

# 형광등기구용 경면 반사판의 광학설계 프로그램 개발

(Development of the Specular Reflector Optical Design Program for Fluorescent Luminaires)

정재훈\* · 진상규\*\* · 김 훈\*\*\*

(Jae-Hoon Jeong · Sang-Kyu Jin · Hoon Kim)

## 요 약

형광등용 조명기구에 사용되는 경면 반사판의 광학설계 프로그램을 개발하였다. 이 프로그램은 조명기구 설계시간을 단축시킨다.

SpeROD (Specular Reflector Optical Designer)는 2차원적인 조건들을 가지고 계산한다. 반사판 설계를 위해 고려되는 조건들은 목표배광, 반사판 형태, 그리고 Tangent Spiral Design방법 등이 있다. 본 논문에서는 SpeROD를 이용하여 지름 26mm(T8)의 형광램프와 폭 150mm의 반사판을 가지는 균일 배광 형태와 Bat-wing 배광 형태의 반사판을 설계해 보았다.

설계된 반사판 형태에 대하여 배광예측 프로그램인 FIELD를 통하여 배광을 시뮬레이션 해 본 결과, 배광과 효율 면에서 만족스러운 결과를 얻었다.

## Abstract

SpeROD, the optical design program, is developed for specular reflectors of fluorescent luminaires. SpeROD can save much time when to design specular reflectors.

SpeROD calculates conditions 2-dimensionally. The conditions for designing reflectors considered in this program are the intensity distribution, reflector type, and Tangent Spiral Design method. Using SpeROD, uniform intensity distribution type and bat-wing type reflectors are simulated in this paper, and 26mm(T8) diameter fluorescent lamp and 150mm width reflector are used for the setting.

The same setting was simulated in FIELD, the intensity distribution prediction program, and the result represented the intensity distribution and the efficacy simulated in SpeROD were satisfactory.

\*정회원 : (주) 태양전자 근무

\*\*정회원 : 영동전문대 전기과 조교수

\*\*\*정회원 : 강원대학교 전기공학과 교수

접수일자 : 1998년 12월 30일

## 1. 서 론

조명기구는 조명시스템 중에서 실질적인 조명 효과

## 형광등기구용 경면 반사판의 광학설계 프로그램 개발

를 지배하는 가장 중요한 요소로서 전기적 기능, 기계적 기능, 광학적 기능을 수행한다. 이중 조명기구의 가장 중요한 기능은 광학적 기능으로서 이를 통하여 조명의 전반적인 효과와 성능이 좌우된다[1].

현재까지는 조명시스템의 에너지 효율 상승이나 성능개선에 대한 연구개발이 광원이나 안정기에 많이 치중되어 있는 상태이며, 조명기구에 대해서는 디자인 측면에 치중되어 왔다.[2] 이 논문은 조명기구의 성능과 효율을 개선하기 위한 광학설계기법에 대한 연구 결과를 서술한 것이다.

기존 조명기구의 설계는 설계자의 경험과 직관에 부분을 의지하여 왔으므로, 조명기구 설계시 많은 시행착오가 있었으며, 설계시간도 오래 걸렸다. 또한 미국이나 일본 등 조명분야의 선진국 쪽에서는 그들의 조명기구 설계 절차를 규정해 놓고 있는 상태[3]~[6]이나 우리나라에서는 아직까지 규정이 되어있지 않은 상태이다. 또한 형상이 설계된 조명기구의 배광과 효율을 예측하는 프로그램들은 상당히 많이 실용화되어 있는 상태이지만, 실제적인 조명기구의 형상 설계 프로그램은 실용화되어 있지 않다.

이 논문은 컴퓨터 프로그램에 의해 조명기구 설계에 많은 경험이 없더라도 쉽게 반사판의 광학적 설계를 할 수 있도록 하고, 더 나아가 우리나라의 조명기구 설계 절차를 새로이 규정하기 위한 취지에서 쓰여졌다. 프로그램의 검증에는 상용화된 배광예측 프로그램인 Field를 이용하였다.

## 2. 본 론

### 2.1 SpeROD의 구성

그림 1은 SpeROD의 순서도를 묘사한 것이다.

SpeROD는 경면 반사판을 이용한 홈통형태의 좌우대칭형 형광등용 반사판을 설계할 수 있도록 작성되었다.

### 2.2 SpeROD의 부분별 기능

(1) 설계조건 입력부분

- 1) 반사판의 기본형태
- 반사판의 기본형태로는

① 목표배광의 직하방향의 광속을 램프광속의 개구

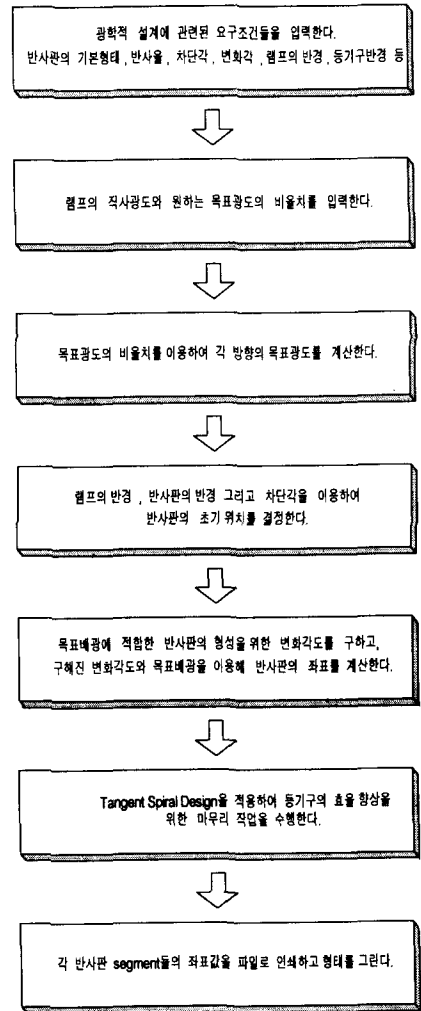


그림 1. SpeROD의 순서도.  
Fig. 1. Block Diagram of SpeROD.

부 측에서 제공할 것인가 소켓 측에서 제공할 것인가

② 반사광이 중심축을 통과할 것인가 아닌가에 따라 4 종류가 있고, 반사판의 기본형상은 그림 2와 같이 된다. 조명기구로서의 제약조건(크기, 디자인 등)에 따라 그 종류를 결정하여 반사판 설계를 행한다. b-type과 같은 형태는 반사광의 많은 부분이 램프를 통과하는 결점이 있으며, c나 d-type의 형태는 반사판이 일반적으로 커지는 경향이 있다.

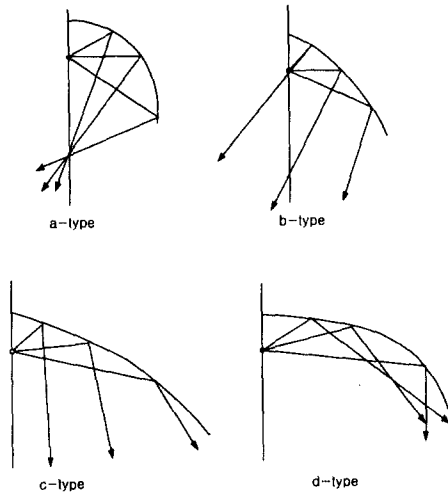


그림 2. 반사판의 기본형태.  
Fig. 2. Four basic reflector actions.

2) 목표배광의 입력

목표배광은 원하는 방향에 따라, 직하방향 광도에 대한 상대적인 값으로 입력한다.

(2) 반사판의 초기 위치 결정

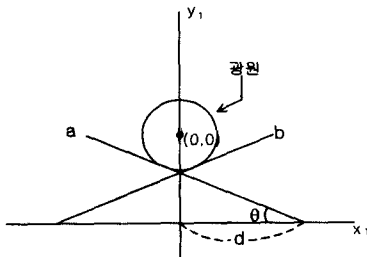


그림 3. 반사판의 초기위치 결정.  
Fig. 3. Determination of the initial source point.

그림 3의 거리 d는 등기구 폭의 반이 되고, 각  $\theta$ 는 (90 - 차단각)이 된다.

그림 3과 같이 초기광원의 위치를 결정하면 차단각 이상으로는 직사광 및 반사광이 없게 된다.

(3) 목표광도의 절대치 구하기

$$I_k = C_k I'_k \quad (1)$$

여기서,  $I_k$  : 목표광도  
 $I'_k$  : 목표광도 비율치  
 $C_k$  : 비례상수

① 조명기구로부터 방사되는 총광속을 구한다.

$$F_{tot} = F_{tot-1} + ((\rho \times F_{tot-2}) \times 0.95) \quad (2)$$

여기서,  $F_{tot}$  : 조명기구의 총광속

$F_{tot-1}$  : 목표방향의 직사광속의 합

$F_{tot-2}$  : 반사판으로 향하는 램프광속의 합

$\rho$  : 반사율

0.95 : 환경요인에 의한 광속 감소를

② 각방향의 목표광도 상대치를 이용하여 목표광속의 비례치  $F'_k$ 를 구하고, 이 값들을 모두 합하여 목표광속 비례치의 총합  $F'_{want}$  구한다.

$$F'_k(\theta) = \int_{\theta-\Delta\theta}^{\theta} 2\pi I_k(\theta) \sin(\theta) d\theta$$

$$F'_{want} = \sum_{\theta=0}^{\text{차단각}} F'_k(\theta) \quad (3)$$

③ 비례상수  $C_k$ 를 구한다.

$$C_k = \frac{F_{tot}}{F'_{want}} \quad (4)$$

(4) 반사판 설계

① 직사광도를 이용 직사광속을 구한다.

$$F_k(\theta) = \frac{(I_k(\theta) + I_k(\theta - \Delta\theta))}{2} \times \Delta\theta \quad (5)$$

② 목표광속은 앞의 목표광도 계산식에서 나온  $C_k$ 를 목표광속의 비례치  $F'_k$ 에 곱하여 얻어진다.

③ 직사광도와 목표광속을 이용 반사광속(반사에 의해 추가되어야 할 광속)을 구한다.

$$F_r(\theta) = F_k(\theta) - F_k(\theta) \quad (6)$$

형광등기구용 경면 반사판의 광학설계 프로그램 개발

④ 램프의 빛 중에서  $\theta R$ 로부터  $\theta R + \Delta\theta R$ 의 범위에서  $\theta$ 방향의 반사광을 분담하는 양을 구하는 식을 이용 반사판의 변화각도인  $\Delta\theta R$ 를 구한다.

$$F_r(\theta) = \rho I(\theta_R) \times \Delta\theta_R \quad (7)$$

여기서,  $\rho$  : 반사판의 반사율

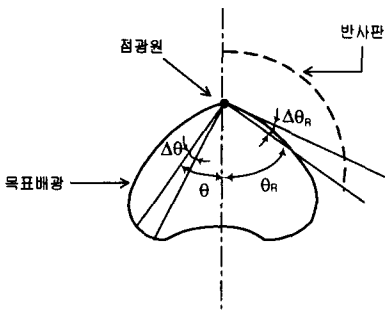


그림 4. 반사판 설계  
Fig. 4. Reflector design

⑤ 구하여진  $\Delta\theta R$ 범위 안의 직사광을 목표로 하는 방향으로 반사할 수 있도록 반사판의 기울기를 결정한다.

(5) 반사판의 마무리 절차

반사판 설계시 램프로 되돌아가는 반사광이 발생하는 부분부터 Tangent Spiral Design 을 이용한다.

그림 5에서 보이듯이 광원의 어느 각도에서의 광선도 Tangent spiral design[8]~[9]에 의해 새롭게 형성된 반사판과 이루는 각도  $\theta$ 가 둔각을 이루기 때문에 광원 쪽으로는 되돌아가지 않는다.

3. 설계된 반사판의 형태 및 성능

(1) 균일 배광을 형성하는 반사판 설계결과

① 반사판 형태

그림 2의 a-type을 이용하며, 목표배광은 각 방향으로 균일한 광도 값을 입력한다.

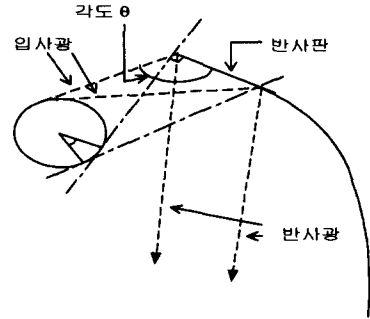


그림 5. Tangent Spiral Design.  
Fig. 5. Tangent Spiral Design.

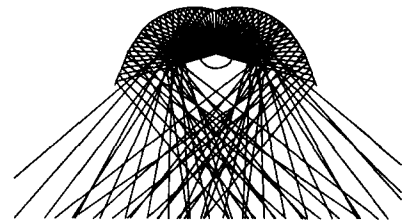


그림 6. 균일 배광 반사판의 Ray tracing 결과  
Fig. 6. Ray tracing of reflector with a uniform intensity distribution.

② 3차원 형태

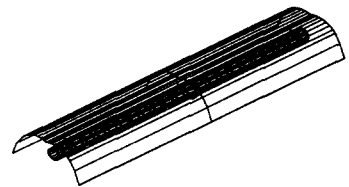


그림 7. 균일 배광의 반사판 3차원 형태.  
Fig. 7. 3-dimensional shape of reflector for a uniform intensity distribution.

그림 7은 형상 설계된 반사판의 3차원 형태를 보인다.

③ 균일 배광 반사판의 시뮬레이션 결과

그림 8에서 목표배광과 시뮬레이션 결과인 배광과의 차이는 Tangent Spiral Design 부분에서 반사된 빛이 증가분으로 작용한 것 때문이다.

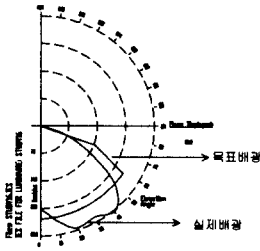


그림 8. 균일 배광의 시뮬레이션 결과.  
Fig. 8. Simulation results of reflector for a uniform intensity distribution.

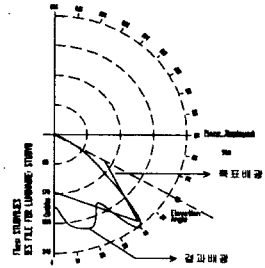


그림 10. Bat-wing 배광의 시뮬레이션 결과.  
Fig. 10. Simulation results of reflector for a bat-wing type intensity distribution

(2) Bat-wing 반사판 설계결과

- ① 반사판 형태  
a-type 이용한다.

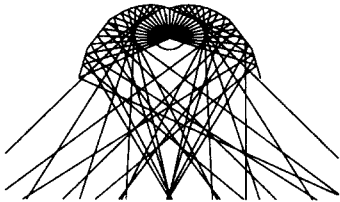


그림 9. Bat-wing 반사판의 Ray tracing 결과.  
Fig. 9. Ray tracing of reflector for a bat-wing type intensity distribution.

② 시뮬레이션 결과 배광

그림 10에서 목표한 배광과 시뮬레이션을 통해 얻은 배광을 비교해 본 결과 Tangent Spiral Design 부분에 의해 수직각 30°이하에서 요구되지 않는 배광이 추가된 것을 알 수 있었다.

(3) Tangent Spiral Design 부분의 삭제

Tangent Spiral Design 부분이 배광에 미치는 영향을 알아보기 위해 이 부분을 제거한 상태로 시뮬레이션을 해 보았다.

① 반사판 형태

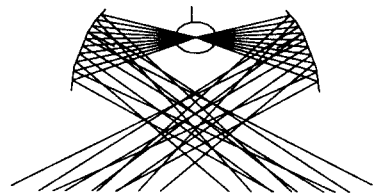


그림 11. Bat-wing 배광의 반사판 중 Tangent Spiral Design부분 삭제시의 Ray tracing.  
Fig. 11. Ray tracing of reflector for a bat-wing type intensity distribution without Tangent Spiral Design parts.

② 시뮬레이션 결과

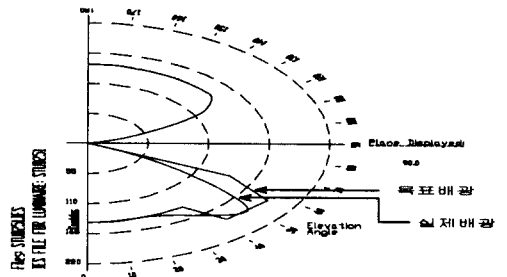


그림 12. Tangent Spiral Design 부분 삭제시의 Bat-wing형태의 시뮬레이션 결과  
Fig. 12. Simulation results of reflector for a bat-wing type intensity distribution without Tangent Spiral Design parts.

#### 4. 결 론

배광예측 프로그램 Field를 이용해 설계된 반사판의 광학특성을 시뮬레이션 해 본 결과 형상 설계된 반사판들은 배광 면에서는 상당히 만족할 만한 결과를 얻었으나, 현재 SpeROD는 2차원 대칭 형태를 기준으로 하는 한계로 인하여 효율 면에서는 아직 연구가 더 진행되어야 한다. 또한 효율 향상을 위해서는 3차원적인 해석이 필요하다. 반사판 설계의 마무리단계에 이용한 Tangent Spiral Design은 램프로 되돌아가는 빛을 막는 효과로 효율 면에서는 우수하나, 이 부분의 배광제어가 아직은 미비한 상태이며 계속 연구되어야 한다. 이 부분의 연구가 이루어 진다면 배광과 효율 면에서 더욱 수준 높은 설계가 이루어 질 수 있을 것이다. 앞으로 Tangent Spiral Design의 배광제어의 연구를 계속할 것이며, 더 나아가 3차원적인 조명기구 설계에 관한 연구를 계속 진행해 나갈 것이다.

#### 참 고 문 헌

- (1) 지철근, "조명원론", 문운당, 1996.
- (2) 김훈, "조명기구에서의 에너지 절감과 효율표시 방안", 조명·전기설비학회지, 제12권 제2호, pp. 42 ~ 47, 1998. 6.
- (3) 池田紘一, "照明器具反射笠の設計と配光制御", 明學會誌, 第81卷 第4号, pp.318~321, 1997.
- (4) 佐藤光治·松下信夫, "照明器具の 光學設計に ンピュータ利用", 日本照明學會誌, 第66卷, 第12号, pp. 550~553, 1982.
- (5) 照明學會, "Lighting Handbook", オーム社, 1987.
- (6) IES LIGHTING HANDBOOK, 1984.
- (7) 김창섭, "CAD를 이용한 HID Lamp용 반사기구의 설계", 서울대학교 석사학위논문. 1985.
- (8) William B. Elmer, "The Optical Design of Reflectors", TLA Lighting Consultants, Inc., Salem, MA., 1989.
- (9) US Patent 4,729,075, "Constant Zone Reflector for Luminaires and Method", 1985.

#### ◇ 저 자 소 개 ◇

##### 정 재 훈 (鄭載勳)

1972년 2월10일생. 1997년 강원대 전기공학과 졸업. 1999년 강원대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현 (주)태양전자 근무.

##### 진 상 규 (陳相規)

1961년 1월15일생. 1982년 서울대 전기공학과 졸업. 1984년 서울대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1984~1991년 금성산전 근무. 1991~1997년 현대전자 근무. 1994년 서울대 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현 영동전문대학 전기과 조교수.

##### 김 훈 (金 燾)

1958년 8월6일생. 1981년 서울대 전기공학과 졸업. 1983년 서울대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1988년 서울대 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1993년 호주국립대학 방문교수. 현 강원대학교 전기전자공학부 교수. 당학회 편수이사.