

# 조도 기반 자동차 전조등 시인 성능 평가 방법의 적정성 평가

## Appropriateness Assessment of Illuminance-Based Evaluation Method in Automotive Headlight Visibility Performance

조 원 범 Cho, Wonbum

정희원 · 한국건설기술연구원 도로연구소 수석연구원 · 서울시립대학교 교통공학과 박사과정 수료  
교신저자 (E-mail : worber@kict.re.kr)

### ABSTRACT

**PURPOSES :** The current practice in car headlight visibility performance evaluation is based on the luminous intensity and illuminance of headlight. Such practice can be inappropriate from a visibility point of view where visibility indicates abilities to perceive an object ahead on the road. This study aimed at evaluating the appropriateness of current headlight evaluation method.

**METHODS :** This study measured the luminance of object and road surface at unlit roadways. The variables were measured by vehicle type and by headlight lamp type. Based on the measurements, the distance where drivers can perceive an object ahead was calculated and then compared against such distance obtained by conventional visibility performance evaluation.

**RESULTS :** The evaluation method based on illuminance of headlight is not appropriate when viewed from the visibility concept that is based on object-perceivable distance. Further, the results indicated a shorter object-perceiving distance even when road surface luminance is higher, thereby suggesting that illuminance of headlight and luminance of road surface are not the representative indices of nighttime visibility.

**CONCLUSIONS :** Considering that this study utilized limited vehicle types and that road surface (background) luminance can vary depending on the characteristics of the given road surface, it would likely go too far to argue that this study's visibility performance evaluation results can get generalized to other conditions. Regardless, there is little doubt that the current performance evaluation criterion which is based on illuminance, is unreasonable. There should be future endeavors on the current subject which will need to explore study conditions further, under which more experiments should be conducted and effective methodologies developed for evaluating automotive headlight visibility performance. Needs are recognized particularly in the development of headlight visibility performance evaluation methodology which will take into account road surface (background) luminance and luminance contrast from various perspectives as the former indicates the driver's perception of the front road alignment and the latter being indicative of object perception performance.

### Keywords

nighttime road, car headlight, isolux lines, luminance contrast, illuminance, visibility

Corresponding Author : Cho, Wonbum, Senior Researcher  
Highway and Transportation Research Institute, Korea Institute of  
Civil Engineering and Building Technology 283, Goyangdae-ro,  
Ilsanseo-gu, Gyeonggi-do, 10223, Korea  
Tel : +82.31.910.0182 Fax : +82.31.910.0161  
E-mail : worber@kict.re.kr

International Journal of Highway Engineering

<http://www.ksre.or.kr/>

ISSN 1738-7159 (Print)

ISSN 2287-3678 (Online)

Received May, 17, 2017 Revised Sep, 18, 2017 Accepted Nov, 28, 2017

## 1. 서론

야간 도로에서는 운전자가 장애물 등 전방의 위험 상

황을 감지하고 이를 회피할 수 있도록 적절한 시각 정보, 즉 시인성(visibility)이 제공되어야 한다. 시인성은

‘시대상(visual target)의 존재 또는 모양이 원거리에서 도 식별이 쉬운 성질’로 정의되며, 휘도대비(luminance contrast)가 커질수록 시인성은 커진다. 휘도대비는 ‘시대상과 그와 인접하는 물체의 휘도 차이 정도를 비 또는 차 등으로 나타낸 것’으로 정의된다. 따라서 야간 도로에서 전방 위험물을 인지하기 위해서는 위험물의 휘도와 해당 위험물의 배경이 되는 전방 노면 휘도의 대비(이하 ‘휘도대비’)가 일정수준 이상이 되어야 한다.

도로 조명은 운전자에게 시인성을 제공하는 주요한 역할을 한다. 그러나 무조명 구간에서는 도로 조명의 역할을 대신하는 자동차 전조등이 유일한 시인성 확보 수단이다. 자동차 전조등의 주요 기능은 주로 야간 주행 시 운전자에게 도로의 시각정보, 즉 시인성을 제공하는 것이다(R Bremond et al., 2013). 국내 전체 도로 중 88%는 무조명 구간(최금인 등, 2011)이며, 특히 무조명 구간이 집중되어 있는 지방부 도로의 경우 자동차 전조등의 시인성능은 매우 중요하다.

전조등의 시인성능은 전조등의 광도(luminous intensity) 또는 조도(illuminance)를 근거로 평가되는 것이 일반적이다. 조도는 광원의 빛 세기를 직접적으로 측정하여 평가하는 단위(lx)이며, 휘도는 광원에서 발산된 빛이 특정 입사면에 반사되어 인간의 눈으로 도달하는 빛의 세기를 측정하는 단위(cd/m<sup>2</sup>)이다. 따라서 야간 도로의 시인성, 즉 안전성 평가 시 운전자가 전방의 선형 변화와 더불어 장애물 유무를 인식할 수 있는가의 여부가 매우 주요한 요소임을 고려 시 전조등 자체의 빛 세기인 조도보다는 전조등의 빛이 노면에 반사되어 운전자의 눈으로 다시 입사하는 빛 세기인 노면 휘도 및 도로상 장애물에 반사되어 운전자의 눈으로 다시 입사하는 장애물 휘도간의 대비가 자동차 전조등의 안전성 평가에 더욱 적합한 지표이다. 전조등의 광도 또는 조도가 높아질 경우 노면의 밝기, 즉 노면 휘도는 이에 비례하여 상승하게 되고, 이러한 야간 도로 환경은 전방 선형 인식 측면에서 확실히 유리하나 노면 밝기의 상승은 야간 도로에서 고려되어야 하는 여러 가지 위험 상황 중 일부분에 대한 대응에 국한되며, 특히 운전자의 장애물 등 전방의 위험 상황 확인 또는 식별 능력 향상, 즉 시인성의 향상과 직접적 관련이 있다고 단언하기는 힘들기 때문이다. 이러한 이유로 야간 도로의 시인성 확보를 위해 설치되는 도로 조명의 국내의 기준은 과거 조도를 근거로 도로조명의 등급, 즉 야간 도로의 안전성을 평가하던 방법에서 휘도 기반 평가로 변경하였으며, 특히 American National Standard Institute(2008)는 노면의 휘도수준과 더불어 노면과 장애물의 휘도대비 수준을 평가 기준으로 적

용한 바 있다. 그럼에도 불구하고 현재 자동차 전조등의 성능을 운전자 시인성 관점에서 접근, 휘도대비를 근거로 규정한 기준은 전무한 상황이다. 최근 미국 고속도로 안전보험협회(Insurance Institute for Highway Safety, IIHS)는 미국 내 시판 중형차 31종의 전조등 성능을 평가한 바 있으나, 이 또한 일정수준 이상의 전조등 조도(5lx) 확보 거리를 근거로 평가하였으며, 따라서 운전자의 시인성 관점에서 평가하였다고 보기는 어렵다.

이에 본 연구는 무조명 상태의 실 도로에서 측정된 차종별, 전조등 조건별 장애물과 그 배경이 되는 노면의 휘도 관계(휘도대비)에 근거하여 자동차 전조등의 시인성능을 평가하고 현 조도 기반 전조등 성능 평가에 의한 결과와 비교하여 현 전조등 성능평가 방법의 적정성을 검토하였다.

## 2. 문헌고찰

### 2.1. 정지시거

정지시거(Stopping Sight Distance)는 운전자가 같은 차로 상에 있는 고장차 등의 장애물 또는 위험요소를 알아차리고 제동을 걸어서 안전하게 정지하거나, 혹은 장애물을 피해서 주행하기 위하여 필요한 길이를 설계 속도에 따라 산정한 것이며, 국토해양부(2009)는 정지시거를 다음의 두 가지 거리를 산정하여 각각의 거리를 합한 값으로 정의하고 있다.

- ① 운전자가 앞쪽의 장애물을 인지하고 위험하다고 판단하여 제동장치를 작동시키기까지의 주행거리(반응 시간 동안의 주행거리)
- ② 운전자가 브레이크를 밟기 시작하여 자동차가 정지할 때까지의 거리(제동정지거리)

Table 1. Minimum Stopping Sight Distance

Design speed(km/h)	Stopping sight distance(m)
120	215
110	185
100	155
90	130
80	110
70	95
60	75
50	55
40	40
30	30
20	20

Ref.: Ministry of Land, Transport and Maritime, 2009

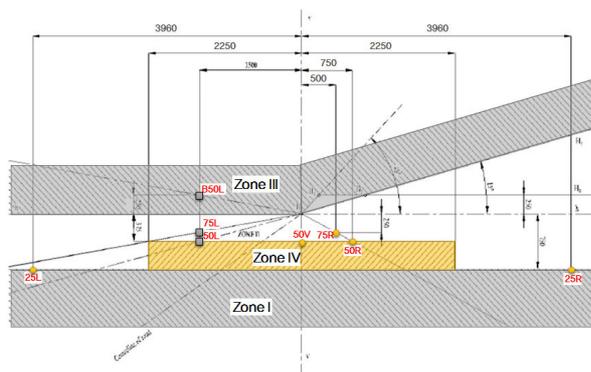
## 2.2. 자동차 전조등 성능 평가

「자동차 및 자동차부품의 성능과 기준에 관한 규칙(국토교통부, 2014)」은 자동차 및 이륜자동차의 구조 및 장치에 적용할 안전기준과 자동차 및 자동차의 부품 또는 장치의 안전 및 성능에 관한 시험에 적용할 기준 및 방법을 정함을 목적으로 하고 있으며 동 규칙 38조는 자동차 전조등의 설치높이 및 너비, 발광면 관측각도, 조사방향, 작동조건, 광도(luminous intensity) 등에 대해 규정하고 있다. 특히 하향등의 경우 눈부심 방지 및 시인성 확보를 위해 조사방향 및 광도와 관련한 규정을 엄격히 적용하고 있다.

Table 2. Luminous Intensity Criteria of Low-Beam Headlight

Category	Measuring point	Viewpoint	Reference value (candela)
Low-beam	B50L	0.57U, 3.43L	below 250
	75R	0.57D, 1.15R	7,500 or above
	75L	0.57D, 3.43L	below 7,500
	50L	0.86D, 3.43L	below 9,375
	50R	0.86D, 1.72R	7,500 or above
	50V	0.86D, 0	3,750 or above
	25L	1.72D, 9.0L	1,250 or above
	25R	1.72D, 9.0R	1,250 or above
	Zone III	-	below 438
	Zone IV	-	1,875 or above
	Zone I	-	below 2×50R

Ref.: Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2014

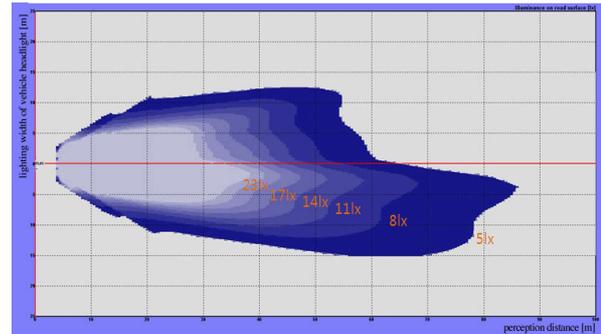


Ref.: Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2014

Fig. 1 Low-beam Luminous Intensity Measuring Point on Screen Located in Front of 25m from Automobile

Takasi et al.(2001)은 장애물을 확인하기 위한 자동차 전조등의 최소 조도를 5lx로 정의하였으며, Cho et al.(2012)은 Takasi et al.(2001)을 근거로 국내 자동차에 적용된 하향등의 5lx 등조도곡선(Isolux-line)을 활용하여 장애물 인지거리를 산정한 결과 할로겐 광원

의 전조등은 70.5m, HID 광원의 전조등은 92.1m임을 제시하였다. 이 값은 각각 국토해양부(2009)에서 제시하고 있는 설계속도 60km/h 및 70km/h에서의 최소 정지시거와 유사한 값이다. 등조도곡선은 임의의 면에서의 조도가 같은 점을 이은 곡선으로 정의된다(Fig. 2 참조).



Ref.: Cho et al., 2012

Fig. 2 Example of Isolux-line

Lee(2014)는 자동차 전조등 조도에 따른 피험자의 장애물 인식 가능 여부를 규명하기 위한 실험을 수행하고, 이 결과를 토대로 피험자의 96.61%가 15×15cm<sup>2</sup>의 장애물을 인식할 수 있는 최소 자동차 전조등 등조도곡선을 5lx로 제시하였다. 또한 국내에서 양산중인 승용차 5종에 대한 등조도곡선 자료를 토대로 5lx 등조도곡선이 약 60~75m에 분포됨을 제시하였다.

## 2.3. Visibility Level

야간 도로를 주행하는 운전자는 적정 거리에서의 전방 장애물의 유무를 결정할 수 있어야 한다(ANSI, 2008). 야간 주행환경에서 운전자가 전방 장애물을 확인(perception)하기 위해서는 장애물과 그 배경이 되는 해당 도로노면의 휘도대비가 장애물 확인(perception)의 경계가 되는 임계 휘도대비(critical luminance contrast)보다 커야 한다. 임계 휘도대비는 순응휘도(adaptation luminance), 임계장애물(critical obstacle)의 크기, 임계장애물의 대비 극성(contast polarity), 운전자의 장애물 관찰 시간(observation time), 운전자 나이(driver age) 등에 의해 영향을 받는다.

Fig. 3은 도로노면의 휘도와 장애물의 휘도에 따른 휘도대비, 즉 시인성의 차이를 설명한 개념도이다. 노면보다 많이 어둡거나 밝은 좌측 및 우측의 장애물은 시인성이 높으나 노면과 유사한 밝기의 중앙 장애물은 시인성이 낮다.



Fig. 3 Concept of Visibility Level

Adrian(1989)은 이러한 개념에 기반하여 휘도대비를 근거로 운전자의 장애물 확인 능력을 정량적으로 평가하기 위한 VL(Visibility Level) 기법을 개발하였다. VL은 장애물 식별 능력과 관련된 장애물과 노면의 휘도차를 기준으로 시인성을 평가하는 기법으로, '장애물 확인을 위해 운전자에게 필요한 요구 휘도차( $\Delta L_{threshold}$ )' 대비 '평가 대상 도로의 휘도차( $\Delta L_{actual}$ )'의 비율을 기준으로 평가한다. Adrian(1989)은 Blackwell(1946)의 실내실험 결과 및 다수의 운전자 시각 능력 관련 연구 결과(Blackwell, 1946; Aulhorn, 1964; Adrian, 1969; Berek, 1943; Schmidt-Chussen, 1969; Blackwell, 1989)를 종합적으로 고려하여 VL 기법을 개발하였다. 이론적으로는 야간 도로에서 VL이 1이면 장애물 확인이 가능하다. 그러나 실제 야간 도로를 주행하는 운전자에게는 여러 가지 driving task가 요구되며 이로 인해 장애물 확인을 가능케하는 VL 경계역(threshold)은 실험실 기반 실험결과로 도출된 값보다 항상 클 수 밖에 없다(E. Dumont et al., 2008). 실험실 조건과 실제 야간 도로 상황에서 요구되는 VL의 비율로 표현되는 field factor는 대략 1~20의 범위에서 제시되고 있다(Dunipace et al., 1974; Ising et al., 2003; Adrian et al., 2005).

VL 산정 수식은 Eq. (1)과 같다.

$$VL = \frac{\Delta L_{actual}}{\Delta L_{threshold}} \quad (1)$$

$$\Delta L_{actual} = L_t - L_b \quad (1-1)$$

$$\Delta L_{threshold} = k \cdot \left( \frac{\Phi^{1/2}}{\alpha} + l^{1/2} \right)^2 \cdot F_{CP} \cdot \frac{\alpha(\alpha; L_b) + t}{t} \cdot AF \quad (1-2)$$

VL : visibility level

$L_t$  : target luminance ( $cd/m^2$ )

$L_b$  : background luminance ( $cd/m^2$ )

$\Phi$  : luminous flux function( $lm$ )

$\alpha$  : angle of substance of the target at observer's eye(')

$F_{CP}$  : contrast polarity factor

$\alpha(\alpha; L_b)$  : parameter depends on size of target and background luminance

$t$  : observation time(s)

AF : age factor

$k$  : factor for the probability of perception

Yoon et al.(2015)은 Blackwell(1946)의 실험과 동일한 원리로 설계된 실내실험을 통해 positive 및 negative contrast 조건에서 운전자가 장애물 확인을 위해 요구되는 배경휘도(순응휘도 또는 노면 휘도)와 장애물 휘도의 관계를 대비 극성(Eq. (1-2)의  $F_{CP}$ ) 및 확인 확률(Eq. (1-2)의  $k$ )로 구분하여 도출하였다. Positive contrast(bright object)는 장애물 휘도가 배경휘도보다 더 큰 대비극성을, negative contrast(dark object)는 반대의 대비극성을 의미한다. 확인확률은 전체 피험자 중 주어진 관측시간(Eq. (1-2)의  $t$ ) 1.5초 이내에 장애물을 확인한 피험자의 비율을 의미하며, 안전수준(safety level)과 동일한 의미이다. 관측시간 1.5초는 국토해양부(2009)에서 규정하고 있는 운전자의 인지반응시간에 해당되며, 이는 운전자가 제동장치를 작동하기 위한 동작시간(1.0초)을 제외한 즉, 운전자가 장애물의 존재를 확인 및 확신할 때까지의 시간에 해당된다. 관측시간을 길게 하면 운전자의 장애물 탐색 시간이 길어져 노면과 장애물의 휘도대비가 더 적은 상황에서도 장애물 확인 가능성이 커지게 되며, 이로 인해 안전수준이 과대추정될 가능성이 높다. 장애물의 크기(Eq. (1-2)  $\alpha$ )는 동 기준에서 규정하고 있는 표준장애물인  $15 \times 15 cm^2$ 를 적용하였다. 피험자의 연령은 국내 연령대별 운전면허 소지자 비율과 유사하게 구성되었으며, 평균연령은 45.1세, 피험자수는 80명이다.

실험의 결과는 Fig. 4와 같다. 상단 3개 관계선은 positive contrast, 하단 3개의 관계선은 negative contrast 조건에서의 배경휘도(background luminance)와 장애물 휘도(object luminance)의 관계를 확인확률(p) 85%, 75%, 50%로 구분하여 나타난 것이다. Positive contrast 조건에서는 해당 관계선보다 상단 영역에서, negative contrast 조건에서는 해당 관계선보다 하단 영역에서 운전자가 장애물 확인이 가능하다. 특정 배경휘도에서 장애물을 확인하기 위한 휘도 관계는 Eq. (2)~(7)과

같이 강한 2차 함수의 관계를 가진다.

• Negative Contrast(Dark Object)

$$L_o = 0.0175L_b^2 + 0.7119L_b - 0.1499 (p = 85\%), R^2 = 0.999 \quad (2)$$

$$L_o = 0.0124L_b^2 + 0.7138L_b - 0.1822 (p = 75\%), R^2 = 0.999 \quad (3)$$

$$L_o = 0.0076L_b^2 + 0.677L_b - 0.2481 (p = 50\%), R^2 = 0.999 \quad (4)$$

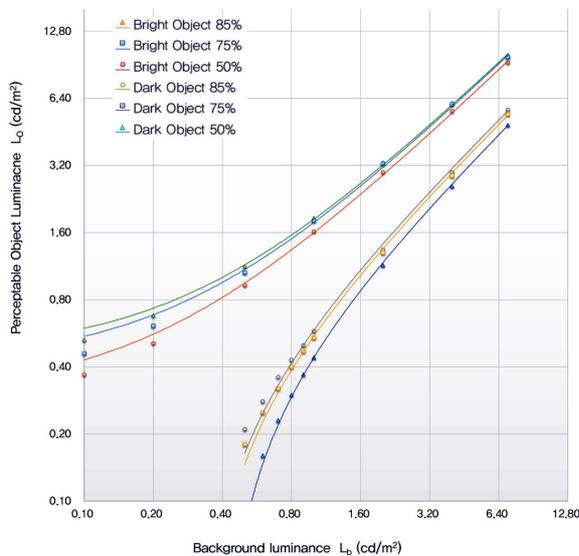
• Positive Contrast(Bright Object)

$$L_o = -0.0166L_b^2 + 1.4924L_b + 0.3834 (p = 85\%), R^2 = 0.996 \quad (5)$$

$$L_o = -0.0236L_b^2 + 1.5248L_b + 0.3047 (p = 75\%), R^2 = 0.995 \quad (6)$$

$$L_o = -0.0166L_b^2 + 1.4128L_b + 0.2245 (p = 50\%), R^2 = 0.997 \quad (7)$$

여기서,  $L_o$  : object luminance( $cd/m^2$ ),  
 $L_b$  : background luminance( $cd/m^2$ )  
 $p$  : probability of perception



Ref. : Yoon et al., 2015

Fig. 4 Estimated Relation between the Background Luminance( $L_b$ ) and the Object Luminance( $L_o$ ).

### 3. 자동차 전조등 시인성능 평가

#### 3.1. 실험조건 및 방법

본 연구는 자동차 전조등의 시인성능을 평가하기 위한 목적으로 자동차 전조등에 의한 장애물과 주변 노면의 휘도(이하 '배경휘도')를 측정하기 위한 실험을 수행하였다. 실험은 공용 전 도로에서 수행되었으며, 자동차 전조등에 의한 장애물 및 배경휘도는 도로 조명이 모두 소등된 상태에서 휘도계(LMK5, 독일 TechnoTeam社)를 이용하여 측정되었다. 휘도계는 국토해양부

(2009)에서 정지시거 산정 시 운전자 눈높이로 규정하고 있는 1.0m 높이로 운전석과 일직선상의 자동차 대쉬보드에 거치되었다.

전조등은 H사의 A모델(승용차, passenger car)과 T모델(RV)의 상향등 및 하향등을 대상으로 하였다. 두 모델의 전조등은 모두 할로겐 광원을 활용한 Multi Face Reflector 방식이다. A모델의 전조등 높이는 약 0.70m, T모델의 전조등 높이는 약 0.85m로 T모델의 전조등 높이가 더 높다.

장애물은 자동차 전방 40m~180m 거리에 20m 간격으로 전조등 조사 길이가 긴 자동차 우측에 배치되었으며, 크기  $15 \times 15m^2$ , 반사율 20%의 종이박스가 활용되었다. 자동차 전조등에 의한 대비 극성은 장애물이 노면보다 밝은 positive contrast 조건에 해당되며, 해당 조건에서는 장애물의 반사율이 낮아질수록 장애물 확인이 더 어려워짐을 감안 시 비교적 반사율이 낮은 장애물을 실험조건으로 선정한 것은 타당한 것으로 판단된다. 참고로 터널 조명 기준(국토교통부, 2014)에서는 터널 조명의 적정 시인성을 판단하기 위한 장애물의 반사율을 20%로 정의하고 있다. 장애물 휘도는 장애물 전면 전체의 평균휘도를, 배경휘도는 장애물 영역을 제외한 장애물 주변의 노면 평균휘도를 분석하여 활용하였다.

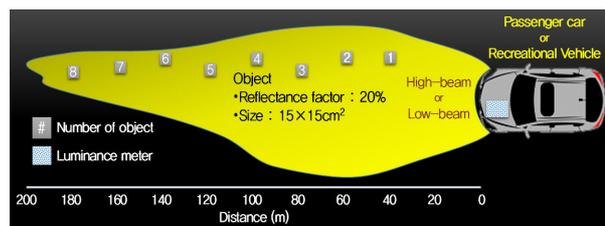


Fig. 5 Experimental Condition

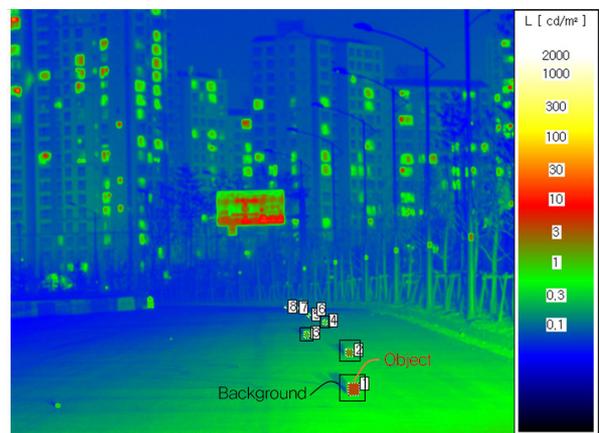


Fig. 6 Method for Luminance Analysis (Low-Beam of Passenger Car)

### 3.2. 측정 결과 및 분석

Table 3~6은 차종별 전조등 조건별로 측정된 배경휘도 ( $L_b$ , background luminance)와 장애물의 휘도( $L_o$ , object luminance) 및 각 배경휘도에서 장애물 확인을 위해 요구되는 확인확률별 최소 장애물 휘도(Eq. (5)~(7), Yoon et al., 2015)를 나타낸 것이다. 승용차 하향등 조건에서 측정된 배경 휘도와 장애물 휘도는 각각  $0.03\sim 0.13\text{cd/m}^2$ ,  $0.03\sim 0.58\text{cd/m}^2$ (Table 3), 상향등 조건에서  $0.10\sim 0.34\text{cd/m}^2$ ,  $0.21\sim 3.96\text{cd/m}^2$ (Table 4)에 분포한다. RV의 경우 하향등 조건에서의 배경 휘도와 장애물 휘도는  $0.04\sim 0.26\text{cd/m}^2$ ,  $0.05\sim 2.31\text{cd/m}^2$ (Table 5), 상향등 조건에서  $0.21\sim 0.78\text{cd/m}^2$ ,  $0.33\sim 6.71\text{cd/m}^2$ (Table 6)에 분포한다.

모든 측정 대상(장애물 1~8 및 각 장애물의 배경)의 동일 지점에서의 휘도를 비교한 결과, 동일 차종에서의 상향등 조건에 의한 휘도는 하향등 조건에 의한 휘도보다 높으며, 동일 전조등 조건에서는 RV에 의한 휘도가 승용차에 의한 휘도보다 높은 것으로 분석되었다.

장애물 확인거리는 동일 차종을 기준으로 비교 시 장애물 및 배경의 휘도가 높은 상향등 조건이 하향등 조건에 비해 더 긴 것으로 분석되었다. 동일 전조등 조건을 기준으로 비교 시 하향등 조건에서는 장애물 및 배경의 휘도가 높은 RV의 장애물 확인거리가 승용차에 비해 더 긴 것으로 분석되었으나, 상향등 조건에서는 하향등 조건과는 반대로 장애물 및 배경의 휘도가 낮은 승용차의 장애물 확인거리가 더 긴 것으로 분석되었다. 이는 RV의 상향등 조건에서의 노면 휘도가 승용차의 상향등 조건에서의 노면 휘도보다 높아 전방 선형을 인식하기에는 유리하나, 장애물의 휘도 또한 높아 노면 및 장애물의 휘도대비가 낮아지고 이로 인해 시인성이 저하되어 상대적으로 먼 거리의 장애물 확인이 어려워짐을 의미한다.

장애물 확인확률( $p$ ) 85%를 기준으로 분석할 경우 승용차 및 RV의 장애물 확인거리는 하향등 조건에서 각각 약 40m와 60m, 상향등 조건에서 각각 100m와 80m이며, 하향등 조건에서는 RV의 장애물 확인거리가 약 20m 길고, 반대로 상향등 조건에서는 승용차의 장애물 확인거리가 약 20m 길다. 상향등 사용에 의한 장애물 확인거리 증가는 승용차의 경우 약 60m, RV의 경우는 약 20m로 상향등 사용에 의한 장애물 확인거리 증가는 RV가 승용차보다 더 낮은 것으로 분석되었다. 차종 및 전조등 조건에 따른 배경(노면)과 장애물의 휘도 관계 및 이로 인한 장애물 확인거리의 차이는 전조등 조건별 광도, 자동차별 전조등 제원 및 배광의 차이, 노면과 장애물로의 전조등 입사각 및 반사각의 관계에 기인한다.

Table 3. Luminance Distribution of Passenger Car(PC) Low-Beam ( $\text{cd/m}^2$ )

Object no.	Object distance from vehicle	Observed luminance		Probability of perception ( $p$ )		
				85% Eq.(3)	75% Eq.(4)	50% Eq.(5)
		$L_b$	$L_o$	Required $L_o$ (minimum)		
1	40m	0.13	0.58	<b>0.58</b>	<b>0.50</b>	<b>0.41</b>
2	60m	0.05	0.14	0.45	0.38	0.29
3	80m	0.03	0.05	0.42	0.35	0.26
4	100m	0.03	0.04	0.42	0.34	0.26
5	120m	0.02	0.03	0.42	0.34	0.26
6	140m	0.03	0.03	0.42	0.34	0.26
7	160m	0.03	0.03	0.42	0.34	0.26
8	180m	0.03	0.03	0.42	0.34	0.26

The bold and shadowed numbers above refer to cases wherein the observed object luminance exceeded the min. required object luminance which is needed to perceive the object at the corresponding perception probability, i.e., the object can be perceived from the given distance.

Table 4. Luminance Distribution of Passenger Car(PC) High-Beam ( $\text{cd/m}^2$ )

Object no.	Object distance from vehicle	Observed luminance		Probability of perception ( $p$ )		
				85% Eq.(3)	75% Eq.(4)	50% Eq.(5)
		$L_b$	$L_o$	Required $L_o$ (minimum)		
1	40m	0.34	3.96	<b>0.88</b>	<b>0.81</b>	<b>0.70</b>
2	60m	0.23	1.81	<b>0.72</b>	<b>0.65</b>	<b>0.55</b>
3	80m	0.17	0.99	<b>0.63</b>	<b>0.56</b>	<b>0.46</b>
4	100m	0.15	0.64	<b>0.61</b>	<b>0.54</b>	<b>0.44</b>
5	120m	0.16	0.45	0.62	0.54	<b>0.44</b>
6	140m	0.15	0.34	0.61	0.53	0.43
7	160m	0.10	0.26	0.53	0.46	0.36
8	180m	0.10	0.21	0.53	0.45	0.36

Table 5. Luminance Distribution of Recreational Vehicle(RV) Low-Beam ( $\text{cd/m}^2$ )

Object no.	Object distance from vehicle	Observed luminance		Probability of perception ( $p$ )		
				85% Eq.(3)	75% Eq.(4)	50% Eq.(5)
		$L_b$	$L_o$	Required $L_o$ (minimum)		
1	40m	0.26	2.31	<b>0.76</b>	<b>0.69</b>	<b>0.59</b>
2	60m	0.14	0.89	<b>0.59</b>	<b>0.51</b>	<b>0.42</b>
3	80m	0.12	0.39	0.56	0.48	<b>0.39</b>
4	100m	0.08	0.19	0.50	0.43	0.34
5	120m	0.07	0.14	0.49	0.41	0.32
6	140m	0.05	0.10	0.46	0.38	0.30
7	160m	0.04	0.07	0.44	0.36	0.28
8	180m	0.04	0.05	0.44	0.36	0.28

Table 6. Luminance Distribution of Recreational Vehicle(RV) High-Beam (cd/m<sup>2</sup>)

Object no.	Object distance from vehicle	Observed luminance		Probability of perception (p)		
				85% Eq.(3)	75% Eq.(4)	50% Eq.(5)
		$L_b$	$L_o$	Required $L_o$ (minimum)		
1	40m	0.78	6.71	1.54	1.48	1.32
2	60m	0.60	3.16	1.28	1.21	1.07
3	80m	0.54	1.77	1.18	1.12	0.98
4	100m	0.38	0.86	0.95	0.88	0.76
5	120m	0.36	0.69	0.92	0.85	0.73
6	140m	0.27	0.50	0.78	0.71	0.60
7	160m	0.22	0.38	0.71	0.63	0.53
8	180m	0.21	0.33	0.69	0.62	0.52

Fig. 7은 Table 3~6의 자동차 전조등에 의한 노면 및 장애물 휘도 측정 결과와 확인확률별 장애물 확인을 위해 요구되는 휘도관계를 도식화 한 것이다. 자동차 전조등 조건별 노면 및 장애물 휘도 관계가 확인확률별 관계선보다 상단 영역에 위치할 경우 해당 거리에 위치한 장애물의 확인이 가능함을 의미한다.

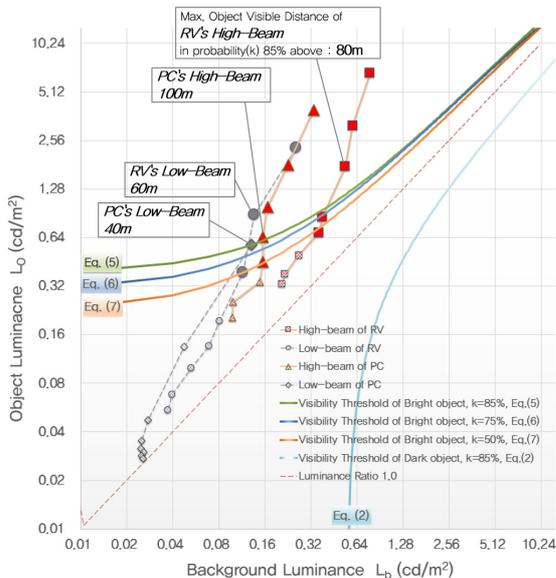
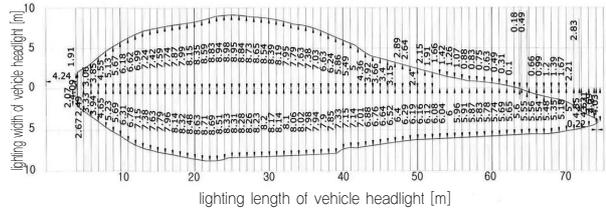


Fig. 7 Analysis of Visibility as Per Vehicle Type and Headlight Lamp Type

Fig. 8은 실험에 활용된 H사 A모델(승용차) 하향등의 5lx 등조도곡선이다. 5lx는 Takasi et al.(2001)와 Lee(2014)가 장애물을 인지하기 위해 요구되는 자동차 전조등의 최소 조도로 정의한 값이며, 5lx 등조도곡선의 최대 거리를 기준으로 장애물 확인거리를 산정할 경우 A모델 하향등의 최대 장애물 확인거리는 약 74m에 해당한다. 그러나 본 연구 결과에 따라 휘도대비를 근거

로 평가할 경우 A 모델 하향등에 의한 장애물 확인거리는 약 40m(Table 3)로 해당 장애물 확인거리에서의 조도는 약 7.15lx(Fig. 8)에 해당하며, 이는 5lx 등조도곡선을 근거로 산정된 장애물 확인거리와 약 34m의 차이가 난다. 휘도대비 평가에 의한 장애물 확인거리(40m)와 전조등 조도 평가에 의한 장애물 확인거리(74m)는 각각 설계속도 40km/h와 60km/h의 도로에서 야간 안전성 확보를 위해 요구되는 최소 시인성능(정지거리)에 해당한다.



Ref. : Lee, 2014

Fig. 8 5lx solux-line of Passenger Car(H company A Model, Low-Beam)

#### 4. 결론 및 향후 연구

본 연구는 현 조도 기반 전조등 시인성능 평가 방법론의 적정성을 검토하기 위한 목적으로 수행되었다. 이를 위해 본 연구는 무조명 도로에서 차종별, 전조등 조건별로 장애물과 해당 장애물의 배경이 되는 노면의 휘도를 측정하고 야간 장애물 인지의 기본 원리인 휘도대비를 근거로 자동차 전조등의 시인성을 평가하였으며, 이 결과를 5lx 전조등 조도를 근거로 전조등의 시인성을 평가하는 기존 방법론에 의해 도출된 결과와 비교하여 제시하였다. 본 연구에서 시인성은 야간 도로 운전자의 장애물 확인 가능거리로 정의된다.

본 연구의 결론은 다음과 같다.

1. A모델 하향등 조건에서 전조등 조도 기반 평가 방법과 휘도대비 기반 평가 방법을 적용하여 산정된 '장애물 확인 가능 거리'는 약 2배 정도(각각 74m, 40m)의 차이가 나는 것으로 분석되었으며, 휘도대비가 시인성 평가의 기본 원리임을 고려 시 조도에 의한 전조등 시인성능 평가 방법은 '장애물 확인 가능 거리'를 근거로 한 시인성 관점에서 적절하다고 판단할 수 없다.
2. 상향등 조건의 경우 노면의 휘도가 더 높은 T 모델의 장애물 확인 가능 거리가 A 모델의 장애물 확인거리보다 더 짧으며, 따라서 노면의 휘도는 야간 도로에서의 시인성을 대표할 수 있는 지표가 아니다. 노면

휘도는 전방 선형의 인식도 및 야간 운전환경의 쾌적성 평가 지표 정도로 한정되어 활용 가능할 것으로 판단된다.

- 본 연구에서 적용한 노면과 장애물의 휘도 관계(휘도 대비)는 정적 모의실험을 통해 도출된 결과로, 실제 야간 도로를 주행 중인 운전자의 경우 주행속도가 빨라질수록 동일 시간에 주행하는 거리가 길어지는 반면 시야가 좁아지고(멀리보지 못하고) 위험요소 확인 및 확신을 위해 소요되는 시간이 길어지는 경향이 있음을 감안 시 실제 주행환경에서 장애물 확인을 위해 요구되는 휘도대비는 더욱 커질 것이며, 따라서 현 전조등에 의한 '장애물 확인 가능 거리'는 본 연구결과에서 제시된 것 보다 더욱 짧아질 것이다.

서론에서 전술한 바와 같이 야간 도로에서 전방 위험물을 인지하기 위해서는 위험물의 휘도와 해당 위험물의 배경이 되는 전방 노면 휘도의 대비가 일정수준 이상 되어야 한다. 따라서, 현 자동차 전조등 성능평가 기준은 노면의 밝기, 즉 전방 선형의 변화 인지여부만을 평가하는 수준에 머물러 야간에 발생할 수 있는 위험상황 중 매우 제한적인 상황만을 회피할 수 있도록 하는 평가 기준이라는 한계가 존재하며, 반면 본 연구에서 제안한 노면-장애물 휘도대비 기반의 자동차 전조등 성능평가 방법을 적용할 경우 야간 도로에서의 횡단보행자, 야생동물, 낙하물 등 장애물의 출현을 일정수준 이상의 거리에서 인지할 수 있도록 유도하여 야간 도로를 주행하는 운전자를 포함한 전체 도로이용자의 실질적 안전을 확보할 수 있을 것으로 기대된다.

비록 본 연구가 제한적인 차종을 활용하여 수행되었으며, 노면의 특성에 따라 노면 휘도가 변화될 수 있음을 감안 시 본 연구에서 제시한 전조등 시인성능 평가 결과가 일반화된 결과라고 주장하기에는 다소 무리가 있다. 그럼에도 불구하고 현 조도기반 전조등 성능평가 기준이 불합리함은 확실하다. 향후 노면 및 장애물 휘도에 영향을 주는 재질, 형상, 표면 거칠기, 반사율 등과 같은 물리적 조건, 최소 요구 장애물 인지 거리 등을 포함한 표준화된 측정, 평가기준을 정립하고 이와 동시에 다양한 조건에서 수집된 추가적인 추가 실험을 수행하고 이를 통해 전조등 시인성능 평가를 위한 유효한 방법론을 개발하기 위한 노력이 필요하며, 특히 전방 선형인식 관련 지표인 노면 휘도와 장애물 확인 성능 관련 지표인 휘도대비를 종합적으로 고려한 전조등 시인성능 평가 방법론 개발이 필요할 것으로 판단된다.

## 감사의 글

본 연구는 한국건설기술연구원의 주요사업인 "야간 도로 시환경 확보 및 평가기술 개발"의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다. 연구지원에 감사드립니다.

## REFERENCES

- Adrian, W.(1969). *Lichttechnsk*, 21, 2A. (ref. Adrian 1989).
- Adrian, W. (1989). "Visibility of targets: Model for calculation.", *Lighting Research and Technology*, Vol. 21, No. 4, pp.181-188.
- Adrian, W., and Stemprok, R. (2005). "Required Visibility Levels in Road Scenes at Night Time Driving", *6th international symposium on automotive lighting*.
- American National Standard Institute. (2008). *Roadway Lighting*, ANSI/IES RP-8-05.
- Aulhorn, E. (1964). "Graefe's Archiv für Klinische und Experimentelle", *Ophthalmologie*, Vol. 167, No. 1, pp.4. (ref. Adrian 1989).
- Berek, M and Zeitschrift, F. (1943). *Instrurrteratenkunde* 63, pp.297. (ref. Adrian 1989)
- Blackwell, H. R. (1946). "Contrast Thresholds of the Human Eye.", *Journal of the Optical Society of America*, Vol. 36, Issue 11, pp. 624-643.
- Blackwell, H. R. (1966). *Lighting Handbook 4*, Illuminating Engineering Society, chap. 2-8. (ref. Adrian 1989).
- Brémond, R., Bodard, V., Dumont E., and Nouailles-Mayeur, A. (2013). "Target Visibility Level and Detection Distance on a Driving Simulator." *Lighting Research and Technology*, 45(1), pp.76-89.
- Cho, H. Y. (2012) *Evaluation of Headlamps' Detection Distance Using a Computer Simulation*, Master's Thesis, Kyungil University.
- Choi, G. I. and Yun, G. M. (2001). "Low Carbon Green-Road Performance Report(Custom lighting for roads)", Proceedings of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers, Vol. 25, No. 4, pp.51-58.
- Commission Internationale de l'Eclairage. (2010). *Lighting of Roads for Motor and Pedestrian Traffic*, CIE 115-2010.
- Dumont, E., Brémond, R. and Hautière, N. (2008). "Night-time Visibility as a Function of Headlamp Beam Pattern and Pavement Reflection Properties." *Proc. Int. Congr. VISION*, pp.1-7.
- Dunipace, D., J. (1974). "Strong, and M. Huizinga, Prediction of Nighttime Driving Visibility from Laboratory Data." *Applied optics*, Vol. 13, No. 11, pp.2723-2734.
- Insurance Institute for Highway Safety. (2016). *First-ever IIHS headlight ratings show most need improvement*, Available at : <http://www.iihs.org/iihs/news/desktopnews/first-ever-iihs-headlight-ratings-show-most-need-improvement> (Accessed : March 30, 2017).

- Ising, K. W., Fricker, T. R., Lawrence, J. M., and Siegmund, G. P. (2003). "Threshold Visibility Levels for the Adrian Visibility Model under Nighttime Driving Conditions." *SAE Technical Paper*, No. 2003-01-0294.
- Korean Agency for Technology and Standard. (2014). *Recommendation for Lighting of Traffic Tunnels*, KS C 3703 : 2014.
- Lee, S. K. (2014). *Nighttime Safety Evaluation for Unlit Roadway based on the Sight Distance of Vehicle Headlamps*, Doctoral Thesis, Dankook University.
- Ministry of Land, Transport and Maritime. (2009). *Road Geometry & Facility Design Manual*.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport. (2014). *A Guidelines for Performance and Standard of Automobile and its Parts*.
- Sato, T., Kojima, S., and Matsuzaki, M. (2001). "The Smart Headlamp System with Variable Low-Beam Pattern", *SAE Technical Paper*, No. 2001-01-0854.
- Schmidt-Claussen, H. J. (1969). *Lichttechnik*, 21, 126A. (ref. Adrian 1989).
- Yoon, C. J., Cho, W. B., Kim, Y. R., Jeong, J. H., and Park, W. I. (2015). "A Study on Road Lighting Threshold based on Luminance Difference between Object and Road Surface in South Korea." *ARPN Journal of Science and Technology*, Vol. 5, No. 11, pp.540-546.