

# 전조등 조도변동에 대한 운전자의 인식연구 : 4. 조도변동 기준 및 평가 알고리즘 개발

(A Study on Driver's Perception over the Change of the Headlamp's Illuminance :  
4. Development of the Standard and the Algorithm for Limiting Brightness Change)

김기훈\* · 김현지 · 안옥희 · 임태영 · 민재용 · 임준채 · 강병도 · 김 훈\*\*  
(Gi-Hoon Kim · Hyun-Ji Kim · Ok-Hee An · Tae-Young Lim · Jae-Woong Min ·  
Jun-Chae Lim · Byung-Do Kang · Hoon Kim)

## 요 약

측정 결과와 분석을 바탕으로 전조등 밝기변화의 한계값과 운전자의 안전성을 고려한 평가 알고리즘을 개발하였다. 심리 평가에 의한 전조등 밝기변화의 한계값은 주관적 평가를 토대로 밝기 변화, 눈 깜박임, 불쾌감 등에 대한 값을 제시하였고, 또한, 시인성 측정에 의한 한계값은 차량을 장애물의 위협 없이 안전하게 정지하기 위한 한계값을 제시하였다.

## Abstract

Based on the measurement results, a limit value for the change of the brightness of the headlamp, and an estimation algorithm considering the driver's safety was developed. Limitation values concerning being uncomfortable, blinking, and brightness change were indicated based on a subjective estimation of the psychological estimation. Also a safety estimation algorithm and a limitation value for stopping safely without the threat of obstacles to the vehicle were indicated by the perception measurement.

Key Words : Limit Value, Headlamp, Estimation Algorithm, Driver'S Safety, Psychological Estimation

## 1. 서 론

전조등의 밝기 변동에 대한 운전자의 시인성 및

뇌파측정, 심리평가를 행하고 이를 바탕으로 전조등 밝기변화의 한계값과 운전자의 안전성을 고려한 평가 알고리즘을 개발하였다.

\* 주저자 : 한국광기술원, 반도체조명연구사업부, 반도체조명기술센터 선임연구원

\*\* 교신저자 : 강원대학교 전기전자통신공학부 교수  
Tel : 062-605-9378, Fax : 062-605-9339

E-mail : kgphoon@kopti.re.kr

접수일자 : 2006년 7월 14일

1차심사 : 2006년 7월 27일

심사완료 : 2006년 9월 14일

전조등의 밝기 변화 한계치는 심리평가의 설문지 작성을 통한 주관적 평가를 바탕으로 밝기 변화, 눈 깜박임, 불쾌감 등에 대한 한계값을 제시하였다.

그리고 뇌파측정을 바탕으로 정신적, 시각적 스트레스에 대한 한계값을 제시하였으며, 운전자의 시인성 측정을 바탕으로 차량을 장애물의 위협 없이 안

전하게 정지하기 위한 한계값을 제시하였다. 안전성 평가 알고리즘은 장애물을 인식하고 브레이크 페달을 밟기 시작하기 까지 최대한 허용할 수 있는 시간인, 여유 시간 이내에 전압변동을 완료하고 최초의 정상 전압으로 복귀하는 경우와 그렇지 않은 경우를 적용할 수 있는 2종류의 알고리즘을 개발하였다.

이들 안전성 평가 알고리즘은 피험자가 장애물을 최초 인식한 순간의 장애물 휘도(L)와 장애물의 크기, 즉, 장애물에 대한 운전자의 시각사이즈( $\theta$ )를 곱한 값( $L \times \theta$ )을 기준으로 하였고  $L \times \theta$ 의 값은  $2.6 \times 10^{-4}$  [ $\text{cd}/\text{m}^2 \cdot \text{rad}$ ]인 것으로 본 실험 결과 계산 되었다.

## 2. 시인성 측정에 의한 한계값의 설정

### 2.1 전압패턴 B

운전자가 장애물을 인식하여 차량을 원하는 감속 속도로 유지하고자 브레이크를 밟았을 때, 운전자가 장애물을 인식한 이 후 차량의 감속거리는 다음 식으로 주어진다[1].

$$D_d = v_1 t_r + (v_1^2 - v_2^2) / 2d \quad (1)$$

여기에서  $D_d$  = 감속거리[m],  $v_1$ =초기속도[m/sec],  $v_2$ =원하는속도[m/sec],  $t_r$ =반응시간[1.5[sec]로 가정),

$d$ =감속률( $2[\text{m}/\text{sec}^2]$ 으로 가정)이다.

식 (1)에서 감속거리( $D_d$ )는 운전자가 장애물을 인식하고 판단하기까지의 운전자 반응시간에 의한 거리와 브레이크 페달을 밟은 이후의 감속거리를 합한 것이다.

그러므로 운전자가 브레이크 페달을 밟은 이후 안전하게 정지하기까지의 이동 거리는 위 식의 우변 중 2번째 항을 이용하여 구할 수 있다. 본 실험에서는 자동차의 주행속도를  $60[\text{km}/\text{h}]$ 로 가정하여 실험 하였으므로,  $v_1=16.67[\text{m}/\text{sec}]$ 가 되고  $v_2$ 는 차량이 정지하기까지이므로  $0[\text{m}/\text{sec}]$ 가 된다. 이 값을 위 식에 대입하면 차량이 정지하기까지의 이동거리는  $69.47[\text{m}]$ 이 된다. 따라서 운전자는 적어도 장애물 전방  $70[\text{m}]$ 의 거리에서 장애물을 보고 판단하여 브레이크

페달을 밟기 시작하여야 한다.

이것은 본 실험에서 장애물을 운전자 전방  $170[\text{m}]$ 에서 출현시켰고 차량속도는  $16.67[\text{m}/\text{sec}]$ 로 가정하였기 때문에 본 실험에서 피험자가 브레이크를 밟기 시작하기까지의 시간은  $6[\text{sec}]$ 이하 이어야 한다는 것을 의미한다.

표 1은 B패턴에 대한  $V_b$ 의 크기와 이에 따른 전조등의 밝기 비율, 피험자의 장애물 인식 지연 반응시간, 그리고 지연 반응시간 동안의 차량의 이동거리를 정리한 것이다.

표 1. 패턴 B에 대한 피험자 장애물 인식의 상대적 반응시간에 따른 차량이동 거리  
Table 1. Movement Distance of Vehicles by Obstacle Perception Relative Response Time of Subject for the Pattern B

전압[V]	13.6	13.4	13	12.6	12	11.5	11
휘도 비율 [%]	100	92.3	83.2	75.5	64.2	55.5	48.4
피험자 장애물 인식 반응시간[sec]	5.424	5.500	5.789	5.966	6.214	6.524	6.737
피험자 장애물 인식 지연시간[sec]	0.000	0.076	0.365	0.542	0.791	1.100	1.313
지연시간 동안의 차량 이동 거리[m]	0.000	1.27	6.08	9.03	13.18	18.83	21.88

표 1의 상대적 반응시간의 기준이 되는 전압파형은 O패턴의  $V_b$ 가  $13.6[\text{V}]$ 인 이상적인 경우이고 그때의 피험자 반응시간은 장애물 출현 이 후  $5.424[\text{sec}]$ 이다. 따라서 상대적 반응시간은  $0.576(6-5.424)[\text{sec}]$ 이하 이어야 한다. 그리고 표 1에서  $0.576[\text{sec}]$ 이하가 되는 상대적 지연 시간은  $12.6[\text{V}]$ 의  $0.542[\text{sec}]$ 이므로 B패턴에서 전압변동 시간이  $2[\text{sec}]$ 일 때  $V_b$ 의 한계값은  $12.6[\text{V}]$ 로 규정한다.

그리고 표 2는 피험자가 장애물을 인식한 순간의 장애물 휘도와 장애물에 대한 운전자의 시각사이즈를 나타내고 있고 그림 1은 피험자가 인식한 장애물의 휘도값과 그 때의 장애물에 대한 운전자의 시각사이즈를 곱한 값을  $V_b$ 에 따라 나타내고 있다.

그림 1을 보면 피험자가 인식한  $L \times \theta$ 의 값은  $V_b$ 에 따라서 매우 일정하고 그 값은  $2.6 \times 10^{-4}[\text{cd}/\text{m}^2 \cdot \text{rad}]$

이다. 그러므로 B패턴의 전압패턴에서 운전자가 장애물을 인식하고 안전하게 정지하기 위해서는  $V_b$ 가 12.6[V] 이상이어야 하고, 이때 피험자가 인식한  $L \times \theta$ 의 값은  $2.6 \times 10^{-4} [\text{cd}/\text{m}^2 \cdot \text{rad}]$  이상이 되어야 한다.

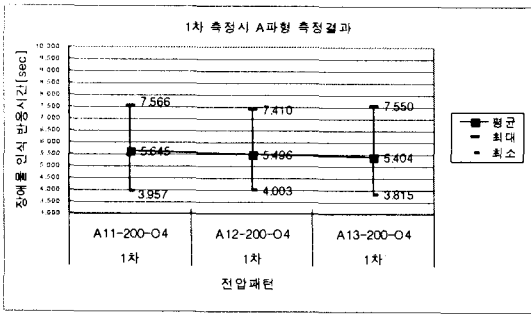


그림 2. 1차 측정시의 전압패턴 A의 측정결과  
Fig. 2. Measurement Result of Voltage Pattern A at 1st Experiment

표 2. 피험자가 장애물을 인식하였을 때의 장애물 휘도 및 장애물에 대한 운전자의 시각 사이즈  
Table 2. Luminance of Obstacle and Driver's Viewing Angle Size for Obstacle When the Subject Perceives Obstacle

전압[V]	11	11.5	12	12.6	13	13.4
피험자가 장애물을 인식하고 반응한 시간(t1) [sec]	6.737	6.524	6.214	5.966	5.789	5.5
피험자가 장애물을 인식한 순간의 시간(t1-1.5)[sec]	5.24	5.02	4.71	4.47	4.29	4.00
피험자가 장애물을 인식한 장애물 위치와 피험자 간의 실제 도로상의 거리(d)[m]	82.6	86.3	91.5	95.5	98.5	103.3
인식한 장애물에 대해 운전자의 시선이 이루고 있는 시각 사이즈( $\theta$ ) [rad]	$2.4 \times 10^{-3}$	$2.3 \times 10^{-3}$	$2.2 \times 10^{-3}$	$2.1 \times 10^{-3}$	$2.0 \times 10^{-3}$	$1.9 \times 10^{-3}$
인식한 장애물의 휘도(L)[ $\text{cd}/\text{m}^2$ ]	0.1064	0.1118	0.1142	0.1241	0.1283	0.1286
장애물에 대한 시각사이즈( $\theta$ )×장애물 휘도(L)	$2.6 \times 10^{-4}$	$2.6 \times 10^{-4}$	$2.5 \times 10^{-4}$	$2.6 \times 10^{-4}$	$2.6 \times 10^{-4}$	$2.5 \times 10^{-4}$

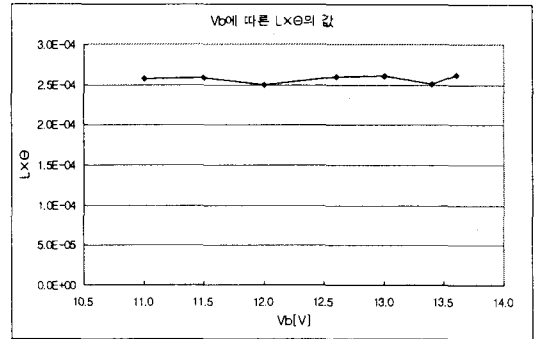


그림 1.  $V_b$ 에 따른 피험자가 인식한 장애물의  $L \times \theta$ 의 변화  
Fig. 1. Variation of  $L \times \theta$  which the Subject Perceive by  $V_b$

## 2.2 전압패턴 A

그림 2의 1차 시인성 측정값을 보면 피험자의 반응시간은  $V_b$ 가 증가함에 따라 단축되고는 있으나 패턴 B만큼 차이가 나지는 않는다. 그러나 그 값을 자세히 살펴보면  $V_b$ 가 13[V]일 때는 5.404[sec], 12[V]일 때는 5.496[sec], 11[V]일 때는 5.645[sec]이다. 그러므로 본 실험 측정시의 측정값으로는 전압변동이 없는 이상적인 상황과의 상대적인 지연시간을 계산할 수 없다.

따라서 패턴 A에서의 13.6[V]에 해당하는 값을 구하여야 하고, 그 값은 그림 1의 측정값을 가지고 식 (2)의 회귀식을 구하여 계산할 수 있다.

$$y = a + bx + cx^2 \quad (2)$$

여기에서  $a=11.046$ ,  $b=-0.8045$ ,  $c=0.0285$

식 (2)를 이용하여  $x$ 에 13.6을 대입하여 그 때의 피험자 장애물 인식 반응 시간을 구하면 5.376[sec]가 되고 이 값을 기준으로 하여 상대적인 지연시간을 구하면 표 3과 같다. 그리고 패턴 A에서 전압이 변동하는  $\Delta t$  동안에 운전자가 장애물을 인식할 수 없다고 가정하면,  $\Delta t$ 와 이 지연시간을 합친 전체 시간은 0.576[sec] 이하이어야 한다. 그러므로 0.576[sec]에서 13.6[V]를 기준으로 한 상대적 지연시간을 빼면 전압변동 허용시간을 계산할 수 있다. 그 값을 계산하면 표 3과 같다.

표 3. 패턴 A의  $V_b$ 에 따라 추천되는  $\Delta t$  값의 변화  
Table 3. Variation of Recommended  $\Delta t$  Value for Pattern A

$V_b$ [V]	피험자 반응시간( $t_1$ )	상대적 지연시간( $t_d$ )	전압 변동 허용시간( $\Delta t$ ) ( $0.576 - t_d$ )
11	5.645	0.269	0.307
12	5.496	0.120	0.456
13	5.404	0.028	0.548
13.6	5.376	0.000	

그리고 그림 3은 패턴 A에서의  $V_b$ 에 따른 전압변동 허용시간의 변화를 보여주고 있다.

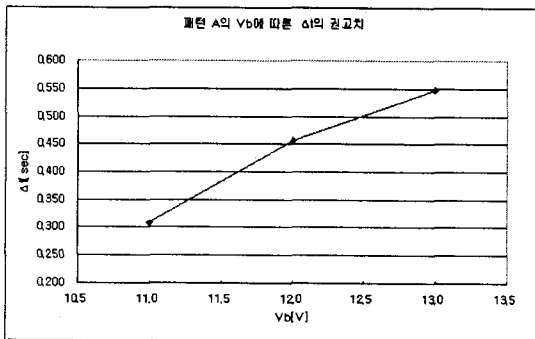


그림 3. 패턴 A의  $V_b$ 에 따른  $\Delta t$  권고치의 변화  
Fig. 3. Variation of Recommended  $\Delta t$  Value by  $V_b$  for Pattern A

### 2.3 비대칭형 전압패턴 A

다음 그림 4는 전압 하강시간과 전압 상승시간이 서로 다른 A형 전압 패턴을 나타내고 있다. 즉 그림에서  $t_1$ 과  $t_2$ 가 서로 다르고 전압변동 전체 시간  $\Delta t$ 는 비교적 긴 시간인 3[sec]이다.

다음의 그림 5는 그림 4와 같은 비대칭형 전압 패턴에서  $t_1$ 이 500[msec]이고,  $t_2$ 가 2500[msec],  $V_b$ 가 11[V]까지 하강할 때의 전압변동을 나타내고 있으며, 그림 6은 그림 5와 같이 전압이 변동할 때 1500[msec]이하에서의  $L \times \theta$ 의 변화를 나타내고 있다.

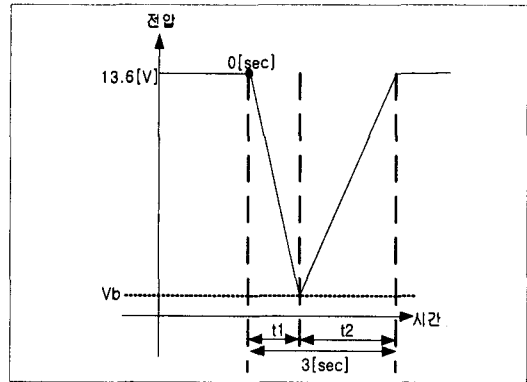


그림 4. 비대칭형 전압패턴 A  
Fig. 4. Asymmetrical Voltage Pattern A

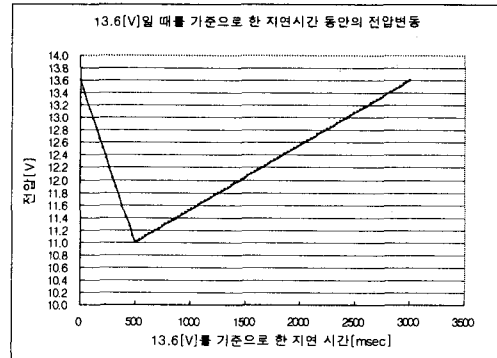


그림 5. 13.6[V]에서 전압하강 시점을 기준으로 한 지연시간 동안의 전압변동( $V_b=11[V]$ )  
Fig. 5. Voltage Variation for Delay Time when Voltage Dropping View Point is reference at 13.6[V]( $V_b=11[V]$ )

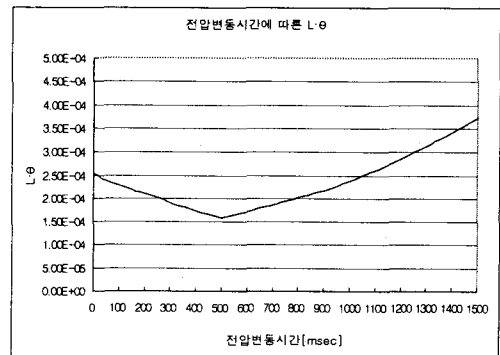


그림 6. 1,500[msec] 이하 전압변동 시간 동안의  $L \times \theta$ 의 변화( $V_b=11[V]$ )  
Fig. 6. Variation of  $L \times \theta$  for Voltage Variation Time less than 1,500[msec]( $V_b=11[V]$ )

그림 6을 보면 전압이 13.6[V]에서 11[V]까지 하강하는 동안의  $L \times \theta$ 는  $2.6 \times 10^{-4}$ 에서 시작하여 약  $1.6 \times 10^{-4}$ 까지 감소한다. 또한 500[msec]가 경과하고 나면 다시 그 값은 점차 상승하여 1,080[msec] 이상이 되어야  $2.6 \times 10^{-4}$  이상이 된다. 그러므로 13.6[V]에서 전압이 하강된 직후 1,080[msec] 동안은 장애물을 인식하기 어려우므로 문제가 될 수 있다.

비대칭형 전압패턴 A에서는 이와 같이  $V_b$ 의 크기와 전압변동 시간에 따라서 장애물이 보이는  $L \times \theta$ 는 다르게 나타난다.

표 4. 비대칭 형 전압 패턴 A에서의 장애물 인식 가능 시간(단위: (msec))

Table 4. Obstacle Perceivable Time at Asymmetrical Voltage Pattern A(unit: (msec))

$V_b$ t	11	11.2	11.4	11.6	11.8	12	12.2	12.4	12.6	12.8	13	13.2
100	900	939	885	823	780	686	630	570	504	433	360	270
200	1020	960	907	846	780	714	647	581	515	444	365	277
300	1027	979	900	870	802	734	664	596	527	455	374	210
400	1050	1001	951	900	826	755	683	612	540	468	330	0
500	1080	1025	973	918	851	780	703	630	570	390	0	0
600	1110	1050	997	942	878	802	725	647	430	210	0	0
700	1140	1080	1023	966	904	829	750	510	300	0	0	0
800	1170	1110	1050	990	932	857	540	330	180	0	0	0
900	1200	1140	1080	1020	960	570	360	210	0	0	0	0
1000	1230	1170	1113	1050	900	390	270	0	0	0	0	0
1100	1260	1200	1145	630	420	300	180	0	0	0	0	0
1200	1290	1236	660	450	330	210	0	0	0	0	0	0
1300	1331	1020	480	360	240	0	0	0	0	0	0	0
1400	1050	510	330	300	210	0	0	0	0	0	0	0
1500	540	330	330	210	0	0	0	0	0	0	0	0
1600	420	330	240	180	0	0	0	0	0	0	0	0
1700	360	270	210	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1800	300	210	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1900	240	180	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2000	210	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2400	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2500	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

그러므로 표 4와 같이  $V_b$ 의 크기와 t1시간에 따라서 장애물이 보이는 시간을 전압하강 시점을 0[sec]로 하여 구하였다. 표 4의 값은 그림 6의 예에서와

같이 장애물을 인식할 수 없는 한계값 이므로 표 4의 값 이하에서는 장애물을 인식할 수 없다. 즉,  $V_b$ 가 11[V]이고 t1이 500[msec]일 때는 전압하강 직후 1,080[msec] 동안은 장애물을 인식할 수 없고,  $V_b$ 가 12[V]이고 t1이 1,000[msec]일 때는 전압하강 직후 390[msec]동안 장애물을 인식할 수 없다. 그리고 이러한 장애물을 인식할 수 없는 한계값은 576[msec] 이하가 되어야 한다.

표 4에서 음영 처리되어 있는 값은 차량이 장애물의 위협 없이 정지하기 위한 운전자의 상대적 반응 지연 시간인 0.576[sec]이하가 되기 시작하는 값이다. 그 값을  $V_b$ 에 따라 정리하면 표 5와 같고 그림 7은  $V_b$ 의 크기에 따른 t1 추천값의 변화를 나타내고 있다.

표 5.  $V_b$  크기에 따른 t1 추천값(단위:(msec))

Table 5. Recommended t1 Value by  $V_b$  (unit:(msec))

$V_b$ [V]	11	11.2	11.4	11.6	11.8	12	12.2	12.4	12.6	12.8	13	13.2
t1 [msec]	1500	1400	1300	1200	1100	900	800	700	500			

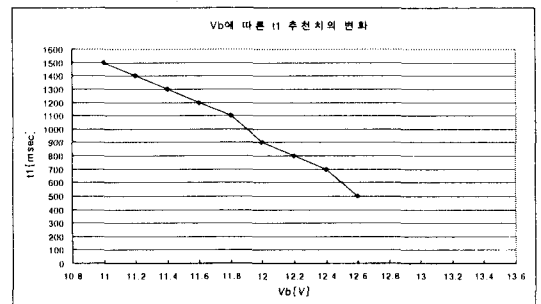


그림 7.  $V_b$ 의 크기에 따른 t1 추천값의 변화  
Fig. 7. Variation of Recommended t1 Value by  $V_b$  (unit:(msec))

## 2.4 일반적 상황에 대한 한계값 설정

지금까지 규정한 전조등 밝기 변화의 한계값들은 실험에 사용된 특정 전조등에 한하여 피험자가 반응한 값들을 근거로 규정된 것이므로 모든 전조등에 대한 규정이 될 수는 없다. 따라서 모든 전조등의 성

전조등 조도변동에 대한 운전자의 인식연구 : 4. 조도변동 기준 및 평가 알고리즘 개발

능을 규정할 수 있는 새로운 방법을 제시하면 다음과 같다.

식 (1)에서 장애물의 위협 없이 안전하게 정지하기 위한 거리는  $v_1$ 이 16.67[m/sec]이고,  $t_r$ 이 1.5[sec]일 때 약 95[m]이다. 그리고 이 때 운전자가 장애물을 최초로 인식할 수 있는  $L \times \theta$ 의 값은  $2.6 \times 10^{-4}$ [cd/m<sup>2</sup>·rad]이어야 한다. 여기에서 95[m]에 대한 운전자의 장애물에 대한 시각사이즈는  $2.1 \times 10^{-3}$ [rad]이므로 이때의 장애물의 휘도는 0.124[cd/m<sup>2</sup>]이다. 그리고 장애물이 완전확산면일 때를 가정하면, 다음의 식이 성립한다[2].

$$L = \frac{\rho E}{\pi} \quad (3)$$

이 때 장애물의 반사율 0.2이고 휘도 (L)과 반사율 (ρ)를 알고 있으므로 장애물의 연직면 조도(E)를 구하면 1.9[lx]이다. 그러므로 전조등의 종류에 관계없이 운전자 전방 95[m] 이상에서 장애물의 연직면 조도가 2[lx] 이상이 되어야, 운전자가 장애물을 인식하고 브레이크 페달을 밟았을 때 장애물의 위협 없이 차량을 안전하게 정지시킬 수 있다.

그리고 전압 패턴에 따라서 장애물을 인식하고 브레이크 페달을 밟기 시작하기 까지 최대한 허용할 수 있는 시간인, 여유 시간 이내에 전압변동을 완료하고 최초의 정상 전압으로 복귀하는 경우와 그렇지 않은 경우를 적용할 수 있는 2종류의 알고리즘을 다음과 같이 제시한다.

2.4.1 안전성 판별 알고리즘 1

- ㉠ 알고리즘 1은 전압변동 후 전압변동이 일어나기 전 최초의 정상전압으로 복귀하기 까지 걸리는 시간이 여유시간보다 길거나 정상전압으로 복귀하지 않고 그 이하의 전압으로 복귀하는 경우의 전압패턴에 적용된다.
- ㉡ 여유시간  $t_m$ 은 식 (4)에 의해서 계산할 수 있다.

$$t_m = (D - D_d) / v_1 \quad (4)$$

여기에서  $D_d$ 는 식 (1)에서의 정지거리이고,  $D$ 는  $L \times \theta$ 의 값이  $2.6 \times 10^{-4}$ [cd/m<sup>2</sup>·rad]이 되는 장애물의

위치이다.

- ㉢ 식 (1)로부터 장애물의 위협 없이 안전하게 정지하기 위한 거리  $D_d$ 를 계산한다. 이 때 계산한  $D_d$ 의 거리 이상에서  $L \times \theta$ 값은  $2.6 \times 10^{-4}$ [cd/m<sup>2</sup>·rad] 이상 이어야 한다.
- ㉣ 운전자와 장애물까지의 거리  $D$ 에 따른 운전자의 장애물에 대한 시각사이즈  $\theta$ 값은 다음의 식 (5)로 계산할 수 있다.

$$\theta = \tan^{-1} \frac{0.2}{D} \text{ [rad]} \quad (5)$$

- ㉤ 각각의 장애물 위치  $D$ 에서의 장애물 휘도  $L$ 은 장애물이 완전확산면일 때를 가정하면 식 (6)을 이용하여 구할 수 있다.

$$L = \frac{\rho E}{\pi} \times a \quad \text{[cd/m}^2\text{]} \quad (6)$$

여기에서 조도  $E$ 는 전조등의 전압이 13.6[V]일 때, 장애물의 거리  $D$ 에서의 연직면 조도이고,  $\rho$ 는 장애물의 반사율로서 0.2이다[3].  $a$ 는 전압변동에 따른 휘도비율로서 할로겐 전조등의 값을 표 6에 나타낸다. 할로겐전구가 아닌 다른 종류의 광원을 사용하는 경우는 전압에 따른 휘도감소를 측정하여 대입하여야 한다. 또한 동일한 종류의 할로겐전구이지만 정격 전압이 다른 경우에는 정격전압 일 때의 휘도비율을 1로 정의하고 정격 전압에 대한 하강전압의 비율을 표 6과 동일하게 하면 이에 따른 휘도비율을 표 6의 값으로 대체할 수 있다.

표 6. 전압크기에 따른 휘도비율(할로겐전구의 경우)  
Table 6. Luminance Ratio by Voltage Magnitude (in case of Halogen Lamp)

전압 [V]	13.6	13.4	13.2	13.0	12.8	12.6	12.4	12.2	12.0	11.5	11.0	10.5	10.0
전압 비율	1.000	0.985	0.971	0.956	0.941	0.926	0.912	0.897	0.882	0.846	0.809	0.772	0.735
휘도 비율	1.000	0.923	0.874	0.832	0.790	0.755	0.719	0.681	0.642	0.555	0.484	0.413	0.345

- ㉥ 그러므로 운전자 전방 장애물 위치  $D$ 에서 전압이 13.4[V], 13.2[V], 13[V], 12.8[V], 12.6[V],

12.4[V], 12.2[V], 12[V], 11.5[V], 11[V], 10.5[V], 10[V]로 변화할 때의 장애물의 휘도 또한 계산된다.

- ㉞ 전압패턴에 따라 시간에 따른 전압의 변화치를 계산하고, 그 시간에서의 장애물 위치를 찾는다.
- ㉟ 전압변동 시간과 장애물 출현시간을 일치시키고 장애물이 출현한 이후 각각의 위치에 대한  $L \times \theta$ 을 계산한다.
- ㊱  $D_a$  값 이상에서  $L \times \theta$ 의 값이  $2.6 \times 10^{-4} [\text{cd}/\text{m}^2 \cdot \text{rad}]$  이상이 되는가를 확인하여 안전성을 판별한다.

### 2.4.2 안전성 판별 알고리즘 2

- ㉠ 알고리즘 2는 여유시간  $t_m$  이내에 전압변동을 완료하고 전압변동이 발생하기 전 최초의 정상전압으로 복귀하는 전압패턴의 경우에 적용된다.
- ㉡ 전압변동이 없을 때의 기준 전압에 대해서 운전자와 장애물까지의 거리(D)에 따른  $L \times \theta$ 의 값을 계산한다.
- ㉢ ㉠의 과정에서  $L \times \theta$ 의 값이  $2.6 \times 10^{-4} [\text{cd}/\text{m}^2 \cdot \text{rad}]$  이상이 되는 장애물의 위치(D)를 구한다.
- ㉣ 식 (1)로부터 장애물의 위험 없이 안전하게 정지하기 위한 거리  $D_a$ 를 계산한다.
- ㉤ 차량이 주행하는 동안 장애물을 인식하여야 하는 여유시간( $t_m$ )을 식 (4)를 이용하여 구한다.
- ㉥ 차량의 전압변동이 발생하는 시간인  $\Delta t$  동안 운전자가 장애물을 인식하지 못한다고 가정하면,  $\Delta t$ 와 상대적 지연시간( $t_d$ )을 합한 시간은  $t_m$ 보다 작아야 한다. 그러므로  $\Delta t$ 의 허용치는 식 (7)로 결정할 수 있다.

$$\Delta t < (t_m - t_d) \tag{7}$$

- ㉦ 각 전압별 상대적 지연시간( $t_d$ )은 할로겐 전조등인 경우 식 (2)로부터 유도된 식 (8)로 결정할 수 있다.

$$t_d = b(v - v_0) + c(v^2 - v_0^2) \tag{8}$$

여기에서  $b = -0.8045$ ,  $c = 0.0285$  v : 전압하강이 일어나는 임의의 전압 [V],  $v_0$  : 전압변동이 일어나기 전의 기준 전압 [V]

### 3. 심리평가에 의한 한계값의 설정

다음 표 7은 각각의 전압파형에 대한 요인분석과 주관적 평가 결과를 정리한 것이다.

주관적 평가에서 임계전압이란 8가지의 질문에 대한 피험자의 응답을 각 질문에 대하여 가장 긍정적인 것부터 가장 부정적인 것까지 4~1의 점수를 부여하고 평균치를 계산한 다음, 평균값을  $V_b$ 에 따라 곡선으로 연결하였을 때 평균값이 “조금 느낌”에 해당하는 전압을 말한다.

표 7. 전압파형에 대한 요인분석과 주관적 평가결과  
Table 7. Primary Factor Analysis and Result of Subjective Estimation for Voltage Pattern

전압 패턴	SD법		주관적 평가		
	유의차	질문내용	질문 번호	임계전압 및 점수 분포	
A 안전감	13[V]와 12[V]-11[V]	장애물이 보였는가?	1	3점 이상	
		밝기 변화를 느꼈는가?	2	12[V]	
		어두워짐을 느꼈는가?	3	3점 이하	
		밝아짐을 느꼈는가?	4	3점 이하	
	13[V]와 11[V]	밝기의 변동에 따라 불편함을 느꼈는가?	5	3점 이하	
		연계 더욱 불편함을 느꼈는가?	6	밝음-어둠	
		눈 깜박임을 느꼈는가?	7	약 12[V]	
		실험 후 눈이 피곤함을 느꼈는가?	8	3점 이하	
B 안전감	13.4[V]와 12.6[V]-11[V]	장애물이 보였는가?	1	3점 이상	
		밝기 변화를 느꼈는가?	2	12.6[V]	
		어두워짐을 느꼈는가?	3	12.7[V]	
		밝아짐을 느꼈는가?	4	3점 이하	
		밝기의 변동에 따라 불편함을 느꼈는가?	5	12.1[V]	
		연계 더욱 불편함을 느꼈는가?	6	밝음-어둠	
		눈 깜박임을 느꼈는가?	7	3점 이하	
		실험 후 눈이 피곤함을 느꼈는가?	8	3점 이하	
C 안전감	13[V]와 11[V]	장애물이 보였는가?	1	3점 이상	
		밝기 변화를 느꼈는가?	2	12.3[V]	
		어두워짐을 느꼈는가?	3	3점 이하	
		밝아짐을 느꼈는가?	4	12.3[V]	
		밝기의 변동에 따라 불편함을 느꼈는가?	5	3점 이하	
		연계 더욱 불편함을 느꼈는가?	6	밝음-어둠	
		눈 깜박임을 느꼈는가?	7	3점 이하	
		실험 후 눈이 피곤함을 느꼈는가?	8	3점 이하	

피험자의 응답에 부여한 점수는 “많이 느낌”에는 4점, “조금 느낌”에는 3점, “느끼지 않음”에는 2점, “전혀 느끼지 않음”에는 1점을 부여하였으므로 “조금 느낌”에 해당하는 임계전압의 점수는 3점이 된다. 그리고 3점 이상이 되는 전압부터 전조등의 밝기 변화로 인하여 피험자가 영향을 받기 시작하므로 이 임계전압을 각 전압 패턴의 한계값으로 설정하였다.

그리고 표 7에서 3점 이상, 3점 이하라는 의미는 각 파형의  $V_b$ 의 크기와 상관없이 피험자의 평균 점수가 모두 3점 이상이 되거나, 3점 이하가 되는 경우이다.

또한 SD 법에 의한 전압별 유의차는 피험자에게 어떠한 전압이 긍정적인 것인지를 알 수 없으므로 한계값으로 적용하기 어렵다.

### 3.1 패턴 A

표 7의 패턴 A에서 주관적 평가를 보면 전조등의 밝기 변화가 13.6[V]에서 12[V]로 변화할 때 피험자가 전조등의 밝기 변화를 느끼기 시작하고, 눈의 깜박임이 시작되므로  $V_b$ 의 한계값은 12[V]로 규정한다.

### 3.2 패턴 B

표 7을 보면 2번 질문의 밝기 변화에 대한 질문에 대해서는  $V_b$ 가 12.67[V]일 때 피험자의 평균 점수가 3점이었고, 3번의 어두워짐에 대한 질문에서는  $V_b$ 가 12.71[V]일 때, 5번의 밝기 변동에 따른 불쾌감의 질문에 대해서는 12.12[V]일 때이었다. 즉, 패턴 B에서 전조등의 밝기변화를 느끼기 시작하는 전압은 12.67[V]이고, 어두워짐을 느끼기 시작하는 전압은 12.71[V]로 거의 일치하며, 밝기 변동에 의한 불쾌감을 일으키는 전압은 12.12[V]임을 알 수 있다.

따라서 패턴 B의  $V_b$ 에 대한 한계값은 불쾌감과 밝기 변화 모두를 위한 한계치로서는 12.12[V], 불쾌감은 느끼지만 밝기변화만을 위한 한계값은 12.7[V]로 규정할 수 있다.

### 3.3 패턴 C

주관적 평가의 밝기 변화를 느꼈느냐? 와 밝아짐을 느꼈느냐? 는 질문에  $V_b$ 는 각각 12.31[V], 12.39[V]이다.

따라서 패턴 C의  $V_b$  한계값은 12.31[V]로 규정한다.

## 5. 결 론

시인성 측정에 의한 한계값 중 A파형에 대한 항목만을 제외한 B파형, 비대칭 A파형, 일반적 상황에서의 한계값 모두는 장애물의 크기(눈에 대하여 이루는 각도)와 밝기(휘도)의 곱이 일정한 값에 이르면 운전자가 발견할 수 있다는 원리에 근거한 것이다, 이 값을 계산하면 운전자가 최초 장애물을 인식하였을 때의 장애물의 휘도(L)×운전자의 장애물에 대한 시각 사이즈( $\theta$ ), 즉  $L \times \theta$ 의 값은 본 실험을 통하여  $2.6 \times 10^{-4} [cd/m^2 \cdot rad]$ 인 것으로 확인 되었다.

향 후 장애물의 크기, 장애물의 휘도 및 노면 휘도, 대비 등을 보다 엄격히 통제하는 모의실험을 행하여, 운전자가 인식한 장애물의 밝기와 그 때의 장애물 크기에 대한 값이 얼마인지 확인할 필요가 있으며, 또한 이 값이 다양한 전조등의 조도분포 패턴과 함께 다양한 광원의 종류 즉, 할로젠전구, 메탈할라이드 램프, LED 등에 무관하게 적용할 수 있을 것인지에 대한 연구도 필요할 것이다.

본 연구는 (주)NGV의 사업지원에 의해서 수행되었습니다.

## References

- (1) OE, "Fundamentals of The Visual Task of Night Driving" Technical Report, Pub No.100, pp. 33~40.
- (2) OE, "Calculation and Measurement of Luminance and Illuminance in Road Lighting", Technical Report , Pub 30-2, 1982, 2/e.
- (3) 日本照明學會, "道路照明のビツピリテイレベルに關する 研究調査委員會報告書", 2002年 3月, pp.10.



◇ 저자소개 ◇

**김기훈 (金紀勳)**

1970년 4월 24일생. 1997년 2월 강원대학교 공과대학 전기공학과 공학사 졸업. 1999년 2월 강원대학교 일반대학원 전기공학과 졸업(석사). 2006년 8월 강원대학교 일반대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 한국광기술원 LED/반도체조명연구사업부 반도체조명기술센터 선임연구원.

**김현지 (金珉志)**

1968년 6월 8일생. 2000년 영남대학교 대학원 가정학과 주생활전공(이학박사). 현재 영남대학교 가족주거학과 객원교수.

**안옥희 (安玉姬)**

1961년 11월 28일생. 일본 나라여자대학교 생활환경학 전공(학술박사). 현재 영남대학교 가족주거학과 교수.

**임태영 (林泰榮)**

1966년 1월 15일생. 1992년 한양대 공과대학 기계공학과 졸업. 현재 현대자동차 연구개발총괄본부 선임연구원.

**민재웅 (閔載雄)**

1976년 3월 11일생. 2002년 건국대 공과대학 전기전자공학부 졸업. 현재 현대자동차 연구개발총괄본부 연구원.

**임준채 (林俊采)**

1972년 12월 15일생. 2001년 서울대 공과대학 전기공학부 졸업(석사). 현재 엔지비(NGV) 기술개발팀 과장.

**강병도 (姜秉道)**

1959년 10월 15일생. 2006년 경희대 기계공학과 졸업(박사). 현재 자동차성능시험연구소 책임연구원.

**김 훈 (金 勳)**

1958년 8월 6일생. 1981년 2월 서울대학교 공과대학 전기공학과 졸업. 1983년 2월 서울대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1988년 2월 서울대학교 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 강원대학교 전기전자공학부 교수.