwon National Univ. Graduate School, 2001.
- [2] Nam-keuk Hwang, "Development of Three Dimensional Specular Reflector Design Algorithm", Thesis of Master Kangwon National Univ. Graduate School, 2002.
- [3] William B Elmer, "The Optical Design of Reflectors", TLA Lighting Consultants, Inc, Salem, Ma, 1989.
- [4] Joseph B. Murdoch "Illumination Engineering From Edison's Lamp to the Laser", Macmillan Publishing Company, 1985.

## ◇ 저자소개 ◇

### 김진우 (金振禹)

1976년 9월 23일생. 2002년 강원대 공대 전기공학과 졸. 현재 강원대 전기공학과 대학원.

### 박종환 (朴鍾煥)

1975년 1월 12일생. 2002년 강원대 공대 전기공학과 졸. 현재 강원대 전기공학과 대학원.

### 김진구 (金振龜)

1953년 6월 16일생. 1992년 서울산업대학 전기공학과 졸. 1995년 연세대학교 산업대학원 전기공학과 졸. 현재 강원대학교 대학원 전기공학과 박사과정, 서울정수기능대학 전기과 부교수.

### 김훈 (金 爨)

1958년 8월 6일생. 1981년 서울대 공대 전기공학과 졸. 1993년 서울대 대학원 전기공학과(석사). 1988년 서울대 대학원 전기공학과(박사). 1993년 호주 국립대학 방문 교수. 현재 강원대 공대 전기전자정보통신공학부 교수. 당학회 총무 이사.