

# 전조등 조도변동에 대한 운전자의 인식연구 :

## 1. 실험조건 설정을 위한 선행연구

(A Study on Driver's Perception over the Change of the Headlamp's Illuminance :

1. Preceding Study for Experimental Condition Set-up)

김 기훈\* · 이 창모\* · 김 현지\*\* · 안 옥희\*\* · 김 훈\*

(\*강원대학교 전기전자공학부 · \*\*영남대학교 가족주거학)

(Gi-Hoon Kim · Chang-Mo Lee · Huyn-Ji Kim · Ok-Hee An · Hoon Kim)

### Abstract

야간 운전시 전조등의 밝기 변동에 대한 운전자의 인식 연구를 위하여 먼저 실내 실험실을 설계 및 구축하고 전조등의 순간적인 밝기 변동과 피험자의 뇌파 측정을 위한 시스템을 구축하였다. 실내 실험실의 설계를 위해 야간 운전시 전조등에 의한 운전자의 순응휘도를 먼저 결정한 후, 순응휘도를 바탕으로 실내 실험실의 바닥면, 수직벽, 측벽 등의 반사율을 계산하고, 실내 실험실의 수직벽 상에 출현할 장애물의 크기와 밝기를 계산하였다. 또한 피험자의 뇌파 측정을 위해서는 32개의 뇌파 측정 채널과 1개의 트리거 채널을 지니고 있는 WEEG-32를 사용하였고, 전조등의 순간적인 전압 변동을 위해서는 HP 6032-A를 사용하였다. 또한 HP 6032-A와 WEEG-32를 제어하기 위한 콘트롤러를 제작하였고 본 실험에 들어가기 전 예비실험을 행하여 실험 시간, 피험자 휴식 시간, 구체적 실험 순서, 전조등의 전압변화 패턴, 장애물 경로 등을 결정하였다.

### 1. 서 론

야간 도로에서 좋은 시인성을 확보하는 것은 운전자, 보행자 등, 도로 이용자의 안전성을 확보하는데 있어서 매우 중요한 일이다. 그러나 자동차에 사용되는 각종 장치의 용량이 증대함에 따라 여름의 에어컨 사용과 같이 차량 내의 전기적 부하가 증대하면 전조등의 밝기가 급격히 변화하는 현상이 발생하고 있다. 이러한 전조등 밝기의 변화는 운전자가 차량 전방에 있는 타 차량, 장애물, 도로 선형 등을 파악하는데 문제가 될 수 있고, 운전자에게 심리적 불쾌감, 정신적, 시각적 스트레스를 제공할 수 있다.

이와 같이 전조등의 밝기 변화가 운전자의 장애물 인식 능력을 저하시키고, 운전자에게 불쾌감과 스트레스를 제공한다면 전조등의 밝기 변화는 운전자 및 보행자의 안전에 위협이 될 수 있다. 따라서 전조등의 밝기 변동에 대한 운전자의 심리적, 생리적, 시각적 능력을 측정하고 평가함으로써 전조등의 밝기 변화가 운전자에게 어떠한 영향을 미치는지 연구할 필요가 있다.

### 2. 휘도계수(L/E)의 계산 및

#### 순응휘도의 결정

CIE Technical Report Pub No CIE 30-2에 규정된 아스팔트 및 콘크리트 표준노면에 대한 휘도계수(L/E) 표에서 제시된 가로등과 노면 측정점에 대한  $\beta$ 각과  $\gamma$ 각

은 그림 1과 같이 정의되고, 휘도계수 k는 식 (1)과 같이 정의된다[1].

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

여기에서 k : 휘도계수, L: 측정점의 휘도,  
E : 측정점의 조도

가로등의 노면 측정점에 대한 각도  $\beta$ 와  $\gamma$ 를 전조등에 대하여 적용하여 보면,  $\beta$ 와  $\gamma$ 각의 범위는  $\tan\gamma$ 가 10.0 이상,  $\beta$ 각이 80도 이상인 각도이다. 그러나 CIE에서 제시하는 표준노면의 휘도계수 값을 보면 이러한 전조등의 각도 범위에 해당되는  $\beta$ 와  $\gamma$ 각에 대한 데이터는 제공되고 있지 않다. 따라서 전조등에 해당하는 휘도계수(L/E) 값을 구하기 위해 CIE에서 제공되지 않는 영역의 데이터를 외삽법으로 구하였다.

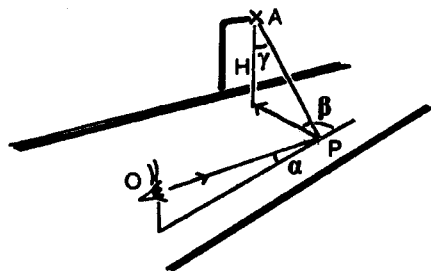


그림 1.  $\beta$ 각과  $\gamma$ 각의 정의(1)

이와 같이 휘도 계수(L/E)를 계산하고 주어진 전조등

의 배광 파일로부터 Lumen-micro를 이용하여 양측 전조등에 의한 노면의 수평면 조도분포를 계산한 다음 이 값을 휘도계수 값에 곱하여 운전자의 순응휘도를 계산하였다. 그림 2는 도로폭과 길이방향에 양측 전조등의 등조도 곡선을 나타내고 있고, 그림 3은 아스팔트 노면에서의 도로폭과 길이방향에 대한 양측 전조등의 등휘도 곡선을 나타내고 있다.

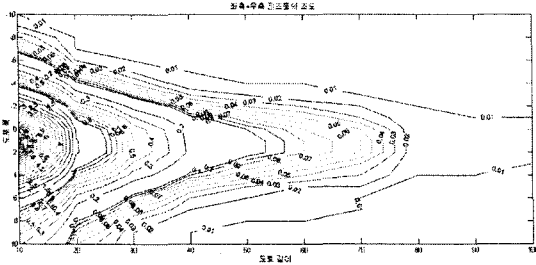


그림 2. 차량의 양측 전조등에 의한 등조도 곡선

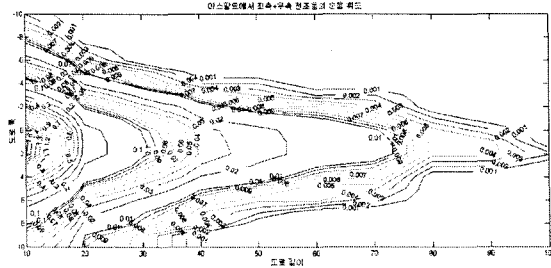


그림 3. 아스팔트 표준 노면에서의 양측 전조등에 의한 등휘도 곡선

### 3. 실험실 설계

#### 3.1 실내실험실 벽면의 반사율

실험실 바닥면의 조도가 균일하고, 바닥 재질이 완전 확산반사를 한다고 가정하면 앞에서 구한 표준 휘도분포 패턴을 모의하는 바닥면의 반사율 분포를 구할 수 있다. 즉 바닥면이 완전 확산면일 때 식 (2)가 성립된다.

$$L = \frac{\rho E}{\pi} \quad (2)$$

여기에서  $L$ : 임의의 한 점의 휘도,  $\rho$ : 휘도 측정점의 노면 반사율,  $E$ : 휘도 측정점의 조도이다.

휘도계수 값은  $L/E$ 이고, 그 값을 이미 계산하여 알고 있으므로 실험용 광원으로 표준적인 전조등을 사용하고, 좌우 전조등에 대해서 달라지는 휘도계수의 차이가 그다지 크지 않다면 휘도계수 값에  $\pi$ 를 곱하여 바닥면의 반사율을 결정할 수 있다. (벽면의 경우는 예외임)

그림 4는 실험실 내 바닥면의 등반사율 곡선이다.

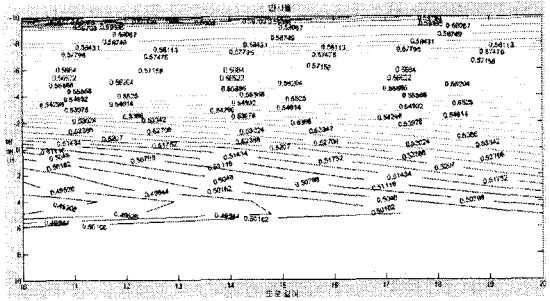


그림 4. 실험실 내 도로부 바닥면(0~20(m))의 등반사율 분포

실험실내 바닥면의 도로부와 이어지는 수직 벽면 및 측벽은 실제 주행 시 운전자가 응시하는 원거리의 도로부에 해당한다. 실험실의 크기에 따라 다르겠지만, 시험자의 눈높이가 1.2[m]이고 실험실 전면 모서리까지의 거리가 20[m]인 경우, 운전자 전방 100[m] 위치는 벽면 0.96[m]의 높이에 해당한다. 또한 차선의 폭도 바닥면보다는 급격하게 좁아져서 운전자 전방 100[m] 위치에 해당되는 벽면 0.96[m] 높이에서는 0.72[m]의 폭으로 되어야 한다. 전조등으로 조명된 벽면의 조도는 수평면보다도 매우 높아지게 되므로 이를 반영해서 벽면의 반사율은 감소시켜야 한다. 즉, 수직 벽면의 조도가 해당되는 노면의 조도보다 10배 높은 경우, 실제 노면의 반사율보다도 1/10 낮은 반사율의 도장을 행하여야 하며, 이는 실제 실험실 구성 과정에서 계속 확인하여야 할 것이다.

그림 5는 20[m]전방의 수직벽에서 0~1.2[m]까지 높이의 연직면 등조도 곡선이고 수직벽 0[m]에서 1.2[m]의 높이는 도로 길이 방향으로 20[m]에서 무한대의 거리에 해당된다.

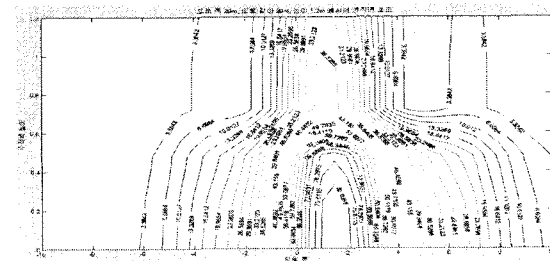


그림 5. 운전자 20(m) 전방 수직벽 상의 연직면 등조도 곡선

실험실 천정면 및 뒤쪽 벽면은 외광이 없는 상황에서의 야간 운전을 모의하여야 하므로 반사율이 0인 흑색의 무반사 확산 페인트로 처리하기로 하였다.

#### 3.2 전조등

실내 전반에 걸쳐 일정한 조도를 내도록 하는 광원을

설치하여, 이를 디밍 시키는 것이 매우 어려우므로, 실제의 전조등을 사용하고 모의 차량에 일반 차량의 설치 위치와 동일한 위치에 설치한다. 또한 시인성 실험 시 전조등의 밝기를 변화시킬 수 있도록 전조등의 입력 전압을 순간적으로 변환시킬 수 있는 전압 변환장치가 요구된다.

### 3.3 장애물

#### 3.3.1 크기

하향 전조등의 경우 50[m]~60[m] 거리에서 20[cm]×20[cm]의 장애물을 식별할 수 있어야 한다[2]. 일반적으로 시대상물은 보이는 크기가 작을수록 시인하기 어렵지만 그 치수가 위의 크기보다 작다면 그것을 시인할 수 없더라도 자동차의 안전 주행에 지장을 초래하지는 않는다. 따라서 한계대상물이라는 관점에서 시대상물의 치수는 노면과 자동차의 차체 최하부의 거리인 「최저지상높이」에 가까운 값이 되므로 한 변 20[cm]의 정방형으로 한다. 실내 실험실에서 전방 60[m]에서의 장애물의 크기 20[cm]×20[cm]를 식별해야 하는 실험은 실내 실험실 내에서 장애물과 운전자의 거리가 20[m]일 경우 장애물이 보이는 한 변의 길이는 6.67[cm]이고 운전자는 이러한 장애물의 크기를 인식할 수 있어야 한다.

#### 3.3.2 크기 변화와 장애물의 위치

실제 실험은 실내에서 정지 상태에서 이루어지기 때문에 차량의 이동 속도를 고려하여 장애물의 크기는 차량의 이동에 따라서 점점 커지는 형태로 그 크기를 변화시켜야 한다. 실제 상황에서 차량의 이동 속도가 60[km/h]라고 가정한다면 1초에 16.67[m] 전진한다.

다음의 그림 6은 장애물과 운전자와의 실제 거리가 10[m]씩 증가함에 따라 운전자 전방 20[m]의 벽면에 나타나야 하는 장애물 한 변의 길이의 변화를 나타내고 있다.

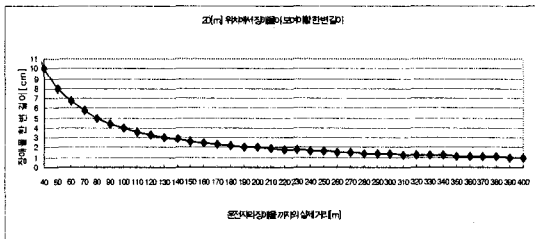


그림 6. 운전자와 장애물까지의 거리 변화에 따른 전방 20[m] 수직벽 면상의 장애물 한 변의 길이

자동차가 60[km/h]의 속도로 주행한다고 가정하였을 때 자동차가 10[m] 전진하는데 소요되는 시간은 0.6[sec]이며 이 비율로 그림 6과 같이 장애물의 크기가 연속적으로 변화되어야 한다.

#### 3.3.3 크기 변화 방식

장애물 크기 변화 장치는 장애물의 형태, 위치, 밝기를 맞추어 이를 벽면에 나타낼 수 있도록 PC에서 프로그램으로 제작하고 빔 프로젝터로 실험실 수직벽면에 투사시킨다. 또한 장애물의 출현 위치가 고정되어 있으면 피시험자가 장애물이 나타나는 위치를 예상할 수 있으므로 나타나는 장애물의 출현 위치는 차선 내에서 임의의 위치로 변경시킬 수 있도록 프로그래밍 해야 한다.

또한 장애물의 수직 벽면 상에서의 낙하 경로도 PC 내의 프로그램으로 미리 작성되어 제어되어야 하고 수직면을 투사하여 장애물을 낙하 시킬 때 빔 프로젝터의 바탕화면은 검정색이어야 한다.

#### 3.3.4 장애물의 반사율

도로상에 존재할 수 있는 대상물(보행자, 낙하물 등)의 반사율마다 각각에 대한 존재확률을 근거로 결정된 반사율이 20[%]이다. 도로조명 시설 설치기준에서도 반사율 20[%]인 물체의 보임을 기초로 기준휘도의 최저치를 정하고 있다. 그러므로 장애물의 반사율은 완전 확산면의 20[%]로 가정한다[3].

#### 3.3.5 장애물의 밝기(휘도)와 대비

도로 조명에서 장애물의 반사율은 20[%]로 이미 정의하였으므로 장애물 출현 위치에서의 연직면 조도값을 알면 장애물의 휘도를 결정할 수 있다. 그리고 운전자는 장애물의 배경이 되는 노면의 수평면 휘도와 장애물의 연직면 휘도를 대비로서 인식하게 된다. 실험실 내에서는 전방 수직벽면이 수평노면을 모의하는 것이며, 이를 배경으로 장애물이 수직벽면에 나타나고, 대비가 위에 나타낸 바와 같이 유지되어야 한다. 그림 7은 수직벽면 상의 장애물의 등휘도 곡선을 나타내고 있다.

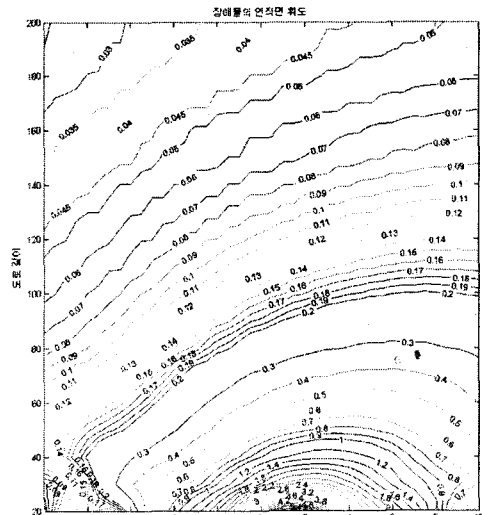


그림 7. 노면상에 존재할 때의 장애물의 연직면 휘도

## 4. 실험실 및 측정 시스템의 구축

### 4.1 시험실 구축

본 실험을 위하여 그림 8과 같이 실험실을 선정하고 실험실 공사를 시작하였다. 실험실 바닥면은 도로부를 구현하기 위한 페인팅 작업을 위하여 합판으로 덮었고, 실험실 측면부는 일정 간격의 돌출부를 가리고 이 후 페인팅 작업을 위하여 석고보드를 설치하였다. 또한 실험실 천정부부는 조명기구가 설치되어 있으므로 그것을 가리기 위하여 무광택의 반사율이 0인 흑지로 처리하였다. 그리고 측정을 위한 모의차량을 실내 실험실에 배치시키고, 흑색의 무광택 페인트로 도장하였으며, 전조등을 모의차량에 설치하였다. 또한 실험실 수직벽 상에 피험자가 응시하여야 할 장애물을 투사시키기 위하여 빔 프로젝터를 설치하였다.

실험실 바닥면 및 측면부는 순응휘도를 달성하기 위하여 동일한 반사율 별로 구역을 분할하고 분할된 구역 별로 페인팅 작업을 하였다. 그리고 전조등에 의한 수직벽 상의 연직면 조도는 매우 높으므로 순응휘도를 달성하기 위해 필터 및 아크릴을 사용하여 수직 전면으로 향하는 전조등의 상향광을 차단하였다. 또한 피험자가 전조등에 순응하기 위한 공간을 마련하기 위하여 차광판을 설치하고 차광판 또한 동일한 반사율 별로 구역을 분할하고 페인팅 작업을 하였다. 그림 8은 이러한 실험실 공사의 과정을 나타내고 있다.



차광판설치 및 구역분할 실험실 페인팅 작업완료  
그림 8. 실험실 공사과정

### 4.2 측정 시스템의 구축 및 영상 프로그램의 제작

측정시스템의 구성은 그림 9 같이 구성하였고, 피험자가 바라보는 장애물의 크기, 위치, 밝기 변화 및 배경이 되는 노면을 모의하기 위해 영상 프로그램을 제작하였다. 장애물의 위치 및 크기 변화는 프로젝터의 영상 좌표 x, y와 시간에 따른 장애물 크기와 밝기 값을 입력함으로써 달성될 수 있다.

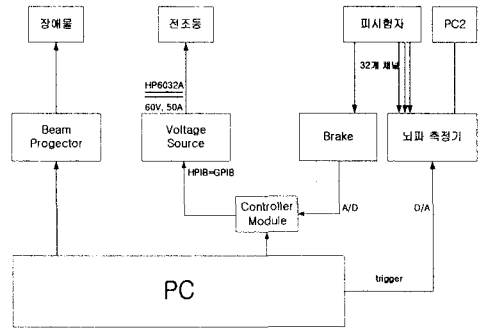


그림 9. 측정시스템 블록다이어그램

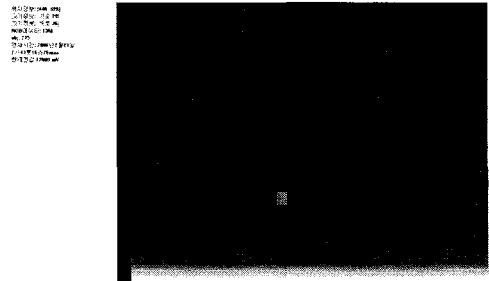


그림 10. 자체 제작한 영상 프로그램을 실행하였을 때의 활성창의 모습

## 5. 시인성 예비실험 방법 및 결과

본 실험에 들어가기 전 4가지의 전압패턴과 5가지의 장애물 경로를 정의하고 예비 실험을 통하여 실험 시간, 피험자 휴식 시간, 구체적 실험 순서 등을 결정하고, 전조등의 전압변화 패턴, 장애물 경로에 대한 영향을 미리 파악하고자 예비실험을 실시하였다.

### 5.1 전압패턴 및 장애물경로의 정의

예비실험 및 이후의 본 실험을 위하여 그림 11과 같이 4가지의 전압패턴을 정의하였다. 전압패턴 A는 그림 4.1에서와 같이 2분간 13.6[V]를 유지하고 있는 상태에서 임의의 전압으로 하강한 다음, 다시 13.6[V]로 복구되는 형태이고, 전압패턴 B는 2분간 13.6[V]를 유지하고

있는 상태에서 임의의 전압으로 하강한 다음 1분간 유지되는 형태이다. 전압패턴 C는 2분간 임의의 하강전압을 유지하고 있는 상태에서 13.6[V]로 상승하여 1분간 유지되는 형태이다. 전압패턴 O는 전압의 변동 없이 3분간 일정한 전압을 계속 유지하는 형태이다. 또한 각 전압패턴에 대한  $\Delta t$ ,  $V_b$ ,  $\Delta t_o$ 를 그림 11에서와 같이 정의하였다.

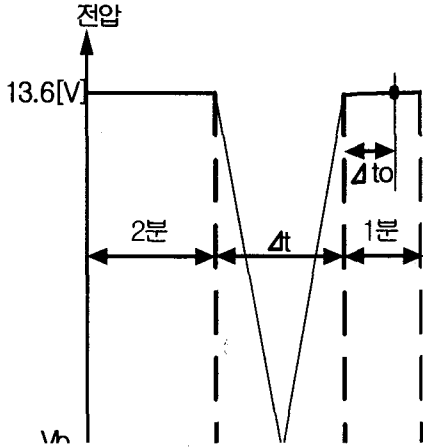
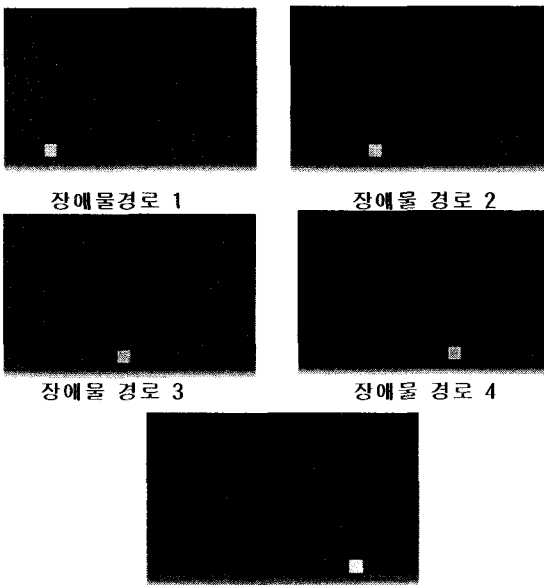


그림 11. 전압패턴의 정의

그림 12는 실내 시험실의 수직 벽면에 나타나는 장애물의 경로 및 형상을 나타내고 있다. 경로 1번이 도로의 가장 좌측 라인을 따라 이동하는 경로이고, 경로 1에서 우측으로 갈수록 경로 2, 경로 3, 경로 4, 경로 5번이 된다. 따라서 도로의 가장 중심라인을 따라 이동하는 경로는 3번이 된다,



장애물 경로 5  
그림 12. 장애물 경로의 정의

## 5.2 측정 전압파형 및 피험자의 선정

예비실험에서의 실험 종류는 가), 나), 다), 라) 실험으로 4가지 종류이다. 가) 실험에서는 장애물의 경로에 따른 영향을 파악하기 위한 실험이고 나) 실험은 장애물 출현시간에 따른 영향을 파악하기 위한 실험이다. 또한 다) 실험은 저압변동 순간에 장애물이 출현하였을 때의 영향을 파악하기 위한 실험이며 라) 실험은 전압변동이 없을 때의 영향을 파악하기 위한 실험이다.

표 1. 예비실험 측정 전압파형

실험명칭	전압패턴	장애물 경로	$V_b$ [V]	$\Delta t$	장애물 출현시간 ( $\Delta t_o$ )	전압패턴 번호
장애물 경로	A	가1	11	500 [msec]	전압변동 완료 후 1[sec]	1
		가2				2
		가3				3
		가4				4
		가5				5
장애물 출현 시간	A	3	11	500 [msec]	전압변동 완료 후 0[sec]	2
					전압변동 완료 후 0.5[sec]	4
					전압변동 완료 후 1[sec]	6
					전압변동 완료 후 1.5[sec]	10
					전압변동 완료 후 2[sec]	14
					전압변동 완료 후 2.5[sec]	16
					전압변동 완료 후 3[sec]	19
전압 변동 순간	B	2	11	3 [sec]	전압하강 시작 후 1.5[sec]	3
					전압하강 완료 후 30[sec]	7
	C				전압상승 시작 후 1.5[sec]	11
					전압상승 완료 후 0.5[sec]	15
전압 변동 무	O	2	11	[sec]	시험 개시 후 2[min]	8
					시험 개시 후 1[min] 40[sec]	13
					시험 개시 후 2[min] 20[sec]	17
					시험 개시 후 2[min] 10[sec]	20

피험자는 운전 면허증 보유자로서 교정시력 1.0 이상이고 신체적인 불편함 없이 브레이크를 정상적으로 밟을 수 있는 신체 건강한 자로, 20대의 남자 8인을 대상으로 하였다. 또한 피험자에게 제시되는 전압파형은  $V_b$ 와  $\Delta t$ , 전압패턴을 고려하여 랜덤하게 제시하여 피험자가 미리 측정 전압파형을 예측하지 못하도록 하였다.

## 5.3 시인성 예비실험 측정결과

그림 13은 가) 실험에 대한 피험자의 장애물 인식 반응시간을 나타내고 있다.

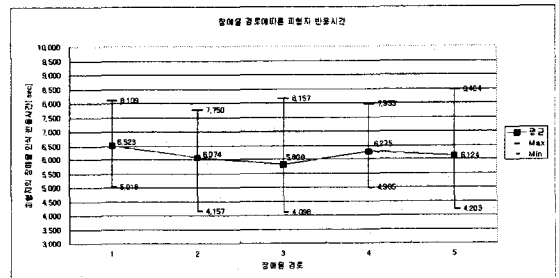


그림 13. 장애물 경로에 따른 피험자 장애물 인식 반응시간

피험자 수가 8명밖에 되지 않으므로 장애물 경로에 대해서는 정확한 경향을 알 수 없으나 경로 5번을 제외하고 도로의 중심부로 갈수록 장애물의 인식 반응속도는 빨라지고 있다. 또한 측정값의 차이가 장애물 경로 4번과 5번을 제외하면 경로 2번과 4번의 값이 가장 작으며 경로 2와 4번은 도로 중심선에서 좌, 우측 방향으로 같은 거리에서 장애물이 출현한다. 그러므로 장애물의 경로에 대한 영향을 최소화 하여야 하는 실험에서는 장애물 경로 2와 4를 선택하여 본 실험에서 측정하기로 하였다. 장애물 경로 4번과 5번을 선택하지 않은 이유는 장애물의 경로 모두가 도로 우측으로 치우치게 됨으로 선택하지 않는 것으로 하였다.

그림 14는 나) 실험에 대한 측정결과로서, 전압패턴 A에 대해서 장애물 출현시간을 전압변동 완료 후 0[sec], 0.5[sec], 1[sec], 1.5[sec], 2[sec], 2.5[sec], 3[sec]로 변경하였을 때 피험자의 장애물 인식 반응 속도를 나타내고 있다. 그림 14를 보면 1.5[sec]일 경우를 제외하고 대체적으로 장애물의 출현이 늦어질수록 피험자의 장애물 인식 반응속도가 빨라짐을 알 수 있다.

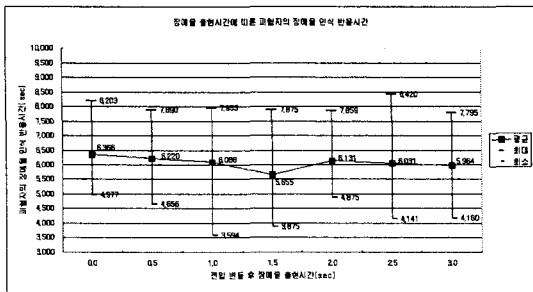


그림 14. 장애물 출현시간에 따른 피험자 장애물 인식 반응시간

그림 15는 전압변동 순간에 장애물이 출현시켰을 때 피험자의 장애물 인식 반응속도를 나타내고 있다.

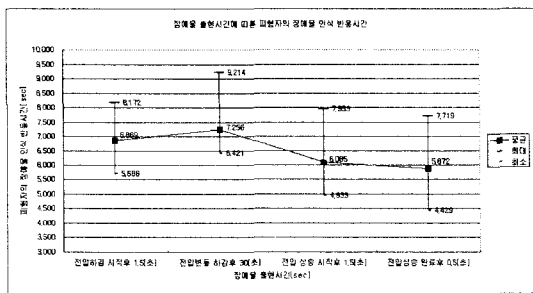


그림 15. 전압변동 순간에 장애물 출현하였을 때의 피험자 장애물 인식 반응시간

장애물의 출현이 전압하강 직후 30[sec] 일 때 가장 느리고, 전압 상승 완료 후 0.5[sec] 일 때 가장 빠르게

나타났다. 또한 전압 하강 시작 후 1.5[sec] 보다는 전압 상승 시작 후 1.5[sec]에서 조금 더 빨라졌다. 그러므로 대체적으로 장애물이 출현했을 당시의 밝기가 밝을수록 피험자의 장애물 인식 반응속도가 빨라짐을 알 수 있다.

그림 16은 전압변동이 없이 Vb가 13.6[V], 13[V], 12[V], 11[V]로 유지되고 있을 때 장애물의 출현시간을 각각 2[min], 1[min] 40[sec], 2[min] 20[sec], 2[min] 10[sec]로 하였을 때의 피험자 장애물 인식 반응속도를 나타내고 있다.

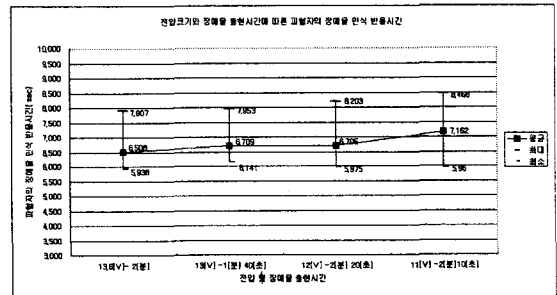


그림 16. 전압패턴 O에서의 Vb 크기와 장애물 출현 시간에 따른 피험자 장애물 인식 반응시간

그림 16을 보면 전압변동이 없는 상태에서 장애물의 출현시간에 대한 영향은 세밀히 파악할 수는 없으나, 전압이 낮아짐에 따라 반응시간은 늦어지고 있다. 그러므로 그림 15에서와 같이 피험자의 장애물 인식 반응시간은 장애물이 출현 했을 당시의 밝기에 의존한다는 것을 알 수 있다.

## 6. 결론

예비 실험의 측정 결과를 통하여 피험자의 장애물 인식 반응시간은 장애물이 출현하였을 당시의 밝기에 의존한다는 것을 알 수 있었다. 이후 본 실험에서는 좀 더 많은 피험자를 대상으로 각 전압패턴에서의 전압 변동의 정도, 전압변동 시간, 장애물의 경로, 장애물 출현 시간에 대한 영향을 파악하는데 주력하기로 하였다.

본 연구는 (주)NGV의 사업지원에 의해서 수행되었습니다.

## 참고문헌

- [1] CE, "Calculation and Measurement of Luminance and Illuminance in Road Lighting", Technical Report, Pub 30-2, 1982, 2/e
- [2] 日本照明學會, "ライティングハンドブック 第2版", Ohmsha, 2003年 11月, pp410~413
- [3] 日本照明學會, "道路照明のビズビリティレベルに?する研究調査委員会報告書", 2002年 3月, pp10