

PLS(Plasma Lighting System) 광원용 반사갓 설계법에 관한 연구

(The research of a reflector design method using a PLS source)

이창모* · 김훈

(Chang-Mo Lee · Hoon Kim)

Abstract

기존의 램프(백열등, HID 램프 등)를 사용하여 반사갓을 설계하면 광원중심의 기하학적 위치, 점등 자세, 램프 자체의 크기로 인한 반사갓이 커지는 등 여러 가지 제약조건에 부딪히게 된다.

근래 개발된 PLS 광원은 기존의 램프보다 그 크기가 매우 작아 조명기구의 반사갓 설계에 있어서 보다 효율적인 설계가 가능하게 되었다. 본 논문에서는 900W PLS 광원용 4각 투광기용 반사갓 설계를 위하여 개발한 기법을 소개하고 그 성능을 제시하였다.

1. 서 론

필라멘트의 열방사를 이용하는 백열전구나 전극의 기체방전을 이용하는 방전램프들과는 달리 마이크로웨이브를 이용한 무전극 방전방식으로 빛을 내는 플라즈마 조명시스템(PLS)이 개발되었다. 이 PLS는 그 발광부의 크기가 탁구공 크기 정도로 매우 작고, 광효율(lm/W)은 100(lm/W) 수준에 달하며 태양과 유사한 연속 스펙트럼 특성을 갖고 있다. 또한 마그네트론을 약 2만시간 단위로 교체해 준다면 반영구적으로 사용이 가능하다.

스포츠 시설의 조명, 건물이나 조형물 외관을 비추는 조명기구로 투광기(Floodlight)를 많이 사용한다. 기존의 투광기(Floodlight)에는 광원은 백열전구, HID(메탈할라이드, 고압나트륨)램프를 주로 사용하고 있다. 이러한 광원들에 대해서 반사갓을 설계하기 위해서는 원점이 되는 필라멘트나 아크 튜브의 기하학적인 위치, 램프의 크기, 램프의 점등자세 등의 제약을 받고 또한 반사갓의 크기가 커지는 단점을 갖는다. 이러한 제약들 때문에 기구 디자이너의 창의성 또한 한계에 부딪히는 것이 사실이다. 따라서 반사갓을 설계하는 디자이너들에게는 PLS의 작은 발광부는 큰 매력일 수 있다.

본 논문에서는 PLS 자체의 이점과 반사갓 설계에 있어서 제약 문제, 그리고 다양한 배광을 제공하는 4각 투광기에 대한 반사갓 설계를 다룬 것이다.

2. 본 론

2.1. 반사갓설계의 기본원리

특정 용도에 사용할 수 있는 반사갓의 형상은 거의 무한한 가짓수가 있기 때문에, 이에 대한 설계도 대단히 어려운 일이다. 설계의 면에서 보면, 반사갓의 형상은 Parabolic(포물형), Elliptic(타원형), Hyperbolic(쌍곡선형), Circular(원형)과 같이 수학적으로 그 동작을 예측할 수 있고 설계할 수 있는 Conic Section(그림 1)과 광원의 배광에 따라 목표로 하는 배광곡선을 만족시키면서 설계를 하는 Non-Conic Section(그림 2)으로 나눌 수 있다 [1].

본 논문에서는 Conic Section의 parabolic Reflectors와 Non-Conic Section으로 반사갓을 설계하는 방법을 소개한다.

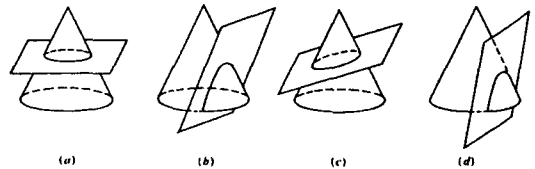


그림 1. Conic Sections

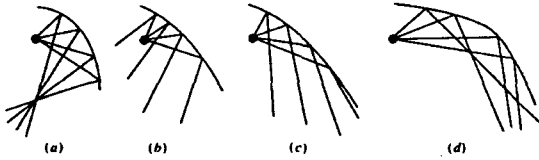


그림 2. Non-Conic Section
(Four basic reflector patterns)

1) Parabolic Reflectors

포물형 반사각의 기본적인 특징은 그 초점에 있는 광원에서 나온 빛을 그 축에 평행한 방향으로 반사시킨다는 것이다. 그림3은 초점과 점광원의 위치에 따른 반사광 분포를 보인 것이다. 광원의 발광부가 큰 경우 초점에서 벗어난 부분에서 나온 빛은 반사되어도 평행광이 되기 어렵다.

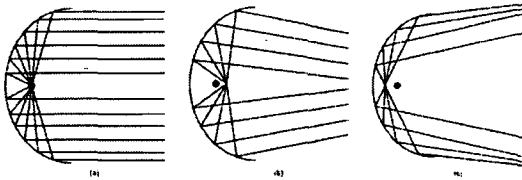


그림 3 Parabola: Source in front of or behind focus

식1은 포물선 방정식을 나타낸다.

$$y = \frac{1}{4p} x^2 \quad (1)$$

여기서, p 는 포물선의 초점이다.

2) Non-Conic Section Reflectors

Conic Section Reflectors를 사용하기에는 부적당한 상황에서 적합한 반사각 외형을 결정하기 위해 mathematical-graphical 절차를 적용한다.[1]

반사각 설계과정에 있어 미리 주어진 양은 램프의 배 광분포와 목표로 하는 램프-반사각의 배 광분포이고 반사각 외형은 목표배광을 이루도록 설계된 단일 segment들의 조합으로 이루어진다(그림 4).

2.2 투광기(Floodlight)의 분류

옥외의 스포츠 조명이나 건물 등의 조형물을 비추는 조명에 사용되는 투광기에 대해 빔각에 따라서 JIS 분류, NEMA 분류로 나눌 수 있다. 여기서 빔각(투광기의 배광은 beam angle과 field angle로 분류할 수 있다. beam angle는 최대광도의 50%, field angle는 최대광도의 10%되는 지점사이의 각을 말한다.)은 최대광도의 50%되는 지점사이의 각

을 말한다.(그림 5참조) [2].

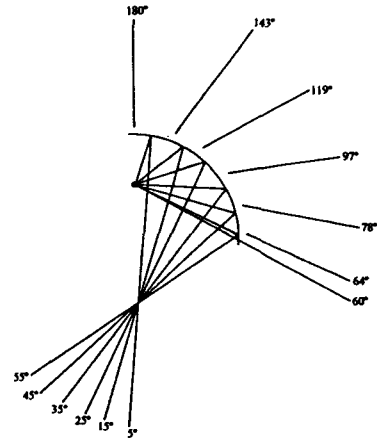


그림 4. Development of reflector contour

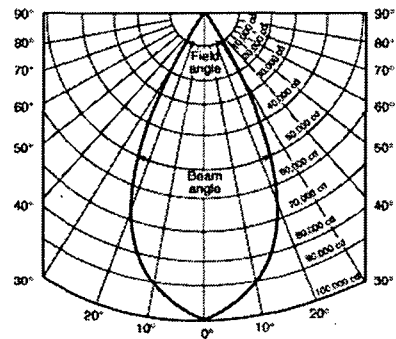


그림 5. Beam angle & Field angle

표 1. Classification of Floodlight (IIS/NEMA)

| Beam Type | Beam angle | | Type | Applications |
|-----------|------------|---------|--------------|---|
| | NEMA | JIS | | |
| 1 | 10°~18° | 10°~20° | Narrow beams | -투광기에서 피조면까지가 먼 경우 -고조도를 필요로 하여 다수 사용하는 경우 |
| 2 | 18°~29° | 20°~30° | | |
| 3 | 29°~46° | 30°~45° | Medium beams | -Narrow beam과 Wide beam의 중간 |
| 4 | 46°~70° | | | |
| 5 | 70°~100° | 45°~ | Wide beams | -투광기에서 피조면까지가 가까운 경우 -사용등수가 적은 경우 |
| 6 | 100°~130° | | | |
| 7 | 130°~ | | | |

투광기의 빔각, Narrow beams, Medium beams, Wide beams에 대한 JIS 분류 및 NEMA 분류에

대한 설명은 표1에서 나타내었다.

3. 투광기(Floodlight)의 설계

3.1. PLS 라이브러리 구성

배광 예측 프로그램인 Photopia에서 사용할 수 있도록 900W 81,000[lm]의 PLS를 측정된 배광과 같은 배광을 갖도록 반사의 mirror와 굴절의 bulb를 설계하였다. 설계된 PLS는 그림 6과 같고 측정된 배광과 설계된 PLS의 배광을 비교한 것은 그림 7에 보였다.

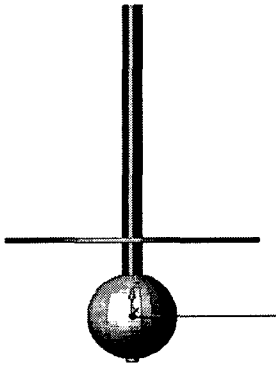


그림 6. Shape of PLS bulb

PLS는 광속이 81000 lm이고 효율은 86.7%이다. 그림7에 보인 PLS 실제 배광과 시뮬레이션 배광의 차이는 총광속과 bulb제조시 생기는 돌기 때문인 것으로 생각된다.

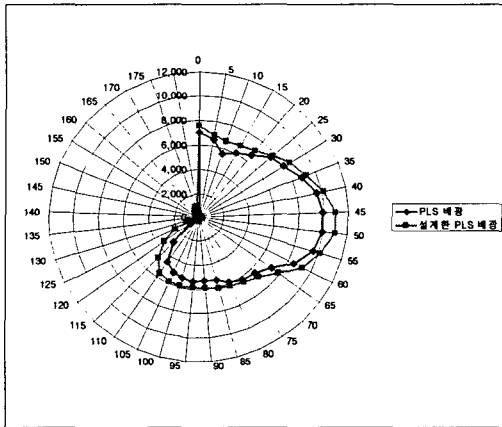


그림 7. Comparison of measured and calculated PLS intensity distribution

PLS에서는 안정기 쪽으로 향하는 빛을 이용하

기 위하여 Mirror을 부착시키고 있다. 이 Mirror에 의해 광원 자체가 복잡한 배광을 갖는다. Mirror의 영향을 그림 8에 보였다.

Mirror의 영향을 받는 부분의 광도가 크기 때문에 반사각 설계시 광원의 위치를 선정하는데 고려할 사항이 된다.

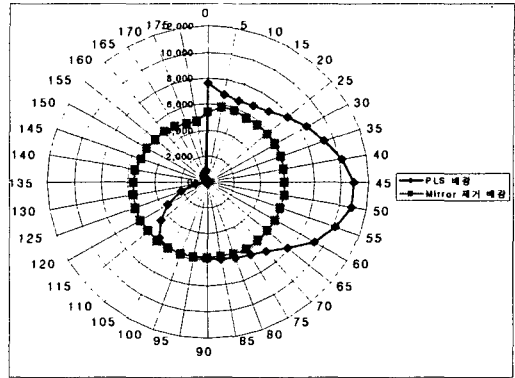


그림 8. Effect of Mirror

3.2. 설계방법

J-K/L-M이 축대칭인 빔각 7°~8°를 갖는 Spot형 투광기, 빔각 25°~30°를 갖는 Flood형 투광기를 설계하고자 한다.

(1) 광원의 위치선정

위에서 언급했듯이 PLS에서 뒤로 향하는 빛을 이용하기 위해 부착시킨 Mirror에 의해 PLS의 배광이 복잡해진다. 따라서 Mirror의 영향을 받는 구역에서의 광원 위치선정을 그림 9에서와 같이 고려한다.

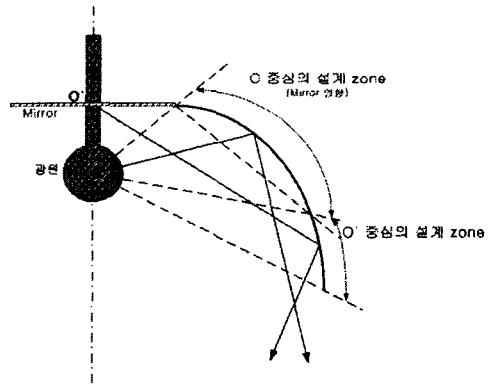


그림 9. Relation of the Mirror and Reflector

(2) 대칭 Spot형 투광기

Spot형의 배광을 만들기 위해서는 설계가 가장 용이하고 성능이 우수한 포물형상으로 한다. 그러나 개구부 크기/깊이가 결정되면 한 가지 포물선 밖에 만들 수 없는 단점이 있다. 따라서 일반형상 설계법이 필요하다. 먼저 축대칭형 반사각으로 성능을 확인한 후 면대칭형 4각 형상 반사각을 설계하였다.

(3) 대칭 Flood형 투광기

포물형상으로 넓은 빔을 갖는 Flood형의 빔을 만들기는 어렵고 mirror의 영향 때문에 광원의 위치를 고려하는 일반형상 설계법으로 설계한다. 또한 Flood형은 경면으로 설계한 후 peening이 요구된다.

역시 Spot형 투광기와 마찬가지로 축대칭형으로 성능을 확인한 후 대칭형 4각 형상 반사각을 설계하였다.

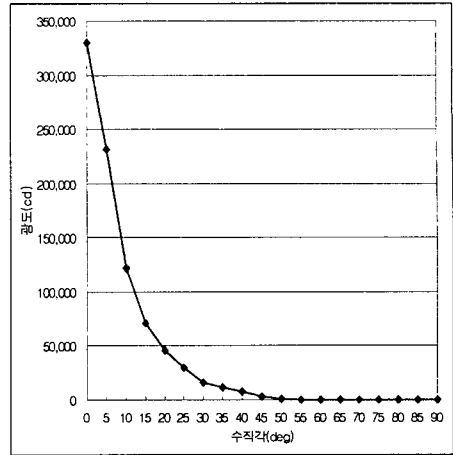


그림 11. Spot Floodlight intensity distribution

차단각은 40°이고 최대광도는 329,870[cd], 빔각은 설계시 개발목표에 맞는 7°~8°이다. 그리고 효율은 76.7%이다. 단, 효율은 PLS 광원의 효율이 86.7%이므로 이를 100% 놓고 환산하면, 효율은 88.5%이다.

3.3 투광기(Floodlight) 설계

3.3.1 대칭 협각형 투광기

대칭 협각형 투광기의 형상과 배광을 그림10과 그림11에서 보였다. 협각형 투광기는 포물형상으로 설계를 했다. 앞에서 언급했듯이 협각형 투광기 설계 시 포물형상이 가장 용이하고 성능이 우수하기 때문이다. 시뮬레이션에 사용한 입력 data들은 표 2와 같다.

표 2 Simulation input data

| 광원 초기광속 | ray 수 | 반사 수 | 재질의 반사율 |
|----------|-----------|------|---------------|
| 81000 lm | 500,000 개 | 10 번 | 86%(Specular) |

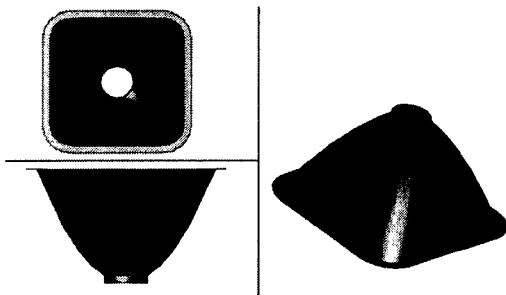


그림 10. Spot Floodlight contour

3.3.2 대칭 Flood형 투광기

대칭 Flood형 투광기의 형상과 배광을 그림 11와 12에서 보였다. Flood형 투광기는 일반형상으로 설계했다. 그림 10에서 보여준 것처럼 Mirror의 영향을 받는 구역, 영향을 받지 않는 구역으로 나누어 설계가 이루어졌다. 시뮬레이션에서 입력 data들은 표 3과 같다.

표 3 Simulation input data

| 광원 초기광속 | ray 수 | 반사 수 | 재질의 반사율 |
|----------|-----------|------|----------------------------|
| 81000 lm | 500,000 개 | 10 번 | 87%(Specular, 25'' peened) |

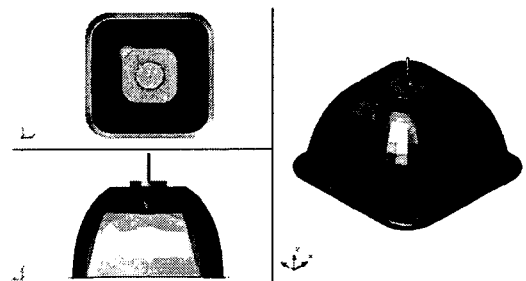


그림 12. Wide-beam Floodlight contour

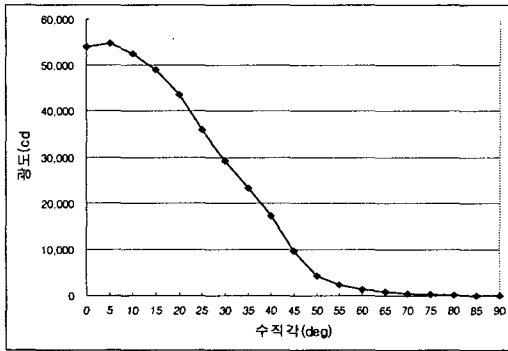


그림 13. Floodlight intensity distribution

차단각은 45°이고 최대광도는 53,932.2[cd], 빔각은 설계시 개발목표에 근사한 30°이다. 그리고 효율은 75.2%이다. 단, 시뮬레이션시 PLS 광원 자체의 효율이 86.7%이므로 이를 100%로 놓고 환산하면, 반사판의 효율은 86.7%이다.

4. 결 론

PLS는 그 크기가 작기 때문에 기존의 투광기에 비하여 매우 작고 높은 효율을 갖는 설계가 이루어질 수 있을 뿐 아니라, 기존의 투광기에 사용되는 광원으로 설계하는 것보다 수월하게 설계가 이루어질 수 있다. 단, Mirror의 영향을 받는 구역에 대한 설계가 이루어져야 한다.

본 논문에서는 900W PLS를 이용한 투광기만의 설계에 대해서 다루었지만, 현재 개발되고 있는 낮은 와트(W) PLS에 대해서 폭 넓고 다양한 응용범위에 대한 고효율의 반사갓을 용이하게 설계할 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

- [1] Joseph B. Murdoch, "Illumination Engineering From Edison's Lamp to the Laser", Macmillan Publishing Company, 1985.
- [2] IESNA, "Lighting Handbook 9th edition", IESNA, 1999