

# 반사 배광과 램프에 의한 반사광 흡수를 고려한 경면반사판 설계 알고리즘 개발

(Development of Specular Reflector Design Algorithm Considering Reflected Light Distribution and Light Absorption by Lamp)

황재산\* · 이정욱\*\* · 김기훈\*\*\* · 김 훈\*\*\*\*

(Jae-san Hwang · Jung-Wook Lee · Gi-Hoon Kim · Hoon Kim)

## 요 약

기구 배광이 전체적인 조명환경에 미치는 영향은 크며, 기구배광은 반사판, 프리즘 설계 등으로 구현된다. 램프의 물리적 크기는 기구설계에 큰 영향을 미치기 때문에 램프에 의한 배광의 변화와 램프로 흡수되는 빛을 고려하여 기구를 설계하여야 한다. 기존의 반사판 설계 알고리즘의 경우 램프의 물리적인 크기를 고려하지 않았으며, 기구배광의 출력값도 몇몇의 경우에는 오차가 발생하였다. 이에 본 논문에서는 램프의 크기를 고려한 반사판 설계 알고리즘을 개발, 구현하여 이전의 기구설계 알고리즘이 가지고 있던 오차를 줄였으며 좋은 성과를 얻었다.

## Abstract

This topic is about the development of a 2-dimensional specular reflector design aid software. For a long and cylindrical shaped lamp with perfect diffusing surface, direction and quantity of reflected light flux from a specular reflector strip can be calculated considering reabsorption by the lamp itself.

Assuming a reflector as a combination of several strip segments, the reflected flux is calculated as position, length and declination of each segment are determined. At each step, calculated reflected flux distribution and desired flux distribution is compared graphically and numerically, so that most optimized and efficient reflector shape can be decided by the designer.

We think that this software would be useful for designing reflectors for relatively long light sources, such as fluorescent lamp, tubular high pressure sodium lamp, low pressure sodium lamp, and so on.

\*정회원 : 강원대학교원 전기전자정보통신공학부 석사과정  
\*\*정회원 : 강원대학교원 전기전자정보통신공학부 석사과정  
\*\*\*정회원 : 강원대학교원 전기전자정보통신공학부 박사과정  
\*\*\*\*정회원 : 강원대학교원 전기전자정보통신공학부 교수  
접수일자 : 2000년 11월 23일

## 1. 서 론

삶의 질 향상과 에너지 절감에 대한 관심의 증가로 우수한 조명 환경에 대한 요구가 발생하고 있으며, 그러한 요구에 만족하기 위하여 바른 기구 설계

가 이루어져야한다. 또 바른 기구설계를 위해서는 기구설계 알고리즘이나, 그것을 이용한 기구설계 툴들이 있어야 한다.

본 논문에서는 기존의 반사판 설계 알고리즘(SpeROD I)과 새로이 개발된 알고리즘(SpeROD II)을 비교 평가하여 개선된 점을 소개하고, 이러한 알고리즘을 사용하여 구현된 반사판 설계 툴(CARD)을 소개하고자 한다.

## 2. 본 론

### 2.1 전체

1) 램프의 단면은 원인 관형의 램프이며, 램프의 표면은 완전 확산면으로 가정한다.

따라서,

$$I_0 = \frac{F}{\pi^2} \quad (\text{식 2.1})$$

F: 램프광속  $I_0$ : 램프의 최고 광도 [5]

이며, 여기서 램프면은 완전확산면이기 때문에 휘도 L은 일정하다. 따라서

$$I_\phi = L \times S' \quad (\text{식 2.2})$$

이다.

$S'$ : 결보기 면적  $I_\phi$ : 각  $\phi$ 에서의 광도 [2]

2) 반사판은 그 재질 및 마감에 따라 결정되는 반사율을 가지며, 정반사를 한다.

### 2.2 SpeROD I 과 SpeROD II 에 대한 기본원리

#### 2.2.1 SpeROD I

SpeROD I 의 경우는 반사판 세그먼트의 중심각을 기준으로 출력각을 구하였으며, 반사광 광도의 크기는 입체각과 비례하도록 설계되었다.

#### 2.2.2 SpeROD II

그림 2.3은 SpeROD II의 기본 원리를 설명하는 그림이다. 광도를 측정할 수 있는 관찰자의 위치와 램프 사이에 구멍이 뚫린 막을 설치한다고 가정한다. 램프

는 관찰자의 위치에서 광도로 측정된다.

막의 구멍이 특정한 입체각을 가지고 있다고 가정하고, 관찰자의 위치를 위쪽과 아래쪽으로 이동시켜 보자, 이럴 경우 관찰자는 그림 2.4와 같이 일정한 범위에서 램프의 광도를 측정할 수 있을 것이다.

구멍의 크기가 증가할 경우 관찰자 위치에서의 광도는 그림 2.5와 같이 구멍이 램프의 상을 모두 포함하기 전까지는 증가할 것이다. 그러나 램프의 상을 모두 포함한 이후에는 더 이상 광도값이 증가하지 않을 것이다.

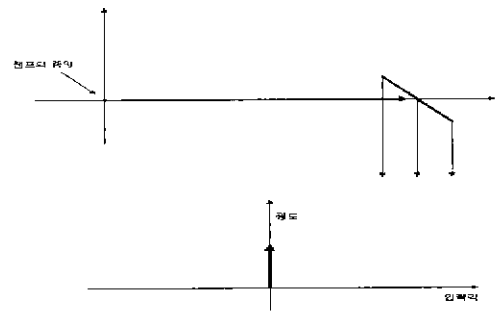


그림 2.1 SpeROD I 의 출력각도와 출력광도  
Fig. 2.1 Relation between output degree and output luminous intensity of SpeROD I

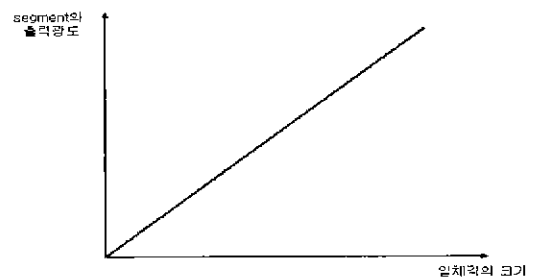


그림 2.2 SpeROD I 의 출력광도와 반사판 Segment의 입체각  
Fig. 2.2 Relation between solid angle and output luminous intensity of SpeROD I

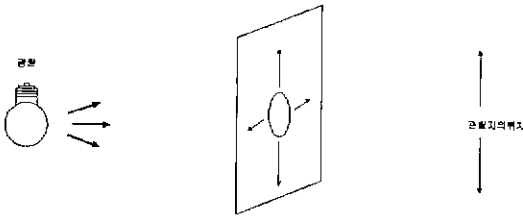


그림 2.3 SpeROD II의 기본 원리  
Fig. 2.3 Basic principle of SpeROD II

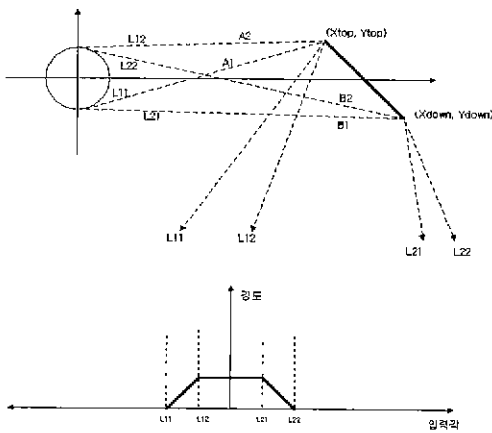


그림 2.4 SpeROD II의 출력각도와 출력광도  
Fig. 2.4 Relation between output degree and output luminous intensity of SpeROD II

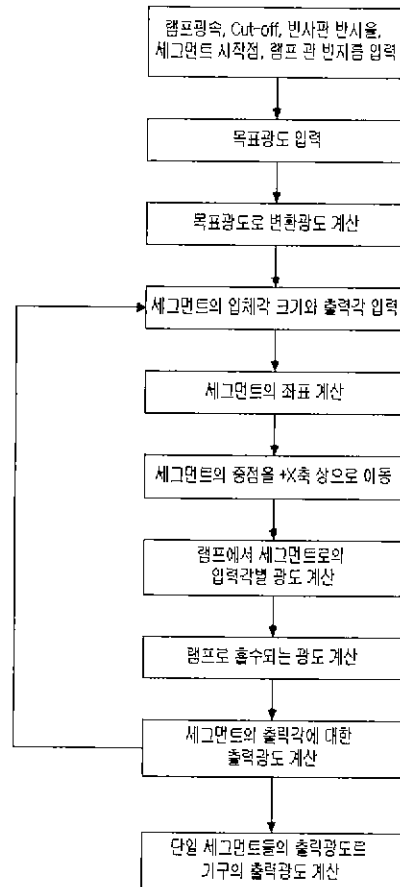


그림 2.6 SpeROD II의 순서도  
Fig. 2.6 Flowchart of the SpeROD II

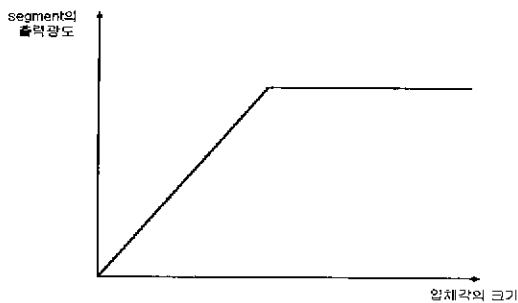


그림 2.5 SpeROD II의 출력광도와 반사판 Segment의 입체각  
Fig. 2.5 Relation between solid angle and output luminous intensity of SpeROD II

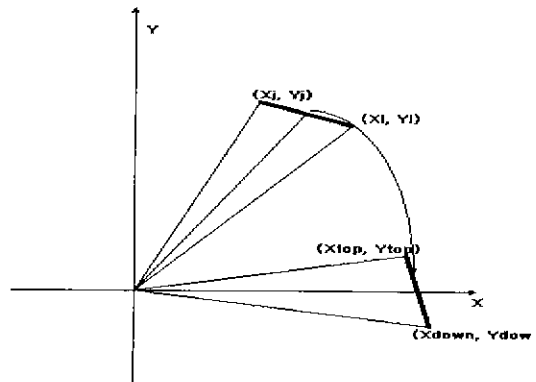


그림 2.7 세그먼트의 +X축상으로 이동  
Fig. 2.7 Shift of segment coordinates to X axis

### 2.3 SpeROD II의 세부사항

그림 2.6은 SpeROD II의 계산과정을 나타낸 순서도이다.

#### 2.3.1 세그먼트 중심점의 +X축상으로 이동

SpeROD II는 반사판의 각 세그먼트를 +X축으로 이동하여 반사광을 계산한다.

이렇게 세그먼트를 이동하는 이유는 계산의 단순화를 위해서이다.

#### 2.3.2 변환 광도

설계자가 목표로 하는 광도와 램프, 반사판 반사율, 기구 구조 등에 의해서 결정될 광도는 차이를 가지게 된다. 따라서 목표 광도를 실제 기구를 제작하였을 경우에 예상되는 광도로 바꾸어줄 필요가 있다.

$$\text{변환광도} = \text{변환계수} \times \text{목표광도} \quad (\text{식 2.3})$$

$$\text{변환계수} = \frac{\text{목표예상광속}}{\text{목표광속}} \quad (\text{식 2.4})$$

$$\begin{aligned} \text{목표예상광속} &= \frac{(+Cutoff^2) - (-Cutoff^2)}{360} \\ &\quad \times \pi^2 \times I_0 \\ &+ \frac{360 - ((+Cutoff^2) - (-Cutoff^2))}{360} \\ &\quad \times \pi^2 \times I_0 \times \rho \times \text{기구계수} \end{aligned} \quad (\text{식 2.5})$$

목표광속: 목표광도에 의한 광속

$\rho$ : 반사판 반사율

기구계수: 기구의 상호반사등을 고려한 계수

Cutoff: 램프 중심과 반사판의 끝점이 이루는 각 [1][3]

#### 2.3.3 세그먼트의 입력각에 따른 광도

입력각은 램프의 상이 반사판 세그먼트에 얼마나 크게 맺힐지를 결정하게 된다.

그림 2.8의 경우에서 램프의 상이 맺히는 반사판 세그먼트는 윗쪽 점( $X_{top}$ ,  $Y_{top}$ )에서 아랫쪽 점( $X_{down}$ ,  $Y_{down}$ )까지이다.

#### 2.3.4 출력광도의 램프 흡수

램프에서 나온 빛이 반사판에서 반사되어 램프로 흡수될 경우, 효율이 감소하고, 램프의 수명에 영향을 미치기도 한다. 기구 설계자는 이러한 이유로 램프로 흡수되는 빛을 최소화 하여야 한다. 그러나 최근에 조명기구의 크기가 축소 되기 때문에, 램프로 들어가는 빛이 증가할 수 있으며, 램프로 흡수되는 빛을 최소화하기 위하여 각별한 주의를 기울여야 한다.

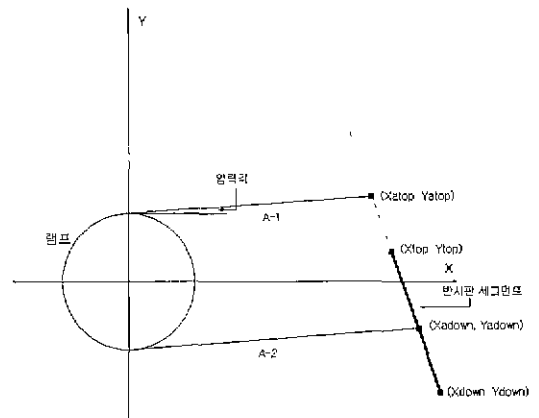


그림 2.8 입력각에 따라 반사판 Segment가 가지는 램프의 상  
Fig. 2.8 Determination phase of lamp in reflector segment

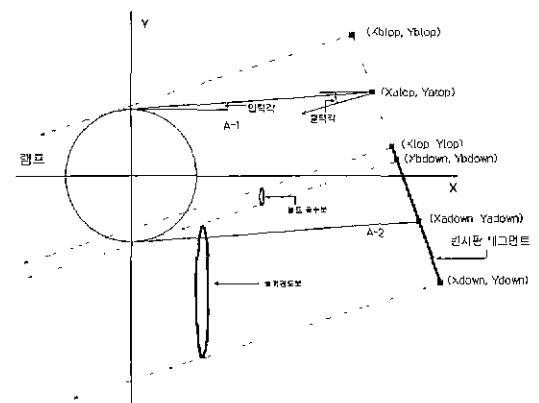


그림 2.9 램프흡수를 고려한 출력광도  
Fig. 2.9 Determination output luminous intensity considering light absorption by lamp

램프를 나온 반사광은 각 입력각에 따라서 반사판 세그먼트의 일정부분에 램프의 상을 갖게되고, 반사판은 이 램프에서 나온 빛을 스넬의 법칙에 의해서 반사를 하게 되는데, 그 빛이 램프에 흡수될 수가 있다.

그림 2.9와 같은 경우 램프에 흡수되지 않고 기구 밖으로 나갈수 있는 빛은 (Xbdown, Ybdown)에서 (Xdown, Ydown)의 빛이다.

### 3. 프로그램 구성

CARD(Computer Aided Reflector Design)는 SpeRODII를 이용하여 제작된 반사판 설계 틀이다.

그림 3.1은 CARD의 반사판 설계 프레임에 나타낸 것이다. CARD는 사용자가 세그먼트의 입력각 크기와 세그먼트 중심부의 출력각을 선택하고, 그것에 의한 출력광도를 확인하면서 기구 설계를 할 수 있도록 되어 있다.

이 과정에서 세그먼트의 출력광도는 램프에서 흡수되는 광도가 고려된 것이므로 사용자는 기구설계시 유의하여야 한다.

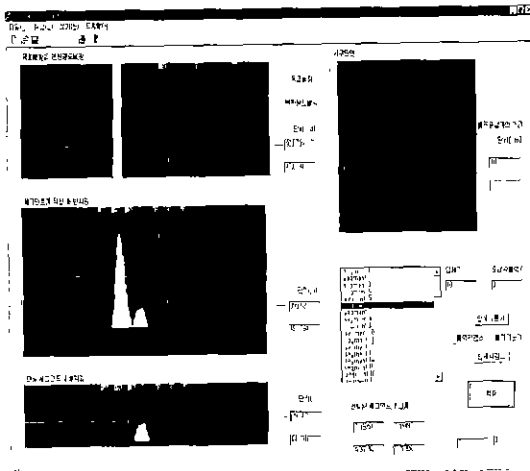


그림 3.1 CARD의 반사판 설계 프레임  
Fig. 3.1 Frame of reflector design

CARD는 사용자에 의해서 기구설계의 가장 중요한 부분들이 결정되기 때문에, 사용자의 경험 및 광학적인 지식이 중요하게 적용되고, 이것이 전체 결과를 결정하게 되는 가장 중요한 요소가 된다.

기구 형태가 유사한 경우에도 효율이나, 전체 배광에는 큰 차이를 보이기도 한다. 효율의 차이는 램프 흡수나 반사판 간의 상호반사가 큰 비중을 차지하게 된다.

### 4. 기구설계의 사례

그림 4.1과 그림 4.2는 각각 SpeROD I 과 SpeROD II로 설계된 반사판을 시뮬레이션 한 결과이다. 시뮬레이션 소프트웨어로는 Photopia 1.5를 사용하였으며, SpeROD I에 의한 기구의 기구 효율은 88.8[%] , SpeRODII에 의한 기구 효율은 90.8[%]였다

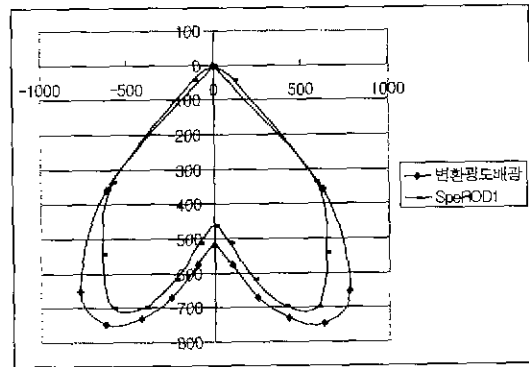


그림 4.1 SpeROD I 의 시뮬레이션 결과  
Fig. 4.1 The aimed candela distribution and the candela distribution by SpeROD I

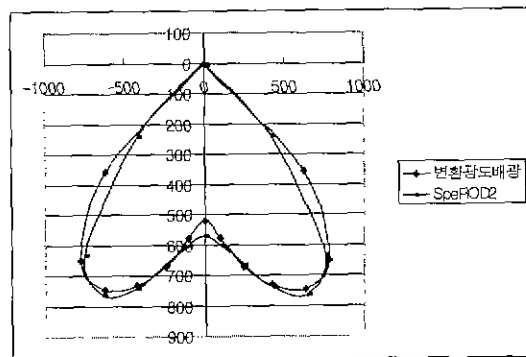


그림 4.2 SpeROD II 의시뮬레이션결과  
Fig. 4.2 The aimed candela distribution and the candela distribution by SpeROD II

SpeROD I 은 SpeROD II 에 비하여 배트윙의 양쪽 끝에서 목표배광에 비하여 광도가 낮아지는 것을 발견할 수가 있을 것이다.

그림4.3는 SpeROD I, SpeROD II로 설계된 반사판의 단면 형태이며, 형태의 차이가 작다고 생각할 수도 있으나, 이 반사판 형태에 의한 배광은 큰 차이를 가지게 된다.

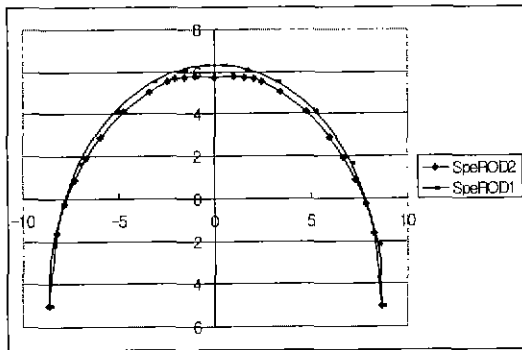


그림 4.3 SpeROD I 과 SpeROD II 의 반사판 단면  
Fig. 4.3 Section of Reflectors by SpeROD I and SpeROD II from example

## 5. 결 론

조명 환경에 대한 관심이 증가하면서, 보다 많은 수의 조명기구 개발이 필요하게 되었고, 기구 설계자들이 보다 쉽게 기구개발을 하기 위하여 오차가 적고, 사용이 간편한 기구설계 툴(CARD)을 개발하였다.

CARD는 현실적인 반사판 설계가 가능하게 하였으며, 반사판에서 나온 빛의 램프흡수를 고려하여, 효율 높은 기구개발과, 램프흡수가 배광에 미치는 영향을 최소화 하도록 하였다.

## 참 고 문 헌

- (1) Murdoch "Illumination Engineering From Edison's Lamp to the Laser, Macmillan Publishing Company, 1985.
- (2) William B Elmer, "The Optical Design of Reflectors", TLA Lighting Consultants, Inc., Salem, Ma., pp-22-56, 1989.
- (3) 정재훈, "형광등기구용 경면 반사판의 광학 설계 프로그램 개발", 강원대학교 석사학위 논문.
- (4) 조명기구 반사판의 광학 설계 기술 개발에 관한 중간 보고서.
- (5) David C Pritchard, "Lighting", Longman Scientific & Technical, pp.37-39, 1990.

## ◇ 저자소개 ◇

### 황 재 산 (黃在 山)

1974년 11월 29일생. 1999년 강원대학교 전기공학과 졸업. 현재 강원대학교 전기공학과 석사 과정.

### 김 기 훈 (金 紀 勳)

1970년 4월 24일생. 1997년 강원대공대 전기공학과 졸업. 1999년 2월 강원대 공대 전기공학과 대학원 석사 졸업. 현재 강원대 공대전기공학과 대학원 박사과정.

### 이 정 욱 (李庭郁)

1974년 1월 23일생. 1999년 강원대학교 전기공학과 졸업. 현재 강원대학교 전기공학과 석사 과정.

### 김 훈 (金 燾)

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