

# 안개 발생시 도로 조명용 광원의 시인성 연구

(Study on Visibility of Road Lighting Source in Fog conditions)

조문성\* · 김영균 · 정관진 · 이정욱 · 김 훈

(Moon-Sung Cho · Yung-Kyun Kim · Kwan-Jin Jung · Jung-Uk Lee · Hoon Kim)

## 요 약

본 논문에서는 도로 조명용 광원으로 쓰이는 메탈할라이드램프, 고압나트륨램프, PLS의 세 가지 광원에 대해 안개 발생시 시인성을 평가하기 위해 특정한 인공 안개 조건하에서 각 광원들에 대한 피시험자들의 평가를 분석하여 명소시에는 고압나트륨램프가 시인성이 좋고 암소시에는 PLS가 시인성이 좋다는 결과를 얻었으며 이 결과는 앞으로의 도로 조명용 광원의 선택에 있어서 도움을 줄 수 있을 것으로 기대된다.

## Abstract

In this paper, It evaluated visibility about Metal Halide Lamp(MHL), High Pressure Sodium Lamp(HPS) and PLS(Plasma Lighting System) as Road lighting source in fog conditions. To evaluate visibility, it analyzed valuation of subjects about each light sources in special fog conditions. In result, it obtained that High Pressure Sodium Lamp has best visibility in photopic vision and PLS has best visibility in scotopic vision. This result is expected to help about select of Road lighting source.

Key Words : Fog, Road lighting source, Visibility

## 1. 서 론

도로 조명은 야간에 운전자가 장애물을 쉽게 인식할 수 있도록 하여 운전자와 동승자 및 보행자의 안전을 도모하는 것이 목적이다. 또한 도로와 나란히 배치된 폴 위의 조명 기구에서 나오는 빛으로 도로의 선형을 인식하고 대비할 수 있게 하는 광학적 안내 역할을 한다. 그러나 안개가 발생하게 되면 도로

조명 기구에서 나오는 빛이 노면에 전달되지 않기 때문에 노면 조도가 낮아지게 되고 안개에 의해 빛이 나기 때문에 조명 광원의 관찰이 어려워져서 광학적 안내 기능이 저하되고 사고의 위험이 증대된다.

2005년 도로 교통안전 관리 공단의 보고서에 따르면 우리나라의 경우 안개 발생시 100건당 18명의 교통사고 치사율을 보임에도 불구하고 안개의 예보 및 농도 등 직접적인 안개 상태를 확인할 수 없을 뿐만 아니라 안개 시 도로 조명에 대한 연구조차 미비한 실정이다[1].

일반적으로 안개 발생시 노란빛의 파장이 투과율이 높은 것으로 주장되고 있으나 이에 대한 실제적

\* 주저자 : 강원대학교 전기공학과 석사과정  
Tel : 033-250-6290, Fax : 033-241-3775  
E-mail : rokmc873cho@kangwon.ac.kr  
접수일자 : 2007년 3월 12일  
1차심사 : 2007년 3월 16일  
심사완료 : 2007년 4월 9일

## 안개 발생시 도로 조명용 광원의 시인성 연구

인 이론이나 실험에 의한 검증은 아직 이루어지지 않았으며 실제로는 도로조명에 사용되는 광원의 분광 분포에 따라 그 투과율 및 운전자의 인식이 달라질 것으로 예상된다.

따라서 본 연구에서는 대기 중의 빛의 산란 특성 및 시인성 이론에 근거한 외국의 연구 사례를 살펴보고 특정한 인공 안개 조건 하에서 각 광원에 대해 피시험자들의 시인성 평가로써 비교 실험하고 이를 분석하여 각 광원의 시인성을 비교하였다.

## 2. 본 론

### 2.1 안 개

지표부근에 떠 있는 직경 약 10~30[ $\mu\text{m}$ ]의 작은 물방울들이 0.29~1.3[cm/s]의 낙하 속도를 가지고 대기 중에 떠 있으며, 수평 시정이 1[km]미만의 상태를 말한다.

우리나라는 각종 기상 상황 중 안개 발생시 가장 높은 교통사고 치사율을 보인다[2].

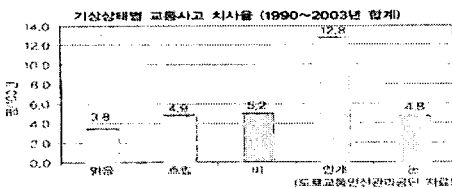


그림 1. 우리나라의 기상상태별 교통사고 치사율  
Fig. 1. Traffic accident fatality according to weather in Korea

### 2.2 빛의 산란[3]

산란이란 파동이 진행하던 매질 내의 입자와 충돌하여 원래의 진행 방향에 대해 그 진행 방향을 바꾸는 현상으로 빛의 산란은 매질의 입자 크기와 빛의 파장에 따라 달라진다.

레이리 산란(Rayleigh scattering)은 매질 입자의 크기가 입사되는 빛의 파장보다 작은 경우의 빛의 산란 특성이다. 파장이 길수록 투과율이 높고 짧은 파장은 많이 산란되는 특성이 있고 가시광선의 감쇠

가 적은 편이므로 도로 조명에서는 문제가 되지 않는다.

미에 산란(Mie scattering)은 매질 입자의 크기가 입사되는 빛의 파장보다 큰 경우의 빛의 산란 특성이다. 파장에 따른 투과율 변화가 거의 없다. 안개의 경우 물방울의 직경이 수~수십[ $\mu\text{m}$ ]이며, 연무라 할지라도 1[ $\mu\text{m}$ ]이상의 직경을 가지고 있으므로 안개의 경우 미에 산란이 적용된다.

### 2.3 대기 중에서의 시인성 이론

램버트-비어의 법칙(Lambert-Beer's Law)은 균일한 물질층을 통과하는 빛의 흡수에 관한 법칙으로서, 입사광의 세기와 투과광의 세기로 투과율을 계산할 수 있다[4].

$$\frac{I}{I_0} = \tau = e^{-\sigma} \quad (1)$$

$I_0$  : 입사광의 세기

$I$  : 투과광의 세기

$\tau$  : 물질층의 투과율

$\sigma$  : 대기층에서의 빛의 감쇠계수

대기에 혼탁함이 있으면 빛이 감쇠되고 대상물과 그 주변의 색이나 휘도 대비가 감소되어 시각에 의한 정보 전달이 저하된다[4].

$$L_1 = L_0 e^{-\sigma} + L_H (1 - e^{-\sigma}) \quad (2)$$

$L_1$  : 대상물을 거리 l에서 볼 때의 휘도

$L_0$  : 대상물의 원래 휘도

$L_H$  : 배경 휘도

대상물 및 배경의 휘도가 거리에 따라 변화하기 때문에 대비도 변화한다[4].

$$C_l = \frac{[L_1 - L_H]}{L_H} = \frac{[L_0 - L_H]}{L_H} e^{-\sigma} = C_0 e^{-\sigma} \quad (3)$$

$C_l$  : 대상을 거리 l에서 보았을 때의 대비

$C_0$  : 대상물의 원래 대비

시정은 대기의 혼탁함의 정도를 나타내는 척도로써 대상물(검은 물체)을 주간의 하늘을 배경으로 존재유무와 형상을 육안으로 식별할 수 있는 최대 수평 거리이다[4].

$$C_i = e^{-\alpha} = \tau^l \quad (4)$$

$C_i$  : 거리 l에서의 시정(Visibility)

$\tau$  : 대기의 투과율

## 2.4 안개 발생시 시인성 실험 사례

### 2.4.1 실제 안개 발생 장치에 의한 시인성 실험[4]

일본 조명 학회의 약천후 시 교통 시 환경에 관한 연구 조사 위원회에서 시행했던 실험으로 자체 제작한 실험 장치를 사용하여 휘도, 색도 측정을 위한 색채 휘도계 및 안개의 투과율 측정을 위한 투과율계를 설치하고 도로의 안내판과 정보판을 모방한 목표물에 대해 인공 안개 발생시에 대비와 색 변화를 측정하였다.

안개 발생시 같은 목표물이라도 배경이 밝은 경우가 대비와 색이 모두 저하된다는 결과를 얻었고 특히 야간의 도로에서는 시정 저하 시 도로 조명을 소등하는 것이 시선 유도등, 정보판, 선행 차량의 후미등을 인식하기 쉽다는 결과를 얻었다.

### 2.4.2 안개속에서 색이 있는 빛의 시인성 연구[4]

2001년 일본 조명학회의 약천후시 교통시 환경에 관한 연구 조사 위원회에서 실제 안개 발생시 선행차를 따르고 있는 상황을 재현하여 4명의 피험자들이 자동차의 안개등 및 미등에 대해 주관적인 시인성 실험을 하였다.

그 결과 자동차의 미등은 주간에 안개 발생시 대부분 보이지 않고 이는 조도에 의한 영향이 크기 때문에 조도가 높다면 발견 가능 거리가 짧아진다는 결과를 얻었다. 안개등은 주간에 안개 속에서라도 충분한 시인성을 확보해야 한다.

## 2.5 광 원

본 실험은 도로 조명용 광원의 시인성 비교에 관한 실험으로 기존 도로 조명용 광원으로 가장 많이 사용되고 있는 메탈할라이드램프 및 고압나트륨램프와 최근 도로 조명용 광원으로 개발된 PLS (Plasma Lighting System)를 사용하였다. 메탈할라이드램프와 고압나트륨램프는 250W급의 가로등 기구를 사용하였고, PLS는 전용 등기구를 사용하였다.

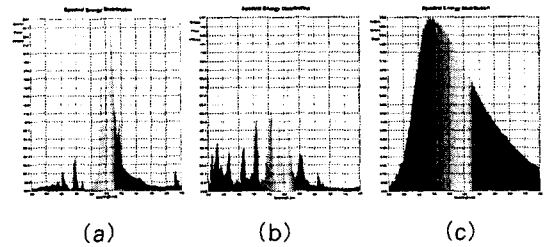


그림. 2. 각 광원의 분광 분포 (a) 고압나트륨램프, (b) 메탈할라이드램프, (c) PLS  
Fig. 2. Spectral energy distribution of light sources (a) High Pressure Sodium Lamp, (b) Metal Halide Lamp, (c) PLS



그림. 3. 각 광원의 색좌표  
▲ 고압나트륨, ■ 메탈할라이드, ● PLS  
Fig. 3. Color and Chromaticity of light sources  
▲ High Pressure Sodium Lamp, ■ Metal Halide Lamp, ● PLS

### 3. 시인성 실험

#### 3.1 예비 실험

##### 3.1.1 투과율 측정

안개의 투과율 측정 장비가 존재하지는 않지만 이 장비의 크기가 매우 커서 본 실험에는 적합하지 않았다. 따라서 레이저 포인터를 이용하여 정상 상태(안개가 발생하지 않았을 때)와 안개 발생시에 레이저 포인터의 조도 변화가 있다면 이를 이용하여 투과율을 계산할 수 있다는 전제하에 예비 실험을 실시하였다.

##### 3.1.2 투과율 계산

조도계와 레이저 포인터 사이의 거리 : 14[m]

안개 발생전 레이저 포인터에 의한 명소시 조도 : 650[lx]

안개 발생후 레이저 포인터에 의한 명소시 조도 : 23.11[lx]

안개 발생전 레이저 포인터에 의한 암소시 조도 : 410[lx]

안개 발생후 레이저 포인터에 의한 암소시 조도 : 2.71[lx]

$$E = E_0 \times \tau_{14} \quad (5)$$

$$\tau_{14} = \tau_1^{14} \quad (6)$$

(14[m]의 투과율은 1[m]당 투과율이 14번 반복되어 나타나는 것)

$E_0$  : 안개 발생전 조도

$E$  : 안개 발생후 조도

$\tau_{14}$  : 14[m]에서 계산된 투과율

$\tau$  : 1[m]당 투과율

명소시 안개의 투과율 : 약 79[%]

암소시 안개의 투과율 : 약 70[%]

(명소시는 실험 장소 내부조명을 모두 켜둔 상태를 말한다 ; 40[W] 형광램프 8개)

### 3.2 본 실험

#### 3.2.1 실험 장소

자연 상태의 안개는 예보가 부정확하고 투과율을 일정하게 유지하기가 어렵기 때문에 피험자의 실험 조건을 일정하게 유지시키기 어렵다.

따라서 인공 안개 발생기를 가지고 있는 강원도 홍천군 군업리에 소재한 느타리 버섯 농장으로 실험 장소를 결정하였다.

#### 3.2.2 실험 시스템 구성

실험장소 내부에 외부에서 유입되는 빛을 모두 차단하였고 명소시 실험은 실험 장소 내부조명(40[W] 형광램프 8개)을 모두 점등한 후 실시하고 암소시 실험은 내부조명을 모두 소등한 후 실시하였다.

안개 상황 하에서 명소시 조도는 23.11[lx], 암소시 조도는 2.71[lx]로 거의 일정하게 유지되었다.

실험 장소가 협소하므로 인해 피험자에게 광원 전체를 노출시킬 경우 실험이 불가능하여 가로 1[m], 세로 0.8[m], 높이 0.8[m]의 내, 외부를 모두 무광택의 검은색 페인트로 도색한 박스를 제작하여 등기구를 집어넣고 지름 5[cm]의 구멍을 박스 전면에 뚫어서 구멍을 통해 나오는 빛을 관찰하도록 하였다. 구멍의 높이는 지면으로부터 1.6[m]에 위치하도록 하였다.

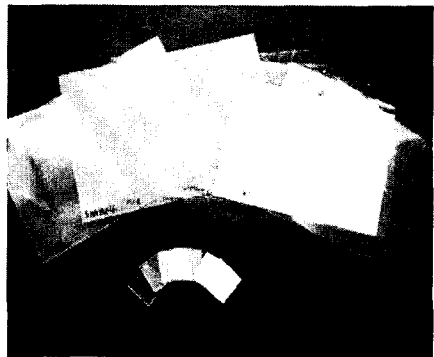


그림 4. 필터  
Fig. 4. Filters

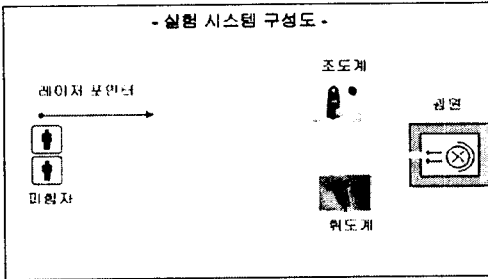


그림 5. 실험 시스템 구성도  
Fig. 5. Structure of test system

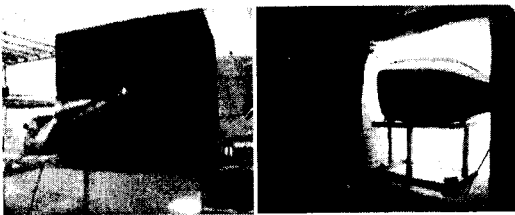


그림 6. 광원의 설치 모습  
Fig. 6. Installation feature of light source

실험 공간이 한정되어 있어서 각 광원의 휘도 조절 수단으로 필터를 생각하고 불투명 종이, 투명 아스테이지, 확산 재질의 아크릴 판 중에서 임의로 선정하여 그 투과율을 측정하고 필터 적용시 광원의 고유한 특성인 색좌표를 변화시키는데 대해 실험하여 색좌표의 변화가 가장 적은 것을 선정하였다. 등기구의 반사판의 형태에 따라 보는 위치가 조금만 변화하여도 휘도의 변화가 크기 때문에 결과적으로 확산 재질의 아크릴판 중 광원의 색좌표 변화가 가장 적은 것으로 필터를 선정하였다.

광원과 피험자와의 거리는 14[m]로 하였으며 피험자의 눈높이는 1.2[m]로 제한하였다.

조도계를 최대한 빛이 나오는 구멍에 근접하여 설치하고 레이저포인터를 피험자의 눈높이 1.2[m]높이에 조도계와 14[m]거리를 떨어뜨려 설치함으로써 피험자의 시선과 최대한 근접하여 안개의 농도를 측정하였다.

LS-110 휘도계를 빛이 나오는 구멍으로부터 0.8[m] 위치에 고정하고 광원의 휘도를 측정하였다.

필터의 갯수 조절만으로는 각 광원마다 정확하게 휘도 단계를 맞추는 것이 어려워 박스 내부에 설치된 등기구를 움직임으로써 휘도 단계를 조절하였다.

### 3.2.3 피험자의 선정

20대 남성 9명, 여성 1명으로 총 10명이며 모두 교정시력이 1.0이상이고 실험 의자에 앉았을 때 눈높이가 1.2[m]내외의 신체 건강한 자로 피험자를 선정하였다.

실험 중 눈과 두뇌에 피로를 주는 행위인 흡연 및 휴대전화, MP3 사용 등의 행위를 금지했다.

### 3.2.4 실험 방법

안개의 투과율이 일정하게 유지되었을 때(레이저 포인터의 조도 변화가 없을 때), 피험자를 2명씩 5개 조로 나누어 광원을 보지 못하게 돌아앉아 있게 하였다.

1개조씩 실험 의자에 앉아 시험자의 신호에 따라 약 3초간 광원 방향을 바라보고 그 결과를 시인성 평가지에 바로 작성하도록 하였다.

피험자에게 제시되는 광원의 휘도는 피험자가 예측하지 못하도록 무작위로 조절하여 제시하였다.

암소시 실험은 피험자들을 20분 이상 암소응 시킨 후 실험하였다.

### 3.2.5 실험 순서

1. 메탈헬라이드, 고압나트륨, PLS 순으로 명소시, 암소시로 나누어 실시하였다.
2. 필터의 개수 조절과 함께 박스 내부에서 광원을 움직이고 구멍에서 나오는 빛의 휘도를 측정하여 최대 휘도를 찾았다.
3. 최대 휘도에 대해 조별로 돌아가며 실시하였다.
4. 2의 방법으로 빛을 전혀 인지하지 못하는 휘도를 찾았다.
5. 최소 휘도에 대해 조별로 돌아가며 실시하고 빛을 인지하는 피험자가 나올 경우 휘도를 더 낮추어가며 최소 휘도를 찾았다.
6. 최대 휘도와 최소 휘도 사이를 6개의 등 간격으로 나누어 조별로 돌아가며 실험하였다.
7. 모든 광원에 대해 동일한 휘도 단계를 적용하여 실험하였다.

답안 문항은 1번 '전혀 보이지 않는다'에서 4번 '아주 잘 보인다'의 4단계로 나누었고 중간 단계는



것으로 추측된다.

그래프에서 시인성 경향이 역전되는 부분은 피험자의 수가 늘어나면 사라질 것으로 기대된다.

### 3. 결 론

본 연구는 안개 발생시 옥외용 광원에 대한 비교 실험이었으며 현재 많이 사용되는 HID램프(메탈할라이드램프, 고압나트륨램프) 및 PLS는 동일한 안개 조건 하에서 휘도가 증가하면 시인성이 증가한다.

명소시와 암소시 실험에 사용된 광원 모두 휘도가 증가하면 시인성이 증가하는 경향을 보였으며 특히, 명소시에는 광원의 광색에 따른 영향으로 고압나트륨램프가 시인성이 가장 좋고, 암소시에는 시각 세포 감도의 영향으로 PLS가 시인성이 가장 좋은 것으로 나타났다.

피험자의 동원과 집단 균일성을 위해 20대 청년층에 한해 실험을 행하였으나, 고령화 사회로 접어들어 따라 장년층 및 노년층에 대한 실험이 이루어져야 할 것으로 사료된다.

안개 입자의 크기 및 투과율 등은 조절이 힘든 조건들로서 그 영향에 대한 보다 심도 있는 연구가 필요하다.

실제 도로에서 발생 가능한 여러 가지 외란 및 주위의 시각 환경 변화의 영향에 대해 보다 엄격히 통제된 실험 및 실제 상황 하에서의 실험이 이루어져야 할 것으로 생각된다.

### References

- (1) "Traffic accidents factors analysis", Road Traffic Safty Authority,2005.
- (2) "Fogs", Korea Meteorogical administration,2005.12.
- (3) <http://www.auf.asn.au/meteorology/sevtion12.html>.
- (4) "Report of Special Investigation Commitee about Traffic Visual Environments in Foul Weather",Light sense reserch section in The Illuminating Engineering Institute of Japan, 2003.3.

### ◇ 저자소개 ◇

#### 조문성(曹紋誠)

1979년 9월 25일생. 현재 강원대학교 일반대학원 전기공학과 석사과정.

#### 김영균(金英均)

1975년 3월 7일생. 2003년 강원대학교 산업대학원 전기공학과 졸업. 현재 한국전기안전공사 강원지역본부 근무.

#### 정관진(鄭寬鎭)

1959년 12월 10일생. 현재 LG전자 PLS사업부 그룹장.

#### 이정욱(李貞郁)

1974년 1월 23일생. 2001년 강원대학교 일반대학원 전기공학과 졸업. 현재 KAICO 근무.

#### 김 훈(金 燾)

1958년 8월 6일생. 1981년 서울대학교 전기공학과 졸업. 1983년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1988년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1993년 호주 국립 대학 방문 교수. 현재 강원대학교 공과대학 전기전자 정보통신 공학부 교수.