

# 라인조명시스템의 시인성과 글레어 평가를 위한 기초 연구

(A Study for the visibility and disability glare's appraisals of the Line Lighting System)

식대일\* · 김원식\*\* · 이미애 · 김 훈

(Dae-Il Seok\* · Won-Sik Kim\*\* · Mi-Ae Lee\*\*\* · Hoon Kim\*)

\*강원대학교 \*\* (주)백산엔지니어링 \*\*\* (주)아이라이트

## 요 약

도로조명에서 시인성과 글레어는 안전과 직결된 매우 중요한 사항이다. 본 논문에서는 낮은 위치에 설치되는 라인조명 방식과 가로등 조명 방식의 시인성과 글레어 영향을 비교평가하기 위한 시험실을 구성하였다. 이 후 피험자들을 선발하여 예비시험을 거친 후 본 시험을 실시할 예정이다.

## 1. 서 론

야간 주행 시 시인성을 확보하는 것은 도로 이용자의 안전을 위해 매우 중요하며, 주간과 달리 운전자의 눈은 매우 낮은 휘도 레벨에 순응되어 있기 때문에 차량 전조등이나 도로조명기구로 인한 글레어가 중요하다.[1]

조명기구 설치 높이가 운전자 시야선상으로 낮아지게 되면 같은 조도나 노면휘도를 제공하는 다른 조명기구라도 대비와 휘도대비감도가 달라진다. 낮은 휘도에서는 노면과 장애물 사이의 휘도대비가 시인성에 큰 영향을 준다. 그리고 운전자 시야 내에 휘도가 높은 조명기가 있다면 눈에서 산란되는 빛이 증가되고, 광막휘도가 증가함으로써 글레어가 발생할 가능성이 커진다.

시각적 능력에 기인함을 근간으로 Dunbar와 Boer는 주행 시험에서 배경 휘도와 대상물의 휘도 관계로 시인성을 평가하였고, 도로조명 휘도 기준의 토대를 마련하였으며, 안전정지거리에서 시인성 레벨을 유도하였다.[2]

시인성과 연관하여 글레어 유무시 인지 반응시간의 변화나 휘도대비감도 식별역의 변화로 글레어 평가를 행한 연구들도 많이 이루어졌다.

본 논문에서는 라인조명과 가로등 조명 상황에서 시인성과 글레어를 비교 평가하고, 라인조명에서의 글레어를 제한하기 위한 휘도 범위를 결정하기 위하여 실내에 시험실을 구성하였다. 이 후 피험자들을 선발하여 예비시험과 본 시험을 실시할 예정이다.

시인성은 순응휘도와 장애물 대비가 각각 다른 조건에서 전방에 장애물이 출현하면 인지하기까지의 반응시간과 안전제동거리를 이용하여 측정, 평가한다.

글레어 평가는 높이가 다른 글레어 광원이 존재할 때 장애물의 형태 인지를 휘도대비감도와 인지의 정확도로써 평가하며, 라인조명의 글레어 제한 휘도 범위를 찾아낸다.

## 2. 시험실 구성

### 2.1. 시험실 설계

시험실은 기존에 다른 연구를 수행하면서 제작해 놓은 실내 시험실을 이용하였고, 동일한 시험실에서 시인성 평가와 글레어 평가를 수행한다.

그림 1은 시험실의 구성도를 보여준다. 정면 수직벽은 운전자 전방의 원거리 도로부이며, 측면벽은 도로 폭 10m에 해당한다.

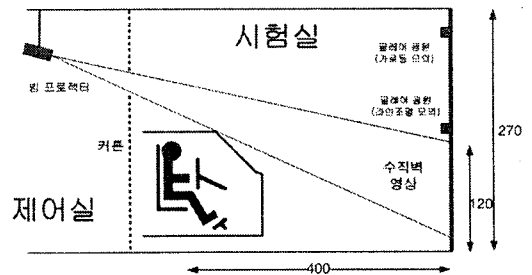


그림 1. 시험실 구성도

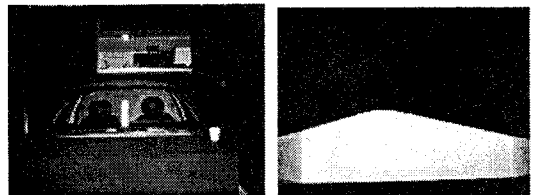


그림 2. 시험실 내부와 전면벽

### 2.2. 순응휘도와 장애물 휘도 결정

정교한 시인성 평가를 위하여 주행 상황과 장애물 출현을 영상으로 제공하고, 제어 프로그램을 제작하였다.

운전에 대한 시인성 실험에서 일부 변수들은 시작업에 대한 최소치로 규정하며, 장애물 크기와 반사율, 관

찰자 시력 등은 시인성 관련 실험에서 채용한 값들을 기준치로 제시하고 있다.[3]

노면휘도는 22개 지역의 실측한 휘도 데이터를 분석하고, 도로조명 시뮬레이션 프로그램을 이용하여 얻어냈다. KS와 CIE에서 추천하는 평균휘도와 균제도 기준에 따라 가로등과 라인조명 각각에 대하여 평균휘도 3, 2, 1[cd/m<sup>2</sup>], 균제도 기준 이상과 이하 2부류로 나누어서 6가지 조건씩 총 12가지의 테스트 조건을 선정하였으며, 일반적인 도로의 조명상황으로 가정하였다.

장애물 크기는 83m 전방에서 10분 사이즈를 갖는 20x20cm 정방형이고, 노면과 차체 최하부 거리인 「최저저장높이」이다.[4] 장애물 반사율은 시인성 실험 기준치인 20[%]의 완전확산면으로 가정하였으며, 식 (1)을 이용하여 장애물 휘도를 구한다.

$$L_0 = \rho E_v / \pi [cd/m^2] \quad (1)$$

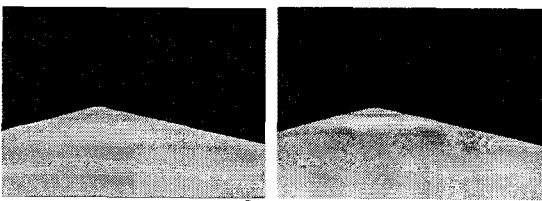
여기서,  $L_0$ 는 대상물의 휘도[cd/m<sup>2</sup>]이고,  $\rho$ 는 대상물의 반사율, 그리고  $E_v$ 는 노면 위 1.5[m]의 높이에서의 연직면 조도[lx]이다.

장애물의 휘도대비는 식 (2)를 이용하여 구하였다.

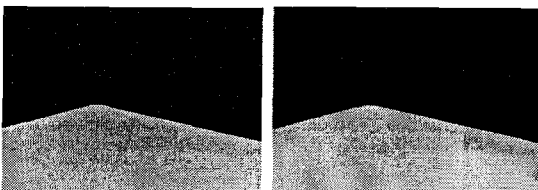
$$C = \frac{\Delta L}{L_b} = \frac{L_b - L_t}{L_b} \quad (2)$$

$L_b$ 는 배경휘도이고,  $L_t$ 는 장애물의 휘도이다.

주행 영상을 제작하기 위해서 빔프로젝터 출력 RGB와 전면스크린 상의 휘도값을 측정한 후 휘도와 RGB의 산출식을 구하였다. 주행 영상은 각 테스트 조건별로 28개의 영상 프레임으로 구성된다.



(a) 가로등 휘도 3cd/m<sup>2</sup>, 전반 균제도 0.6, (b) 가로등 휘도 3cd/m<sup>2</sup>, 전반 균제도 0.3



(a) 라인조명 휘도 2cd/m<sup>2</sup>, 전반 균제도 0.9, (b) 라인조명 휘도 2cd/m<sup>2</sup>, 전반 균제도 0.7

그림 3. 모의 노면 영상 그림

차량 주행 속도는 60[km/h]로 가정하였고, 초당 16.67m 이동하므로 장애물이 연속적으로 다가오듯이 표현하였으며, 장애물의 크기는 이동 거리에 따라서 점점 커지도록 하였다.

### 2.3. 글레어 광원과 장애물 휘도대비

글레어 발생 시에는 산란광에 의해서 광막휘도가 증가된 높은 휘도에 순응하고 있다고 볼 수 있다. 배경과 대상물의 휘도차를 식별할 수 있는 최소 변별역은 글레어로 인해서 상승하게 된다는 것을 알아냈다.[6]

따라서, 본 논문에서는 가로등과 라인조명으로 모의된 글레어 광원이 있을 때 전방에 출현하는 표준 랜돌트링의 형태 인지 정확도를 파악하고, 휘도식별역의 변화를 통하여 글레어를 평가한다. 그리고 라인조명의 글레어 제한 휘도 범위를 찾아낸다.

피험자에게 글레어를 발생시키는 가로등과 라인조명을 모의 연출하기 위해 기구의 설치높이, 설치간격을 고려하여 전면 수직벽에 투영된 지점을 찾아서 LED를 부착하였다.

피험자 눈에서의 광막휘도는 KS와 CIE에서 규정한 Threshold Increment 최대허용치인 10을 간주하여 연직면조도를 구하고, LED에서의 연직면 조도를 구한 후 그 때 발생하는 휘도를 광막휘도로 가정하였다. 식 (3)은 TI를 구하는 계산식이다.

$$L_v = K \frac{E_e}{\theta^2}, TI = \frac{k \cdot E_e}{L_{av}^{0.8} \cdot \theta^2} (\%) \quad (3)$$

여기서,  $L_v$ 는 관찰자 망막 정면의 광막휘도이고,  $E_e$ 는 관찰자 망막 조도,  $L_{av}$ 는 순응휘도이며,  $\theta$ 는 관찰자와 조명기구 사이의 각도이다.

대비감도와 불능글레어의 측정을 위한 정신물리학적 테스트에서는 대비가 서로 다른 표준 랜돌트링으로 대비감도를 평가하는 The Pelli-Robson Chart(PRC)를 이용한다.[7]



그림 4. 시험시표로써의 랜돌트 링

피험자는 일정한 배경 휘도(2cd/m<sup>2</sup>)에 순응되어 있고, 0.1~0.9까지 서로 다른 대비를 가지며, 개구부의 방향이 임의로 선택되어진 랜돌트링이 전방 스크린에 나타나게 된다.

## 2.4. 측정시스템 구성

시인성 평가를 위해서 가로등과 라인조명 각각에 대하여 평균휘도와 균제도가 서로 다른 총 12가지의 노면 상황을 그림 파일로 제작하였다. 차량 이동 속도와 일치하는 시간마다 영상이 바뀌도록 해 주는 프로그램을 제작하였고, 장애물 출현과 이동 및 크기 변화를 위한 프로그램도 제작하였다. 모의 차량의 제동 페달로부터 신호를 입력 받아서 제동 시간정보를 기록할 수 있는 controller를 구현하였다.

글레어 평가를 위해서 휘도대비가 다른 랜돌트링을 그림 파일로 제작하였고, 랜돌트링의 출현 시 개구부 방향을 인지하여 array key에 입력되는 신호를 PC와 연동시켜서 인지 정확도와 반응시간 등을 기록할 수 있는 프로그램과 controller를 제작 중에 있다.

## 3. 평가 방법

### 3.1 시인성 평가

표 1은 시인성 평가를 위한 테스트 조건이다.

표 1. 시인성 테스트 조건

가로등			라인조명		
휘도	균제도	대비	휘도	균제도	대비
3	0.67	0.9	3	0.9	0.5
2		0.6	2		0.4
1		0.3	1		0.3
3	0.37	0.9	3	0.7	0.5
2		0.5	2		0.4
1		0.1	1		0.3

피험자는 암순응을 거친 후 모의 차량에 탑승하고, 가속 페달을 밟는다. 동시에 주행 영상이 보여지고, 일정 시간 경과 후 설정된 대비 값을 갖는 지점에서 장애물이 출현한다. 장애물은 진행 차선 좌, 우측에서 랜덤으로 출현하며, 피험자는 장애물을 인지하면 제동 페달을 밟고, 신호가 PC로 입력되어 시간이 기록된다.

PC에 입력된 시간과 장애물 출현 시간으로 제동 거리를 계산하여 가로등과 라인조명의 노면 상황에서 안전제동거리를 판별한다. 반응시간과 환산된 거리로써 안전 여부를 비교한다.

### 3.2 글레어 평가

표 2는 글레어 평가를 위한 테스트 조건이다.

표 2. 글레어 테스트 조건

휘도	대비	개구부 방향	링 사이즈	출현 지점
2	0.1~0.9 (0.1씩 변화)	0°~315° (45°씩 8개 방향)	10분 크기	거리 상 83m 지점

글레어 광원이 없는 상태에서 대비가 다른 랜돌트링

이 출현하면, 피험자는 개구부의 방향을 인지하고 array key를 누른다. 신호는 PC로 입력되고, 인지의 정확도를 판별하여, 옳은 신호가 입력되었으면 테스트를 중단하고, 잘못된 신호가 입력되었을 때에는 더 높은 대비를 갖는 랜돌트링을 출현시킨다. 올바른 신호가 입력될 때까지 반복하여 랜돌트링이 출현하며, 테스트 종료 시 휘도대비식별역을 알 수 있다. 마찬가지로 가로등이 있는 상황과 라인조명이 있는 상황에 대해서 동일한 시험을 반복하여 휘도대비식별역을 찾는다.

라인조명의 경우 가로등에 비해 높은 휘도대비식별역이 나온다면 LED의 휘도를 감소시킨 후 시험을 반복하여 가로등의 상황과 동일한 식별역이 나올 때 테스트를 종료한다. TI 값의 최대허용치를 반영하여 휘도를 결정하였기 때문에 가로등의 상황과 동일한 식별역이 나왔을 때의 휘도를 라인조명 상황에서의 글레어 최대허용치를 나타내는 휘도로 고려할 수 있다.

## 3. 결론

현재 라인조명과 가로등 조명 상황에서 시인성과 글레어를 평가하기 위한 실내 시험실을 구축하였고, 평가를 위한 노면 영상, 주행 영상, 장애물 영상 등 제어 프로그램을 제작하였다. 실내에서 이루어지는 시험이기 때문에 더욱 정확하고 정교한 측정과 평가를 위해서 시험실 구성에 신중하여야 한다. 이 후 피험자를 선발하여 예비테스트를 거친 후 본 시험을 실시할 예정이다.

테스트를 실시한 후 분석을 통하여 나온 데이터는 새로이 개발 중인 라인조명시스템의 성능을 뒷받침할 수 있는 자료로 제시할 수 있을 것이다.

본 연구는 국가교통핵심기술개발사업의 일환인 "다가능 라인조명시스템 기술 개발"의 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

## 참 고 문 헌

- (1) CE 26TH SESSION 2007, "Specific problems of exterior glare", Gasparovsky Dionyz
- (2) Journal of the Illuminating Engineering Society, "Visibility Levels in Street Lighting : An Analysis of Different Experiments", Dr. W. Adrian
- (3) 1994 IEEE, "Toward Adding Visibility Quality to the Road Lighting Design Computer Programs", Semrin Onaygil
- (4) Journal of the Illuminating Engineering Society, "Visibility Levels Under Night-time Driving Condition", W. Adrian
- (5) "KS A 3701 도로조명기준", 2007년 개정
- (6) "光と照明", 신개정 제4판 1994, 일본이공출판회
- (7) "Standad Measures of Visual Acuity Do Not Predict Driver's Recognition Performance Under Day or Night Conditions", Optometry and Vision Science, Vol.82, No.8, August 2005