

전조등 조도변동에 대한 운전자의 인식연구 :

5. 조도변동 기준 및 평가 알고리즘 개발

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

김 기훈* · 김 현지** · 안 옥희** · 임 태영*** · 민 재웅*** · 임 준재**** · 강 병도***** · 김 훈*

(*강원대학교 전기전자공학부 · **영남대학교 가족주거학, · ***현대·기아연구개발본부
· ****(주)NGV · *****자동차성능시험연구소)

(Gi-Hoon Kim · Hyun-Ji Kim · Ok-Hee An · Tae-Young Lim · Jae-Woong Min ·
Jun-Chae Lim · Byung-Do Kang · Hoon Kim)

Abstract

전조등의 밝기 변동에 대한 운전자의 시인성 및 뇌파측정, 심리평가를 행하고 이를 바탕으로 전조등 밝기변화의 한계값과 운전자의 안전성을 고려한 평가 알고리즘을 개발하였다. 전조등의 밝기 변화 한계치는 심리평가의 설문지 작성을 통한 주관적 평가를 바탕으로 밝기 변화, 눈 깜박임, 불편감 등에 대한 한계값을 제시하였다. 그리고 뇌파측정을 바탕으로 정신적, 시각적 스트레스에 대한 한계값을 제시하였으며, 운전자의 시인성 측정을 바탕으로 차량을 장애물의 위협 없이 안전하게 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.

1. 서 론

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

전조등의 밝기 변동에 대한 운전자의 시인성 및 뇌파측정, 심리평가를 행하고 이를 바탕으로 전조등 밝기변화의 한계값과 운전자의 안전성을 고려한 평가 알고리즘을 개발하였다. 전조등의 밝기 변화 한계치는 심리평가의 설문지 작성을 통한 주관적 평가를 바탕으로 밝기 변화, 눈 깜박임, 불편감 등에 대한 한계값을 제시하였다. 그리고 뇌파측정을 바탕으로 정신적, 시각적 스트레스에 대한 한계값을 제시하였으며, 운전자의 시인성 측정을 바탕으로 차량을 장애물의 위협 없이 안전하게 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.

여기에서 D_d = 감속거리[m], v_1 =초기속도[m/sec]
 v_2 =원하는속도[m/sec], t_r =반응시간 (1.5[sec]로 가정),
 d =감속율(2[m/sec²]로 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[km/h]로 가정하여 실험하였으므로, $v_1=16.67$ [m/sec]가 되고 v_2 는 차량이 정지하기까지이므로 0[m/sec]가 된다. 이 값을 위 식에 대입하면 차량이 정지하기까지의 이동거리는 69.47[m]이 된다. 따라서 운전자는 적어도 장애물 전방 70[m]의 거리에서 장애물을 보고 판단하여 브레이크 페달을 밟기 시작하여야 한다.

이것은 본 실험에서 장애물을 운전자 전방 170[m]에서 출현시켰고 차량속도는 16.67[m/sec]로 가정하였기 때문에 본 실험에서 피험자가 브레이크를 밟기 시작하기까지의 시간은 6[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.

2. 시인성 측정에 의한 한계값의 설정

2.1 전압패턴 B

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

표 1. 패턴 B에 대한 피험자 장애물 인식의 상대적 반응시간에 따른 차량이동 거리

전압[V]	13.6	13.4	13	12.6	12	11.5	11
회도 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 이동거리[m]	0.000	1.27	6.08	9.03	13.18	18.83	21.88

표 1의 상대적 반응시간의 기준이 되는 전압파형은 O패턴의 Vb가 13.6[V]인 이상적인 경우이고 그 때의 피험자 반응시간은 장애물 출현 이후 5.424[sec]이다. 따라서 상대적 반응시간은 0.576 (6-5.424) [sec]이하 이어야 한다. 그리고 표 1에서 0.576[sec]이하가 되는 상대적 지연 시간은 12.6[V]의 0.542[sec]이므로 B패턴에서 전압변동 시간이 2[sec]일 때 Vb의 한계값은 12.6[V]로 규정한다.

그리고 표 2는 피험자가 장애물을 인식한 순간의 장애물 회도와 장애물에 대한 운전자의 시각사이즈를 나타내고 있고 그림 1은 피험자가 인식한 장애물의 회도 값과 그 때의 장애물에 대한 운전자의 시각사이즈를 곱한 값을 Vb에 따라 나타내고 있다.

표 2. 피험자가 장애물을 인식하였을 때의 장애물 회도 및 장애물에 대한 운전자의 시각 사이즈

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 도로 상의 거리(d)[m]	82.6	86.3	91.5	95.5	98.5	103.3
인식한 장애물에 대해 운전자의 시선이 이루고 있는 시각 사이즈(θ)[rad]	2.4×10^{-3}	2.3×10^{-3}	2.2×10^{-3}	2.1×10^{-3}	2.0×10^{-3}	1.9×10^{-3}
인식한 장애물의 회도 (L)[cd/m ²]	0.1064	0.1118	0.1142	0.1241	0.1283	0.1296
장애물의 대한 시각사이즈(θ)×장애물 회도 (L)	2.6×10^{-4}	2.6×10^{-4}	2.5×10^{-4}	2.6×10^{-4}	2.6×10^{-4}	2.5×10^{-4}

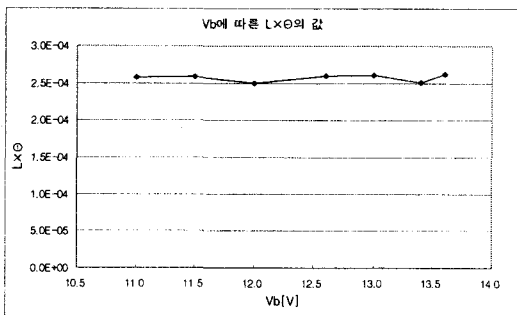


그림 1. Vb에 따른 피험자가 인식한 장애물의 L×θ의 변화

그림 1을 보면 피험자가 인식한 L×θ의 값은 Vb에 따라서 매우 일정하고 그 값은 $2.6 \times 10^{-4} [cd/m^2 \cdot rad]$ 이다. 그러므로 B파형의 전압패턴에서 운전자가 장애물을 인식하고 안전하게 정지하기 위해서는 Vb가 12.6[V]이상이어야 하고, 이때 피험자가 인식한 L×θ의 값은 $2.6 \times 10^{-4} [cd/m^2 \cdot rad]$ 이상이 되어야 한다.

2.2 전압패턴 A

그림 2의 1차 시인성 측정값을 보면 피험자의 반응시간은 Vb가 증가함에 따라 단축되고는 있으나 패턴 B만큼 차이가 나지는 않는다.

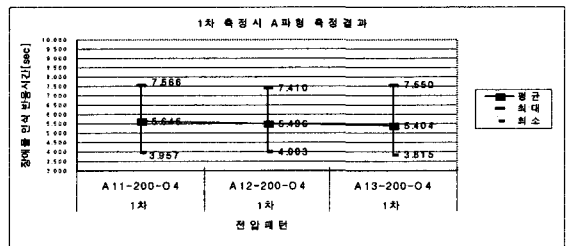


그림 2. 1차 측정시의 전압패턴 A의 측정결과

그러나 그 값을 자세히 살펴보면 Vb가 13[V]일 때는 5.404[sec], 12[V]일 때는 5.496[sec], 11[V]일 때는 5.645[sec]이다. 그러므로 본 실험측정시의 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 x에 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 Δt 동안에 운전자가 장애물을 인식할 수 없다고 가정하면, Δt와 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. 그리고 그림 3은 패턴 A에서의 Vb에 따른 전압변동 허용시간의 변화를 보여주고 있다.

표 3. 팩턴 A의 Vb에 따라 추천되는 Δt값의 변화

Vb [V]	피험자 반응시간 (t1)	상대적 지연시간 (t2)	전압 변동 허용시간 (Δt) (0.576-t2)
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	

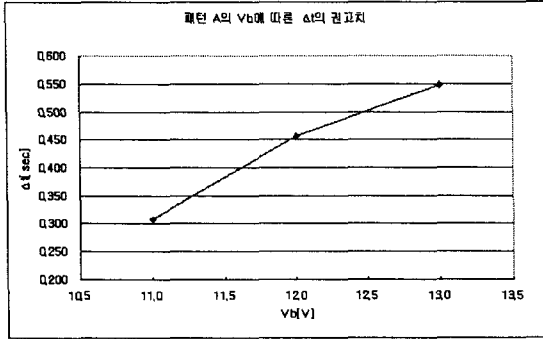


그림 3. 팩턴 A의 Vb에 따른 Δt 권고치의 변화

2.3 비대칭 형 전압팩턴 A

다음 그림 4는 전압 하강시간과 전압 상승시간이 서로 다른 A형 전압 팩턴을 나타내고 있다. 즉 그림에서 t1과 t2가 서로 다르고 전압변동 전체 시간 Δt는 비교적 긴 시간인 3[sec]이다.

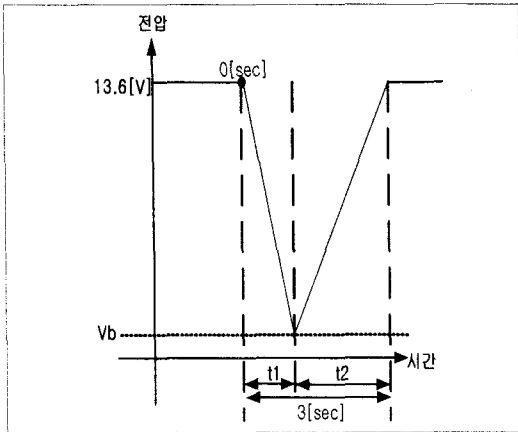


그림 4. 비대칭형 전압팩턴 A

다음의 그림 5는 그림 4와 같은 비대칭형 전압팩턴에서 t1이 500[msec]이고, t2가 2500[msec], Vb가 11[V]까지 하강할 때의 전압변동을 나타내고 있으며, 그림 6은 그림 5와 같이 전압이 변동할 때 1500[msec]이하에서의 L×θ의 변화를 나타내고 있다.

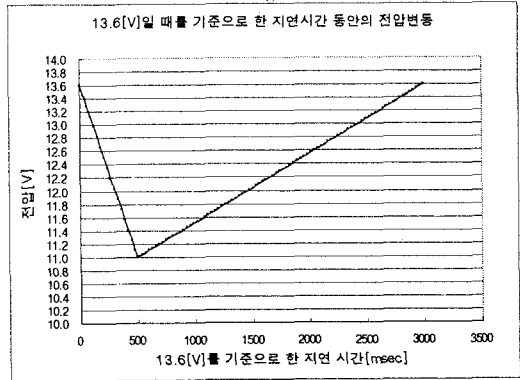


그림 5. 13.6(V)에서 전압하강 시점을 기준으로 한 지연시간 동안의 전압변동(Vb=11(V))

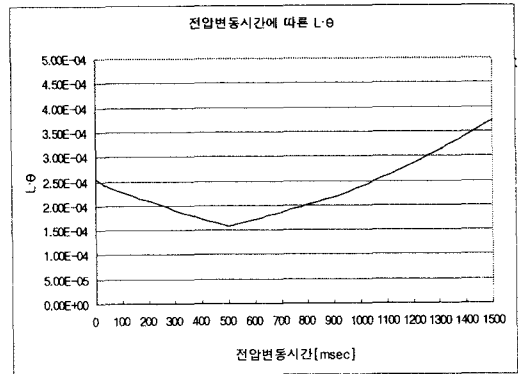


그림 6. 1,500(msec) 이하 전압변동 시간 동안의 L×θ의 변화(Vb=11(V))

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

비대칭형 전압팩턴 A에서는 이와 같이 Vb의 크기와 전압변동 시간에 따라서 장애물이 보이는 L×θ는 다르게 나타난다.

그러므로 표 4와 같이 Vb의 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, Vb가 11[V]이고 t1이 500[msec]일 때는 전압하강 직후 1,080[msec] 동안은 장애물을 인식할 수 없고, Vb가 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 4. 비대칭 형 전압 패턴 A에서의 장애물 인식 가능 시간(단위: (msec))

Vb t1	11	11.2	11.4	11.6	11.8	12	12.2	12.4	12.6	12.8	13	13.2
100	990	939	885	823	760	696	630	570	504	433	360	270
200	1020	960	907	846	780	714	647	581	515	444	365	277
300	1027	979	930	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	450	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	600	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	390	300	210	0	0	0	0	0	0	0
1500	540	390	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

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 값에 Vb에 따라 정리하면 표 5와 같고 그림 7은 Vb의 크기에 따른 t1 추천값의 변화를 나타내고 있다.

표 5. Vb 크기에 따른 t1 추천값(단위:(msec))

Vb [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			

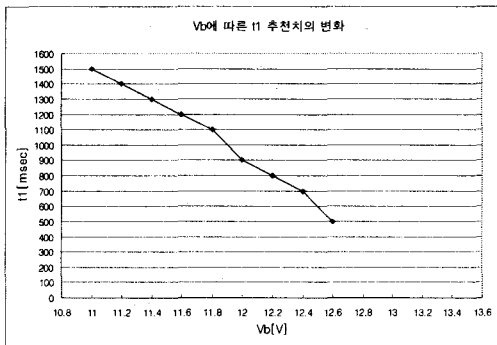


그림 7. Vb의 크기에 따른 t1 추천값의 변화

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 규정

이 될 수는 없다. 따라서 모든 전조등의 성능을 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 $2.6 \times 10^{-4} [cd/m^2 \cdot rad]$ 이어야 한다. 여기에서 95[m]에 대한 운전자의 장애물에 대한 시각사이즈는 $2.1 \times 10^{-3} [rad]$ 이므로 이때의 장애물의 휘도는 $0.124 [cd/m^2]$ 이다. 그리고 장애물이 완전확산면 일 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.

$$t_m = (D - D_0) / v_1 \quad (4)$$

여기에서 D_0 는 식 (1)에서의 정지거리이고, D는 $L \times \theta$ 의 값이 $2.6 \times 10^{-4} [cd/m^2 \cdot rad]$ 이 되는 장애물의 위치이다.

㉢ 식 (1)로부터 장애물의 위협 없이 안전하게 정지하기 위한 거리 D_0 를 계산한다. 이 때 계산한 D_0 의 거리 이상에서 $L \times \theta$ 값은 $2.6 \times 10^{-4} [cd/m^2 \cdot rad]$ 이상이어야 한다.

㉣ 운전자와 장애물까지의 거리 D에 따른 운전자의 장애물에 대한 시각사이즈 θ 값은 다음의 식 (5)로 계산할 수 있다.

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

㉠ 각각의 장애물 위치 D에서의 장애물 휘도 L은 장애물이 완전확산면일 때를 가정하면 식(6)을 이용하여 구할 수 있다.

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

여기에서 조도 E는 전조등의 전압이 13.6[V]일 때, 장애물의 거리 D에서의 연직면 조도이고, ρ는 장애물의 반사율로서 0.2이다[3]. α는 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 휘도비율 값을 표 6의 값으로 대체할 수 있다.

표 6. 전압크기에 따른 휘도비율(할로겐전구의 경우)

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	0.983	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 D에서 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.

㉢ 전압패턴에 따라 시간에 따른 전압의 변화치를 계산하고, 그 시간에서의 장애물 위치를 찾는다.

㉣ 전압변동 시간과 장애물 출현시간을 일치시키고 장애물이 출현한 이 후 각각의 위치에 대한 $L \times \theta$ 을 계산한다.

㉤ D_d 값 이상에서 $L \times \theta$ 의 값이 $2.6 \times 10^{-4} \text{ [cd/m}^2 \cdot \text{rad]}$ 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 $2.6 \times 10^{-4} \text{ [cd/m}^2 \cdot \text{rad]}$ 이상이 되는 장애물의 위치(D)를 구한다.

㉣ 식 (1)로부터 장애물의 위협 없이 안전하게 정지

하기 위한 거리 D_d 를 계산한다.

㉤ 차량이 주행하는 동안 장애물을 인식하여야 하는 여유시간(t_m)을 식 (4)를 이용하여 구한다.

㉥ 차량의 전압변동이 발생하는 시간인 Δt 동안 운전자가 장애물을 인식하지 못한다고 가정하면, Δt 와 상대적 지연시간(t_d)를 합한 시간은 t_m 보다 작아야 한다. 그러므로 Δt 의 허용치는 식 (7)로 결정할 수 있다.

$$\Delta t < (t_m - t_d) \quad (7)$$

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

$$t_d = b(v - v_0) + c(v^2 - v_0^2) \quad (8)$$

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 5.7은 각각의 전압파형에 대한 요인분석과 주관적 평가 결과를 정리한 것이다.

표 5.8 각 전압파형에 대한 요인분석과 주관적 평가 결과

전압 패턴	SD별		주관적 평가	
	요인명	유의차	질문내용	질문 변화 임계전압 및 점수분포
A 안전 전압 감	13[V]와 12[V] ~ 11[V]	자극 감	장애물이 보였는가?	1 3점 이상
			발기 변화를 느꼈는가?	2 12[V]
			어두워짐을 느꼈는가?	3 3점 이하
	13[V]와 11[V]	자극 감	밝아짐을 느꼈는가?	4 3점 이하
			발기의 변동에 따라 불쾌함을 느꼈는가?	5 3점 이하
			언제 더욱 불쾌함을 느끼는가?	6 밝음→어둠
B 안전 전압 감	13.4[V]와 12.6[V] ~ 11[V]	안전 전압 감	눈 깜박임을 느꼈는가?	7 약 12[V]
			실현 후 눈이 피곤함을 느꼈는가?	8 3점 이하
			장애물이 보였는가?	1 3점 이상
	13.4[V]와 12.6[V] ~ 11[V]	안전 전압 감	발기 변화를 느꼈는가?	2 12.67[V]
			어두워짐을 느꼈는가?	3 12.71[V]
			밝아짐을 느꼈는가?	4 3점 이하
C 안전 전압 감	13.4[V]와 11[V]	안전 전압 감	발기의 변동에 따라 불쾌함을 느꼈는가?	5 12.12[V]
			언제 더욱 불쾌함을 느끼는가?	6 밝음→어둠
			눈 깜박임을 느꼈는가?	7 3점 이하
	13.4[V]와 11[V]	안전 전압 감	실현 후 눈이 피곤함을 느꼈는가?	8 3점 이하
			장애물이 보였는가?	1 3점 이상
			발기 변화를 느꼈는가?	2 12.31[V]
13.4[V]와 11[V]	안전 전압 감	어두워짐을 느꼈는가?	3 3점 이하	
		밝아짐을 느꼈는가?	4 12.39[V]	
		발기의 변동에 따라 불쾌함을 느꼈는가?	5 3점 이하	

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 말

한다. 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 임계 전압을 각 전압 패턴의 한계값으로 설정하였다.

그리고 표 5.30에서 3점 이상, 3점 이하라는 의미는 각 파형의 Vb의 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 5.30의 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 Vb의 한계값은 12[V]로 규정한다.

3.2 패턴 B

표 5.30을 보면 2번 질문의 밝기 변화에 대한 질문에 대해서는 Vb가 12.67[V]일 때 피험자의 평균 점수가 3점이었고, 3번의 어두워짐에 대한 질문에서는 Vb가 12.71[V]일 때, 5번의 밝기 변동에 따른 불편감의 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 불편감을 일으키는 전압은 12.12[V]임을 알 수 있다.

따라서 패턴 B의 Vb에 대한 한계값은 불편함과 밝기 변화 모두를 위한 한계치로서는 12.12[V], 불편함은 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 Vb는 각각 12.31[V], 12.39[V]이다.

따라서 패턴 C의 Vb 한계값은 12.31[V]로 규정한다.

4. 뇌파측정에 의한 한계값 설정

전조등 뇌파측정 결과 및 분석을 종합하여 다음과 같

은 한계값을 제시한다. B파형의 전조등 전압변동은 바람직하지 않고 A파형은 500[msec] 미만 시간 내에 회복되는 전압변동은 무시해도 된다. 또한 전조등의 전압 보다는 전압변동시간에 따른 영향이 크므로 전압변동시간이 500[msec] 이상이 되지 않도록 하고 B파형은 전압 변동이 일어날 때(저하 또는 회복)에 뇌파가 각성하므로 전압변동의 시간은 가능한 짧을수록 좋다.

B파형은 11.5[V]를 기준으로 그 이상의 경우에는 유의차가 적으나 11.5[V] 이하가 되면 거의 대부분 유의차가 나타나므로 11.5[V] 이하로 전압변동이 생기면 안 된다. 즉 같은 전압변동이라 하더라도 전압변동에 걸리는 시간이 짧으면 각성되는 정도가 작다.

또한 뇌파맵을 분석한 결과, A파형은 정신적 스트레스를 주고 B파형은 정신적, 시각적 스트레스를 제공한다. 특히 B파형의 11.5[V] 이하에서 정신적, 시각적 스트레스를 많이 받고 있으며, 자극시간이 긴 것은 스트레스를 증가시킨다는 것을 알 수 있다.

5. 결론

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(θ), 즉 L×θ의 값은 본 실험을 통하여 $2.6 \times 10^{-4} [\text{cd/m}^2 \cdot \text{rad}]$ 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, 할로겐전구, 메탈할라이드 램프, LED 등에 무관하게 적용할 수 있을 것인지에 대한 연구도 필요할 것이다.

본 연구는 (주)NGV의 사업지원에 의해서 수행되었습니다.

참고 문헌

- [1] OE, "Fundamentals of The Visual Task of Night Driving" Technical Report, Pub No.100, pp. 33-40(1)
- [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, "道路照明的のビズビリティレベルに関する研究調査委員會報告書", 2002年 3月, pp10
- [4] ハンス-ユルゲン ヘンシェル, "光と照明 光工学の理論と實際", 日本理工出版會, 1999, 4/e, pp. 215~264