

대형 광원용 고효율 반사판의 광학설계법 개발

(The Development of Highly Efficiency Reflector's Design for Large Source)

박종환* · 김훈

(Jong-Hwan Park · Hoon Kim)

(* 강원대학교 전기공학과 조명연구실 석사과정, 강원대학교 전기전자정보통신공학부 교수)

요 약

무전극 형광램프는 발광하는 부분의 사이즈가 크고 광원의 특성상 점광원으로 볼 수 없기 때문에 효율적인 광학기구를 설계하기 어렵다. 특히 반사판 설계시 반사광이 램프로 재흡수 되는 것을 고려하여야 한다. 본 논문은 무전극 형광램프에 대하여 반사광이 램프로 재흡수 되는 것을 막고 효율을 높이며 목표배광에 맞출 수 있는 2차원 축대칭형 반사판 설계법을 제시하였다. 그리고 이 설계법의 문제점과 해결방법에 대하여 고찰하였다.

1. 서 론

무전극 형광램프는 수명이 길고 높은 연색성과 발광 효율을 갖는 장점이 있다.

그러나, 무전극 형광램프의 특성상 램프의 사이즈가 크다는 단점을 가지고 있다. 따라서 반사판의 사이즈가 작으면 반사광의 램프로의 재흡수가 많아지고 효율이 많이 떨어지며 목표배광과 맞추기도 힘들다. 따라서 반사광이 램프로 재흡수가 없는 반사판 설계를 하여야 한다.

이 연구에서는, 광원표면의 일정한 점들을 한초점으로 하고, 각각의 초점에 대하여 새로운 제 2초점을 만들어 설계를 하는, 타원을 이용한 2차원 설계법을 제시한다. 이 방법은 램프로의 재흡수를 막고 반사판의 시작점과 제 2초점의 위치를 바꾸어 가며 원하는 목표배광을 얻을 수 있다.

이 방법을 적용하여 필립스 QL 85W에 대한 반사판 설계를 수행하였다.

2. 본 론

2.1. 일반 반사판 설계법 적용의 문제점

반사판의 설계법은 다양하지만, 광원을 하나의 점광원으로 가정하고 설계하는 방법은 무전극 형광램프 같은 경우 하나의 점광원으로 볼 수 없고 또한 일반 형광램프보다 사이즈가 훨씬 크기 때문에 형광등용 반사각 설계방법을 적용하기도 힘들다. 그리고 램프로의 재흡수를 고려하여야 하기 때문에 목표배광에 맞추기가 어렵다. 재흡수를 고려한 설계법에는 여러 가지가 있지만

한 예로 Tangent Spiral Design이 있다.

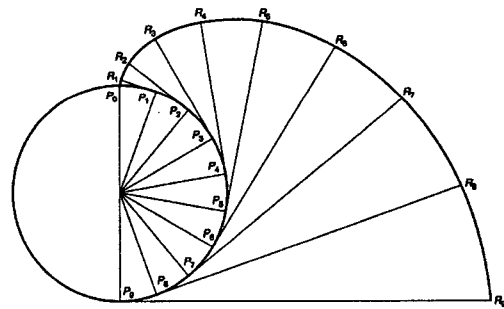


그림 1. Tangent Spiral Design

위의 설계방법을 간단히 표현하면 원통에 감긴 실의 끝점을 궤적으로 반사판이 형성되는 설계법이다. 이 방법은 배광형태를 원하는 대로 조절하기가 힘들고 나타난 배광분포는 중앙으로 집중된 형태이다.

반사판의 크기를 고려하지 않는다면 무전극 형광램프의 반사판 설계방법은 많이 있다. 그러나 현실적으로 반사판의 크기는 제한되기 때문에 새로운 반사판 설계방법이 요구된다.

2.2. 타원을 이용한 반사판 설계

새로 제안하는 반사판 설계법은 다음과 같다.

일정한 간격으로 입사각 θ 를 정한다. 입사각 범위 $(\theta_2 - \theta_1)$ 에서 램프 표면 위의 중앙점 좌표를 구한다. 여기서 구해진 좌표 (x_{11}, y_{11}) 은 제 1초점이 된다.

그리고 반사광이 램프로 재흡수 되지 않고, 반사판에

입사하지도 않으며 원하는 배광이 될 수 있도록 제 2초점 (x_{p1}, y_{p1}) 를 정한다. 마지막으로 각각의 θ 를 이용해 타원의 시작점 (x_1, y_1) 을 정한다.

입사각의 범위를 알고 제1, 제2 초점, 그리고 반사판 세그먼트의 시작점을 알면 타원을 이용한 설계가 가능하게 된다.

위의 조건을 이용하여 타원을 일반화 하면, 식 (1)과 같다.

$$\sqrt{(x_1 - x_{11})^2 + (y_1 - y_{11})^2} + \sqrt{(x_1 - x_{p1})^2 + (y_1 - y_{p1})^2} = A \quad (1)$$

그리고 타원의 끝점을 (x_2, y_2) 라 하면, (2)식이 성립된다.

$$\sqrt{(x_2 - x_{11})^2 + (y_2 - y_{11})^2} + \sqrt{(x_2 - x_{p1})^2 + (y_2 - y_{p1})^2} = A \quad (2)$$

그리고, θ_2 에 대하여 원점을 지나는 직선의 방정식을 구하면, 식 (3)과 같다.

$$y = \tan(90^\circ - \theta_2)x \quad (3)$$

여기서 입사각의 범위 θ_1 과 θ_2 사이에서 일정한 간격으로 θ 를 나누면 타원의 형태를 이루게 된다.

또한 식(2)와 식(3)을 연립하면 끝점 (x_2, y_2) 를 구하게 된다.

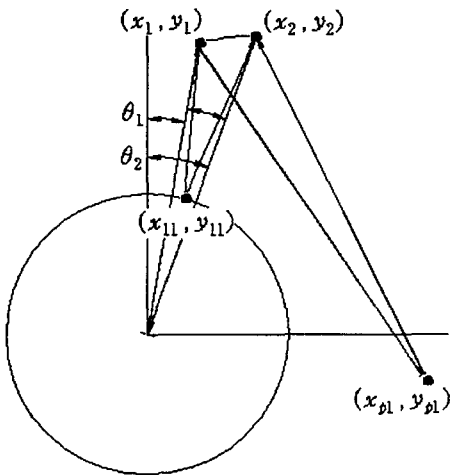


그림 2. 타원설계의 기본 그림

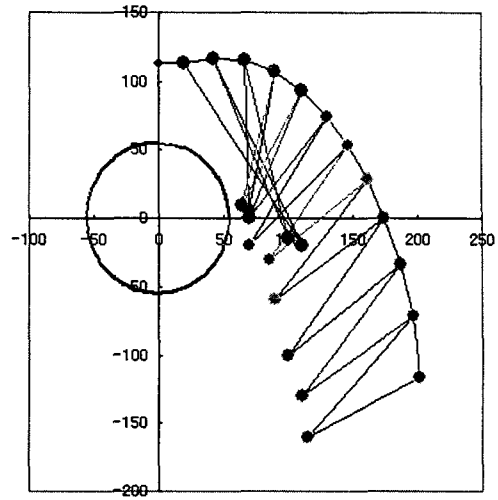


그림 3. 타원을 이용한 반사판 형태

타원의 형태가 완성되면 시작점과 제 2초점을 변형해 가면서 목표배광에 맞추면 된다. 이 과정에서 시작점 좌표 (x_1, y_1) 과 제 2초점 좌표 (x_{p1}, y_{p1}) 를 지나는 직선의 방정식과 원의 방정식을 이용하여 반사광이 램프로 재흡수 되는지 여부를 판단한다. 그리고 반사판에서의 반사광이 다른 반사판으로 재반사 되지 않게 설계를 한다.

2.3. 설계 결과

설계 조건은 입사각의 범위를 10도 간격으로 하고 컷 오프각은 70도로 하였다. 반사판의 반사율은 90%로 하였고 램프는 광속 6000lm의 필립스 QL 85W를 적용하였다. 시뮬레이션은 포토피아 ver1.5로 하였다.

설계시 반사판의 세그먼트 시작점과 제 2초점의 위치를 바꾸어 가며 설계하였다.

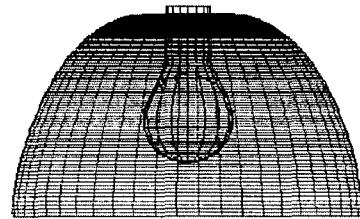


그림 4. 반지름 204mm, 높이 231mm의 반사판 형태

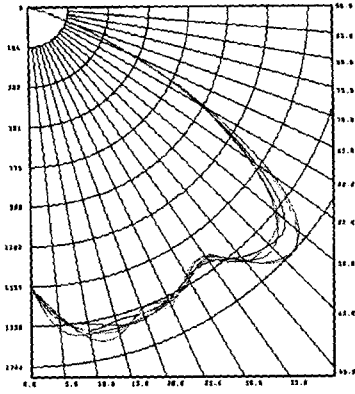


그림 5. 반지름 204mm, 높이 231mm의 반사판의 포토피어 시뮬레이션 결과 배광 분포

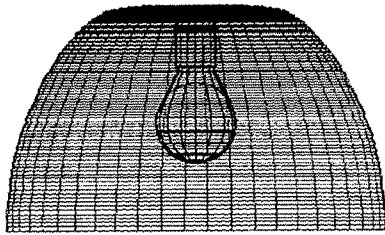


그림 6. 반지름 240mm, 높이 280mm의 반사판 형태

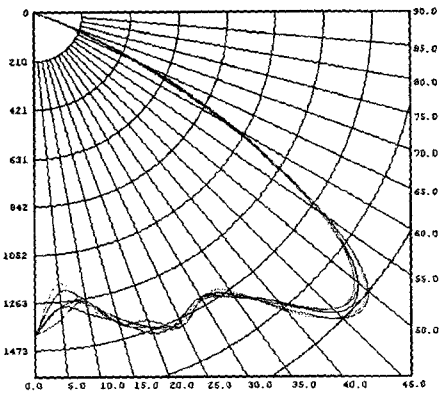


그림 7. 반지름 240mm, 높이 280mm의 반사판의 포토피어 시뮬레이션 결과 배광 분포

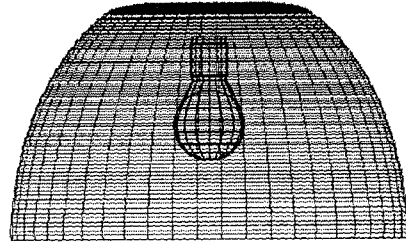


그림 8. 반지름 289mm, 높이 337mm의 반사판 형태

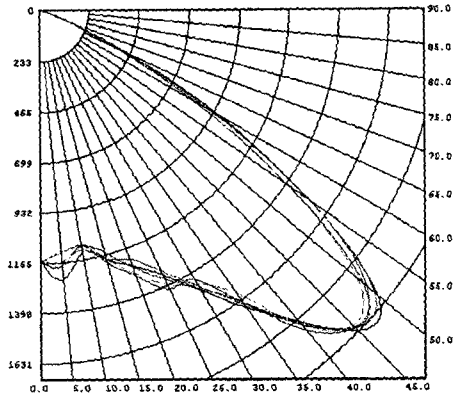


그림 9. 반지름 289mm, 높이 337mm의 반사판의 포토피어 시뮬레이션 결과 배광 분포

설계 결과 포토피어에서 등기구 효율은 3가지 모두 90%정도였다.

2.4. 설계법의 문제점과 해결방법

타원을 이용하여 설계해본 결과 효율은 좋은 편이나 반사판의 반지름이 약 250mm이상 되었을 때 원하는 목표배광을 얻을 수 있었다. 반사판의 반지름을 200mm이하로 설계해본 결과 목표배광과 맞추기 힘들고 시뮬레이션 결과 배광이 연직각 0도에서 약 20도 사이로 집중되는 것을 알 수 있었다.

따라서, 타원만의 설계는 반사판의 크기가 작으면 설계하기 힘든 단점을 가지고 있다.

그러므로, 반사판의 사이즈를 작게 하기 위해서는 일정범위의 입사각내에서 타원의 제 2초점을 이용한 재반사로 설계를 하여야한다.

그림 10은 재반사에 대한 간략한 그림이다.

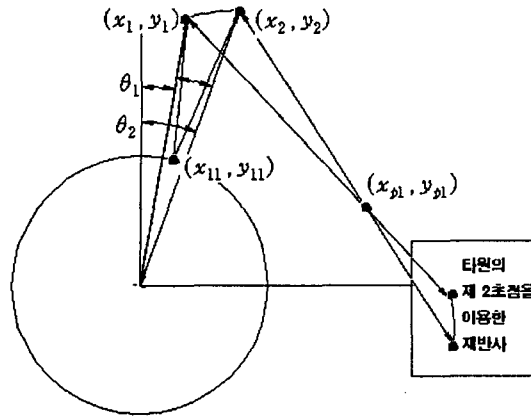


그림 10. 제 2초점을 이용한 재반사

3. 결론

무전극 형광램프의 경우 많은 장점을 가지고 있는 반면 광원의 사이즈가 크다는 단점을 가지고 있다. 여러 가지 조명환경에 따라서 등기구의 형태나 크기가 다르고 배광형태도 다르다. 따라서 본 논문에서는 반사판의 크기를 최대한 줄이면서 효율을 높이고 목표배광과 맞게 할 수 있는 2차원 축대칭 설계법을 제시하였다

반사판의 사이즈를 크게 할 수 있는 등기구일 경우는 타원만으로도 설계가 가능하지만 사이즈가 작을 경우는 재반사를 이용하여 설계를 하여야 한다. 물론 재반사를 안하고 반사광이 램프로 재흡수 되지 않는 설계를 할 수 있지만 배광형태가 연직각 0도에서 약 20도로 집중되어진다.

설계된 반사판 형태를 실제 제작가능한지와 재반사에 의한 설계시 반사판이 얼마만큼 성능을 내는가하는 등 다양한 문제점이 있을 것이다. 이러한 문제점들이 해결되고, 2차원 설계를 바탕으로 3차원 설계법을 완성한다면 보다 더 효율적인 조명환경을 만들 수 있을 것이다.

참고 문헌

- (1) R. H. Simons and A. R. Bean, "Lighting Engineering Applied Calculations", Architectural Press, 2001
- (2) William B, "The Optical Design of Reflector", TLA Lighting Consultants, Inc, Third Edition, 1989