

HID 램프용 반사갓의 3차원 설계법 개발

(The Development of 3 Dimensional Reflector Design for HID Lamps)

김진우* · 박종환 · 김진구 · 김훈
(Jin Woo Kim · Jong Hwan Park · Jin Gu Kim · Hoon Kim)

요 약

기존의 2차원 설계법을 이용하여 3차원 압출성형 HID 반사판 형상 설계에 적용할 수 있는 3차원 설계법을 개발하였다. 이 설계법을 적용하여 터널용 HID 조명기구의 반사판 형상을 설계하고 그 성능을 예측하였다.

1. 서 론

국내에서 사용해 오던 반사갓의 설계법은 대개 2차원 설계법에 머물러 있다고 해도 과언이 아니다. 대표적인 2차원 설계법으로는 SpeROD II를 들 수 있는데 이것은 출력광도는 반사판 segment의 입체각이 증가함에 따라 반사판 segment가 램프의 전체 상을 가지기 전까지 증가하다가, 램프의 전체상을 가지게 되는 입체각 이상이 되면 더 이상 증가하지 않는다는 것을 기본원리로 하여 반사판을 설계하는 것이다.

이와 같은 2차원 설계법은 정해진 한 방향에 대해서는 원하는 설계법을 얻을 수 있겠지만 그 이외의 방향에 대해서는 우리가 원하는 설계법을 얻을 수 없는 것은 당연하다고 하겠다.

이에 지금까지의 반사갓 설계법을 기반으로 하여 새로운 3차원 설계법을 제시, 원하는 조명환경에 적합한 반사갓을 설계하고자 한다.

2. 목표 조도의 설정

2.1. 조명환경의 설정

2차원 설계법으로 설계되어진 반사판의 대표적인 용도는 터널용 조명기구라고 할 수 있다. 지금까지의 터널등은 도로 폭을 기준으로 하여 이 방향의 반사판을 설계한 후, 이를 램프 길이에 적당한 만큼 길게 늘이는 방법으로 설계되었다. 하지만 도로 길이 방향을 무시한 까닭으로 인해 야간에 조명기구의 격등 점등 시 나타나는 도로표면의 얼룩을 피할 수 없었다. 이를 개선하는 방법으로, 또 3차원 설계법의 효율성을 입증하는 방법

으로 터널의 조명환경을 택하여 이를 개선하는 방향으로 3차원 반사판 설계법을 설명해 나가기로 하겠다.

터널의 조명환경은 우선 4차로를 기준으로하고, 등기구의 설치높이는 6.5m 2열로 한다. 또한 등기구의 설치간격은 5.5m로 하며, 격등 점등 시의 설치 간격은 11m가 된다.

2.2. 목표 조도 및 배광 설정

터널 표면의 목표조도를 구함으로써 원하는 목표 배광을 만들어 낼 수 있다. 목표조도는 KS의 도로조명기준에 따라 종합균제도 U_0 , 차선축 균제도 U_1 를 고려하여 설정하며, 이는 전체 요구되어지는 광속과 직결되는 문제이므로 이 과정에서는 세심한 주의가 필요하다.

이렇게 구한 목표조도를 램프 중심을 기준으로 5도씩 총 72개의 구역으로 나누어 각각의 구역의 면적과 그 구역에 필요한 광속을 구하게 된다.

또한 각 방향의 조도를 구하여 0도, 45도 90도, 135도, 180도, 225도, 270도, 315도의 목표배광을 구한다. 목표배광은 거리의 역 제곱 법칙으로 구할 수 있다.

$$E = \frac{I_{\theta}}{r^2} \cos \theta \quad (1.1)$$

$$I_{\theta} = \frac{E \cdot r^2}{\cos \theta} \quad (1.2)$$

위 식을 이용하여 각 방향의 목표 광도 값을 구하게

된다.

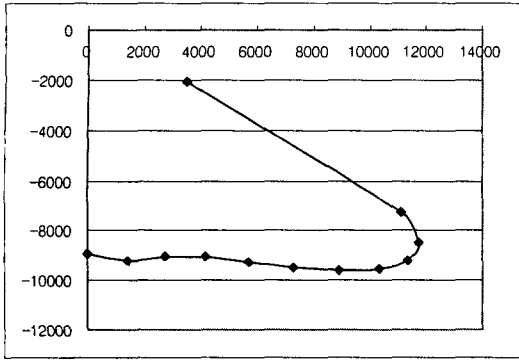


그림 1. v=0 에서의 목표 배광

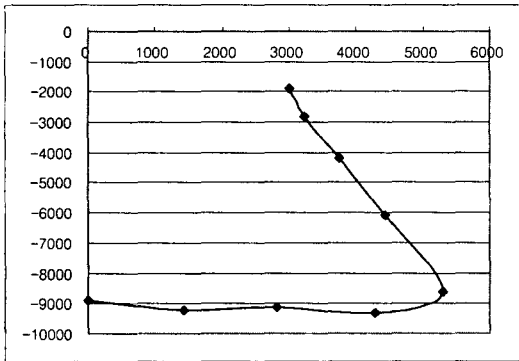


그림 2. v=90 에서의 목표 배광

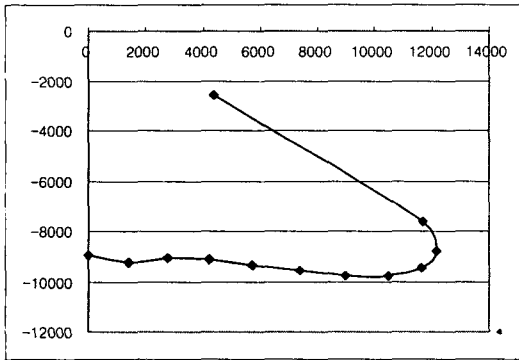


그림 3. v=180 에서의 목표 배광

2.3. γ, δ 의 산출

앞의 과정에서 우리는 5도 간격으로 나누어진 각 방향의 필요 광속을 계산할 수가 있었다. 이를 바탕으로 반사판 개구부의 세그먼트의 크기와 램프에 대해 기울어진 각도를 계산하게 된다.

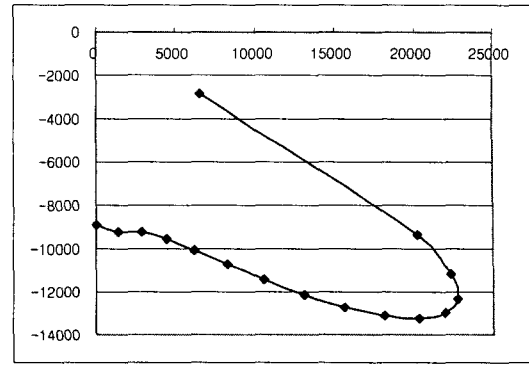


그림 4. v=270 에서의 목표 배광

램프가 놓여진 베이스 부분을 $\gamma=0$ 로 설정하고 각 방향으로 반사되어야 할 요구광속에 관한 표를 만든다. 여기서 400W램프에 대한 광속은 배광 예측 소프트웨어인 포토피아 ver 1.5를 사용하여 각 방향 광도를 구한 후에 여기에 구대계수를 곱하는 방법으로 5도 간격의 광속 값을 계산한 것이다.

필요한 요구 광속은 과정 2.2에서 구해진 요구광속에서 bare lamp의 직사광속을 빼준 값이 된다.

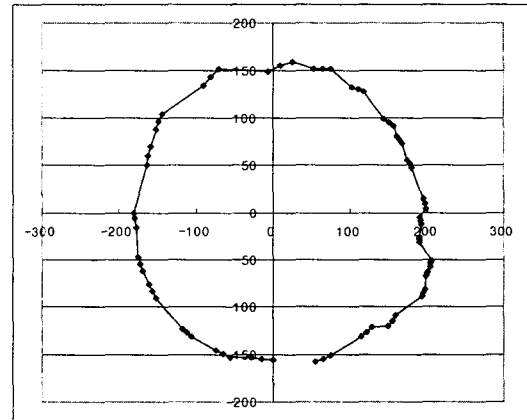


그림 5. γ, δ 로 계산되어진 반사판 개구부 모양

δ 는 ray의 반사각이 되며, γ 는 입사각이 된다.

+3. 반사판 각 방향 단면의 설계

지금까지 우리는 γ, δ 를 산출함으로써 5도 간격으로 나누어진 각 구간별 필요 광속과 원점에 대해 각 구간이 기울어진 각도, 크기를 구할 수가 있었다.

이를 바탕으로 각 방향의 반사각 단면들을 설계해 나간다. 편의를 위해 여기서의 반사광의 입사각은 α , 반사각은 β 라고 칭한다. 반사판 각방향 단면의 설계는

2장에서 설명하였던 δ, γ 쌍에 대해 수평방향 단면을 구하는 방법과 동일하며 δ, γ 가 수평각에 대한 설계라면 α, β 의 설계는 수직각에 대한 설계라고 할 수 있겠다.

여기에서 필요한 광속값은 목표조도로부터 산출한 각 방향 목표 배광값에 각 입체각을 곱한 값에서 램프로부터의 직사 광속을 뺀 값이 되며, 차후 반사판 세그먼트의 연결을 용이하게 하게 위해 여기서는 반사판 세그먼트의 크기를 결정하는 α 는 등간격으로 나누고 β 를 반사판에 의해 반사되어지는 광속값과 필요 광속값간의 비교로 그 크기를 결정한다.

그림 7은 이렇게 결정한 각 방향의 반사각 단면의 각 방향 모양을 보여주고 있다.

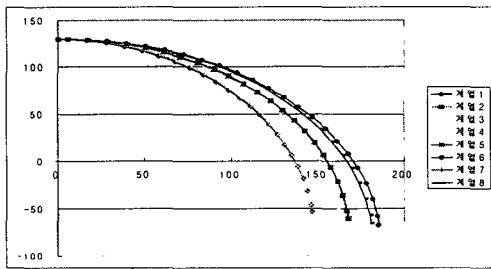


그림 6. 반사판 각 방향별 단면 모양(계열 1부터 45도 등간격)

4. 반사각 형태의 완성

반사판 형태의 최종 형태는 지금까지 구한 수평각에 대한 설계인 γ, δ , 수직각에 대한 설계인 α, β 의 조합으로 이루어진다. 각 값을 구함으로 해서 반사판 세그먼트의 좌표를 구할 수 있으며 이 좌표들을 연결하여 반사판의 형태를 만들어 낼 수가 있다.



그림 7. 완성된 터널용 반사판의 모양

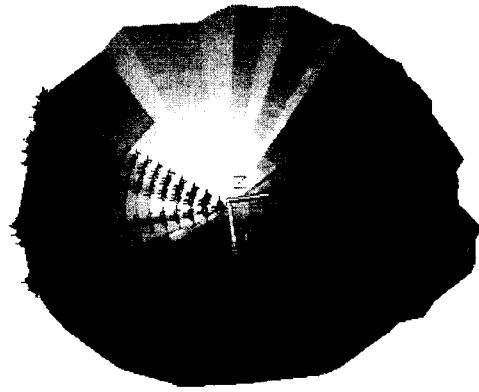


그림 8. 위에서 내려다 본 반사판 형태

4.1 포토피아 ver1.5 시뮬레이션 결과

설계된 반사각의 성능을 평가하기 위해 배광 예측 소프트웨어인 포토피아를 이용하여 배광을 살펴보았다. 그림 9는 포토피아 시뮬레이션 결과 배광 분포를 나타낸다.

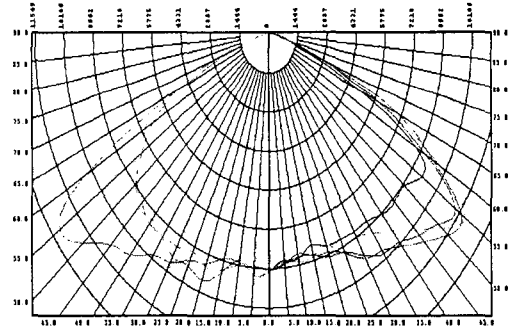


그림 9. 포토피아 시뮬레이션 결과 배광 분포

4.2 루멘마이크로 시뮬레이션 결과

설정된 조명 환경인 터널에서 설계된 반사각의 성능을 알아보기 위해 조명환경에서의 원하는 면에 대한 조도를 시뮬레이션 할 수 있는 루멘마이크로를 사용함으로써 반사각 설치시 바닥면의 조도치를 알아 볼 수



그림 10. 루멘마이크로 렌더링 결과

있었다. 여기서 LLF(lamp loss factor)는 0.8로 설정하였으며, 그 외의 설치 조건은 앞에서 언급한 실제 터널 내 조명환경과 일치 시켰다. 그림 11은 시뮬레이션 결과 중 하나인 터널 바닥면의 등조도 곡선을 나타낸다.

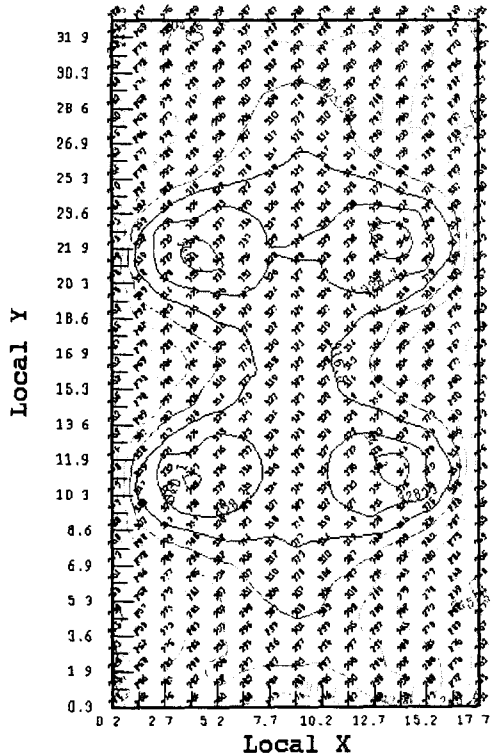


그림 11. 바닥면의 등조도 곡선

이 결과 터널 도로의 전반 균제도가 0.75정도의 값이 나옴을 알 수 있다.

더 상세한 시뮬레이션 결과를 알아보기 위해 실제 터널내 조명환경과 같은 조건을 시뮬레이션 할 수 있는 라이트 스케이프를 이용하여 시뮬레이션 해보았으며, 그 결과 루멘마이크로 실행시의 결과 값과 유사한 결과를 얻어 낼 수 있었다. 벽면에 얼룩지는 것은 차단각의 조절로 개선가능하다.

5. 결론

앞에서도 언급했듯이 지금까지의 반사갓의 2차원 설계법으로는 실제 조명환경에서는 충분한 성능을 주지 못한다. 조명환경이라는 것은 다양하며 그에 맞는 설계법 또한 다양해져야 한다. 본 논문에서는 그런 반사갓의 설계법 중 조명환경에 가장 충실히 그 성능을 발휘할 수 있는 설계법인 3차원 설계법에 대한 한가지 알고리즘을 담고 있다. 아직은 완성된 반사갓의 형태가

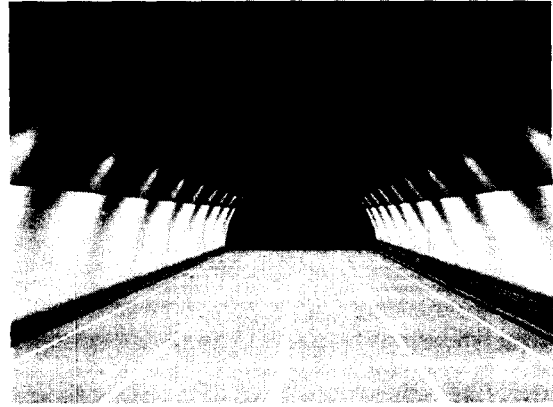


그림 12. 라이트 스케이프 시뮬레이션 결과

실제 제작이 가능한가에 대한 문제를 안고 있다고 할 수 있지만, 이것은 3차원 설계법에 대한 앞으로의 더 충실한 연구가 있을 때 충분히 개선되어질 수 있는 문제다.

참고 문헌

- (1) Joseph B. Murdoch "Illumination Engineering From Edison's Lamp to the Laser, Macmillan Publishing Company, 1985.
- (2) William B Elmer, "The Optical Design of Reflectors", TLA Lighting Consultants, Inc, Salem, Ma, 1989.
- (3) 황재산, "경면 반사판 설계 알고리즘 및 설계 툴의 개발", 강원대학교 석사학위 논문, 2001.
- (4) 황남극, " 3차원 경면 반사판 설계 알고리즘 개발", 강원대학교 석사학위 논문, 2002.