

# 컴팩트 메탈할라이드 램프용 가로등 기구의 3차원 반사판 설계법 개발

(Development of 3D Reflector Design Method for Compact Metal Halide Street Lighting)

조문성\* · 이창모\* · 석대일\* · 김 훈

(Moon-Sung Cho · Chang-Mo Lee · Dae-Il Seok · Hoon Kim)

(강원대학교 전기전자전공 · 강원대학교 전기전자공학부 교수)

## 요약

본 논문에서는 컴팩트 메탈할라이드 램프용 가로등 기구의 반사판에 대해 2차원 설계법을 기반으로 하는 3차원 설계법을 제시하고 포토피아 2.0의 반사판 설계 툴을 사용하여 150W 컴팩트 메탈할라이드 램프용 도로 조명 기구의 반사판을 설계하였다.

## 1. 서론

각종 광원은 그 구조 및 배광 등 특성이 각각 다르기 때문에 조명 기구는 그 사용 광원에 따라 다양한 적용 범위에 맞추어진 광학 설계가 반드시 이루어져야 한다.

이미 기존의 메탈 할라이드 램프와 이를 이용한 터널등, 가로등 등의 조명 기구는 국내에서 생산, 사용되고 있으나 그에 비해 높은 효율, 긴 수명, 작은 크기 등의 장점을 가진 컴팩트 메탈할라이드 램프는 국내에서 생산이 전무한 상태이며 그에 따른 조명 기구의 연구 또한 없는 상태이다.

컴팩트 메탈할라이드 램프에 대한 광학 설계 시 기존의 2차원 반사판 설계법을 적용할 경우, 여러 가지 조명 용도에 부합하는 다양한 배광을 만드는 데 한계가 있다. 즉 2차원 설계 시 반사판의 형태가 매우 단순하기 때문에 다양한 디자인의 조명 기구 제작이 어렵고 조명 기구의 배치에 제약이 따르며 조명 기구 설치 방법이 제한적이 된다.

본 논문에서는 컴팩트 메탈할라이드용 조명 기구에 대한 광학 설계 시에 필요한 3차원 반사판 설계법을 제시하자 한다.

## 2. 본론

### 2.1 광원

컴팩트 메탈할라이드 램프는 기존의 메탈할라이드 램프에 비해 고효율, 장수명 등의 장점이외에 발광관의 크기가 매우 작기 때문에 소형 반사판의

설계 및 제작이 가능하고 그에 따라 조명 기구의 크기 및 디자인이 다양해 질 수 있다. 또한 베이스 방향을 제외하면 점광원에 가까운 배광을 가지고 있기 때문에 광학 설계 시 배광 제어가 용이하고 컷오프 형태의 조명 기구의 사용으로 균제도를 증가시키고 글래어를 감소시킬 수 있다.

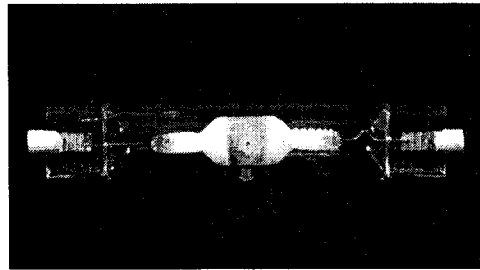


그림 1. 컴팩트 메탈할라이드 램프 (CMH)

Fig 1. Compact Metal Halide Lamp (CMH)

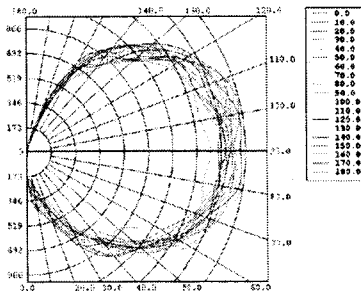


그림 2. 컴팩트 메탈할라이드 램프의 배광 (150W)

Fig 2. Lighting distribution of Compact Metal Halide Lamp (150W)

### 2.2 목표 설정

150W 콤팩트 메탈헬라이드 램프를 사용하는 2차선 도로용 배광을 목표로 설정하였다.[1]

효율은 90% 반사율을 가진 경면 반사판 사용시 80% 이상을 목표로 하였으며 도로 설치 시 평균 조도 40lx 이상, 전반 균제도 0.4 이상을 목표로 설정하였다.

반사판의 크기는 가로 10cm, 세로 20cm, 높이 10cm로 결정하였다.

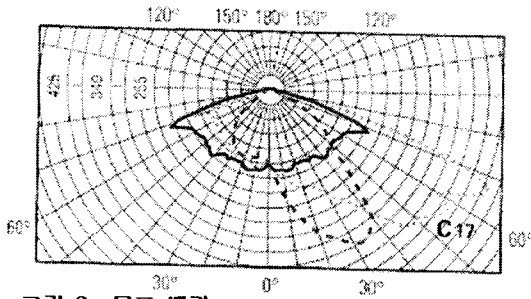


그림 3. 목표 배광  
Fig 3. Required candela distribution

### 2.3 반사판 설계 방법

3차원 설계 방법은 2차원 설계 방법을 기반으로 반사판의 각 단면을 각도에 따라 설계하고 그 단면을 연결하여 반사판 형상을 완성하는 방법을 사용하고 있다.

2차원 설계에서는 램프의 배광을 한 단면만 고려하고 광원의 길이 방향으로 균일하다고 가정하였지만 실제 점광원의 배광은 방향에 따라 다른 배광을 가지고 있고, 따라서 램프의 배광에 따라 설계하는 반사판 단면의 형상이 변할 수 있다.[3]

본 논문에서는 포토피아 2.0에 제공되는 반사판 설계 툴을 이용하여 반사판의 단면을 각각 설계하고 이들을 연결하여 반사판을 설계하였다.

#### 2.3.1 반사판 단면의 설계[2]

(1) 램프에 대해 각각의 수직, 수평각에 따른 배광 데이터를 확인한다.

(2) 하나의 수평각에 대해 각 수직각 구간의 배광 데이터에 구대 계수를 곱하여 각각의 각도에 따른 광속 값을 구한다. 콤팩트 메탈헬라이드 램프는 앞에서 언급했듯이 점광원으로서의 가정이 가능하기 때문에 구대 계수를 곱하여 각 수직각 구간의 광도를 광속으로 변환한다.

(3) 수직각 구간 마다 광속 값을 구한 수평각에 대해 목표 광도를 확인한다.

(4) 목표 광도를 만족하도록 적당한 비율로써

광속을 각 구간별로 분배한다.

(5) 목표 광속에서 램프의 직광을 빼면 반사판이 담당해야 하는 광속의 양이 정해진다.

(6) 각 구간별로 누적 광속의 양에 따라 구간에 해당하는 세그먼트가 빛을 보내야 하는 각도를 정한다.

표 1. 광속의 재분배

Table 1. Redistribution of luminous flux

zone	램프 광도	구대 계수	램프 광속	각도	누적 광속	구대 계수	반사판이 담당하는 광속	각도	누적 광속
0~10	1415	0.095	134.425	10	0.95	180.896	46.5709051	46.57096	
10~20	1361.5	0.283	382.4745	15	4.245	808.7681	426.2916157	472.86268	
20~30	1315.5	0.486	639.333	20	9.72	1361.874	1272.541357	1685.404	
30~40	1283.5	0.528	675.118	25	15.7	2061.196	2116.076235	3391.462	
40~50	1265	0.774	1048.77	30	23.22	4423.522	3375.152075	7176.634	
50~60	1244	0.897	1205.586	40	36.88	6835.931	5630.363268	12807	
60~70	1259	0.993	1349.487	50	49.05	9459.42	8109.93294	20916.93	
70~80	1263	1.058	1431.474					11467.61	
80~90	1267.5	1.091	1481.943					13028.04	
90~100	1305	1.091	1483.215					8534.094	
100~110	1386	1.058	1466.388					7044.879	
110~120	1383.5	0.993	1379.774					5578.491	
120~130	1363	0.897	1222.511					4188.719	
130~140	1339.5	0.774	1059.713					2976.107	
140~150	1328.5	0.628	833.042					1939.334	
150~160	1302.5	0.486	633.015					1106.292	
160~170	1265.5	0.283	358.1955					473.2765	
170~180	1212	0.095	115.14					115.14	
total			17892.89			89.715			

(7) 빛을 보내야 하는 각도에 따라 수직축으로부터의 각 구간별 반사판 세그먼트의 기울기를 구한다.

표 2. 반사판 세그먼트의 결정

Table 2. Determination of reflector segments

zone	mid zone	각 세그먼트가 빛을 보내는 각도	반사판 세그먼트 각도
170~180	175	5	90
160~170	165	5	85
150~160	155	15	85
140~150	145	25	85
130~140	135	35	85
120~130	125	35	80
110~120	115	35	75
100~110	105	45	75
90~100	95	45	70
80~90	85	45	65
70~80	75	55	65
60~70	65	65	65

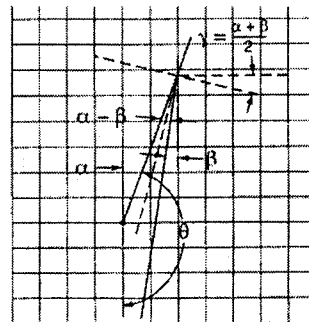


그림 4. 반사판 세그먼트의 결정

Fig 4. Determination of reflector segments

$$\theta = \frac{1}{2}(\alpha + \beta) \quad (1)$$

(8) 이렇게 결정된 세그먼트들을 연결하여 단면을 설계한다.

(9) 각각의 각도에 따라 반복하여 단면을 설계를 해야 한다.

### 2.3.2 반사판의 설계

전체적인 목표 배광을 만족시키기 위해 포토피아 2.0의 반사판 설계 툴을 사용하여 위에서 설계된 각각의 단면을 설계한 후 조합하여 반사판의 형태를 만들었다.

도로 조명용인 목표 배광을 만족하기 위해 가장 중요한 부분은 수직, 수평 및 대각선 방향의 배광이다.

먼저 조명 기구의 크기에 맞추어 수평 및 수직 단면을 앞에서 언급한 방법으로 만들어서 연결 하였다.

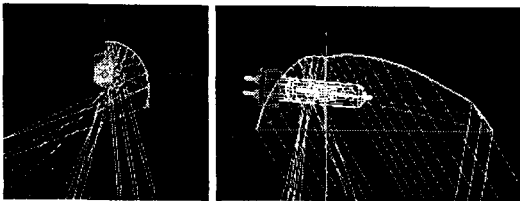


그림 5. 수직 단면의 설계  
Fig 5. Design of vertical sections

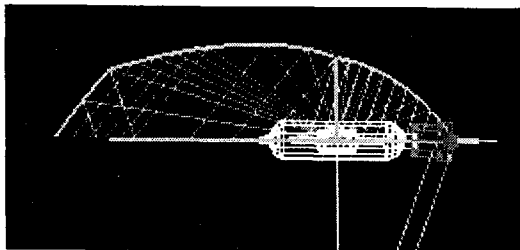


그림 6. 수평 단면의 설계  
Fig 6. Design of horizontal sections

수직, 수평 단면을 설계한 후 각각 30간격으로 대각선 방향 단면을 설계하였다.

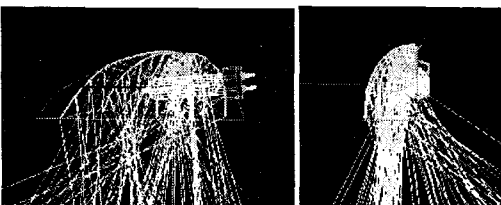


그림 7. 대각선 단면의 설계  
Fig 7. Design of diagonal sections

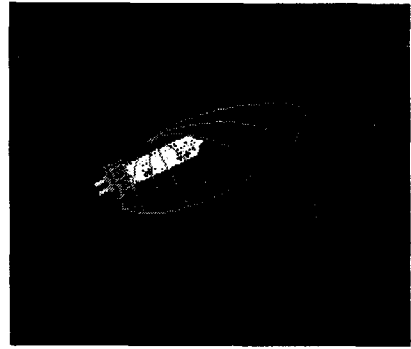


그림 8. 완성된 단면들의 조합  
Fig 8. Combination of finished sections

이렇게 만들어진 단면들의 조합을 캐드에서 연결하여 3차원 면을 만들어 반사판을 완성시킨다.

포토피아에서 작업 시 각 반사판 단면들을 조합할 때 각 단면들이 공유하는 기준점이 반드시 있어야 한다. 본 논문에서는 반사판의 정점을 기준으로 하여 수직 단면을 각 사분면마다 설계하고 또한 먼저 설계된 각 수직 단면의 끝점을 기준으로 수평 단면을 각 사분면마다 설계하였다.

앞에서 언급한 광속 재분배에 의한 방법으로 반사판 단면을 설계하여 그대로 적용하게 되면 배광이 가운데로 몰리는 현상이 일어나게 된다.

포토피아의 설계툴에서는 단면을 설계하는 즉시 반사광의 방향을 눈으로 확인할 수 있기 때문에 재흡수 및 재반사 등에 의한 손실을 바로 수정할 수 있다. 따라서 앞서 광속의 재분배로 설계한 단면의 형상이 변할 수 있다.

### 2.4 설계 결과 및 분석

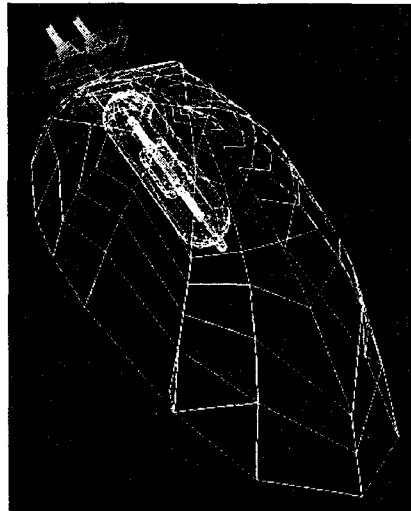


그림 9. 완성된 반사판의 형태  
Fig 9. Shape of finished reflector

반사판의 형태가 굴곡진 이유는 각 단면을 설계할 때 램프에 재흡수 및 재반사를 최소화 시키기 위하여 그에 영향을 미치는 반사판 세그먼트의 각도를 변화시켰기 때문이다. 목표 배광과 비교 할 때, 최대 배광 분포가 10°정도의 차이를 가지나 나머지 각도에서는 유사한 배광을 가지며 전체적인 배광 분포가 거의 유사한 형태로 나타났으며 효율은 90% 반사율을 가진 경면 반사판을 사용하여 90.1%의 높은 효율을 달성했다. 크기는 가로 약 8.8cm, 세로 약 19.5cm, 높이 약 6.2cm이다.

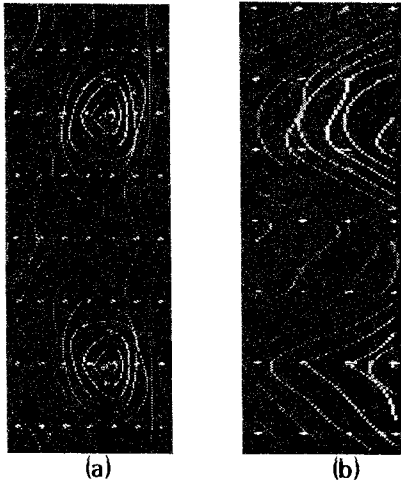


그림 10. 루멘마이크로 2000 시뮬레이션 결과 도로면의 등조도 곡선

(a) 도로면의 등조도 곡선, (b) 후사광에 의한 등조도 곡선

Fig 10. Result of iso-lux diagram by Lumen Micro 2000 simulation

(a) Iso-lux diagram of road surface, (b) iso-lux diagram by backward lighting of luminare

도로에서 사용 시 평균 조도, 전반 균제도, 후사광등을 알아보기 위해 루멘마이크로를 사용하여 시뮬레이션 한 결과 폴 높이 7m, 폴 설치 간격 18m에서 노면의 평균 조도는 44.48lx, 전반 균제도는 0.58이었다. 단, 후사광이 많아 이 부분에 대한 보완이 요구된다.

### 3. 결론

실제 조명 환경은 다양하고 그에 따라 다양한 광원이 사용된다. 또한 그에 적합한 조명 기구가 사용되어야만 주어진 조명 환경에 충분한 성능을 발휘할 수 있다. 앞에서 언급했듯이 2차원 설계로는 여러 가지 제약으로 인해 주어진 조명 환경에 충분한 성능을 발휘하는 조명 기구의 설계에 한계

가 있으므로 이를 보완하고 모든 조명 환경에 적합한 광학 설계를 할 수 있는 3차원 설계법에 대하여 제시하였다. 특히, 본 논문에서는 국내에서 아직 개발이 미비한 콤팩트 메탈할라이드용 도로 조명 기구에 대한 3차원 설계를 새로운 반사판 설계 틀인 포토피아 2.0을 사용하여 행하였다.

그러나, 완성된 반사판 형태가 실제 제작이 가능한가에 대한 문제점을 가지고 있다.

이는 앞으로 3차원 반사판 설계에 대한 연구가 더 충실하게 진행된다면 개선되어질 수 있을 것으로 예상된다.

### 참고문헌

- [1] "Philips Outdoor Lighting", Philips Lighting, 2000.09
- [2] "Illuminating Engineering", Joseph.B.Murdoch, 2003
- [3] "3차원 경면 반사판 설계 알고리즘 개발", 황남극, 2002.02