

전조등의 순간적 밝기 변동에 대한 운전자의 불쾌감 평가 연구

(A Study on the discomfortable feeling's appraisals of driver for the instant brightness fluctuation of the Vehicle's Headlamps)

이장모* · 임태영 · 민재웅 · 임준채 · 안옥희 · 김현지 · 김 훈
 (Changmo Lee* · Taeyoung Lim** · Jeawoong Min** · Junchae Lim*** · Okhee An**** ·
 Huynji Kim**** · Hoon Kim*)
 *강원대학교 **현대·기아연구소 ** (주)NGV ****영남대학교

요 약

차량에서 전조등의 밝기 변화가 운전자의 장애물 인식능력을 저하시키고, 운전자에게 불쾌감과 스트레스를 제공한다면 운전자 및 보행자의 안전에 위협이 될 수 있다. 그러므로 차량 전조등의 밝기변화 패턴에 영향을 미치는 전조등의 전압과 시간을 변수로 하여, 순간적으로 밝기변동이 발생하였을 경우, 연령대별(20/60대)로 운전자가 느끼는 심리적인 반응(불쾌감)이 어떠한 영향을 갖는지를 파악하는 것이 중요하다.

따라서 본 논문에서는 운전자의 야간 주행시 전조등의 밝기변동에 대한 경향을 파악하기 위해 전조등의 밝기변동 영상을 제작한 다양한 전조등의 밝기패턴(전압패턴 A/B)을 제공하여 본 시험을 위한 1차 예비 시험을 실시하였다. 예비시험 결과, 전압패턴 A에 대해서는 전압과 시간변이 대해서 모두 영향을 받는 것으로 나타났으며, 반면, 전압패턴 B의 경우에 있어서는 시간변이 보다 전압변이가 더 큰 요소로 작용하는 것으로 나타났다. 또한 불쾌감을 느끼는 것을 수치적으로 표현하였을 경우에, 전압패턴 A보다 B패턴에서 더 많은 불쾌감을 느끼는 것으로 파악되었다. 현재, 본 연구는 진행중에 있으며, 앞으로, 2차/3차 예비시험을 통해, 연령대별 시인능력평가 및 심리적 반응 평가, 도로조명의 유무에 따른 운전자의 시인능력 평가, 그리고 전조등의 밝기변동 빈도수에 대한 심리적 반응을 모의시험하고 경향을 파악하고 있으며, 이를 통해서 본 시험을 준비중에 있다.

1. 서 론

야간 도로에서 좋은 시인성을 확보하는 것은 운전자, 보행자 등, 도로 이용자의 안전성을 확보하는데 있어서 매우 중요한 일이다.[1]

차량의 전조등은 운전자가 야간에 의존할 수 있는 가장 기본적인 조명수단이라 할 수 있다.

또한, 차량의 전장시스템 중에서 전조등은 운전자의 안전과 직접적으로 연관될 뿐만 아니라, 그 밝기의 변화를 운전자가 민감하게 느낄 수 있어 전장 시스템 전체의 성능 규정에 지표가 될 수 있는 요소이다.

차량 내 전기적 부하의 변동에 따라 전조등 밝기가 변화한다면, 운전자가 전방의 장애물을 안전정지거리 이전에 파악할 수 있는 기능이 저하하고, 운전자와 차량에 사고의 위험이 초래될 가능성이 있다. 또한 밝기의 변화를 운전자가 인식하고, 불쾌함과 불편함을 느낀다면 이로 인하여 차량 전체의 성능에 대한 의구심과 제조사에 대한 불신감을 가질 수 있다.

따라서, 자동차 전조등의 순간적인 밝기 변동을 일으켰을 경우에 있어, 운전자가 느끼는 심리적 반응을 평가하여 전압변동의 한계치를 제시하는 것이 중요할 것이다. 그리고 차량의 운전자는 연령별로 다양하게 분포하고 있으며, 운전자의 연령에 따라 시각적인 능력에 차이가 있으므로 이들의 특성을 파악하는 것이 중요하다.

또한 다양한 주위환경 변화 및 전조등 변화의 형태에 따라 운전자들이 어떠한 반응을 보이는지 파악해야 할 것이다.

다양한 전압패턴을 제공하여 운전자의 시인성 측정 및 설문평가를 한 이전의 연구결과에 의해서 전조등 밝기변화의 한

계값을 설정하였는데, 전압패턴 A의 경우 전압변동의 한계치는 12V로 규정하였고, 전압패턴 B의 경우는 12.12V로 규정하였다. 따라서 전압패턴 B가 A보다 더 불쾌감을 유발시키는 것으로 나타났다.[2][3]

본 논문에서는 전조등의 밝기변동 요소인 전압변동분과 시간변동분에 대해 상세하게 분석하기 위해, 밝기변동 요소를 가지고 다양한 패턴을 적용하여, 이를 영상으로 20대의 피험자(운전자)에게 제공하여, 심리적인 반응(불쾌감)을 평가를 하는 시험이 진행중에 있다.

또한, 연령대에 따라서 시각적인 능력의 차이를 파악하기 위해 60대를 대상으로 하는 시험과 도로조명이 존재하는 경우에 대한 운전자의 시인능력 평가에 대해 시험 중에 있다.

2. 시험실 구성 및 시험방법

2.1 시험실 설계

2.1.1 운전자의 순응휘도 및 장애물 휘도

전조등을 사용한 야간 주행시, 전조등에 의한 운전자의 순응휘도인 노면휘도와 장애물 휘도를 계산하여 결정한다. 노면의 재질에 따른 운전자의 순응휘도는 식 (1)에 의해 휘도 환산계수를 이용하여 계산한다.[4]

$$q = \frac{L}{E} \quad (1)$$

여기서 L 은 운전자의 순응휘도[cd/m^2]이고, E 는 노면의 수평면 조도[lx]이다. 따라서, 운전자의 순응휘도를 계산하기

위해서는 전조등의 배광데이터를 통해 거리 역제곱법칙을 이용하여 수평면 조도를 산출하고, r-table로 제공하는 휘도 환산계수를 곱하여 구할 수 있다.[4]

운전자의 순응휘도는 전조등의 기준전압인 13.6[V]에서 최저전압인 12[V]까지 계산하였다.

그림 1은 한 차종에 대해 계산된 순응휘도 분포를 나타낸 것이다.

장애물의 크기는 자동차의 안전 주행에 지장을 초래하면서도 한계대상물이라는 관점에서 노면과 자동차의 차체 최하부의 거리인 「최저지상높이」에 가까운 값이 되므로 한 변 20[cm]의 정방형으로 하였다.[5] 그리고 도로상에 존재할 수 있는 대상물(보행자, 낙하물 등)의 반사율 마다 각각에 대한 존재확률을 근거로 결정된 반사율이 20[%]이므로 장애물의 반사율은 완전 확산면의 20[%]로 가정하였다.[6]

따라서 장애물 휘도는 시대상물을 완전확산이라고 가정할 때, 시대상물의 휘도[L0]는 평가지점에서 식 (2)를 사용하여 구한다.[7]

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

여기서, L_0 는 시대상물의 휘도 [cd/m^2]이고 ρ 는 시대상물의 반사율(20%), 그리고 E_v 는 노면상 0.1[m]의 운전자 측에서 바라본 연직면 조도[lx]이다.

자동차가 60[km/h]의 속도로 주행한다고 가정하면, 자동차가 10[m] 전진하는데 소요되는 시간은 0.6[s]이므로 장애물의 이동 속도는 연속적으로 표현하면서 60[km/h]의 속도로 이동시킨다. 또한 장애물의 크기는 차량의 이동속도를 고려하여 점점 커지는 형태로 그 크기를 변화시켰다.

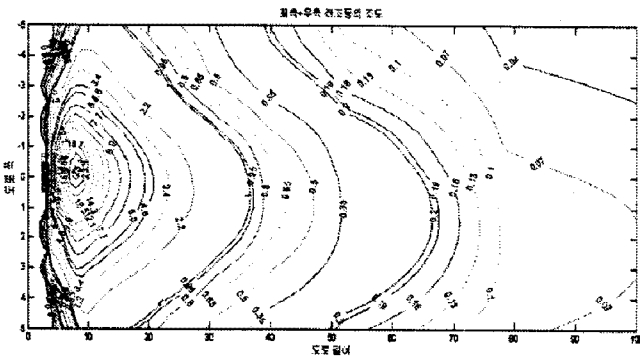


그림 2. 아스팔트 표준노면의 양측전조등에 의한 iso-luminance 곡선

2.1.2 실험실 설계

단순화되 시인성 및 불쾌감을 정교하게 측정할 수 있도록 전조등의 밝기 변화를 영상으로 제공하고 이를 제어할 수 있도록 프로그램을 제작하였다. 그리고 야간에 운전자의 암순응을 고려한 암실과 모의 자동차를 제작하였다.

그림 4과 같이 실험실내 전면벽 및 측면벽은 실제 주행시 운전자가 응시하는 원거리의 도로부에 해당하고, 시험자의 눈높이가 1.2[m]이고 전면벽 높이가 1.2[m]에 해당되는 꼭지점은 무한 거리 수평선이 된다. 그리고 시험자의 눈으로부터 시험실 전면 모서리까지 거리가 4[m]인 경우, 운전자 전방 100[m]

위치는 벽면 1.15[m]의 높이에 해당한다.



그림 3. 시험실 구성도

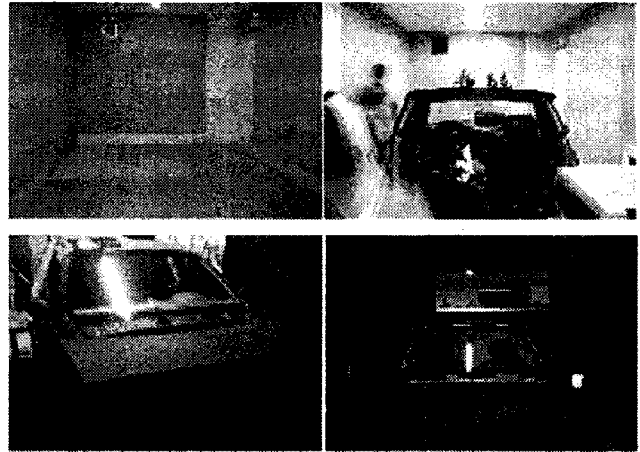


그림 3. 시험실 구성과정

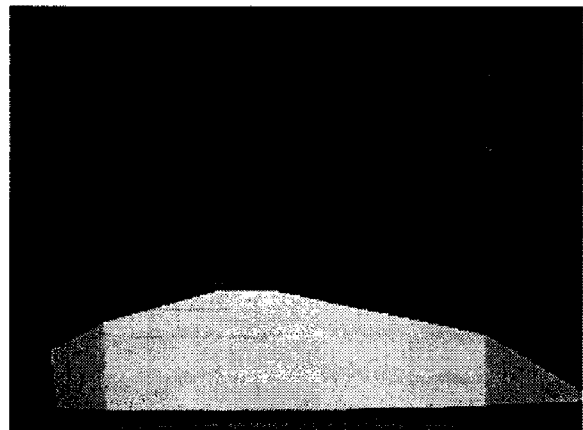


그림 4. 전면벽 및 측면벽의 도로부

전조등에 대한 노면 휘도를 영상으로 제작하기 위해 빔 프로젝터에서 출력되는 RGB(0~255)와 그에 대한 휘도값을 측정하였다. 여기에서 영상파일을 다양하게 많은 프레임으로 제작하기 위해서는 최대한 넓은 범위의 RGB를 이용해야 하기 때문에 전면벽의 반사율을 고려하였다(그림 5).

White/Black의 비율을 결정하여 전면벽 및 측면벽에 도장하여 그림 3과 같이 구역별로 휘도를 측정하여 RGB-휘도 관계를 설정하여 영상파일을 제작하였다(그림 6).

모의 영상파일은 전조등 전압변동범위인 13.6[V]에서 12[V]까지 0.08[V]간격으로 21프레임을 제작하였다.

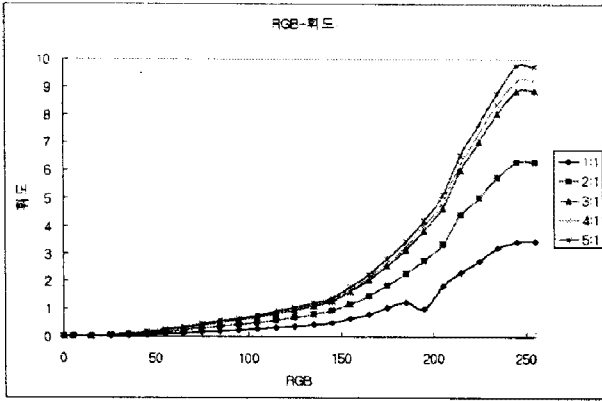


그림 5. 전면벽의 White:Black에 대한 RGB-휘도 관계

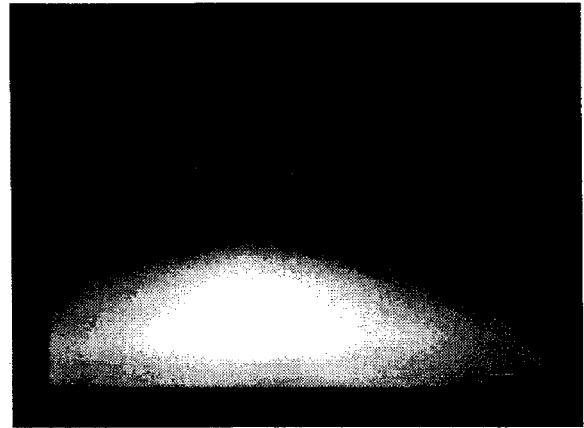
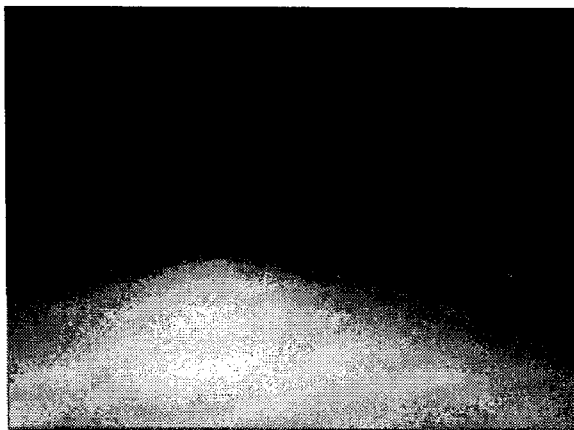
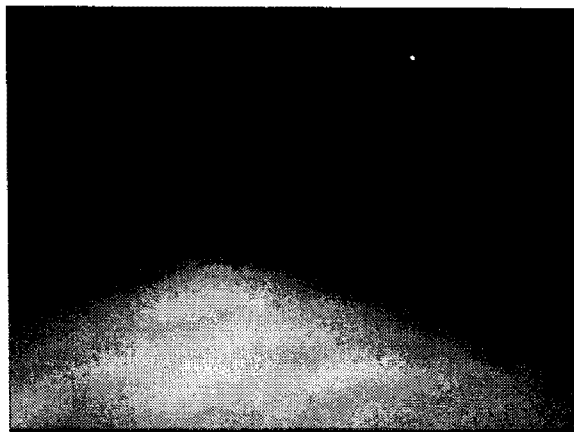


그림 7. 운전석에서 본 전조등 영상



(a) 13.6 [V]



(b) 12 [V]

그림 6. 모의 영상 그림

2.1.3 측정시스템 및 영상 프로그램 구성

그림 8은 다양한 전압변동 패턴을 제공할 수 있도록 한 측정시스템의 블록도를 나타내고 있다. 전조등의 전압변동은 전압별로 제작한 순응휘도 영상그림 파일을 프로그램으로 빔프로젝터를 통해 전면벽에 투사하는 방법을 이용하였다. 또한 장애물의 이동 및 크기변화, 밝기도 영상 프로그램을 제작하여 빔프로젝터로 투사시켰다. 모의 차량에서 시험자(운전자)가 장애물을 발견하였을 때의 제동페달과 가속페달에 대한 시간정보를 기록할 수 있는 controller를 제작하였다.

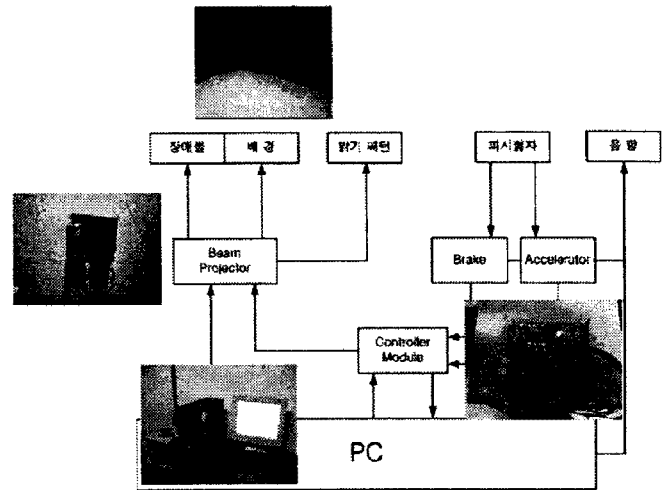


그림 26. 측정시스템의 블록 다이어그램

그림 8. 측정시스템의 블록도

2.2 시험방법

2.2.1 전압변동 패턴 정의

전압변동 패턴은 그림 9에서 정의하였다. 자동차 전조등의 전압변동이 실제로 발생할 수 있는 경우의 패턴과 관련 논문[2]에서 언급된 장애물 인식반응 영향과 불쾌감에 가장 영향을 미치는 패턴을 고려하여 전압패턴 A와 B, 두 가지 전압패턴을 선택하였다.

전압패턴 A는 그림 9(a)와 같이 2분간 13.6[V]로 유지하고 있는 상태에서 임의의 전압으로 하강한 다음, 다시 13.6[V]로 복구되어 유지하는 형태이다. 임의의 전압을 ΔV 라 할 것이다. 그리고 13.6[V]에서 전압하강을 시작하여 13.6[V]로 복구되는 동안의 시간을 Δt 라 한다. 또한 완전 복구 완료된 시점을 기준으로 하여 이후 장애물이 출현한 시간을 Δt_0 로 표시하였다.

전압패턴 B는 2분간 13.6[V]로 유지하고 있는 상태에서 임의의 전압(ΔV)으로 하강한 다음 유지하는 형태이다. 전압패턴 B에서도 Δt 와 Δt_0 는 전압패턴 A에서와 같은 의미를 갖는다.

2.2.2 실험순서

시험자가 시험에 대한 전체 개념을 이해하기 위해 관련된 충분한 설명이 이루어졌다. 각 시험자는 2인 1조로 하였으며, 피험자 각각에 대해 무작위로 주어진 상황에 대하여 다음 절차에 따라 장애물에 대한 시인능력을 측정하였고 불쾌감에 대한 평가지를 작성하도록 하였다.

(1) 2명의 피험자를 시험실 내 별도의 공간인 암실에서 휴식 시키면서 약 20분간 암순응 한다.

(2) 2명의 피험자 중 1명의 피험자를 차량 운전석에 위치한다.

(3) 운전석의 피험자는 도로부를 응시하고 운전석의 방식으로 눈높이를 조절하여 1.2[m]로 맞춘다.

(4) 피험자의 준비가 끝나면 가속페달을 밟고 임의의 전압패턴을 제시한다.

(5) 전압패턴과 장애물을 인식하면 제동페달을 밟고 운전석에서 나온다.

(6) 시험을 마친 피험자는 대기실로 돌아와 평가지를 작성한다.

(7) 다른 피험자는 (2)~(6)을 수행한다.

(8) 모든 주어진 시험이 끝날 때까지 (2)~(7)을 반복한다.

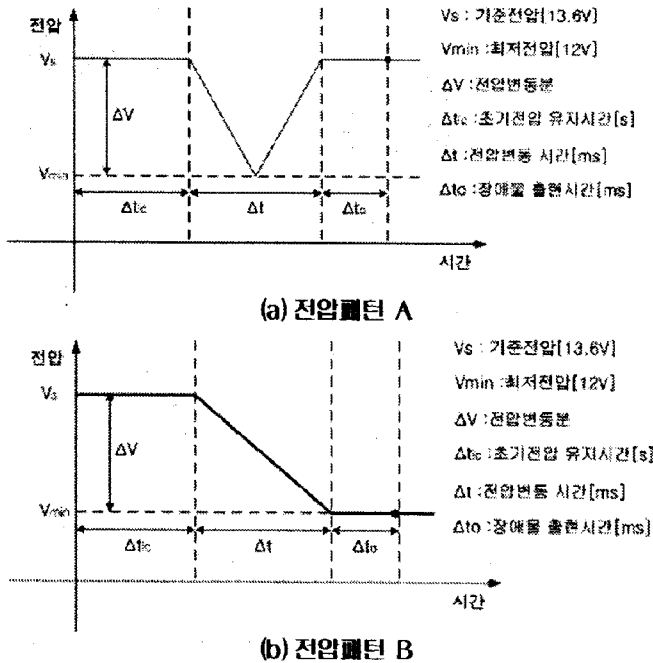


그림 9. 전압패턴에 대한 정의

2.2.3 평가항목

시험에 이용된 평가항목은 표1에 나타내었다. 자동차의 전조등의 밝기변동을 인지하고 그것에 의해 운전자가 느끼는 불쾌감을 수치적으로 평가하고 시험자로 하여금 이해하기 쉽도록 하기 위해 5가지 항목을 선별하여 평가하도록 하였다.

표 1. 시험에 이용된 평가항목

문항	없음 (0점)	낮음 (1점)	조금 낮음 (2점)	조금 높음 (3점)	높음 (4점)	매우 높음 (5점)
1. 실험중에 밝기의 변동을 느낀 정도는?						
2. 실험중에 불쾌함을 느낀 정도는?						
3. 실험중에 장애물에 의한 자극감을 느낀 정도는?						
4. 실험중에 눈부심을 느낀 정도는?						
5. 실험중에 안전하다고 느낀 정도는?						

3. 시험

3.1 예비시험

전압변동에 따른 영상의 변화와 영상의 프레임 시간차이 그리고 가속페달과 제동페달 시간에 대한 데이터 저장등의 전체 시스템에 대한 신뢰도를 평가하기 위함과 본 실험실에서 수행한 관련 시스템과의 신뢰성을 검토하는 것이 예비시험의 목적이다. 또한, 차종에 따라 전조등의 변화에 따른 반응과 불쾌감의 차이가 있는가를 확인하기 위함이 두 번째 목적이다. 그리고 세 번째는 전조등이 전압변동 범위 ΔV 와 전압변동 시간 범위 Δt 를 세분화하여 밝기변동에 대해 운전자가 느끼는 심리적인(불쾌감)반응의 상관관계에 대한 경향을 파악하여 본 시험에 있어서의 시험 조건을 제안하기 위해서이다.

표 2에서 예비시험에 이용된 전압패턴 조건을 나타내고 있다.

전압변동분은 13.4[V]/12.56[V]/12[V]이며 전압변동 시간은 195[ms]/495[ms]/1500[ms] 그리고 밝기 변동이 일어나지 않는 것을 포함하여 총 19가지의 조건이다. 그리고 시험자는 20대(남) 5명으로 구성하였다.

3.2 예비시험 결과

3.2.1 전압패턴 A

그림 10는 전압패턴 A에 대한 운전자의 불쾌감을 평가한 결과이다. 전압패턴 A에 대한 결과는 운전자가 “불쾌감을 느끼기 시작한다.”를 평가항목 중 “다소 낮음(2점)”이라고 하면, 전압패턴 A는 전압변동 시간 변이가 약 1500ms 일 때, 전압변동 범위는 약 12.6[V]이하이며, 약 500ms 일 때, 약 12.6[V], 그리고 약 200ms일 때, 12[V]이하로 전압이 내려가야 불쾌감을 느끼기 시작한다고 판단된다. 즉 전압패턴 A에 있어서, 운전자에게 불쾌감을 주는 요인은 전압변동 범위 ΔV 뿐만 아니라 전압변동 시간 Δt 로 2가지 요인이 모두 포함된다고 판단된다. 그러므로 본 시험에서 전압패턴 A에 대해서는 두가지 요인 모두에 대해 상세한 조건을 제시하여 시험을 해야 한다.

표 2. 예비시험 조건 (전압패턴 A/B)

전압패턴 번호	기준전압 Vs[V]	전압변동분 ΔV[V]	초기전압 유지시간[s]	전압변동 시간 Δt[ms]	장애물 출현시간 Δto[ms]	장애물 경로
A0	13.6	0	1500	0	0	1_3_5
A1				195		
A2				495		
A3		1500				
A4		195				
A5		495				
A6		1500				
A7		195				
A8		495				
A9		1500				
B1		195				
B2		495				
B3		1500				
B4		195				
B5		495				
B6		1500				
B7		195				
B8		495				
B9	1500					

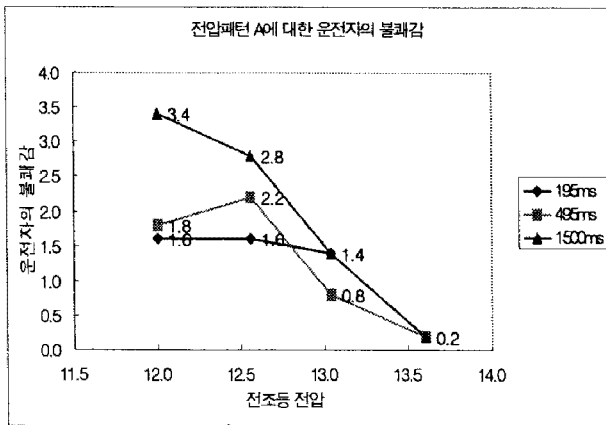


그림 10. 전압패턴 A에 대한 운전자의 불쾌감

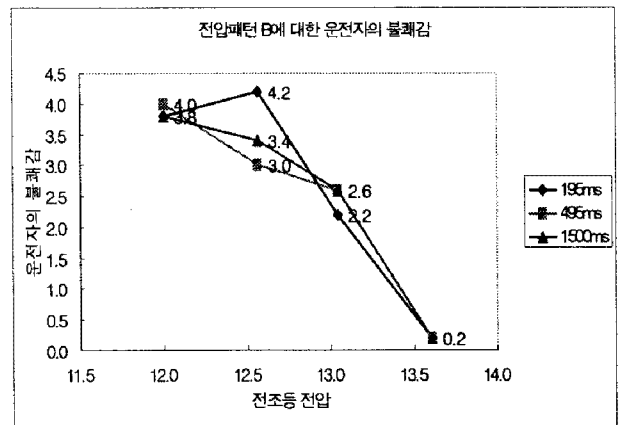


그림 11. 전압패턴 B에 대한 운전자의 불쾌감

3.2.2 전압패턴 B

그림 11은 전압패턴 B에 대한 운전자의 불쾌감을 평가한 결과이다. 전압패턴 B에서도 마찬가지로 운전자가 불쾌감을 느끼기 시작하는 항목을 2점이라 하면, Δt가 1500ms인 경우, ΔV는 13V 이하, 약 500ms의 경우 약 13[V]이하, 그리고 약 200ms인 경우에는 약 13[V]이하로 내려가면 불쾌감을 느끼기 시작한다. 즉, 전압패턴 B에 있어서, 운전자에게 불쾌감을 주는 요인은 전압변동에 지배적이고, 전압변동 시간에 대해서는 크게 영향을 받지 않는다고 판단된다. 따라서 본 시험에 전압패턴 B에 대해서는 전압변동 시간에 대해서는 개략적으로 하되, 전압변동 범위에 대해서는 상세한 조건을 제시하여 시험을 해야한다고 판단된다.

3.3 1차 본 시험

1차 본 시험에서는 예비시험에서 얻은 데이터를 분석하여 운전자의 불쾌감과 전압변동 범위 ΔV와 전압변동 시간 Δt의 상관관계를 도출하기 위해 다음의 조건을 가지고 현재 시험 중에 있다.

①전압패턴 A

- 전압변동 범위 ΔV
:13.6[V]-13.04[V]-12.8[V]-12.4[V]-12[V]
- 전압변동 시간 Δt
:0ms-200ms-350ms-700ms-1500ms

②전압패턴 B

- 전압변동 범위 ΔV
:13.6[V]-12.8[V]-12.48[V]-12.24[V]-12[V]
- 전압변동 시간 Δt
:0ms-200ms-350ms-700ms-1500ms

4. 결론

차량의 전조등의 순간적 밝기변동에 의해 운전자가 느끼는 심리적 반응(불쾌감)은 다양한 전조등의 밝기변동패턴에 따라 밝기변동의 요소인 전압변동 범위와 전압변동 시간에 의해 영향을 받는다. 따라서 본 논문에서 운전자의 불쾌감과 전압변동 요소와의 상관관계를 도출하여, 운전자의 생리적 및 심리적인 영향을 최소화하여 운전자의 시인능력을 향상시키고, 자동차에 대한 신뢰도를 높여 쾌적한 운전환경을 제공할 수 있

을 것이라 예상된다.

현재, 차종별 전조등에 대한 시인능력 및 불쾌감에 대한 평가가 진행중에 있으며, 추후 도로조명이 있을 경우에 대한 위와 동일한 시험을 진행할 예정에 있다.

본 연구는 (주)NGV의 사업지원에 의해서 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- [1] CIE Technical Report, Pub. No. 12.2 (TC-4.6), "Recommendations for the lighting of roads for motorized traffic", pp.8~15, 1995
- [2] 김기훈, "차량 전조등의 순간적 밝기 변동에 대한 한계값 설정 연구", 강원대학교, 2006
- [3] 김기훈외 7, "전조등 조도변동에 대한 운전자의 인식연구", 조명·전기설비 학술대회 논문집, pp131~136, 2006
- [4] CIE Technical Report, Pub. No. 30-2, "Calculation and Measurement of Luminance and Illuminance in Road Lighting", 2/e, 1982
- [5] CIE No. 61, "Tunnel Entrance Lighting-A survey of fundamentals for determining the luminance in the threshold zone", 1984
- [6] Smith, F. C. "Reflection Factors and Revealing power", Trans. Illum. Eng. Soc.(London), 1938
- [7] 한스-에르겐 헨츨, "光と照明 光工学の理論と實際", 日本理工出版會, 4/e, 1999