

도로방음벽용 조명기구 반사판의 개발

(The Development of a Luminaires Reflector for Sound proof wall)

정승균* · 조문성** · 김훈***

(Seung-Gyun Jung* · Mun-sung Jo** · Hoon Kim***)

요 약

도로조명은 야간에 운전자에게 안락함과 안전한 운행을 도울 수 있도록 설치가 이루어져야한다. 최근 늘어나는 자가용에 의해서 주택가나 공공장소에 발생하는 소음을 감소시키기 위하여 도로 위 필요지점들에 방음벽이 설치되어지고 있다. 그러나 현재 이에 적합한 형태의 조명기구가 개발되지 못한 상황이며, 이에 따라서 방음벽에 설치가 가능한 도로조명기구의 반사판을 개발하였다.

개발된 반사판은 도로에 대해 연직방향으로 위치한 방음벽에 그대로 설치되어질 수 있는 형태이며, 도로조명기준에 맞추어 전반 균제도 0.4와 차선 축 균제도 0.7 이상을 만족할 수 있도록 설계되었고, 단위면적당 소비전력 1.18[W/m²]의 효과를 얻었다.

본 논문에서는 반사판 형상 설계 기술을 이용하여 조명이 제대로 이루어지지 않는 도로상에 위치한 방음벽에 바로 설치 가능한 형태를 이루며, 도로 조명기준에 적합한 반사판을 개발하고 그 결과를 예측하였다.

1. 서 론

현재에 와서 교통량이 급속도로 증가하고, 도로 확충으로 인해 전국이 일일생활권으로 접어들게 되면서 원거리를 지나가는 고속도로들과 일반도로위를 교차하여 지나가는 고가도로들의 수가 늘어나고 있다. 이와 관계하여 도로들이 주택가나 도심지를 관통하며 지나가는 경우들이 늘어나 도로인근의 주변 환경에 자동차들에 의한 소음에 대한 해결책이 요구되어지고 있다.

이러한 소음을 감소시킬 목적으로 개발된 방음벽은 현재 도로위의 많은 장소에 설치되어지고 있다. 대부분의 도로에는 가로등을 이용하여 조명을 하고 있기 때문에 별도의 방음벽용 조명장치를 설치할 필요가 없지만 가로등이 설치되기에는 협소하거나 열악한 도로, 예를 들어 좁은 교량이나 고가도로, 또는 좁은 주택가의 도로나 고속도로의 조명장치가 설치되지 않은 각 지역들에서는 야간에 운전자들에게 적합한 조명환경을 제공해 주지 못하여 안전사고의 발생을 유발 할 수 있으며, 도로조명규정에도 만족하지 못하기 때문에 보조적인 조명장치를 설치하여 운전자와 보행자의 안전을 확보할 수 있게 하여야하고, 동시에 도로상에 적합한 도로 균제도를 제공할 수 있어야한다.

2. 도로조명여건 분석 및 설계요건 설정

2.1 방음벽조명 요건설정 및 실태 파악

가로등이 설치되지 않은 상태의 도로는 조명기준에 적합하지 못한 조명환경을 제공하며 이로 인하여 안전사고 발생률을 증가시킬 수 있다. 더욱이 방음벽이 설치되어 있는 형태의 도로 같은 경우에는 방음벽이 도로의 먼 곳으로부터 오는 빛마저도 차단시키므로 운전자는 차량의 전조등에만 의존하여 운행을 하여야하고, 인도를 포함하고 있는 도로와 같은 경우 운전자뿐만 아니라 보행자 또한 안전사고가 발생할 수 있다. 또한 굴곡진 도로에 설치된 방음벽은 운전자가 적당한 안전거리 내에서 방음벽을 인지하기가 어려울 수 있다. 이러한 문제점에 있어서 가장 합리적인 해결책은 가능한 한 도로조명에 적합하게 설계된 가로등을 규칙적으로 배열하여 도로에 적당한 균제도를 제공하고 운전자에게 안전운행을 도울 수 있도록 하여야 한다. 그러나 도로여건상 가로등과 같은 대형의 조명장치를 설치하기 곤란한 곳, 예

를 들어 도심지의 좁은 고가도로나 주택가, 학교 주변의 도로 또는 간헐적으로 설치가 되어지는 고속도로상의 방음벽 같은 경우에는 도로기준에 적합한 조명환경을 구성하기가 어려운 형편이다. [그림 1]은 춘천 도심지 내부에 설치되어있는 고가도로이며 별다른 조명장치는 전혀 없이 도로 주변에서 나오는 빛과 차량의 전조등에 의해서만 조명이 이루어지고 있다. [그림 2]와 같은 경우는 중앙고속도로위에 설치되어있는 방음벽의 경우로써 도로조명이 전혀 이루어지지 않아 야간 운행시 방음벽의 위치를 파악하기가 거의 불가능한 상태가 된다. 이러한 적절하지 못한 조명환경을 개선하기 위해서는 도로의 여러 조건들과 방음벽 형태를 고려한 조명기구의 설치형태, 도로조명기준 등 여러 사항들을 고려하여 적당한 방법으로 설계가 이루어져야한다.



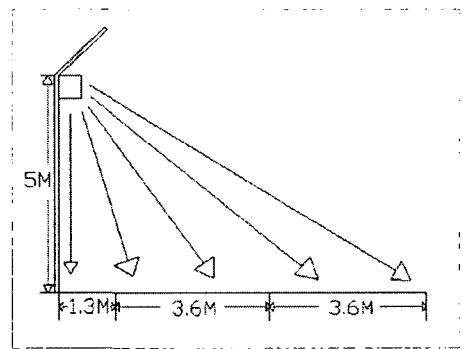
[그림 1] 도심내부에 설치되어 있는 고가도로 위의 방음벽



[그림 2] 조명이 전혀 되지 않는 고속도로위에 설치된 방음벽

설계에 이용한 방음벽은 도로에 대하여 연직방향 6[m] 높이로 설정하였으며, 도로는 2차선으로 고

려하여 도로 폭은 3.6[m], 갓길을 포함하는 전체 도로 폭은 8.5[m]로 하고 조명기구의 설치높이는 방음벽상단 5[m]지점으로 정하였다. 조명기구에는 T5 형광램프를 사용하고 기구에 의한 평균조도는 50[lx]이상을 목표로 하였다. 균제도에 있어서는 CIE 도로조명 기준 권고에 따라 전반균제도 U_0 는 0.4 이상 차선 축 균제도 U_1 은 0.7 이상이 되도록 하였으며, 조명기구의 광학적 효율은 80% 이상이 되도록 설계요건을 지정 하였다. [그림 3]에 설정된 도로조건을 나타내었다.



[그림 3] 2차로 도로와 조명기구 취부위치

2.2 목표배광의 설정

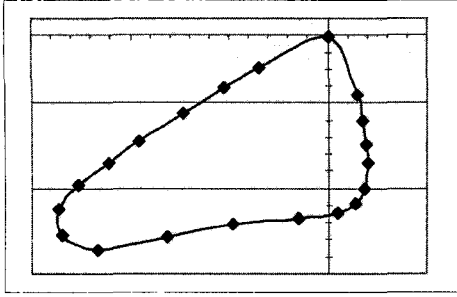
목표배광의 설정은 도로상의 균제도를 고려하여 이루어져야한다. 먼저 도로위의 각 지점들을 일정한 간격으로 나눈 뒤 KS 도로조명기준에 따라 전반균제도 U_0 , 차선 축 균제도 U_1 에 만족되는 값들로 조도값 레벨을 설정하였다.

이렇게 구해진 조도값들을 램프로부터의 각 방향에 관한 방사선 상의 조도로 환산한 후 거리의 역제곱법칙을 적용하여 목표배광을 설정할 수 있다.

$$E = \frac{I_{\theta}}{r^2} \cos \theta \quad (1)$$

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

위의 식들을 이용하여 목표 광도값들을 설정하게 된다. [그림 4]는 위의 과정들에 의하여 구해진 반사판의 목표배광을 나타낸다.



[그림 4] 방음벽조명기구용 목표배광곡선

3. 반사판 형상의 설계

3.1 컷오프 각(Cut-off angle)의 설정

위에서 얻어진 목표배광과 거리의 역제곱 법칙에 따라서 최대광도는 도로의 끝부분에 해당하는 60° 방향을 향해야하며, 광도를 가장 줄여야하는 방향은 갓길이 끝나며 도로가 시작되는 위치인 10° 부근인 것을 알 수가 있다. 일반적으로 컷오프 각도에 의한 직광차단은 최대광도가 가해지는 각도로 설정 되어야하지만 광원이 실제적으로 부피를 지니며 빛을 발하는 형태가 점광원과 같이 일정하지 않아 약간의 오차가 있을 수 있으므로 컷오프 각도는 다소 여유를 둔 70° 로 설정하였다.

3.2 반사판 형상의 설계

반사판의 기울기 및 좌표의 결정은 컷오프 각도의 설정 후에 원격 작업용 반사판 설계법[1]을 적용하여 행한다.

[그림 5]와 같이 반사빔이 정해진 반사판의 변화각 $d\theta_{r1}$ 의 중심에서 요구되는 목표배광의 방향 θ_1 로 향하도록 하면,

$$r_1 = \frac{\pi}{2} - \frac{\alpha + \beta}{2} \quad (3)$$

$$\alpha = \frac{\pi}{2} - \theta_{r2} + \frac{d\theta_{r1}}{2} \quad (4)$$

$$\beta = \theta \quad (5)$$

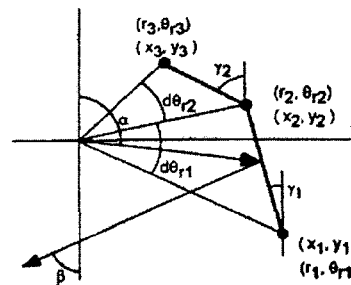
$$\tan \gamma_1 = \frac{r_1 \cos \theta_{r1} - r_2 \cos \theta_{r2}}{-r_1 \sin \theta_{r1} + r_2 \sin \theta_{r2}} \quad (6)$$

따라서

$$\begin{aligned} x_2 &= r_2 \cos \theta_{r2} \\ y_2 &= r_2 \sin \theta_{r2} \end{aligned} \quad (7)$$

가 된다.

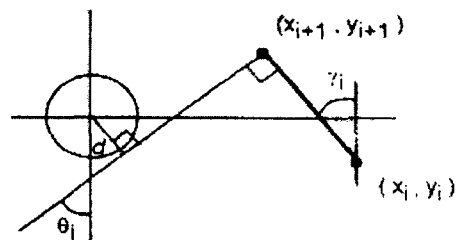
위의 과정을 통해서 얻어지는 좌표에서 반사판 기울기에 법선이 광원과 만나는 가를 확인하고 [그림 6]과 같이 광원의 중심에서 반사판에 직각인 직선에 수선을 그어 이의 거리 d 가 광원의 반경보다 작지 않도록 설계해 나간다[2].



[그림 5] 반사판의 기울기와 좌표의 결정

$$d = (x_{i+1} - y_{i+1} \cdot \tan \theta_i) \times \cos \theta_i \quad (8)$$

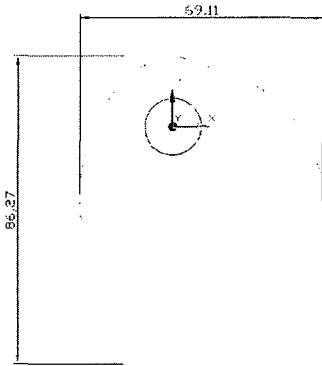
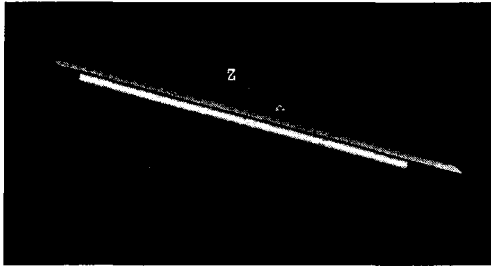
만약 d 가 램프반경보다 작다면 반사빔이 광원으로 돌아가게 되어 효율이 감소한다. 따라서 d 는 항상 램프의 반경보다 크거나 최소한 같아야 한다. 하지만 방음벽용 조명기구류는 지면에 대해서 연직방향으로 세워진 방음벽에 수평으로 설치가 되므로 도로조명 기준에 적합한 배광제어를 위해서 램프의 대부분이 반사판으로 뒤덮히게되는 형상을 가지게 된다. 이 과정에서 반사광이 램프로 향해 재흡수가 이루어지게 되며 d 를 최대한 램프 반경보다 크게 설정되도록 하여 램프로의 재흡수에 의한 손실을 최소화 하였다.



[그림 6] 반사빔과 광원의 마주침

위의 좌표 설정과정을 반복하여 주어진 목표배광을 만족시키는 반사판의 좌표를 구한 후 그에 따라 반사판의 형상을 설계하였다.

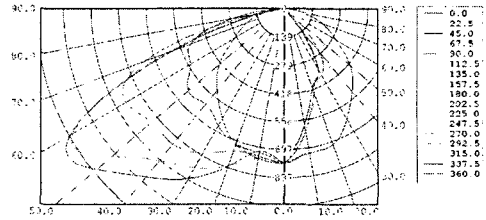
[그림 7]은 2차로 기준의 T5 형광램프용 반사판의 형상을 보여준다.



[그림 7] 2차로 방음벽 조명용 형광등기구 반사판의 형상

3.3 Photopia를 이용한 광학성능 예측

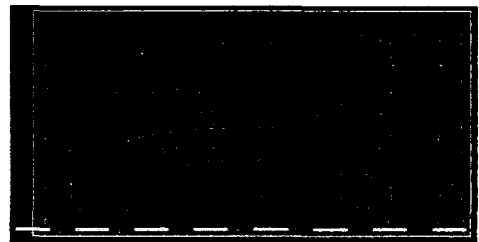
설계한 반사판의 형상을 관련 프로그램인 Photopia와 LumenMicro 등의 조명 시뮬레이션 소프트웨어를 사용하여 광학성능을 예측하였다. [그림 8]은 Photopia를 이용하여 시뮬레이션 한 결과로서 반사판이 실제로 생성하는 배광곡선을 보여준다. 이를 목표배광과 비교하여 차이가 많이 나타나게 되면 반사판의 형상을 수정하여야 하지만 시뮬레이션 결과 목표배광 곡선과 유사한 형태를 가지는 것을 확인할 수가 있었으며 광학적 효율 또한 80% 이상을 만족하고 있어 더 이상의 수정작업은 행하지 않았다.



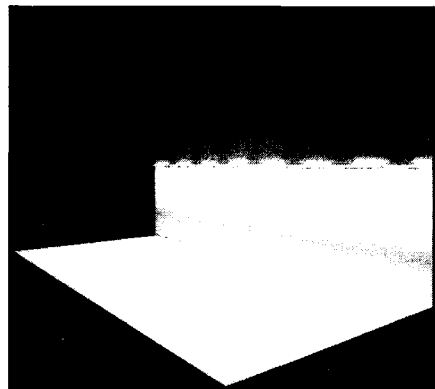
[그림 8] Photopia를 사용하여 예측한 2차로 형광등용 반사판의 배광분포

3.4 LumenMicro를 사용한 조명기구 설치 시뮬레이션

설계된 반사판을 설정된 환경 즉, 도로위의 방음벽에 설치한 후의 성능을 알아보기 위하여 조명 환경에서의 조도를 측정할 수 있는 LumenMicro를 사용하여 시뮬레이션 했다. 각 조명기구간의 간격은 2[m]이며, 앞에서 언급한 것과 같이 설치 높이는 5[m]로 환경을 설정후 조명기구들을 배치, 시뮬레이션 하였다.



[그림 9] 도로바닥면의 등조도곡선



[그림 10] 루멘마이크로 렌더링결과

[그림 9]와 [그림 10]에 나타난 것은 각각 조명기구 배치 후 바닥면의 등조도 곡선과 렌더링 결과로서 시뮬레이션 후 제공되는 수치 값들을 통하

여 평균조도 54[lx]를 달성하였고 전반균제도 U_0 는 0.4 이상, 차선 축 균제도 U_1 은 0.7 이상을 달성한 것을 확인 할 수 있었다. 또한 렌더링의 결과를 통하여 방음벽하단부에 빛이 가해지는 것을 보이고, 광원의 선형적인 배치를 통하여 균일한 형태의 빛을 제공하는 것을 알 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 기존의 조명기구가 설치되지 못한 도로에 위치한 방음벽에 적용할 수 있는 조명기구의 반사판을 설계해보았다. 본 연구에 의한 반사판에 의해서 도로조명기준에 만족하는 균제도와 조도값을 얻어냈으며, 도로상에 위치한 방음벽의 인식을 운전자가 쉽게 할 수 있도록 하였다. 또한 굽은 도로에 있어서도 조명기구의 선형적 배치를 통해 도로의 형태를 운전자가 보다 빠르게 인식할 수 있는 효과를 가져왔으며, 1등용 기구로 설계가 이루어져 설치면적을 적게 차지하는 장점이 가질 수 있었다. 하지만 조명기구의 설치높이가 낮아짐으로써 증가하는 글래어의 제어문제가 아직 남아 차후 연구의 필요성이 요구되었다.

참 고 문 헌

- [1] WILLIAM B. ELMER, "The Optical Design of Reflectors", TLA Lighting Consultants, Inc. Salem, pp.54~75, 1989
- [2] 김기훈, 황재산, 윤미림, 김훈 "터널용 고효율 조명기구 반사판의 개발", 조명·전기설비학회지, 제 15권 2호, pp.131~136, 2001.3