



# 야간운전 시 전조등 광도변화에 따른 운전자 인지도에 관한 실험적 연구

신기열<sup>1)</sup> · 진태환<sup>1)</sup> · 이동규<sup>2)</sup> · 김준환<sup>2)</sup> · 최주돈<sup>2)</sup> · 사공극<sup>\*2)</sup>

영남대학교 기계공학부<sup>1)</sup> · 에스엘주식회사 전장설계센터<sup>2)</sup>

## Experimental Study on a Driver Perception of Just Noticeable Differences for Intensities of Headlights during Night Driving

Ki-Yeol Shin<sup>1)</sup> · Tae-Hwan Jin<sup>1)</sup> · Dong-Gyu Lee<sup>2)</sup> · Jun-Hwan Kim<sup>2)</sup> · Ju-Don Choi<sup>2)</sup> · Kuk Sakong<sup>\*2)</sup>

<sup>1)</sup>School of Mechanical Engineering, Yeungnam University, Gyeongbuk 38541, Korea

<sup>2)</sup>Lighting Engineering Center, SL Corporation, 77 Gongdan 6-ro, Jillyang-eup, Gyeongsan-si, Gyeongbuk 38470, Korea

(Received 25 February 2022 / Revised 8 April 2022 / Accepted 11 April 2022)

**Abstract** : An experimental study was conducted to quantify the perception of drivers according to the amount of change in the luminous intensity of their automobile's headlights at the viewing angle of the front road surface. A total of 96 people participated in the experiment, with two people at the front seats pressing the detection button when they see a change in the light intensity of the headlights. After analyzing the amount of unrecognized light of an effective measurer under the light intensity change condition of 10 %/min, it was confirmed that there was no probability that the driver would recognize the amount of light intensity change within 9 %. Furthermore, based on the result of the experimental data with the just noticeable difference (JND) concept as a method of quantifying the driver's unrecognized luminosity, it was confirmed that most drivers were not well aware of the 54.1 % gradually decreasing luminosity.

**Key words** : Headlamp(전조등), Light intensity (광도), Just notice difference(최소식별차), Perception rate(인식률), Road lighting test(노면조명시험)

### 1. 서론

자동차의 전조등은 운전자가 야간에 도로를 주행하기 위하여 전방도로의 상향변화에 대한 인지(Detection)와 확인(Perception)등의 시각작업(Visual task)에 필요한 핵심부품이다. 자동차 램프의 종류는 크게 2가지로 구분할 수 있는데, 첫째는 운전자가 전방을 확인하기 위한 램프이고, 둘째는 도로에 있는 차량이나 다른 사람에게 자기차량의 존재와 이동방향에 대한 의도를 확인시키는 램프이다. 전자에 해당되는 대표적인 램프는 변환빔과 주행빔으로 구성된 전조등이며, 보조적 수단으로 앞면안개등과 코너링등이 있다. 후자에 해당되는 대표적 램프로는 차폭등, 후미등, 방향지시등, 정지등, 주간주행등 등이 있다.<sup>1)</sup> 차량의 전조등과 함께 도로조명은 야간도로에서 운전자가 시각작업을 원활히 수행할

수 있도록 도로를 밝히고 운전자와 보행자의 안전을 확보하기 위해 반드시 필요한 수단이다. 자동차 법규에서 보행자는 물론 운전자의 관점에서 도로의 종류 및 교통량 등에 따른 도로조명기준을 엄격히 규정하고 있다.<sup>2)</sup>

한편 차량용 램프는 운전자가 도로의 상황을 확인하기 위해 충분한 광량을 차량 전방에 조사하는 것과 동시에 선행 및 대향 차량에 눈부심을 유발하지 않아야 한다. 이런 요건을 만족하지 못할 경우, 야간 주행시 충분한 전방시야를 확보하지 못하거나, 다른 차량의 운전자에게 눈부심을 유발하여 사고의 원인이 되기도 한다. 이를 방지하기 위하여 자동차램프법규에서는 인증과 양산과정에서의 배광기준을 매우 상세하고 구체적으로 정하고 있다.<sup>3,4)</sup> 하지만 자동차용 램프의 사출품 제조특성상 인증받을 당시에 적용하는 배광기준과 양산

\*A part of this paper was presented at the KSAE 2021 Spring Conference

\*Corresponding author, E-mail: ksakong@slworld.com

<sup>†</sup>This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium provided the original work is properly cited.

시 적용되는 배광기준 사이에는 통상  $\pm 20\%$ 의 오차를 허용하고 있다.<sup>4)</sup> 램프 제조공정에서 부품영향에 의한 배광성능의 편차로 인해 유럽에서는 2017년 회의에서 양산품에 대해 일괄적으로 20% 완화된 배광기준을 적용키로 결정하였다.<sup>5)</sup> 중국에서도 유럽법규를 준용하던 1990년대부터 양산품에 대해 일괄적으로 20% 완화된 배광기준을 적용하고 있다. 하지만 한국은 자기 인증(Self-certification)제도를 2003년부터 채택하고 있고 자동차안전기준은 승인기준인 유럽법규를 준용하여 제정되었음에도 불구하고, 안전기준을 양산품에 적용하는 모순된 상황이 발생하고 있다.<sup>6)</sup> 유럽과 중국은 인증기준과 양산기준이 일괄적으로 20%의 차이를 허용하고 있는데 반해 한국은 무작위로 샘플링 한 4개의 제품 중 3개는 양산배광기준인 80% 기준을 만족하고, 나머지 1개는 인증배광기준인 100%를 만족하도록 요구하는 독특한 방법을 취하고 있다. 우리나라 자동차부품산업의 경쟁력 확보를 위해서는 한국 자동차안전기준의 램프 양산규정 개정을 시급하게 검토할 필요가 있는 이유이다. 특히 전조등의 경우, 야간에 비추는 전방에 대한 광량의 변화가 운전자관점에서 시인성에 미치는 연구가 더욱 현실을 반영한 것이므로 관련 연구가 필요한 것이다.

김기훈 등<sup>7,9)</sup>과 김현지<sup>8)</sup>는 전조등의 밝기 변화가 운전자에게 어떠한 영향을 미치는지를 피실험자의 뇌파 측정으로 연구하고 운전자 심리평가를 실시하여 전조등의 밝기 변동에 대한 운전자의 시인특성을 연구하였다. 조원범<sup>10)</sup>은 60대 이상 고령자를 대상으로 대향차량의 상황등에 의한 눈부심이 임계노면휘도에 미치는 영향을 실험적으로 규명하였다. 한현서 등<sup>11)</sup>은 교통사고 예방을 위해 위험상황 발생시 운전자의 인지반응시간 및 행동특성에 대한 연구를 진행하였다. 할로겐램프 광원과 달리 LED 사용이 증가됨에 따라 과열방지를 위한 냉각과 온도제어 연구도 활발하게 진행되고 있다. 서재형 등<sup>12)</sup>은 전기자동차용 헤드램프에 사용되는 광원의 변화에 따른 헤드램프의 온도와 조도측정을 통해 성능평가를 진행하였다. Schwarz 등<sup>13)</sup>은 보행자 및 자전거 등 도로 사용자(VRU)의 사망 사고를 줄이기 위해 개념적 어댑티브 헤드램프 시스템(AHS)을 만들고 3가지 기능을 실험하였으며 헤드라이트 밝기 계수의 효과를 확인하였다. Vrabel 등<sup>14)</sup>은 운전자가 대향차량 전조등 불빛의 강도에 의한 영향을 최소화하기 위한 3가지 종류의 램프에 대한 시험평가를 수행하였다. Prasetijo 등<sup>15)</sup>은 야간주행 중 하향등과 상황등의 기능에 따라 안전과 관련된 눈부심 등급을 고려하여 광도 증가에 따른 잠재적 편익을 평가할 수 있는 시각적 성능을 실험적으로

연구하였다. 광도변화에 따른 운전자의 시인성이 교통 안전에 미치는 영향도를 정량화하기 위한 선행연구는 미국 NHTSA 및 UMTRI에서 연구한 결과가 있다.<sup>16,17)</sup> 자동차 램프의 주요 목적 중 하나인 운전자가 아닌 다른 도로사용자의 해당 램프 광량에 대한 인지와 식별기능에 대한 실험결과, 배광이 25% 이하의 완화된 수준 일지라도 기능적 손실이 없음이 입증하였다. 하지만 해당 연구들은 피실험자들이 램프를 직접 관찰하는 방식으로 진행되었기 때문에 신호용 램프기능에 더욱 적합한 결과이다.

자동차램프법규의 기준을 마련하기 위해 야간운전 시 전조등의 운전자 시인성을 정량적으로 평가한 국내 연구사례는 신기열 등<sup>18)</sup>의 연구외에는 찾아보기 어렵다. 야간주행시 안전을 담보하기 위해 전조등이 비추는 전방노면에 대한 밝기 정도에 대한 시인성 평가가 더욱 현실을 반영한 연구라고 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 자동차 운전자가 전방 노면의 시야각에서 전조등의 광도변화량에 따른 인지여부를 정량화하기 위한 실험적 연구를 수행하였다. 만약 전조등의 배광성능이 20% 완화되더라도 전방 상황을 인지하는데 유의미한 저하가 없다면, 한국의 자동차램프법규도 유럽 및 중국의 양산기준과 같이 일괄 20%로 완화하여도 무방하다는 결론에 이를 것으로 기대한다. 또한 이런 연구결과가 법규개정 제안을 위한 연구 기초 자료로 충분히 활용이 가능하며, 향후 한국의 자동차 부품 제조사의 경쟁력을 회복하는데도 큰 도움이 될 것이다.

## 2. 연구내용

### 2.1 실험조건

통상 도로 조명기준에서는 야간 도로의 시인성을 확인하기 위해 노면의 휘도(Luminance)를 측정하고 있다. 운전자가 야간에 전방도로의 시인성을 향상하기 위해서는 노면의 휘도를 높이는 것이 필요하며 KS법규에서는 도로 및 교통의 종류에 따른 도로조명의 등급과 휘도 기준값을 최고 2.0 cd/m<sup>2</sup>, 최소 0.5 cd/m<sup>2</sup>의 값으로 규정하고 있다.<sup>4)</sup>

Fig. 1에서는 에스엘주식회사가 보유하고 있는 배광 실험실에서 차량 전조등을 이용한 노면 휘도측정 조건과 그 결과를 설명하고 있다. Fig. 1과 같이 실제 주행 도로와 동일한 규격으로 구성된 배광실험실에서 실차조건과 동일한 전조등을 이용하여 광량변화에 따른 운전자 인지도를 정량화하기 위한 실험장치를 구성하였다. 먼저 광도측정 실험에서는 LED 광원으로 입력 전류값에 따라 전방으로 조사되는 광량을 노면에 설치된 휘도 카메라를 통해 측정하였다. 측정위치는 램프에서 10 m

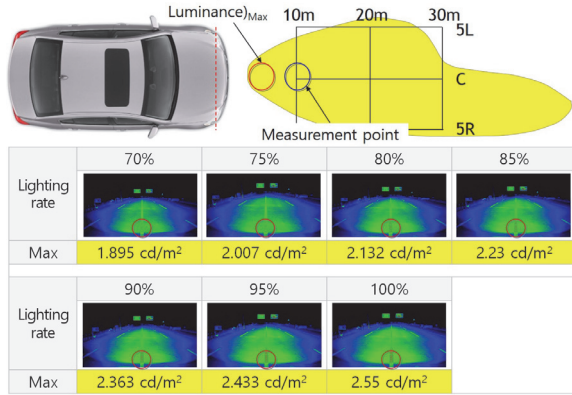


Fig. 1 Headlamp intensity test condition

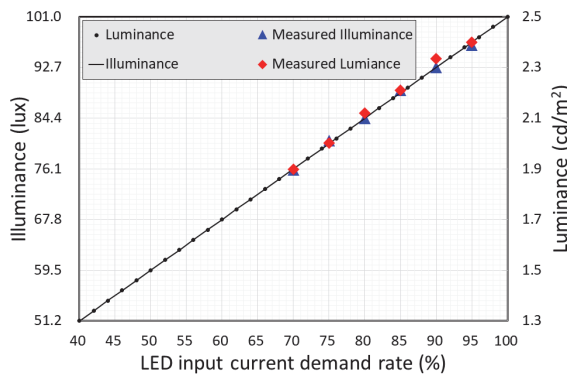


Fig. 2 Linearity of LED input current and luminance

떨어진 중앙지점을 기준으로 실험장치의 좌측, 중앙, 우측방향 10m 거리별 휘도를 측정하였다. 전조등 광원에 입력전류량의 변화에 따른 노면에서의 휘도 측정결과를 Fig. 2에 나타내었다. 실험에서는 LED 광원 입력 전류값에 따라 전방으로 조사되는 광량을 노면에 설치된 휘도카메라를 통해 측정하였다. 실험결과에서 측정된 입력전류와 노면 휘도간의 선형회귀분석(Linear regression)에서 결정계수(Coefficient of determination, R<sup>2</sup>) 값은 휘도가 0.9968, 조도(Illuminance)는 0.998의 값으로 높은 선형성을 확인할 수 있다. 선형식을 이용하여 인지도 평가 시에 사용할 조건변수인 노면 휘도값은 전조등에 입력되는 전류량으로 제어할 수 있으며 최대 입력 전류값의 10% (195 mA)가 변화할 때 노면의 휘도 변화량은 0.2145 cd/m<sup>2</sup>이 된다.

## 2.2 실험계획

자동차 전조등의 광도변화에 따른 운전자 인지도를 정량화하기 위해서는 미인지 예상영역을 포함한 피실험자의 인지 가능영역을 설정하고 실험에서 적절한 광

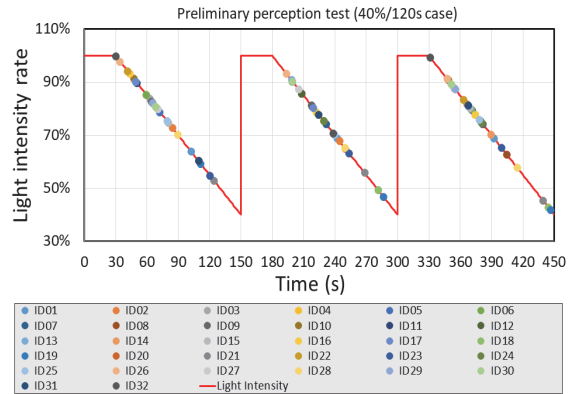


Fig. 3 Example of light intensity rate with perception points

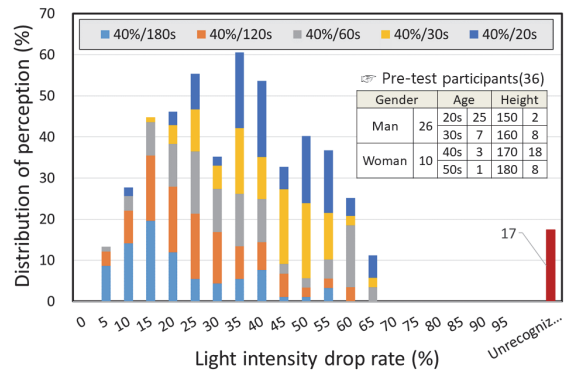


Fig. 4 Summary result of preliminary test conditions

량과 변화량을 제어하기 위한 범위와 방법을 결정하여야 한다. 실험계획을 수립하기 위해 예비실험에 참가할 피실험자를 선발하여 광도변화량에 따른 인지 가능영역을 먼저 확인하고 인지영역에 해당하는 최대 광량변화량(전류제어 하한값)의 범위를 결정하였다. 예비실험에서는 램프 입력전류를 제어하여 광량을 감소하면서 피실험자가 인지할 수 있는지를 먼저 확인하였다. 정상상태 광량의 40% 수준에 도달하는 시간을 180초, 120초, 60초, 30초, 20초의 5가지로 설정하여 광량변화율을 제어하였다. 예비실험에 참여한 피실험자는 모두 36명(남자 26명, 여자 10명)이며 광도변화를 감지한 시점에 대한 결과 사례를 변화량선도와 함께 Fig. 3에 표시하였다. Fig. 3은 LED 광원에 입력전류량을 분당 20% 감소(40%/120s)하도록 제어하는 경우에 피실험자가 램프의 광도변화를 감지하는 지점을 표시한 것이다. 5가지 종류의 광량변화율에 대한 전체 예비실험결과와 실험자 참가자들의 구성현황 정보를 Fig. 4에 나타내었다. 예비실험결과에서 전조등의 광량이 5% 감소까지는 광도변화에 대해 피실험자가 전혀 인식하지 못하는 경향

이 있었고, 광량이 35 %까지 감소한 시점에 가장 많은 피실험자가 광도변화를 인지한다는 것을 확인할 수 있다. 예비실험의 결과를 바탕으로 본 실험에서도 광량변화량을 최대 40 % 수준까지 감소하는 것으로 제어량의 한계범위를 결정하였다.

Fig. 5는 노면광도 측정시험에서 도출된 선형식을 이용하여 입력변수인 LED 광원으로 공급되는 전류량을 일정하게 변화하도록 제어하기 위한 조건을 나타낸 것이다. 다양한 기율기의 광량변화 제어가 가능하지만 광량의 변화율에 따른 인지여부의 영향도를 비교 평가할 수 있도록 예비실험의 결과를 참고하여 분당 광량변화가 10 %(Case1), 20 %(Case2), 30 %(Case3) 비율로 감소하도록 3가지의 제어조건을 설정하였다. 각 조건에서 LED 입력전류 변화율로 2분간 시험하면 기준광량에 비해 최소 광량이 80 %(Case1)에서 40 %(Case3) 수준까지 낮은 노면 광도조건을 만들 수 있다. 실험에서는 모든 피실험자가 3가지 종류의 광량변화율을 각 3회씩 반복하여 총 9가지의 시험조건을 랜덤하게 제시되는 시험 환경에서 전방의 노면을 보고 광도의 변화를 감지할 수 있는지 여부를 판단하게 된다. 피실험자의 광량변화에 대한 자극의 인지세기(Perceived intensity)는 LED광원의 전류량으로 제어한다. 사전에 정의된 특정 자극의 조건을 동일하게 반복할 경우 예측인지하는 오류가 발생할 수 있기 때문에 모든 실험 조건에 대해 여러 번 반복하여 측정하는 실험인 일정자극법(Method of constant stimuli)을 적용하였다.<sup>19)</sup> 일정자극법은 많은 관찰을 필요로 하고 자극이 무작위 순서로 제시되기 때문에 가장 정확한 방법인데, 이는 한 번의 시도에 대한 제시가 다음 시도에서 제시된 자극에 대한 관찰자의 판단에 어떤 영향을 미칠 수 있는지를 최소화하기 때문이다. 하지만 이 방법은 시간이 많이 걸린다는 단점이 있다. 본 실험에서는 피실험자가 모두 96명(남자 81명, 여자 15명)이 참가하였으며 한 사람당 시험평가에 소요되는 시간은 18분으로 모든 실험을 완료하는데 3일이 소요되었다.

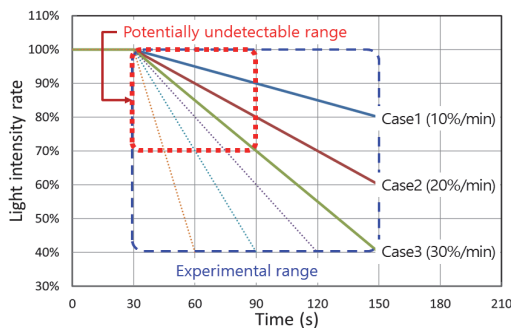


Fig. 5 Light intensity control conditions in the experiment

### 3. 연구결과

#### 3.1 인지도 시험방법

차량용 전조등의 광도변화에 따른 운전자의 인지도 평가시험에서는 운전석과 조수석에 각각 1명씩 함께 앉아서 전방에 조사되는 전조등의 광도변화가 인지되는 시점에 감지버튼을 누르도록 하였다. 피실험자는 3가지 종류의 LED광원 입력전류변화에 따라 발생하는 전방 노면의 광도변화를 관찰하는 실험을 진행하였다. 이때 각 광량 조건별로 3회 반복시험을 하기 위해 불규칙적인 조합으로 총 9개 종류의 패턴에 대한 관찰시험을 진행하였다. 각 시험조건에서 전방에 조사되는 전조등의 광도 변화를 감지했을 때 손에 들고 있는 스위치를 눌러 인지시점의 시간이 즉시 자동 기록되도록 측정하였다. Fig. 6에는 실험장치를 비롯한 배광실험동의 시험환경 사진들과 함께 시험에 참여한 피실험자들의 구성현황을 요약하였다. 시험결과에서 이들 구성원의 성별, 연령 및 운전경험 유무에 따른 차이점도 확인하고자 한다.

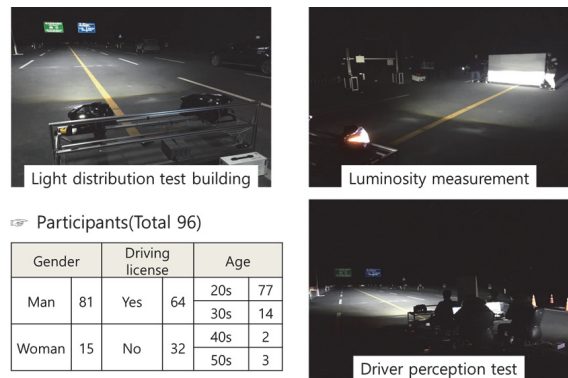


Fig. 6 Heatlamp intensity testing pictures with participants

#### 3.2 시험결과 및 통계분석

Fig. 7은 인지도 평가시험에서 LED 광원으로 입력전류량의 제어조건과 광도변화에 따른 피실험자의 인지시점을 함께 표시한 측정데이터 그림이다. 매 시험마다 9회 반복시험조건별로 입력전류의 변화량 기율기가 다르도록 그 순서를 난수로 적용하여 불규칙하게 제시되도록 시험하였다. Fig. 8은 3일간 시험에 참여한 전체 96명의 인지도 평가시험 결과를 각 조건별로 모두 집계하여 나타낸 원본데이터이다.

실험결과를 통계분석하기 위하여 Fig. 9와 같이 각 입력조건(Case)별로 인지시점과 누적수량을 광원의 세기(광도)에 따라 3차원 분산분포도로 나타내었다. 피실험자 96명이 참가하여 각 조건별 3회, 총 9회 반복 시험하

여 진행한 누적 시험횟수는 864회이고 그중에서 광도 변화를 인지한 탐지건수는 모두 597개(69.1%)이며 나머지 30.9%는 시험 중에 광도 변화를 전혀 인지하지 못하는 것으로 측정되었다. 3가지 조건의 광도변화율(10%/min, 20%/min, 30%/min)에 따른 인지도 평가시험 측정데이터에 대한 통계분석과 시험 후 피실험자들이 작성한 설문조사 답변내용을 통하여 다음과 같은 결과를

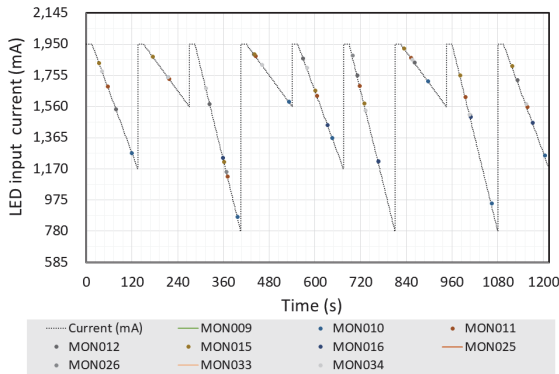


Fig. 7 Example of test condition with measurement data

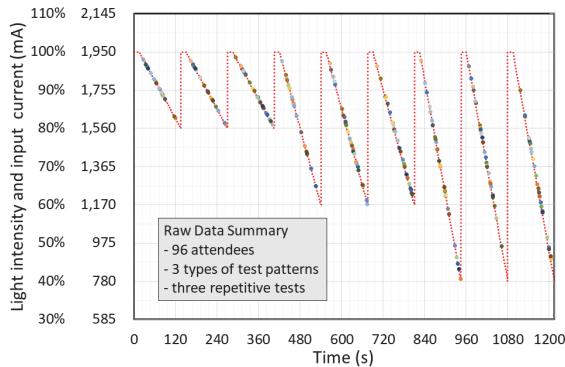


Fig. 8 Raw data of perception test condition with results

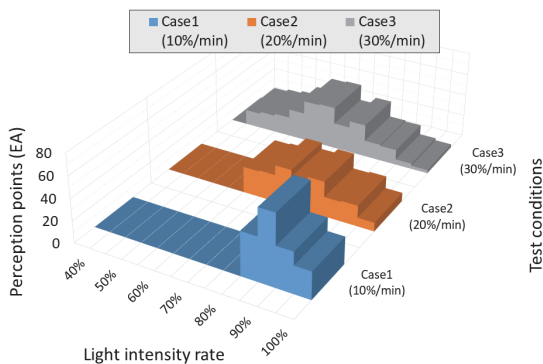


Fig. 9 Perception distribution diagram of raw data

도출하였다.

- 1) 인지시점 탐지 결과에 대한 표준편차( $\sigma$ )는 입력 전류값으로 환산하여 96~252 mA ( $\sigma_{Case1} = 96.5$  mA,  $\sigma_{Case2} = 193.8$  mA,  $\sigma_{Case3} = 252.1$  mA)로 나타났으며 전류변화율이 높을수록 인지도 탐지점에 대한 표준편차가 크게 나타남을 확인함
- 2) 전류변화율이 큰 조건에서 표준편차가 더 크게 나타나는 이유는 광량의 상한과 하한값이 범위가 상대적으로 크기 때문임
- 3) 전류변화율이 높을수록 광도변화에 대한 인지횟수가 증가함(전체 96명, 총 894회 반복시험 중 인지확인 갯수는 Case1 = 167개, Case2 = 188개, Case3 = 242개)
- 4) 전류변화율이 높은 조건일수록 인지확률이 높은 이유는 절대광량의 크기변화가 상대적으로 크기 때문임
- 5) 각 시험조건별로 평균값과 탐지회수의 최대값이 존재한 시점은 모두 관측이 시작되고 60초 근처에서 나타남
- 6) 실험 후 설문조사에서 대부분 피실험자들이 어느 순간 변동이 일어났다고 인지하였으며, 차츰 변화를 느꼈다는 피실험자들도 실제로는 어느 순간 변동이 일어났다고 판단했다고 조사됨
- 7) 연령별, 성별, 직업별, 신장별, 시력별로 구분하여 확인해 본 결과, 성별과 연령별에서 여성이 남성에게 비해, 그리고 30~50대가 20대에 비해 상대적으로 광도변화에 둔감한 편으로 나타났으며 그밖에 직업, 신장, 시력에 대한 차별성은 크게 나타나지 않았음

### 3.3 유효성 확인과 분석결과

전체 96명의 피실험자가 참여한 시험결과의 분석에서 반복실험조건에도 불구하고 동일한 피실험자가 인지하는 시점이 다르게 나타나는 경우가 있었다. 이는 실험 중 피실험자의 측정 재현성이 부족한 원인이며 보다 정확한 인지도 정량화를 위해서 원본자료의 유효성(Validation)을 평가해 보았다. 유효성 확인은 시험방법 유효성 확인(Test method validation)이란 이름으로 특별한 사용 목적을 위한 시험방법이 특정 요구사항들을 충족하고 있음을 시험과 객관적 증거를 통해 확인하는 것이다. 시험결과의 신뢰도를 향상하기 위해서는 계측기의 반복성과 함께 측정자의 오차를 제거하는 것이 필요하며 이는 측정값의 재현성을 평가함으로써 가능하다. 이를 위해 결과의 오류와 결함의 기준을 정하고 이를

제거한 것을 유효값으로 정의하고 이에 대한 추가 분석을 진행하였다. 3가지의 광도변화율을 3회에 걸쳐 9번 반복 실험한 결과에서 유효값 선별을 위한 판정하는 기준을 다음과 같이 설정하였다.

- 1) 광도변화율 시험조건별(10~30%/min) 3회의 반복 실험결과에서 동일한 피실험자 데이터값들이 5% 이상 편차가 있는 경우 제거(전체 측정결과의 표준편차 최소값( $\sigma_{Case1} = 96.5 \text{ mA}$ ) 이상은 측정자 오류) 예시) 10%/min 광도변화율 조건에서 인지시점 광량이 각각 84%, 75%, 96%인 경우(96-75 = 21%) 3개 값 모두 제외
- 2) 변동 시작영역 10% 이내(100%→90%)에서 인지한 경우, 각 시험조건별로 경향이 없는 불규칙한 측정값 제거(측정자 오류, 이때 ‘경향’이라 함은 인지시점을 유지, 증가 또는 감소하는 경우를 의미) 예시) 인지시점이 Case1: 84%, Case2: 미인지, Case3: 96% 인 경우는 경향이 없으므로 제외
- 3) 변동 종료시점 15초 이내(105~120 sec) 인지한 데이터 중 3회 반복실험에서 경향이 없는 불규칙한 측정값은 미인지로 분류 예시) 인지시점이 Case1: 82%, Case2: 미인지, Case3: 96% 인 경우 미인지로 판단할 수 있음

전체 실험 측정자료에 대한 유효성 판정기준에 따라 선별한 유효데이터에 포함된 피실험자는 모두 36명(전체 피실험자의 37.5%)으로 나타났으며 각 시험조건별로 유효데이터의 세부내역은 Table 1에 요약하였다.

Fig. 10은 총 108개의 유효데이터에 대한 결과를 시험조건별 분산분포도로 나타낸 것이며 통계분석결과에서 다음과 같은 결과를 확인할 수 있었다.

- 1) 유효측정자의 인지시점 표준편차는 입력전류값으로 환산하여 51~168 mA ( $\sigma_{Case1} = 51.7 \text{ mA}$ ,  $\sigma_{Case1} = 124.6 \text{ mA}$ ,  $\sigma_{Case1} = 168.47 \text{ mA}$ )로 나타나 전체데이터에 비해 정규성이 보다 높음을 확인할 수 있음
- 2) Case3조건에 표준편차가 168 mA로 기준 전류값의 9% 정도 수준으로 전체데이터에서의 15%에 비해 크게 개선됨

유효데이터를 각 시험조건별로 표시하고 확률밀도 함수에 따른 인지율 0%, 5%, 10%의 한계선으로 표시한 결과를 Fig. 11에 나타내었다. 광도변화에 대한 불감대 영역은 광도변화율 Case1에서 3시그마( $\sigma$ ) 기준으로 91%, 6시그마 기준으로 93% 수준의 광량으로 확인할 수 있다. 이것의 의미는 3시그마 수준에서 Case1 광도변화율(10%/min)로 9%의 광량변화에도 피실험자는 광도변화를 인지할 확률이 전혀 없다는 것을 의미한다.

Table 1 Measurement data status selected by validity evaluation(total 36 persons)

After validation	Unit	Perception			Unrecognized		
		Case1	Case2	Case3	Case1	Case2	Case3
Participants (36 persons)	Persons	11	14	24	25	22	12
	%	30.5	38.9	66.7	69.5	61.1	33.3
Data points (108EA)	EA	19	28	48	89	80	60
	%	17.6	25.9	44.4	82.4	74.1	55.6

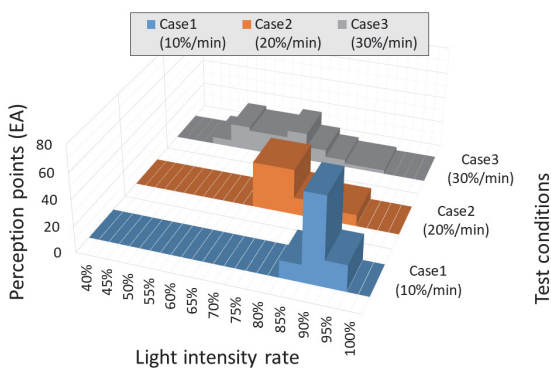


Fig. 10 Perception distribution diagram after validation

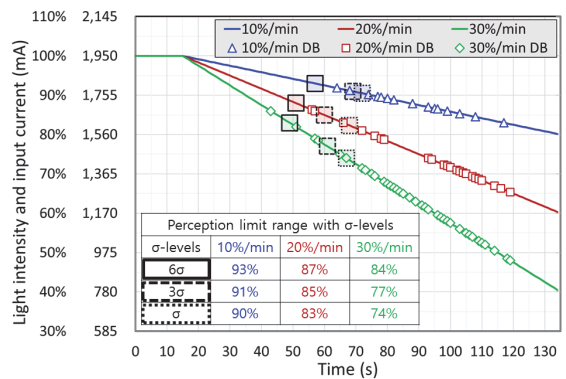


Fig. 11 Perception point according to LED light intensity

또한 Case3과 같이 빠른 광도변화율을 적용할 경우에는 3시그마 기준으로 23 %의 큰 광량변화에서도 피실험자는 인지할 확률이 없다는 것이다. 따라서 운전자의 시인성 관점에서 광량의 범규기준은 이러한 미인지 영역을 고려하여 설정하는 것이 바람직할 것이다.

### 3.4 시인성 정량평가

본 연구와 같이 운전자의 미인지 광도를 정량화하기 위한 시인성 평가연구가 선행된 사례가 있다.<sup>16,17)</sup> 이들 선행연구에서는 운전자 시각의 자극변화를 정량화하는 기법으로 최소식별차(Just noticeable differences: JND) 개념을 적용하고 있다. 이것은 물리적 자극과 이를 인지하는 관계를 연구하는 정신물리학(Psychophysics)에 기초한 것으로 직접 측정이 불가능한 감각의 크기를 간접적 측정방법으로 정량화하는 원리이다. 베버의 법칙(Weber's law)에 의하면 차이를 인식하는 한계값은 감각적으로 변별 가능한 최소한의 물리적 자극의 변화량을 의미하며 자극의 절대량보다 상대적인 차이나 변화에 더 민감하며 표준자극과 최소식별차(JND)의 비율은 상당히 안정된 상수값을 가진다고 알려져 있다. JND는 통계적이고 다소 자의적인 개념으로 두 가지 자극을 구별하는 사람의 능력은 자극 간의 물리적 차이가 증가함에 따라 사실상 차별할 수 없는 시점부터 일관된 차별 능력이 있는 시점까지 지속적으로 증가하며 이 범위는 불확실성의 간격으로 알려져 있다.<sup>20,21)</sup> JND는 자극의 변화 수준이 50 % 정도 느껴지는 값으로 정의할 수 있으며 실제 차이가 없을 때(즉, 하위 조건 0)와 확실한 차이가 있는 지점(즉, 100 % 정확)의 중간값으로 다음 식 (1)으로 계산한다.

$$JND = \frac{100\% - P\%}{2} + P\% \quad (1)$$

여기서  $P(Perception)$ 는 차이점을 판단할 수 있는 기준값의 하위조건(%)을 의미한다.

NHTSA의 실험적 연구에서는 시그널램프에 대한 광도변화에 대한 인지 기준량이 JND 변환결과 평균 25 %로 발표하였다. 특히 NHTSA의 실험적 연구에서는 시그널 램프의 11가지 광도 조건(Amber, Red, White)을 5가지 Case (10~50 %)로 가변하여 근거리 (40.7피트) 및 원거리 (185피트)에서 피실험자가 밝기 차이를 구분하는지 확인하는 실험을 수행하였다. JND 변환 결과, 11개의 보기 조건에서 평균은 약 25 %였으며 이는 해당 광도 차이가 운전자가 알아차릴 수 없는 정도임을 증명하였다. Fig. 12는 NHTSA가 제시한 실험데이터를 이용

하여 11개 시험조건에 대한 결과를 하위조건 0 % 기준으로 JND 계산식 (1)로 재계산하여 나타낸 것이다. 11개 평균값이 24.4 %이며 5개는 25 % 미만, 6개는 25 % 이상임을 확인할 수 있다. 한편 UMTRI 실험에서는 전조등을 대상으로 시험을 수행하고 JND 변환결과 11 %에서 19 % 사이의 로우빔 광도에 대해 눈에 띄는 차이를 얻었다. 이 값은 신호용 램프 광도에 대한 NHTSA 실험에서 권장하는 25 % 보다 다소 낮다. 그러나 실제 세계에 적용할 수 있는 JND의 결정에 영향을 미치는 많은 방법론적 및 실무적 고려사항이 있으며 관찰자는 복잡하고 동적인 실제 환경보다 통제된 실험적 연구의 다소 단순하고 정돈된 환경에서 더 작은 차이를 감지할 가능성이 있다. 결과적으로 통제된 연구에서 결정된 JND의 값은 실제 조건에 직접 적용하기에는 너무 보수적일 수 있다. 따라서 실제 사용조건을 고려할 때 시그널 램프의 25 % 수준 적용이 가능하다고 주장하였다.

이들 선행연구는 모두 피실험자가 광원을 바라보면서 진행한 시험이며 운전석 위치에서 피실험자가 전조등이 조사되는 노면에서의 광도변화에 대한 인지도를

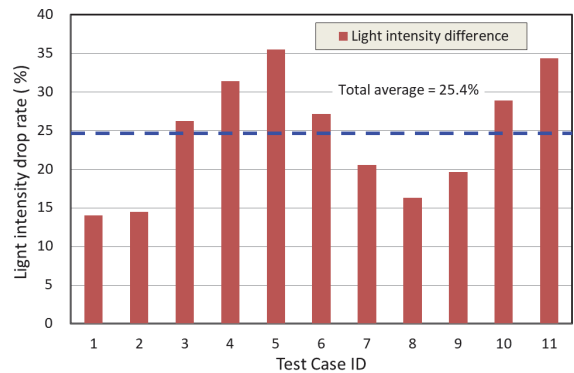


Fig. 12 Summary results from NHTSA data for signal lamps

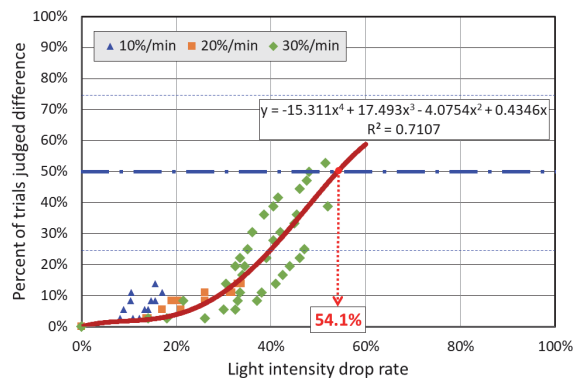


Fig. 13 Perception point according to LED light intensity

정량화하기 위한 실험적 연구 사례는 찾아보기 어렵다. 표준자극과 비교자극을 함께 제시하고 실험참가자가 광원을 바라보고 광도변화를 감지하는 JND 표준시험 방법과 달리 본 연구에서 2개의 전조등의 광원이 조사되는 노면을 바라보며 광도변화를 인식하는 실험으로서 실제 운전 상황과 같이 현실에 가까운 새로운 시도로 볼 수 있다. 본 실험연구에서 확보한 인지도 평가실험의 유효데이터를 JND 해석기법으로 변환하여 분석한 결과를 Fig. 13에 나타내었으며 변환조건과 분석결과는 다음과 같다.

### 3.4.1 최소식별차(JND) 분석조건

- 1) 표준광도에서 인지사례가 없으므로 JND 기준값은 50 %로 선정함
- 2) 최저 비교광도값은 표준광도의 40 %의 수준으로 설정함
- 3) 비교광도의 3가지 변화율(10~30 %/min)로 비교자극 방법은 변화 패턴을 랜덤하게 제시하는 일정자극법(Method of constant stimuli)을 사용함

### 3.4.2 최소식별차(JND) 분석결과

- 1) 3가지 조건의 광도변화율을 적용하여 전조등의 광도를 선형적으로 감소하면서 변화할 때 시각적 변화를 감지하는 JND 50 %에 해당하는 광량은 54.1 %로 계산됨
- 2) Case1과 같이 낮은 광도변화율 조건에서는 JND 50 %에 해당하는 광도량은 46.2%로 낮게 계산됨

## 4. 결론

본 연구에서는 차량용 전조등의 광도변화에 따른 운전자의 인지도를 정량화하기 위한 실험적 연구를 수행하였다. 실험에서는 헤드램프의 광도 제어조건을 정확히 설정하기 위하여 휘도 카메라 측정을 통해 LED 인가 전류와 노면의 휘도 및 조도값의 선형성을 확인한 후 실차 노면테스트를 위한 표준시험장에서 실험을 진행하였다. 운전석과 조수석에 각각 1명씩 함께 앉아서 전방에 조사되는 전조등의 광도변화가 인지되는 시점에 감지버튼을 누르도록 하였으며 총 96명(남 81명, 여 15명)이 피실험자로 참가하였다. 세가지의 서로 다른 광도변화율(10~30 %/min)을 가진 변동유형을 사용하였으며 피실험자가 사전 예측감지를 방지하기 위하여 각 유형별로 3회 반복시험하되 변동순서는 불규칙하게 설정하여 실험을 진행하였다. 실험결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 전체 참가자 중 11명만이 광도변화를 전혀 인지하지 못하였으며 또한 3회 반복실험한 전체결과에서 미인지 비율은 광도변화율 10 %/min인 경우에 42 %로 측정되어 30 %/min에 비해 2.6배 높게 나타남
  - 2) 전체 실험참가자들 중에서 측정자에 의한 변동성이 큰 이상 데이터를 제외한 36명의 유효데이터 피실험자의 인지시점에 대한 표준편차는 2.6~8.6 %로 유효성과 정규성이 크게 개선됨
  - 3) 유효데이터 분석결과에서 광도변화율이 낮은 10 %/min 조건에서 3시그마 수준에서 9 %의 광량변화에도 피실험자는 광도변화를 인지할 확률이 전혀 없다는 것을 확인함
  - 4) 광량변화량을 30 %/min으로 증가한 경우에는 3시그마 기준으로 23 %의 큰 광량변화에서도 피실험자는 인지할 확률이 없는 것으로 나타남
  - 5) JND개념을 적용한 유효데이터의 분석결과에서 전조등의 광도변화에 대한 시각적 변화 감지영역인 JND 50 %에 해당하는 광량은 54.1 %로 계산되어 대부분의 운전자는 점차 감소하는 광도의 20 %까지 변화는 잘 인지하지 못한다는 것을 결론을 도출할 수 있음
- 이상의 실험적 연구결과를 바탕으로 차량의 운전자의 시인성 관점에서 우리나라의 양산배광기준을 인종기준과 동일한 20 % 완화하도록 개선하는 것이 바람직할 것이다.

## 후 기

이 논문은 2021년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국에너지기술평가원의 지원(2021202090056B, ② 에너지 회수 향상 및 온실가스 저감을 위한 융복합 기술개발 및 실증 연구)을 받아 수행된 연구 결과임.

## References

- 1) UN Regulation No 48 - Uniform Provisions Concerning the Approval of Vehicles with Regard to the Installation of Lighting and Light-signalling Devices [2021/1718], pp.3-19, <http://data.europa.eu/eli/reg/2021/1718/oj>, 2022.
- 2) Lighting for Roads, KS A 3701, <https://standard.go.kr/KSCI/standardIntro/getStandardSearchView.do>, 2022.
- 3) Regulation No 112 of the Economic Commission for Europe of the United Nations (UN/ECE) - Uniform Provisions Concerning the Approval of Motor Vehicle Headlamps Emitting an Asymmetrical



- Passing-beam or a Driving-beam or Both and Equipped with Filament Lamps and/or Light-Emitting Diode (LED) Modules, p.13, <http://data.europa.eu/eli/reg/2014/112/oj>, 2022.
- 4) Law No. 684 of the Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Rules on the Performance and Standards of Automobile and Automobile Parts, Attached Table 6. 3-18, 6. 30-32, 2019.
  - 5) ECE/TRANS/WP29, pp.19-41, 2017.
  - 6) Law No. 18051 of the Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Automobile Management Act, 2021.
  - 7) G. H. Kim, C. M. Lee, H. J. Kim, O. H. An and H. Kim, "A Study on Driver's Perception over the Change of the Headlamp's Illuminance: 1. Preceding Study for Experimental Condition Set-up," *Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers*, Vol.20, No.10, pp.10-18, 2006.
  - 8) H. J. Kim, H. J. Kim, G. H. Kim, H. Kim and O. H. An, "A Study on Driver's Perception over the Change of the Headlamp's Illuminance: 2. Driver's Psychological Property," *Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers*, Vol.20, No.10, pp.19-26, 2006.
  - 9) G. H. Kim, C. M. Lee, S. G. Jung, D. S. Jo, D. I. Suk, M. S. Jo, H. K. Kim, H. J. Kim, O. H. An and H. Kim, "A Study on Driver's Perception over the Change of the Headlamp's Illuminance: 2. Driver's Perception Property," *Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers*, Vol.20, No.10, pp.19-26, 2007.
  - 10) W. B. Cho, "The Effects of Glare caused by Oncoming High-beam Light on Road Surface Luminance Levels Required for Safe Entry into the Forward Horizontal Curved Section in Elderly Drivers," *Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers*, Vol.33, No.10, pp.1-11, 2019.
  - 11) H. S. Han, S. J. Lee, H. Y. Shim, S. H. Kim and J. H. Yang, "A Study on the Driver's Response Time Under Jaywalking Situation Using Simulator," *Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers*, Vol.42, No.2, pp.75-82, 2018.
  - 12) J. H. Seo, D. W. Kim and M. Y. Lee, "Performance Characteristics of Temperature and Illuminance of Vehicle Headlamps," *Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers*, Vol.42, No.2, pp.75-82, 2018.
  - 13) C. Schwarz, T. Brown and R. Sherony, "Simulator Study on the Effects of Adaptive Headlamp Features on Driver Responses to Pedestrians and Bicyclists," *Advances in Transportation Studies, Special Issue*, pp.47-62, 2020.
  - 14) J. Vrabel, V. Rievaj, F. Synk and D. Babic, "Examination of the Vehicle Light Intensity in Terms of Road Traffic Safety: A Case Study," *The Archives of Automotive Engineering-Archiwum Motoryzacji*, Vol.81, No.3, pp.119-128, 2018.
  - 15) J. Prasetijo, Z. Mohd Jaw, M. A. Mustafa, Z. Zadie, H. A. Majid, M. H. Roslan, I. Baba and A. F. Zulkifli, "Impacts of Various High Beam Headlight Intensities on Driver Visibility and Road Safety," *Journal of the Society of Automotive Engineers Malaysia*, Vol.2, No.3, pp.306-314, 2018.
  - 16) NHTSA DOT HS 808 209: Driver Perception of Just Noticeable Differences of Automotive Signal Lamp Intensities, <https://ntrl.ntis.gov/NTRL/dashboard/searchResults/titleDetail/PB95206306.xhtml>, 2022.
  - 17) UMTRI-97-4: Just Noticeable Differences For Low-beam Headlamp Intensities, <https://hdl.handle.net/2027.42/49359>, 2022.
  - 18) K. Y. Shin, T. H. Jin, D. G. Lee, J. H. Kim, J. H. Kim, J. G. An and J. D. Choi, "Experimental Study on a Driver Perception of Just Noticeable Differences for Automotive Headlamp Low-beam Intensities," *KSAE Spring Conference Proceedings*, p.337, 2021.
  - 19) E. B. Goldstein and L. Cacciamani, *Sensation and Perception*. 8th Edn., Cengage Learning, 2021.
  - 20) T. Engen, *Psychophysics: Discrimination and Detection*, Woodworth and Schlosberg's *Experimental Psychology*, 1971.
  - 21) V. Bruce, P. R. Green, and M. A. Georgeson, *Visual Perception: Physiology, Psychology, & Ecology*, Psychology Press, 2003.