

컴팩트 메탈할라이드 램프 전용 가로등 기구의 반사판 설계

(Reflector design of street lighting luminare for Compact (Ceramic) Metal Halide Lamp)

조문성* · 김형권 · 정남용 · 김진모

(Moon-Sung Cho · Hyeng-Kwon Kim · Nam-Yong Jung · Jin-Mo Kim)

Abstract

본 논문에서는 컴팩트 세라믹 메탈할라이드 램프용 가로등 기구의 반사판에 대해 2차원 설계법을 기반으로 한 3차원 설계로 150W single-ended type 컴팩트 세라믹 메탈할라이드 램프 전용의 가로등용 반사판을 설계하였다.

1. 서론

일반적으로 가로등용 배광과 조명 요건은 기준으로 정해져 있다.[2][3] 그러나 가로등용으로 사용되는 광원은 그 크기와 구조, 배광 등의 특성이 각각 다르기 때문에 최적의 목표 배광 및 조명 요건을 달성하기 위해서는 사용 광원에 따라 적합한 광학 설계가 반드시 이루어져야 한다.

최근 가로등용으로 주목받고 있는 광원인 컴팩트 세라믹 메탈할라이드 램프는 사용이 점점 늘어나고 있음에도 불구하고 국내에는 아직까지 이에 대한 광학 설계 기술 및 반사판 제작·생산 기술이 전무한 상태이다.

본 논문에서는 3차원 반사판 설계법을 기반으로 하는 3차원 반사판 설계법을 사용하여 150W single-ended type 컴팩트 세라믹 메탈할라이드 램프 전용의 가로등용 반사판을 설계한 후, 역광선 추적법(converse ray-tracing method)을 사용하여 최종 반사판을 설계하고, 이를 실제 제작 및 적용하여 그 효과를 증명하였다.

2. 본론

2-1. 광원

광원으로는 150W single-ended type 컴팩트 세라믹 메탈할라이드 램프를 사용하였다.

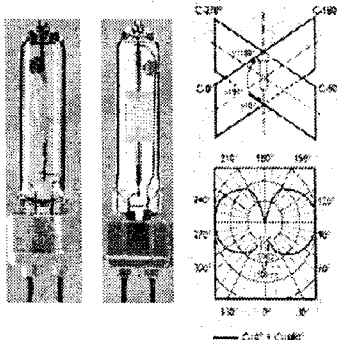


그림 1. 세라믹 컴팩트 메탈할라이드 램프
Fig 1. Ceramic Compact Metal Halide Lamp

2-2. 목표 배광 설정[2]

KS 기준 KS C 7611에 기재된 형태를 목표로 설정하였다.

(1) 컷 오프형

(2) 배광의 최대 광도 : 연직각 60°

(3) 광도 분배

- 연직각 90° : 10이하(1000 lm 당)

- 연직각 80° : 30이하(1000 lm 당)

광효율은 80%이상을 목표로 설정하였다.

또한, 최근 문제가 되고 있는 후사광을 최소화 할 수 있는 설계를 지향하였다.

2-2. 반사판 설계 방법

반사판의 설계는 2차원 설계를 기반으로 하는 3차원 설계 기법을 사용하였다.

광속 재분배법을 사용하여 수평각에 따른 각각의 반사판 연직 단면을 설계하고 이를 면으로 구성하여 반사판의 기본 형태를 설계하였다.

이어, 역광선 추적법(converse ray-tracing method)를 사용하여 광원으로의 반사광 재흡수의 최소화, 디테일한 배광 제어를 통한 효율적 배광 곡선 구현 등을 실행하였다.

2-2-1. 광속 분배법[1]

램프의 전광속을 수평, 수직의 각도별로 분석하고 목표 배광 구성의 각도별 광속을 분석하여 각 반사판 세그먼트들의 목표 배광 구현을 위한 지향각을 결정한다.

표 1. 광속 재분배표

Table 1. Redistribution of luminous flux

Zone	원도 광속	각도 계수	원도 광속	각도 계수	원도 광속	각도 계수	원도 광속	각도 계수	원도 광속	각도 계수
0-10	1415	0.092	134.242	10	0.95	180.899	28.5706551	445.52092		
10-20	1911.5	0.283	395.4128	15	4.248	893.78911	659.2316151	472.9826		
20-30	1919.5	0.486	639.533	20	9.727	1881.874	1212.541957	1696.404		
30-40	1383.5	0.628	876.118	25	16.7	2981.196	2146.078236	3801.482		
40-50	1395	0.774	1048.77	30	23.22	4423.022	3376.152075	7178.634		
50-60	1344	0.887	1205.688	40	35.88	6635.937	5630.363988	12807		
60-70	1329	0.983	1349.497	50	49.62	9459.42	8109.93294	20916.83		
70-80	1353	1.068	1451.978						11457.51	
80-90	1367.5	1.091	1497.943						10026.04	
90-100	1395	1.091	1489.213						8534.084	
100-110	1390	1.058	1496.399						7044.879	
110-120	1386.5	0.963	1579.714						5538.491	
120-130	1363	0.827	1222.811						4192.718	
130-140	1339.5	0.714	1058.772						2978.107	
140-150	1326.5	0.628	893.042						1939.334	
150-160	1302.5	0.486	633.019						1106.282	
160-170	1269.5	0.283	362.1965						473.2765	
170-180	1212	0.092	115.14						115.14	
총합			17992.698		89.719					

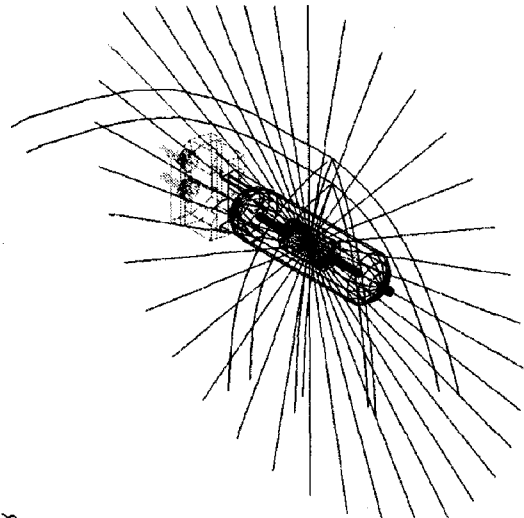


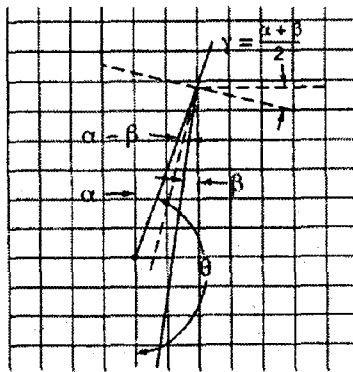
그림 3. 각 연직 단면의 설계

Fig 3. Design of each vertical sections

표 2. 반사판 세그먼트 기울기 결정

Table 2. Determination gradient of reflector segment

zone	mid zone	각 세그먼트가 백광 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



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

그림 2. 반사판 사그먼트 기울기 계산

Fig 2. Calculation gradient of reflector segment

2-2-2. 2차원 반사판을 기반으로 한 3차원 반사판 설계

광속 재분배법을 사용하여 수평각에 따른 반사판의 연직 단면들을 설계한다. 본 연구에서는 전면 및 측면 배광을 구현을 위해 30°간격으로 연직 단면들을 설계하였다. 조금 더 세밀하게 간격을 나눈다면 더욱 정교한 배광의 반사판을 설계할 수 있을 것으로 사료된다.

2-2-3. 역광선 추적법

광속 재분배법은 기본적으로 광원이 점광원이라는 가정하에 적용되는 반사판 설계법 중 하나이다. 실제의 광원은 부피와 형태를 가지고 있으며, 세라믹 콤팩트 세라믹 메탈할라이드 램프는 현존하는 HID광원 중 가장 점광원에 가깝다고는 하지만, 역시 부피와 형태를 가지고 있다. 또한 설계하는 반사판의 크기가 소형이므로 작은 변화에도 배광과 광효율 등에 민감하게 영향을 끼치게 되므로 이러한 과정은 필수적이라고 할 수 있다.

광원에서 발산되는 빛이 반사판 세그먼트에 반사되어 향하는 각도를 추적하여 반사판을 설계하는 광선 추적법(ray-tracing method)를 역으로 이용하여 이미 광속 분배법에 의해 기본적인 형태가 설계된 반사판의 배광을 각도별로 역추적하여 반사판 세그먼트에 대한 수정을 통해 광효율을 저하하는 광원으로의 반사광의 재흡수, 재반사의 방지 및 디테일한 부분 배광 제어를 실행하였다.

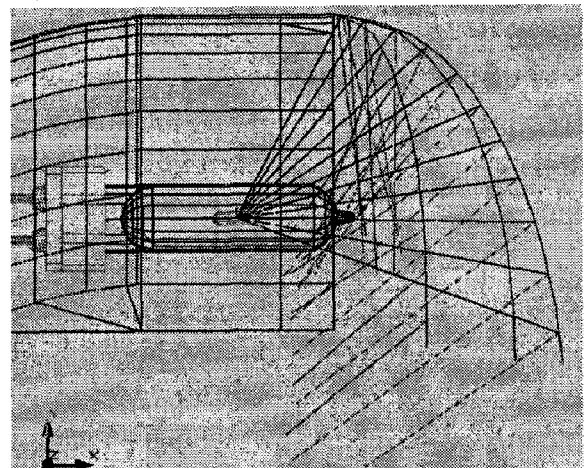


그림 4. 역광선 추적법

Fig 4. Converse ray-tracing method

3. 결과 및 분석

3-1. 반사판 설계 결과

광속 재분배법을 사용한 반사판의 기본 형태 설계와 역광선 추적법을 사용한 높은 광효율 및 디테일한 부분 배광 제어를 통해 다음의 반사판을 설계하였다.

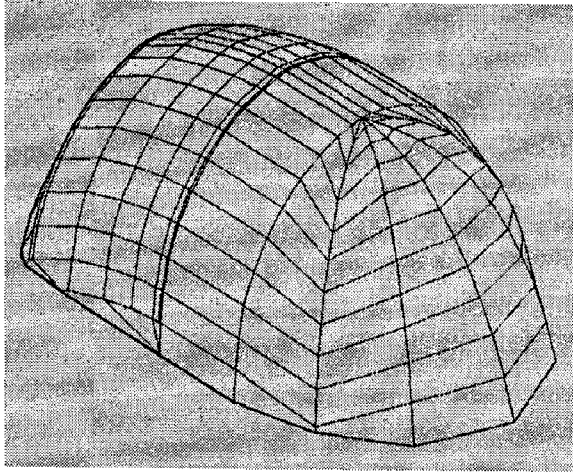


그림 5. 설계된 반사판의 형태
Fig 5. Configuration of designed reflector

90%의 반사율을 가진 경면 재질 적용 시, 약 88.3%의 높은 광효율을 가지는 컷 오프형이며, 크기는 가로 약186.3mm, 세로 약 117.8mm, 높이 약 77.9mm의 소형 반사판이며 도로 조명의 목적에 부합되는 배트 윙형태의 배광을 가진다.

또한, 인도 쪽을 향하는 후사광을 제어하여 광해를 최소화하였다.

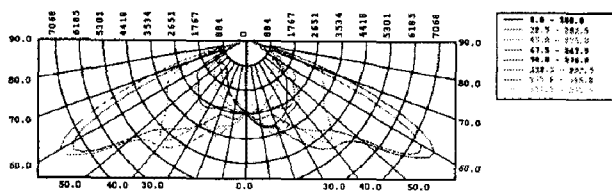


그림 6. 배광 곡선
Fig 6. Luminous intensity distribution curve

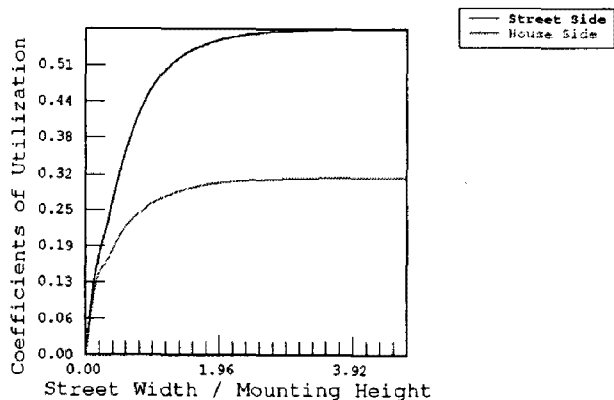


그림 7. 후사광의 최소화(House Side)
Fig 7. Minimize of House Side Light

3-2. 반사판 제작

설계된 반사판을 금형화하여 제작하였다.

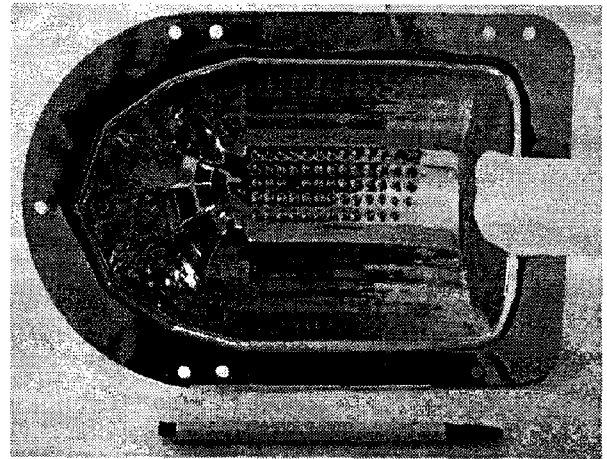


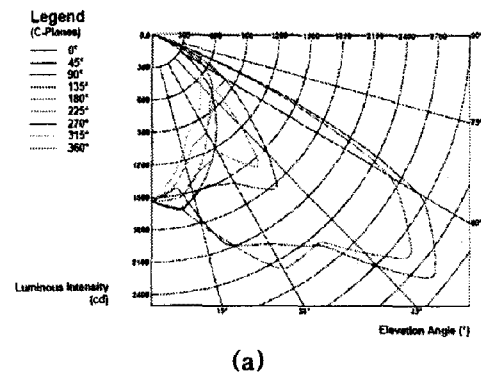
그림 8. 실제 반사판의 모습
Fig 8. Real feature of reflector

3-3. 실측

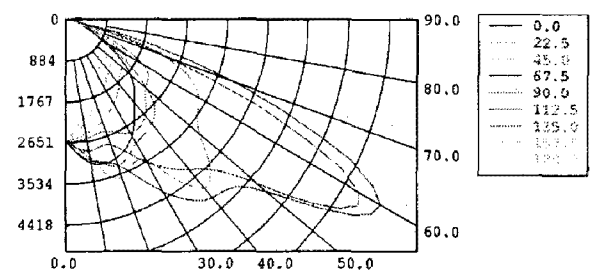
실제 반사판의 배광 및 효율을 확인하기 위해 배광측정기(Goniometer ; 호주 OPT사 DP2000)를 사용하여 측정을 실시하였다.

그 결과, 설계 시, 시뮬레이션 배광 곡선과 실제 측정 배광 곡선이 거의 유사함을 확인하였다.

또한, 실측 광효율은 85.6%로써, 설계 광효율 88.3%와 약 3%의 작은 오차를 보이나, 설계 목표인 80%를 크게 웃도는 것을 확인할 수 있었다.



(a)



(b)

그림 9. 배광 곡선

(a) 실측 배광 곡선, (b) 시뮬레이션 배광 곡선

Fig 9. Luminous intensity distribution curve
(a) measured luminous intensity distribution curve
(b) simulated luminous intensity distribution curve

3-4. 적용

실제 도로에 적용 시, 평균 조도, 전반 균제도 등을 확인하기 위해 Lumen Micro 2000을 사용하여 시뮬레이션을 실시한 결과 왕복 2차선 기준으로 폴 높이8m, 폴 설치 간격 35m에서 노면의 평균 조도는 29.2 lx, 전반 균제도는 0.5로써, KS 기준 (R3 기준 평균 조도 29 lx, 전반 균제도 0.4)[3]을 충분히 만족하는 조도 레벨을 확보할 수 있음을 확인할 수 있었다.

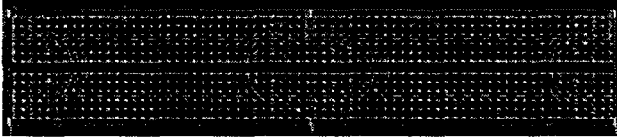


그림 10. 루멘마이크로 2000 시뮬레이션 결과 도로면의 등조도 곡선

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

4. 결론

이미 해외에서는 콤팩트 세라믹 메탈헬라이드 램프를 비롯하여 최적 광학 설계를 적용한 전용 조명 기구에 대한 개발, 판매가 활발히 이루어지고 있다.

최근 국내에서도 콤팩트 세라믹 메탈헬라이드 램프 및 이를 사용한 조명 기구의 보급이 가속화 되고 있는 실정이다. 특히 도로 조명 분야에서 이러한 추세가 두드러지고 있으나 이를 최적으로 사용할 수 있는 기술 개발은 전무한 실정이다.

이로 인해, 근래에는 콤팩트 세라믹 메탈헬라이드 램프 및 응용 분야의 국내 시장에 대한 해외 업체의 잠식이 심화되고 있는 실정이다.

또한, 기존 HID 광원이 콤팩트 세라믹 메탈헬라이드 램프로 대체되는 속도는 점점 더 빨라질 것으로 예상되며, 이에 발맞추어 기술 개발이 이루어지지 않는다면 국내 시장의 해외 업체 잠식은 점점 더 심화될 것이다.

콤팩트 세라믹 메탈헬라이드 램프 관련 기술 중, 가장 시급한 부분이 바로 조명 기구 효율을 결정하는 광학 부품의 설계이다.

뿐만 아니라, 실제 도로 적용 시, 폴 간격 및 높이 등의 경제적 부분과 조도 레벨 등의 효율적 부분에 직접적으로 관계되는 핵심 부분이라고 할 수 있다.

본 연구에서는 이러한 콤팩트 세라믹 메탈헬라이드 램프 전용 가로등 기구의 반사판을 설계, 제작 및 제품화하였다.

후속 연구에서는 콤팩트 세라믹 메탈헬라이드 램프와 함께 기존 HID램프를 혼용하는 고효율 반사판을 설계, 제작 및 제품화할 예정이다.

참 고 문 헌

- (1) "Illuminating Engineering", Joseph.B.Murdoch, 2003
- (2) KS C 7611:1978 도로 조명 기구
- (3) KS A 3701:2007 도로 조명 기준