

전조등 밝기 변화에 따른 운전자 시인성 측정을 위한 시험 구성  
(System Construction for the Driver's Perception Measurement over the Change of the Headlamp's Brightness)

김기훈\* · 석대일 · 안 옥희 · 김 훈  
(Gi-Hoon Kim · Dae-Il Seok · Ok-Hee An · Hoon Kim)

Abstract

각종 규정에 정의되어있는 전조등의 성능과 시험 방법에 따라서 전방의 장애물 식별에 장애가 되지 않는 정도의 전조등 밝기 변화 허용치가 어느 정도로 될 것인지를 평가하기 위하여, 휘도 계수를 계산하고 이것을 사용하여 운전자의 순응휘도를 결정하였다. 그리고 운전자의 시인성 측정을 위한 시험실 설계를 하고 실험실 공사를 완료하였다. 향후 운전자의 시인성 및 심리/생리적 측정을 통하여 전조등 밝기 변화에 대한 한계치를 규정할 것이다.

1. 서론

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

따라서 각종 규정에 정의되어있는 전조등의 성능과 시험 방법에 따라서 전방의 장애물 식별에 장애가 되지 않는 정도의 전조등 밝기 변화 허용치가 어느 정도로 될 것인지를 평가하고, 이를 전조등 성능의 최저 한계로 삼을 필요가 있다.

2. 휘도계수의 계산 및 순응휘도의 결정

2.1 휘도계수의 계산

2.1.1 CIE 표준노면 휘도계수표

CIE Technical Report Pub No CIE 30-2에 규정된 아스팔트 및 콘크리트 표준노면에 대한 휘도계수 표에서 제시된 가로등과 노면 측정점에 대한 β각과 γ각은 다음과 같이 정의된다. 가로등의 노면 측정점에 대한 각도 β와 γ를 전조등에 대하여 적용하여 보면 그 β와 γ각의 범위는 tanγ 가 10.0 이상, β각이 80도 이상인 각도이다. 그러나 표 1을 보면 이러한 전조등의 각도 범위에 해당되는 β와 γ각에 대한 데이터는 제공되고 있지 않다.

전조등에 해당하는 휘도계수 값을 구하기 위해 CIE에서 제공되지 않는 영역의 데이터를 외삽법으로 구한 결과가 그림 2와 3에 나타나 있다.

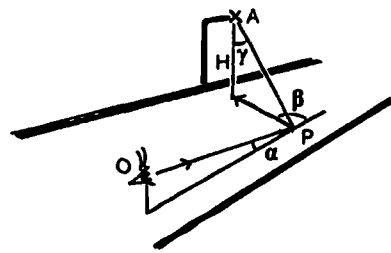


그림 1. β각과 γ각의 정의(1)

표 1. CIE 아스팔트 표준 노면의 휘도계수 표

노면 측정점의 위치	노면 측정점의 높이	노면 측정점의 거리	노면 측정점의 각도	노면 측정점의 휘도계수
25	30	35	40	45
50	60	75	90	105
120	135	150	165	180

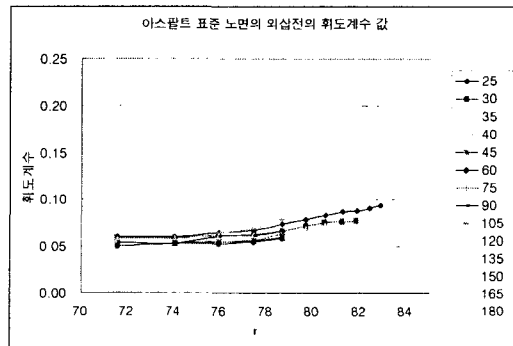


그림 2. 아스팔트 표준 노면의 외삽점의 휘도계수 값

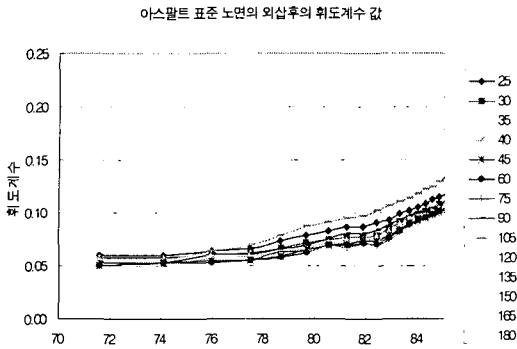


그림 3. 아스팔트 표준 노면의 외삽후의 휘도계수 값

전조등의 각도 범위는 그림 2와 그림 3에 나와 있다. 그림 4와 그림 5는 노면 상의 한 점 P에 대한 휘도계의 측정 수평각과 측정 입사각, 그리고 좌, 우측 전조등의 입사 수평각과 입사 연직각을 나타내는 것이다.

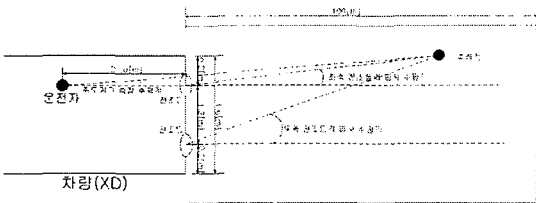


그림 4. 노면 상의 한 점 P에 대한 휘도계의 측정 수평각과 좌, 우측 전조등의 입사 수평각

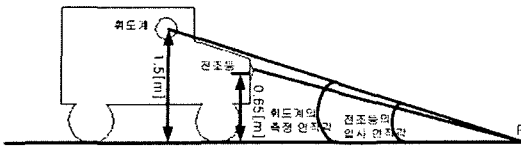


그림 5. 노면 상의 한 점 P에 대한 휘도계의 측정 연직각과 좌, 우측 전조등의 입사 연직각

### 2.1.2 휘도계수(L/E) 계산 결과

위와 같은 과정에 의해 도로폭 방향과 도로길이 방향의 각각의 측정점에 대하여, 전조등의 측정점에 대한 입사각과 수평각, 휘도계의 사잇각에 해당하는 휘도계수 값을 계산하였다. 좌, 우측 전조등의 측정점에 대한 조사 방향이 다르고 휘도계와의 사잇각이 다르므로 표준 아스팔트 노면, 표준 콘크리트 노면 각각에 대해서 좌, 우측 전조등의 휘도계수 값을 계산하였다.

그림 6과 7은 콘크리트와 아스팔트 각각의 표준 노면에 대한 좌, 우측 전조등의 휘도계수 분포를 나타내고 있다. 휘도계수 값은 아스팔트 표준 노면 보다 콘크리트 표준 노면의 값이 조금 높지만 그 패턴은 동일하다.

또한 80~100[m]까지의 원거리에서는 좌, 우측 전조등 모두 도로 길이 방향에 따른 휘도계수 값의 변화가 없다. 좌측 전조등에 의한 휘도계수 값은 아스팔트와 콘크리트 노면 모두에서 도로 폭 왼쪽 끝 방향에서 도로 우측 끝 방향으로 가면서 도로 중심부까지 서서히 증가하였다가 다시 서서히 감소한다.

이것은 좌측 전조등과 휘도계가 거의 일직선상에 위치하기 때문이라고 생각된다. 우측 전조등의 휘도계수 값은 아스팔트와 콘크리트 노면 모두에서 도로 좌측부 보다는 우측부의 휘도계수 값이 약간 더 높다.

이것은 휘도계가 도로부 좌측으로 0.6[m]의 위치에 있고 우측 전조등은 도로부 우측으로 0.6[m]의 위치에 있기 때문에, 근거리에서는 휘도계와 전조등의 사잇각이 좌측 전조등에 비해 대단히 크므로 이것으로 인하여 발생하는 노면의 경면 반사특성 때문이라 생각된다.

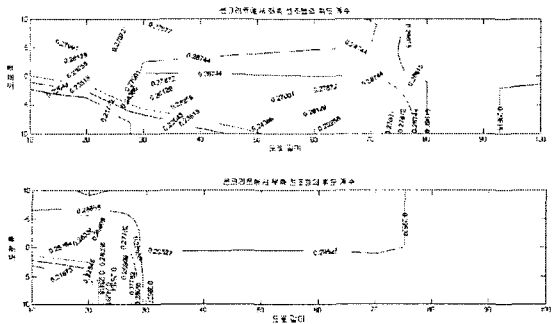


그림 6. 콘크리트 표준 노면의 좌, 우측 전조등의 등 휘도계수 분포

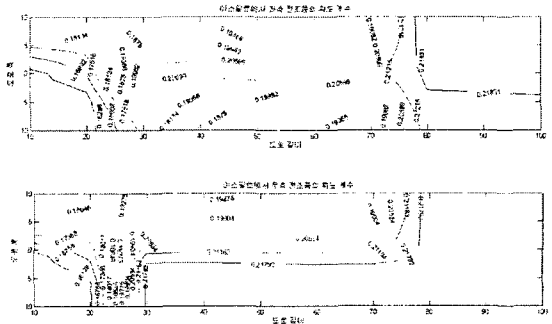


그림 7. 아스팔트 표준 노면의 좌, 우측 전조등의 등 휘도계수 분포

### 2.1.3 조도 계산 결과

주어진 배광 파일(XD)로부터 Lumen-micro를 이용하여 양측 전조등 각각의 노면(수평면) 조도분포를 계산하였다. 그림 8은 도로폭과 길이방향에 대한 양측 전조등의 등조도 곡선을 나타내고 있다.

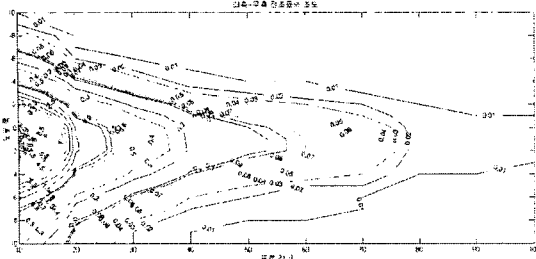


그림 8. XD의 좌측, 우측, 양측 전조등의 등휘도 곡선

### 2.1.4 휘도 계산 결과

계산된 휘도계수와 조도분포를 곱하여 휘도 분포를 얻었으며, 그림 9는 콘크리트 표준 노면에서의, 그림 10은 아스팔트 노면에서의 도로폭과 길이방향에 대한 양측 전조등의 등휘도 곡선을 나타내고 있다.

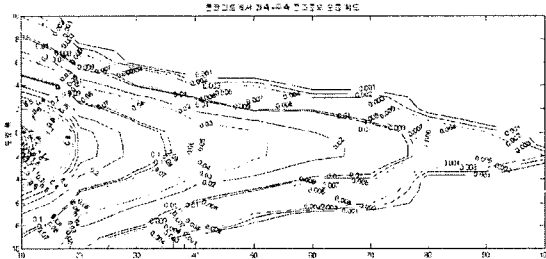


그림 9. 콘크리트 표준 노면에서의 XD의 좌, 우측 및 양측 전조등의 등휘도 곡선

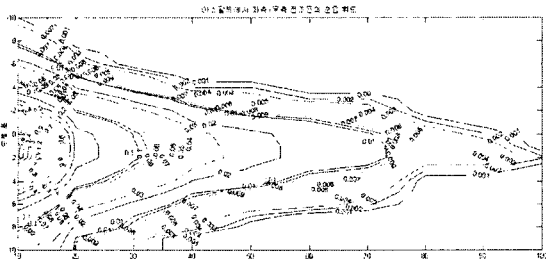


그림 10. 아스팔트 표준 노면에서의 XD의 좌, 우측 및 양측 전조등의 등휘도 곡선

## 2.2 계산값의 확인

지금까지 계산한 순응 휘도를 확인하기 위하여 Prometric Digital System을 사용하여 실제 노면에서 전조등에 의한 휘도 분포를 측정하였다.

### 2.2.1 측정

Prometric Digital System의 전용 CCD 카메라를 XD 차량의 운전석에 위치시키고 측정 대상인 노면을 촬영하였다. 또한 촬영한 Image를 Prometric Digital System의 휘도계산 프로그램을 이용하여 야외에서 즉시, 측정 데이터를 분석하였다.

### 2.2.2 Prometric 측정 결과와 계산 순응휘도와 비교

그림 11은 CCD 카메라가 촬영한 실제의 Digital Image를 나타내고 있고 그림 12는 그 휘도 분포를 나타내고 있다.

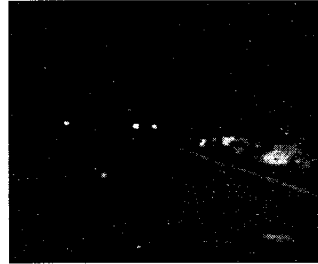


그림 11. CCD 카메라가 촬영한 원 화상

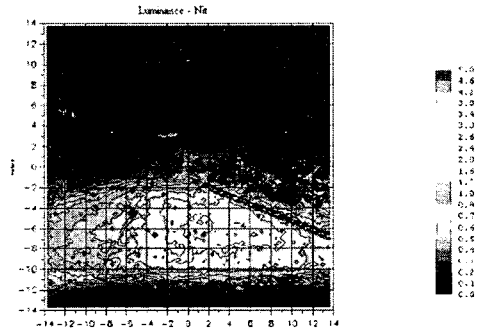


그림 12. Prometric으로 분석한 노면 휘도분포

그림 12의 측정 대상의 노면을 보면 도로 중앙선 상에 전조등으로부터의 거리를 알 수 있도록 10[m]씩 부표를 붙여 놓았다. 전조등으로부터의 10[m]에 해당하는 부표가 그림 12에서 보이고 그 위치는 그림 12에서 디지털 화상의 좌표로 x(도로폭 방향)가 -6, y(도로길이 방향)가 -4 정도에 해당한다. 그때의 휘도값은 그림 12의 범례에서  $3.680[\text{cd}/\text{m}^2] \sim 1.227[\text{cd}/\text{m}^2]$ 에 해당하므로  $2.4[\text{cd}/\text{m}^2]$  정도이고 10[m] 뒤로는  $3[\text{cd}/\text{m}^2]$ 보다 점차 낮아져서 20[m] 정도일때  $0.4[\text{cd}/\text{m}^2]$ , 30[m] 정도가 되어서는 거의  $0.1[\text{cd}/\text{m}^2]$ 에 가까워진다.

앞에서 제시한 XD의 경우 아스팔트에서의 양측 전조등의 순응휘도 값은 10[m]에서  $2[\text{cd}/\text{m}^2]$ 이고 20[m]에서  $0.4[\text{cd}/\text{m}^2]$ , 30[m]에서는  $0.2[\text{cd}/\text{m}^2]$ 로 Prometric 실측 데이터와 매우 비슷하다.

## 3. 실험실 설계

### 3.1 실내실험실 바닥 및 벽 부분의 반사율

#### 3.1.1 실험실 내 바닥면의 반사율

실험실 바닥면의 조도가 균일하고, 바닥 재질이 완전 확산반사를 한다고 가정하면 앞에서 구한 표준 휘도분

포 패턴을 모의하는 바닥면의 반사율 분포를 구할 수 있다. 즉 바닥면이 완전 확산면일 때 식 (1)이 성립된다.

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

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)

실제 실내 실험실 설계 시에는 먼저 각각의 전조등에 대한 운전자의 순응휘도 패턴을 결정하고, 그 다음 실험할 전조등을 선정하여 선정된 전조등의 순응휘도 패턴을 만족시키도록 조도분포 패턴에 따라 바닥면의 반사율을 조정하여야 한다. 이때 좌 우 전조등에 대한 휘도계수의 값에 차이가 있는 경우, 조도 가중 평균을 내서 반사율을 결정한다.

여기에서는 표준 전조등을 실제 모의 차량에 설치하여 실험을 행할 것이기 때문에, 양측 전조등에 의한 순응휘도 분포( $L$ )를 알고 있고, 양측 전조등에 의한 조도 분포( $E$ )를 알고 있으므로 양측 전조등에 의한 휘도계수를 알 수 있고 이 값에  $\pi$ 를 곱하여 실험실 바닥면의 반사율 분포를 계산할 수 있다.

그림 13은 실험실 내 바닥면의 등반사율 곡선이다.

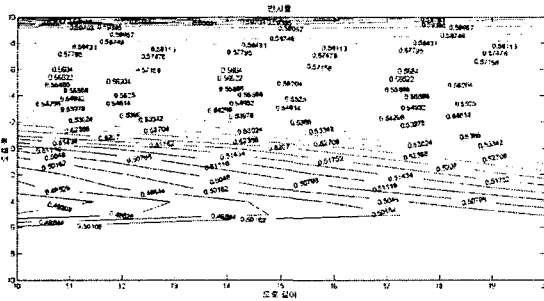


그림 13. 실험실 내 도로부 바닥면(0-20(m))의 등반사율 분포

### 3.1.2 실험실내 운전자가 바라보는 수직 벽면의 반사율

그림 14와 15는 실험실내 바닥면의 도로부와 이어지는 수직 벽면은 실제 주행 시 운전자가 응시하는 원거리의 도로부에 해당한다. 실험실의 크기에 따라 다르겠지만, 시험자의 눈 높이가 1.2[m]이고 실험실 전면 모서리까지의 거리가 20[m]인 경우, 운전자 전방 100[m] 위

치는 벽면 0.96[m]의 높이에 해당한다. 또한 그림 15와 같이 차선의 폭도 바닥면 보다는 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.

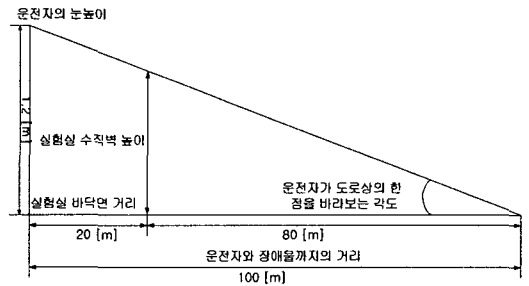


그림 14. 운전자가 응시하는 장애물까지의 거리와 실험실 수직벽 높이

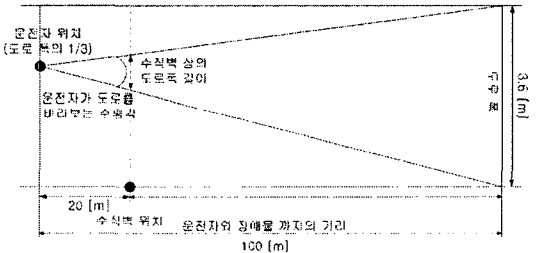


그림 15. 운전자가 응시하는 장애물까지의 거리와 실험실 수직벽 상의 도로폭

그림 16은 20[m] 전방의 수직벽 에서 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 거리까지에 해당된다.

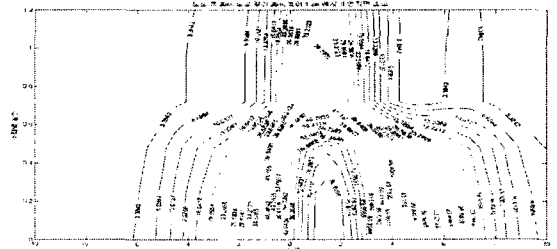


그림 16. 운전자 20m 전면 수직벽의 연직면 등조도 곡선

3.1.3 실험실 천정면 및 좌우측, 뒤쪽 벽면 반사율이 0인 흑색의 무반사 확산 페인트로 처리한다.

## 3.2 전조등

### 3.2.1 전조등으로 사용할 광원의 선정

실내 전반에 걸쳐 일정한 조도를 내도록 하는 광원을 설치하여, 이를 디밍 시키는 것이 매우 어려우므로, 실제의 전조등을 사용한다.

### 3.2.2 전조등으로 사용할 광원의 설치

전조등은 일반 차량의 설치 위치와 동일한 위치에 설치한다. 또한 시인성 실험 시 전조등의 밝기를 변화시킬 수 있도록 전조등의 입력 전압을 순간적으로 변화시킬 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 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 「최저지상 높이」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. 그러므로 실내 실험에서 사용되는 장애물의 크기는 운전자와 장애물까지의 거리가 20[m]이고, 운전자의 주행속도를 고려하여 한 변의 길이가 수 [cm]에서 시작하여 6.67[cm] 보다는 더 커지도록 크기를 변화시켜야 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 17은 장애물과 운전자와의 실제 거리가 10[m]씩 증가함에 따라 운전자 전방 20[m]의 벽면에 나타내야 하는 장애물 한 변 길이의 변화를 나타내고 있다.

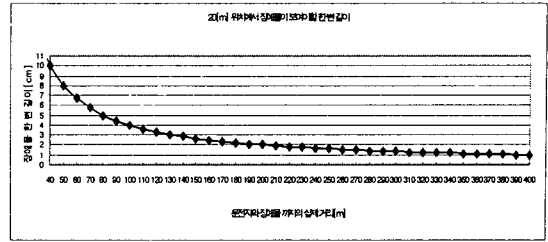


그림 17. 운전자와 장애물까지의 거리 변화에 따른 전방 20(m) 수직벽 면상의 장애물 한 변의 길이

자동차가 60[km/h]의 속도로 주행한다고 가정하였을 때 자동차가 10[m] 전진하는데 소요되는 시간은 0.6[sec]이며 이 비율로 그림 17과 같이 장애물의 크기가 연속적으로 변화되어야 한다. 이때 장애물의 낙하 방향은 최초 장애물이 수직면의 도로폭 상에서 랜덤하게 출현하여 도로부의 중앙선과 좌, 우측 갓길선이 만나는 사잇각 내에서 일정한 각도를 가지고 낙하하여야 한다. 그리고 장애물의 크기 변화는 최초 1.00[cm]로 시작하여 10.01[cm] 까지 변화시키는 것으로 하고, 이것은 장애물과 운전자와의 실제 거리를 400[m]에서 40[m]까지 변화 시킨다는 것을 의미한다.

### 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.

그림 18은 수직벽면의 높이에 따라 장애물의 크기 변화를 나타내고 있다.

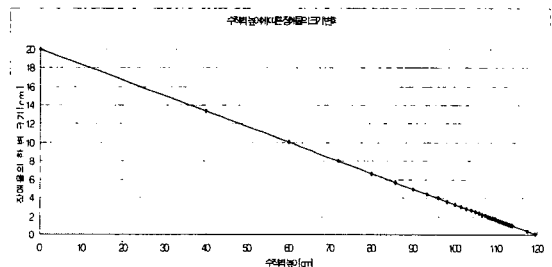


그림 18. 실험실 수직벽 높이에 따른 장애물의 크기 변화

### 3.3.4 장애물의 반사율

도로상에 존재할 수 있는 대상물(보행자, 낙하물 등)의 반사율마다 각각에 대한존재확률을 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.

### 3.3.5 장애물의 밝기(휘도)와 대비

도로 조명에서 장애물의 반사율은 20[%]로 이미 정의하였으므로 장애물 출현 위치에서의 연직면 조도값을 알면 장애물의 휘도를 결정할 수 있음. 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 19는 수직벽면 상의 장애물의 등휘도 곡선을 나타내고 있다.

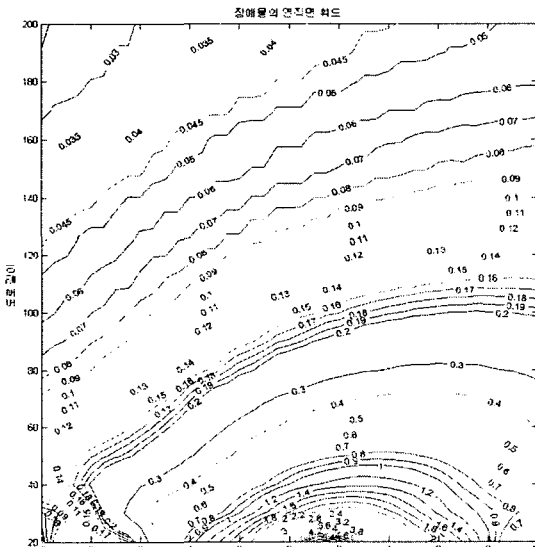


그림 19. 노면 상에 있는 장애물의 연직면 휘도

## 4. 실험실 및 측정 시스템의 구축

### 4.1 시험실 공사

#### 4.1.1 시험실 장소 선정 및 시험실 공사

몇 개의 실험 장소 후보지 중에서 가장 적합한 곳을 택해서 실험실로 선정하고 즉시 실험실 공사를 시작하였다. 그림 20은 실험실 공사과정을 나타내고 있다. 실험실 바닥면은 합판을 깔고 측면부에는 일정 간격으로 돌출부가 있어서 평면으로 구성하기 위해 석고보드를 대었다. 천정부는 조명기구를 가리기 위해 무광택 이코

반사율이 거의 0인 검은 종이로 덮었다.

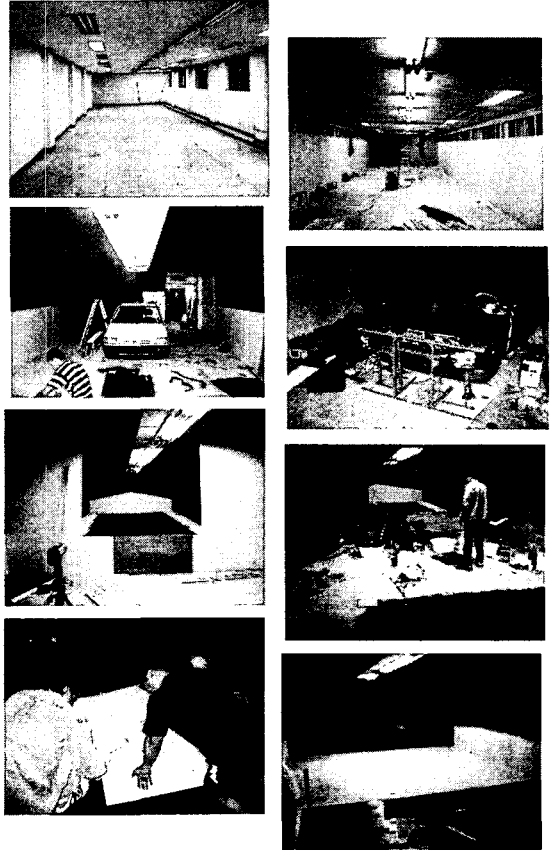


그림 20. 시험실 공사 과정

## 5. 결 론

밝기 변화에 따른 운전자의 시인성 측정을 위하여 휘도 계수를 계산하고 이것을 사용하여 운전자의 순응휘도를 결정하였다. 그리고 운전자의 시인성 측정을 위한 시험실 설계를 하고 실험실 공사를 완료하였으며 현재, 측정 시스템의 구성 및 장애물과 배경을 모의 할 수 있는 영상프로그램을 제작 하는 중에 있다.

앞으로 예비 실험을 통하여 실험 방법에 대한 구체적 사항들을 결정하고 시험자를 선정한 다음 본 실험을 수행할 예정이다. 본 실험은 운전자의 시인성 뿐만이 아니라 시험자의 뇌파 측정과 설문지를 통하여 심리/생리적 측정도 이루어질 것이다. 그리고 본 실험을 통한 결과물을 가지고 전조등 밝기 변화에 대한 한계치를 규정할 것이다.

### 참 고 문 헌

- [1] OE, "Calculation and Measurement of Luminance and Illuminance in Road Lighting", Technical Report, Pub 30-2, 1982, 2/e