

배광패턴을 고려한 차량용 헤드램프 반사갓의 광학설계 알고리즘 개발

(The Development of Headlamp Reflector Design Algorithm using the Light Distribution Pattern)

김진우* · 김 훈

(*강원대 전기공학과 대학원 석사과정, 강원대 전기공학과 교수)
(Jin-u Kim · Hoon Kim)

Abstract

헤드램프는 안개등, 후미등, 제동등, 방향지시등과 함께 자동차의 등화장치 중의 하나로서 특히 야간의 안전운행을 위해 필수적인 장치이다. 야간 운전시 차량의 운전자는 마주오는 차량의 헤드램프에 의한 눈부심으로 도로의 사정을 정확히 파악할 수 없는 일이 종종 발생하게 되는데 이것은 야간 사고의 큰 원인으로 지목된다. 그러므로 헤드램프의 빔패턴은 정확하고 sharp한 cut-off line을 가져야 한다. 본 논문에서는 미국식 빔패턴(SAE type)을 고려한 헤드램프용 반사갓 설계의 한가지 알고리즘을 제시한다.

1. 서론

최근 우리 나라의 자동차 보유현황은 1993년 약 620만대에서 한국자동차공업협회의 자료에 의하면 2002년을 기준으로 약 12,914,115만대로 몇 년 사이에 대략 두 배 가량 크게 증가하였다고 한다. 이런 차량의 증가와 더불어 교통사고의 발생건수도 늘어나게 되었으며 특히 야간의 교통사고가 상당히 증가하는 추세에 있다. 야간에 운전자는 도로 주변의 가로등과 자동차의 헤드램프에 의존하여 도로상황을 파악하게 되는데 야간의 운전시 마주오는 차의 헤드램프에 의한 시인성의 감소가 야간 교통사고의 큰 원인이 될 수 있다. 그러므로 헤드램프는 이와 같은 상대 차량의 운전자에게 글레어가 발생하지 않도록 하는 sharp한 cut-off를 갖도록 설계가 되어야 한다.

본 논문에서는 헤드램프 구성 요소와 광학적 특성, 그리고 목표배광패턴을 이용한 헤드램프용 반사갓의 한 가지 설계알고리즘을 제안하고자 한다.

2. 본론

2.1. 헤드램프의 구조 및 구성요소

헤드램프를 이루는 구성요소로는 크게 광원, 반사갓, 렌즈로 구분할 수 있다.[1]

그림 1은 헤드램프의 일반적 구조를 보여주고 있다. 그림과 같이 헤드램프는 빛을 내는 광원, 광원으로 부터의 빛을 목표배광에 따라 반사시키는 역할을 하는 반사갓, 그리고, 반사갓으로부터의 빛을 더 정확히 제어하기 위한 렌즈로 구성되어진다. 렌즈의 경우 최근에는 설

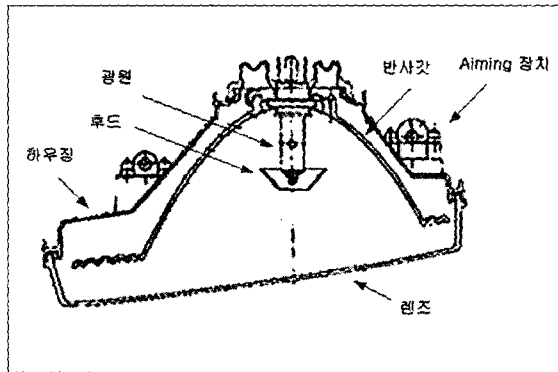


그림 1. 헤드램프의 구성요소

계된 렌즈에서의 손실을 막고자 무스텝 렌즈가 사용되어진다. 이 외의 구성요소로는 반사경을 지지하며 렌즈를 밀봉하는 하우징, 헤드램프 내에 먼지와 물의 유입을 방지하는 더스트 커버, 광원으로부터의 직접 beam을 막기 위한 후드, 헤드램프 내의 뜨거워진 공기를 배출하기 위한 열발구, beam의 방향을 조절하고자 설치된 Aiming 장치 등이 있다.

2.2. 헤드램프용 반사갓의 광학적 특성에 따른 분류

현재까지 개발되어진 헤드램프용 반사갓의 광학적 형상은 포물면 반사갓(parabolic reflector), 등초점 반사갓(Homo Focal Reflector), 다중초점 반사갓(Multi Focus Reflector), 타원체형 반사갓(Poly-Ellipsoid System of Projector Headlamp), 연속다중 초점 반사갓(VFR), 그

리고 최근 헤드램프용으로 사용이 증가된 discharge lamp를 사용한 PES, 또는 VFR 등이 있다.

이들 중 포물면 반사갓은 초점에 놓여진 광원으로부터의 반사 beam은 모두 직진한다는 기본적인 성질을 이용한 것으로 금형제작이 쉽고 개발 비용 및 제품의 가격이 낮다는 장점이 있으나 배광의 성능 향상에는 어려움이 있다. 또한 현대와 같은 다양한 형태의 차체에 적용되어지기는 반사갓 형상의 경사각에 한계가 있어 다소 적용하는데 어려움이 있다.

이 후 포물면 반사갓의 이러한 단점을 개선하고자 많은 노력들이 있었으며, 현재에는 그림 2와 같은 다중 초점 반사갓(MFR)과 그림 3과 같은 타원체형 반사갓(PES)이 생산되어지는 차량에 많이 적용되어지고 있다.

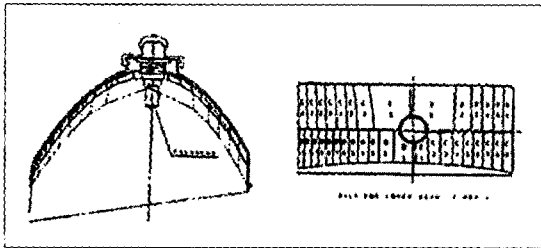


그림 2. MFR (Multi Focus Reflector)

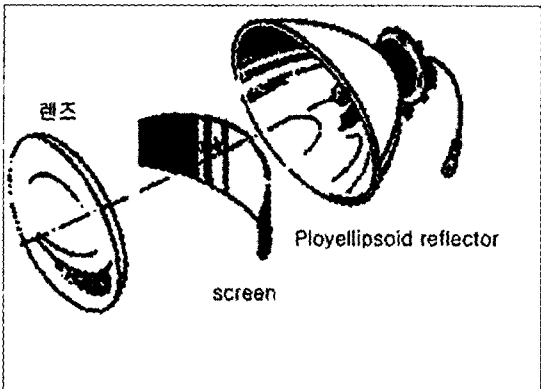


그림 3. Ploy-Ellipsoid System

2.3. 배광패턴에 따른 분류

헤드램프의 성능이나 조건 등은 각국마다 서로 다른 고유법규로 규제하고 있으며, 그 중 대표적인 것으로 미국식(SAE type)과 유럽식(ECE type)을 들 수 있다.

미국식(SAE type)의 경우 광원의 위치가 헤드램프 반사갓의 좌측 상방에 위치하여 test screen에 투영되는 beam의 중심점이 우측에 위치하고, 대부분의 유효광속이 아래로 향하여 노면을 조사토록하고 있다. Light distribution pattern은 그림 4와 같으며, 마주 오는 차량의 운전자에 미치는 glare에 대한 규제가 엄격하지 않

은 형태이다.

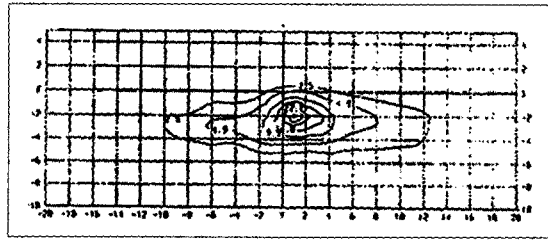


그림 4. SAE type의 light distribution pattern

이에 비해 유럽식은 마주 오는 차에 미치는 glare에 대해 엄격히 규제하는 형태의 빔 패턴을 가지고 있으며, 그 형태는 그림 5와 같다.

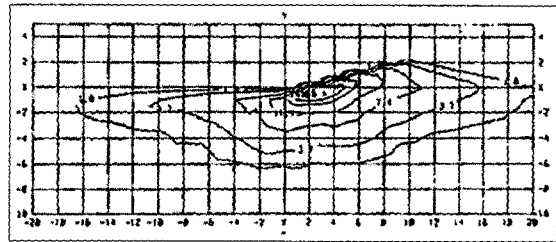


그림 5. ECE type의 light distribution pattern

그림 5에서 보여지는 것과 같이 광축을 기준으로 빔의 조사 방향이 아래로 향하여 마주 오는 차량의 운전자에 대한 눈부심을 적게 하며, 우측은 위쪽으로 약 15°까지 조사함으로써 인도의 보행자나 교통표지판 등의 식별을 용이하게 한다.

본 논문에서는 미국식(SAE type) light distribution pattern을 목표 배광으로 하여 이를 만족하는 헤드램프용 반사갓을 설계하는 것을 목적으로 한다.

2.4. 헤드램프용 반사갓의 설계

미국식 배광패턴인 SAE type은 그림 4에서처럼 수평으로는 넓게 퍼지나 수직으로는 상대적으로 적은 범위로 조사되어지는 것을 볼 수 있다. 또한 beam의 중심으로는 상당히 높은 광도 값을 가져야 하므로 반사갓에서는 이 부분으로 beam을 집중 시켜야 한다. 그림 6은 헤드램프용 반사갓으로 사용될 수 있는 여러 가지 형태의 반사갓을 보여준다.[2]

그림 6(a)의 conventional reflector는 포물형, 타원형, 쌍곡선형의 기본 수식들에 의한 반사갓 형태이다. 이런 형태의 반사갓은 헤드램프용 반사갓으로 사용되어지기에는 앞서 언급한 조건에 부합되는 배광 패턴을 만들어 내기는 힘들다. 그러므로 이것들의 앞단에 정확히 설계 되어진 렌즈를 설치함으로써 목표 배광 패턴의 조건을

만족시키는 방법을 사용하게 된다.

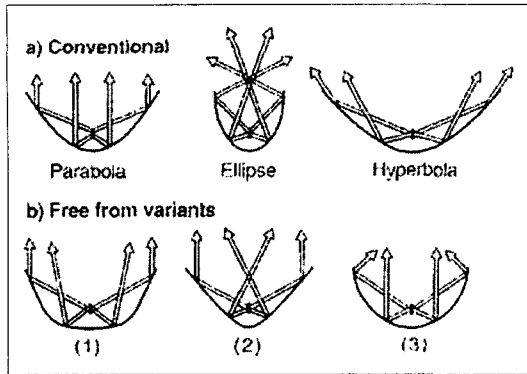


그림 6. Reflector strategies

그림 6의 (1), (2), (3)의 형태는 두 가지 이상의 반사 갓 형상을 적당히 결합한 것이다. 이는 수평으로도 넓게 빔을 흐트러지게 할 수 있으며 또한 목표 배광패턴에서 중심이 되는 지점에 평행 또는 거의 평행하게 빔을 보낼 수 있으므로 그림 6(a) 보다 SAE 배광 패턴을 효율적으로 만족시킬 수 있다.

본 논문에서는 그림 6(3)과 같은 광축의 중심부에서는 포물형으로 설계하여 목표 배광패턴의 중심 부분의 조건을 만족시키도록 하고 그 바깥쪽 부분에서는 광축을 중심으로 반대쪽으로 beam을 보내는 형태를 취하여 빔을 보다 넓은 범위로 조사하는 형태로 헤드램프용 반사갓을 설계해 보았다.

2.4.1. 포물면의 끝점 계산

그림 6(3)과 같은 형태의 반사갓을 구성할 경우 광원으로 부터의 입사 빔을 광축에 평행하게 보내주는 역할을 하게 될 포물면의 크기는 그림 7에서처럼 포물형의 기본 성질을 이용하였다.

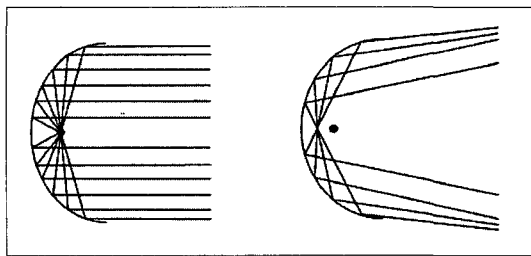


그림 7. 포물면의 초점에 대한 광원의 위치에 따른 빔의 형태

그림 7과 같이 포물면은 초점에 광원이 위치할 경우 반사갓으로부터의 빔은 광축에 평행하게 나가게 되는 성질을 가지고 있으며, 또한 광원이 초점의 안쪽에 위

치할 경우 반사갓으로부터의 빔은 발산하는 성질을 가지고 있다.[3]

실제 헤드램프용 반사갓에 적용되어지는 광원의 필라멘트 크기를 고려하면, 필라멘트의 끝부분은 포물의 초점에서 안쪽에 위치하게 되므로 이 점에서 그림 8의 점 P로 입사된 ray는 일정한 각 θ_3 를 가지고 발산하게 될 것이다.

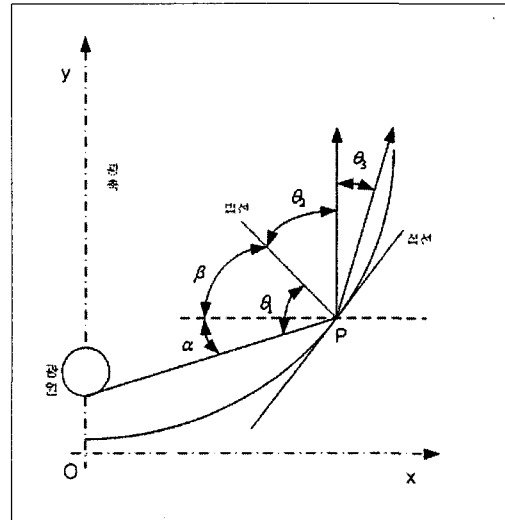


그림 8. 포물면의 끝점 계산

초점이 f 인 포물면을 생각하면, 점 P의 좌표는 포물 방정식에 의해 $P(x_n, ax_n^2)$ 가 될 것이며, 여기서 a 는 $1/4f$ 이다. 이 점에서의 접선의 방정식은 다음과 같다.

$$y = \frac{x_n}{2f} x - ax_n \quad (1)$$

또, 이 접선에 대해 수직으로 직교하는 법선의 방정식을 $y = px + q$ 라고 하면 기울기 p 는 다음과 같다.

$$p = -\frac{2f}{x_n} \quad (2)$$

광원의 크기가 $(2 \cdot \Delta f)$ 라고 한다면 광원의 끝에서 점 P까지의 입사 ray의 방정식은 다음과 같이 표현되어진다.

$$y = \frac{ax_n^2 - (f - \Delta f)}{x_n} x + (f - \Delta f) \quad (3)$$

구해진 입사 ray의 방정식으로부터 α 를 구할 수 있으며, 법선과 x 축의 관계에 의해 β 를 구할 수 있다.

$$\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{ax_n^2 - f - \Delta f}{x_n}\right) \quad (4)$$

$$\beta = \tan^{-1}\left(-\frac{2f}{x_n}\right) \quad (5)$$

α 와 β 로부터 θ_1 은 $\theta_1 = \alpha - \beta$ 의 관계를 가지고 있으며, θ_2 는 점 P 를 지나면서 x 축에 수직인 직선과 법선 사이의 각이므로 $\theta_2 = \beta + 90$ 로 구해지며, 최종적으로 발산각인 θ_3 는

$$\theta_3 = \theta_1 - \theta_2 \quad (6)$$

로 구할 수 있다.

θ_3 는 안쪽 초점이 되는 광원의 끝부분에서의 입사 ray에 대한 반사 ray의 수직에 대한 발산각이 되며 목표하고자 하는 배광의 패턴의 중심부분의 넓이에 의해 θ_3 를 결정하게 된다.

2.4.2. 광축 맞은편 빔패턴에 대한 세그먼트의 결정

포물면 이 후의 세그먼트들은 주어진 목표광도에 의해 구해질 수 있다. 스크린에 투영되는 빔의 패턴 중에 집중되는 지점에서부터 일정한 간격으로 목표광도를 설정한 후, 목표 광도값을 광속으로 변환하여 광원으로부터의 광속값에 따라 세그먼트의 크기 및 광축에 대해 기울어진 각도를 구하게 된다.[4]

그림 9는 초점거리가 25.82mm인 포물면과 그 이후의 세그먼트를 계산하여 완성한 형태이다.

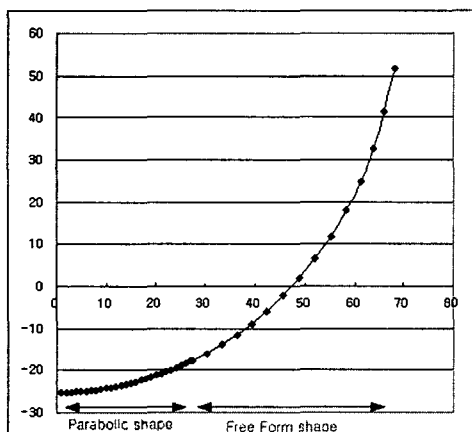


그림 9. 헤드램프용 반사갓의 세그먼트 결정

2.4.3. 반사갓 완성 및 시뮬레이션 결과

그림 9의 포물면과 그 이후의 목표배광에 따른 세그먼트의 형상을 기본으로 하여 높이가 8cm이고, 초점거리가 25.82mm인 반사갓을 설계하였다. 설계된 헤드램프용 반사갓은 ASAP 7.5를 이용하여 시뮬레이션 하였으며, 반사갓에서부터 스크린까지의 거리는 10m로 하여 투영되는 빔패턴의 형상을 확인해 보았다.[5]

반사갓의 재질은 반사율 0.83의 경면재질을 선택하였다.

그림 10은 설계가 완료된 헤드램프용 반사갓의 형상이며, 시뮬레이션 시 사용된 램프는 ASAP 7.5의 램프 라이브러리에 있는 출력 광속이 1200 lumen인 H11 램프이다.(그림 11)

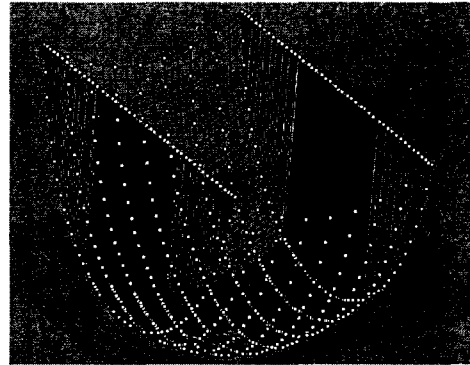


그림 10. 완성된 헤드램프용 반사갓 형상

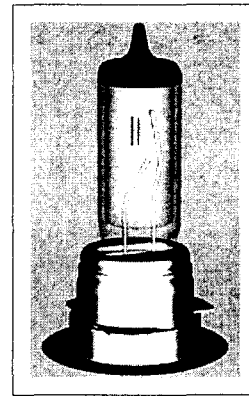


그림 11. H11 램프

그림 12와 13은 시뮬레이션후의 10m앞의 스크린에 투영된 결과 빔패턴을 보여주고 있다.

SAE에서 추천하는 빔 패턴은 모든 빔이 0도 아래로 하향하는 패턴이다. 시뮬레이션 결과 대략 상방 5°까지 빔 패턴이 형성되는 것을 볼 수 있다. 이것은 반사갓의 aiming을 통해 해결할 수 있다.

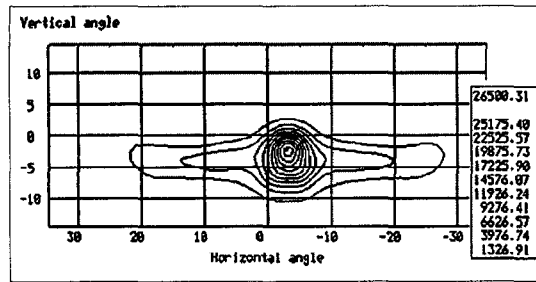


그림 12. 헤드램프의 결과 배광패턴

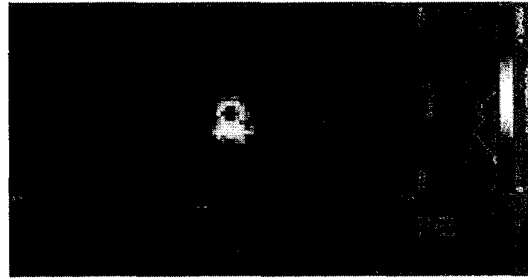


그림 13. Geometrical Ray SPOTS

3. 결론

지금까지 헤드램프의 구조 및 분류, 그리고 배광패턴을 고려한 설계의 한 가지 알고리즘에 대해 기술하였다. SAE type은 ECE type에 비해 마주오는 차량의 운전자에 대한 글레어의 제한이 적은 편이다.

설계되어진 반사각의 시뮬레이션 결과를 보면 수평으로 0° 위의 빔들이 발생하여 글레어에 대한 효과적인 차단이 되어지지 않고 있다. 이것은 앞서 언급했듯이 반사각의 aiming의 조절로 해결 가능하며, 수평으로의 배광패턴은 만족하지만 수직 배광패턴이 상당히 넓은 범위가 조사되고 있는 문제점은 앞으로 헤드램프용 반사각의 형상에 대한 지속적인 연구로 해결 가능할 것이라고 생각된다.

참 고 문 헌

- [1] 강병도, "플라스틱 렌즈 조명등의 온도분포와 배광패턴에 관한 실험적 연구", 경희대학교 석사학위논문, 1996. 2.
- [2] Hiroo Oyama & Yoshifumi Kawaguchi, "The Development of the Line-Beam Headlamp" SAE Technical Paper Series, 1999.1
- [3] William B Elmer, "The Optical Design of Reflectors", TLA Lighting Consultants, Inc, Salem, Ma, 1989.
- [4] Joseph B. Murdoch "Illumination Engineering From Edison's Lamp to the Laser", Macmillan Publishing Company, 1985.
- [5] Han-Wen Tsai & Chien-Ping Kung, "Computer Assisted Headlight Design and Research", SAE Technical Paper Series, 1995.5