

# 도로 가드레일에 설치되는 연속도로조명기구에 의한 플리커 영향 평가

(Assessment of Flicker Effect by Road Lighting Luminaire Installed on the Guardrail)

석대일\* · 김원식 · 김 훈  
 (Dae-II Seok\* · Won-Sick Kim\*\* · Hoon Kim\*)  
 \*강원대학교 \*\* (주)백산엔지니어링

## 요 약

도로 난간에 연속으로 설치되는 조명기구에 의한 플리커 영향을 평가하고, 눈부심으로 인한 장애물 인지 능력의 저하와 불쾌감 유발을 억제하기 위한 적정 망막조도를 도출하는 시험을 수행하였다. 반응시간과 불쾌감 평가를 이용하여 생리적 평가와 심리적 평가를 하였다. 조명기구에 의한 망막조도가 증가할수록 장애물을 인지하는 것이 어려워지고, 불쾌감을 많이 느끼는 것으로 나타났다.

## 1. 서 론

도로조명에 의한 글래어 및 명멸현상(flicker)은 운전자의 안전성과 인지 능력에 결부되고, 야간 운전에 위해를 준다. 조명기구나 반사된 상이 차량 운전자의 시야 내에 존재하여, 주행 시 광원을 지나칠 때 플리커 현상이 발생한다. 조명기구가 부적절하게 배열된 경우 특히 심하며, 휘도가 주기적으로 변하게 됨으로써 시각적 불쾌감도 일으킨다.

도로 난간의 낮은 설치 높이에 연속으로 설치되는 LED 도로조명기구가 개발 중이다. 운전자 시선에 존재하기 때문에 플리커의 영향을 평가하고, 눈부심과 불쾌감 유발을 방지하기 위해서 기구에 의한 적정 망막조도를 도출하고자 본 시험을 수행하였다.

반응시간으로 장애물 인지 능력을 평가하였고, 눈부심으로 인한 불쾌감은 작성된 평가지로 분석하였다.

## 2. 시험 구성

### 2.1 실내 시험실 구성

그림 1은 시험실의 구성도를 보여준다.

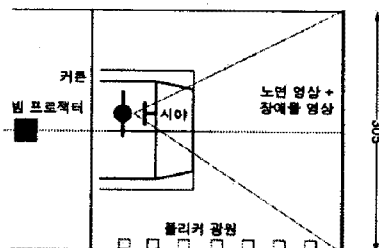


그림 1. 시험실 구성도

실제 도로 난간에 설치된 경우로써 0.9m 설치 높이와 0.5m, 1m의 설치 간격을 적용하였다. 시험실 측면 벽에 투영하고 해당 지점에 조명기구를 모의하여 LED 모듈을 부착하였다.



그림 2. 시험실 전경과 부착된 LED 모듈

### 2.2 플리커 발생을 위한 순차 점등

주행 상황의 연출과 플리커 발생을 위해서 LED 모듈을 순차 점등하였다. 등속주행을 가정하여 각 모듈의 같은 위치에 있는 LED는 동시 점등이 되고, 주행 속도에 따라 주기적으로 점등되도록 하였다. Atmega128을 이용하여 각 Driver에 순차적으로 펄스를 인가하고, TR과 MOSFET을 ON/OFF 해 주었다.

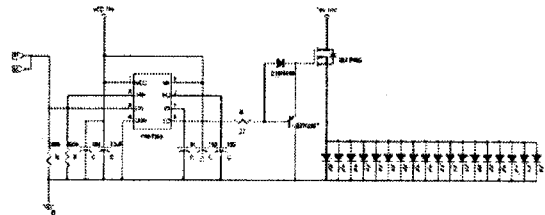


그림 3. 순차 점등 회로도

차량 속도는 60, 80, 100km/h를 가정하였다. 각 속도와 설치 간격에 대해서 순차 점등 주기를 계산하였고, 제어 소스를 입력해 주었다. 예를 들어, 속도 60km/h와 설치 간격 1m를 고려하면 기구와 기구 사이를 통과하

는 시간은 60ms가 된다. 즉, 피험자의 바로 측면에 위치한 LED는 60ms마다 1번씩 점등되었고, 60ms 내에 한 모듈에 있는 LED들이 순차 점등되었다.

### 2.3 Controller 제작

차량 속도와 일치하는 주행 영상을 출력해주고, 장애물 출현과 이동 및 크기 변화를 제어하는 프로그램을 제작하였다. 실험 차량의 제동 페달로부터 신호를 입력 받아서 시간 데이터를 저장하는 controller를 구현하였다. 그리고 차량 속도와 설치 간격에 따라서 LED를 점등 제어해 줄 수 있는 controller를 제작하였다.

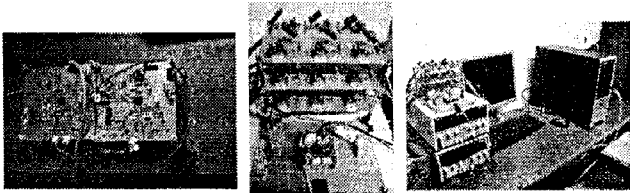


그림 4. 데이터 처리 controller, 순차 점등 controller, 제어실 내부

### 2.4 모의 LED의 밝기 제어

플리커로 인해 느끼는 불편감은 운전석으로 유입되는 빛의 양, 조명기구와 자동차 간의 거리, 조명기구를 지나치는 주기에 따라서 달라진다.[1] 본 논문에서는 차량 내로 유입되는 빛의 양을 망막조도로 계산하였다.

Lumen-micro 프로그램에서 설계된 기구의 IES 파일을 적용하여 운전자 눈높이에서의 연직면 조도를 계산하였다. 계산된 연직면 조도가 운전자에게 제공된 망막조도라고 가정하였다. LED 모듈의 구동 전압을 조절하여 피험자에게 다양한 망막조도를 제공해 주었다.

시뮬레이션 결과로 나온 조도는 표 1에 나와 있다. 운전자의 눈높이는 1.2m, 설치 간격은 0.5m와 1m를 가정하였다.

표 1. 연직면 조도(망막조도) 시뮬레이션 결과

	설치 간격	
	0.5m	1m
조도	4.62 lx (기구 정면)	2.05 lx (기구 정면)
	4.75 lx (기구 사이)	2.57 lx (기구 사이)
평균	4.7 lx	2.3 lx

기구 정면과 사이의 평균값을 시험에 적용하는 기준 망막조도로 선정하였다. 시험에서는 1룩스[lx] 씩 감소하는 망막조도를 제공해 주었다. 장애물 인지 능력과 불편감 유발에 영향을 주지 않는 적정 망막조도를 도출하기 위함이었다. 미리 피험자 눈높이에서 연직면 조도를 측정하였고, 선정된 조도를 만족시키는 전압, 전류를 기록해 두었다. 시험 중에 power supply의 전압을 조절하여 피험자에게 정해진 망막조도를 제공하였다.

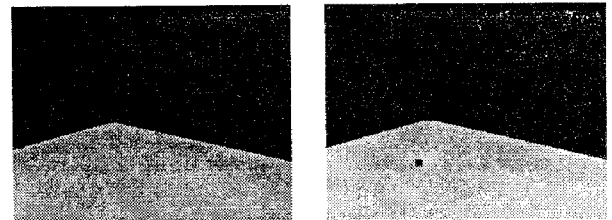
### 2.5 노면과 장애물 영상

주행 영상과 장애물 출현 영상은 선행되었던 시인성 평가에서 사용한 영상을 이용하였다. 시인성 평가에서 장애물 인지 변화에 뚜렷한 영향을 끼친 변수만을 고려하여 시험 영상 조건을 결정하였다. 시인성 평가 결과를 보면 균제도, 노면과 장애물 휘도 대비의 극성에 따른 인지 능력의 변화는 노면 휘도, 휘도 대비에 비해서 영향이 적은 편이었다.[2]

표 2. 시험에 적용한 테스트 영상 조건

평균 휘도	균제도	장애물 출현	휘도대비
2cd/m <sup>2</sup>	0.7	좌측	0.4 (-)

시험에 적용된 각 차량 속도에 일치하는 주행 영상과 장애물 출현 영상으로 수정하였다. 그림 5는 플리커 평가에서 사용한 테스트 영상이다.



(a) 평균휘도 2cd/m<sup>2</sup> 전반균제도 0.7

(b) 장애물 출현 영상

그림 5. 플리커 평가 주행 영상

### 2.6 측정시스템 구성

그림 6에 전체 측정시스템의 블록도가 나와 있다.

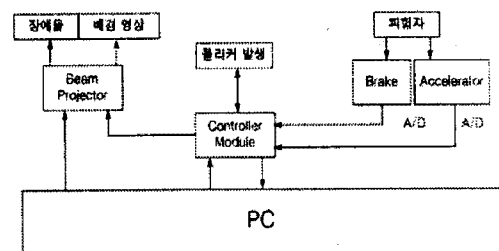


그림 6. 영상 및 측정시스템 구성 블록도

시스템은 테스트 영상과 플리커를 발생시키는 LED 모듈, 영상과 모듈을 제어하는 controller, 실험 차량의 가속 페달과 제동 페달로부터 신호를 입력 받고 PC로 전송해 주는 controller로 구성되었다. 실제 주행하는 상황의 음향을 들려주었다.

## 3. 시험 방법

### 3.1 피험자 선정과 평가 절차

예비시험에서는 20대 남성 8명, 본 시험에서는 20대 남성 17명을 대상으로 시험을 수행하였다. 피험자들은

운전면허증이 있으며, 교정시력이 1.0 이상이었다. 2인 1조로 암실에서 15분 간 암순응을 하고나서 교대로 시험에 임하였다.

측면에서 LED를 점등하여 플리커를 발생시키고, 전압을 조절하여 피험자에게 다양한 망막조도를 제공하였다. 주행 중 피험자가 장애물을 인지하는 즉시 브레이크를 밟는다. 신호가 PC로 전달되고 시간 데이터가 저장된다. 반응시간을 판별하여 장애물 인지 능력의 변화를 분석하고, 매 시험마다 피험자는 불쾌감 평가지를 작성하여 제공된 망막조도에 따른 불쾌감을 평가하였다.

### 3.2 시험 조건

시험에 적용된 변수는 플리커에 영향을 주는 주된 요인들로서 차량 속도, 기구 간격, 플리커에 노출되어 있는 시간(시험 수행 시간), 망막조도(차량 내로 유입되는 빛의 양)이다.

표 3. 플리커 테스트 조건

차량 속도 (km/h)	기구 간격 (m)	플리커 노출 시간 (장애물 출현시간, s)	밝기 (망막조도, lx)	
			1m	0.5m
60	1	30	2.3	4.7
				3.7
				2.7
100	0.5	90	1.3	2.7
				1.7
			0.3	0.7

## 4. 결과 분석

### 4.1 시험 결과 (생리적 평가)

본 시험 결과를 분석할 때에는 차량 속도와 망막조도, 설치 간격에 따른 장애물 인지 능력의 변화와 불쾌감 평가치를 분석하였다. 특히, 피험자에게 플리커를 발생시켜 눈부심을 유발하는 망막조도의 영향에 중점을 두고 분석하였다.

기구 간격이 1m에서 0.5m로 좁아지고, 차량 속도가 60km/h에서 100km/h로 증가하게 되면 반응 시간이 빨라졌다. 이것은 플리커 현상에 관한 연구 결과와 일치한다. 등속 주행 시 간격이 좁아지거나 동일한 간격의 조명기구 사이를 빠른 속도로 지나칠 때 주기는 짧아지므로 플리커에 의한 영향이 적어진다. 따라서 장애물을 인지하는 것이 용이해진다. 피험자에게 높은 망막 조도가 제공되면 반응 시간이 느려지고 전방 장애물을 인지하는 것이 어려워지는 것으로 나왔다.

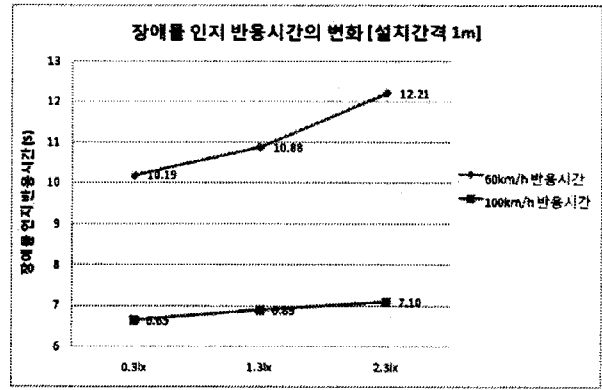


그림 7. 장애물 인지 반응시간의 변화(설치간격 1m)

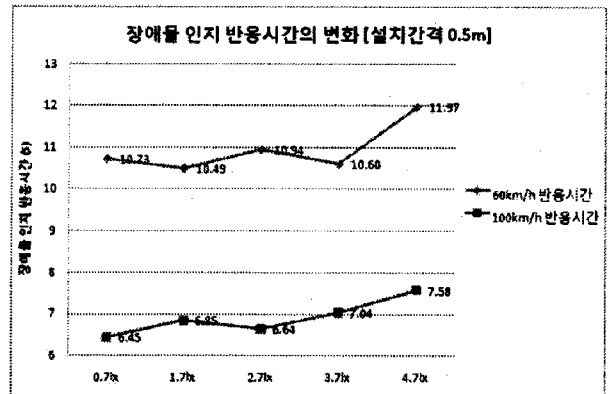


그림 8. 장애물 인지 반응시간의 변화(설치간격 0.5m)

반응 시간 데이터를 이용하여 장애물이 출현하고, 피험자가 인지한 후 브레이크 밟기까지의 주행 거리를 계산하여 각 속도에 따른 안전정지거리와 비교하였다.

60km/h일 때 안전정지거리는 95m, 100km/h일 때 안전정지거리는 112m이다. 망막 조도가 증가하면 브레이크를 밟는 지점부터 장애물까지의 거리가 안전정지거리보다 짧아지기 때문에 장애물과의 충돌 위험성이 커지게 된다. 망막 조도가 사고 위험성과 큰 연관이 있음을 알 수 있었다. 눈부심으로 인해 전방의 장애물을 인지하는 것이 어려워지기 때문이다.

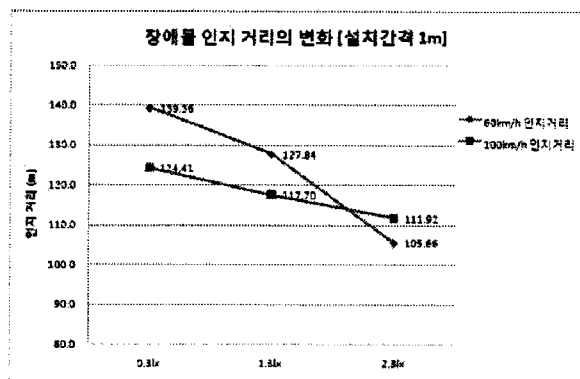


그림 9. 장애물 인지 거리의 변화(설치간격 1m)

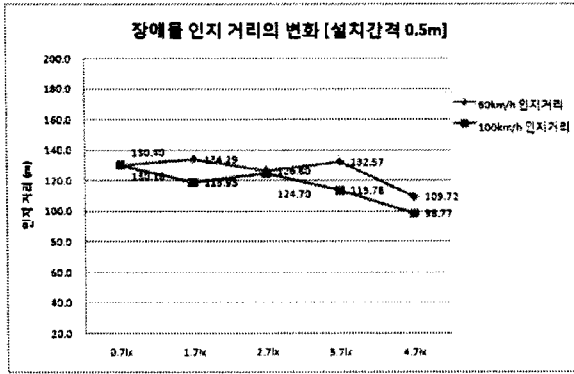


그림 10. 장애물 인지 거리의 변화(설치간격 0.5m)

#### 4.2 시험 결과 (심리적 평가)

각 시험이 끝나면 평가지를 작성하였다. 표 4는 평가지의 항목을 보여준다.

표 3. 플리커 테스트 조건

문항	없음 (0 점)	낮음 (1 점)	조금 낮음 (2 점)	조금 높음 (3 점)	높음 (4 점)	매우 높음 (5 점)
1. 실험 중에 불쾌감을 느낀 정도는?						
2. 실험 중에 장애물을 인식한 정도는?						

점수는 0점부터 5점까지 부여하도록 하였고, 주관적인 느낌에 따라 평가치를 부여하도록 하였다. 모든 테스트 조건에 대한 평가치를 산술 평균 내었다. 평가치가 높은 것은 불쾌감을 많이 느낀 것이다. 장애물을 인식한 정도에 대한 평가치도 분석하였지만 불쾌감 평가치와 달리 일관된 경향이 나오지 않아서 생략하였다.

망막 조도가 증가하면 불쾌감이 증가하는 것으로 나왔다. 그리고 플리커에 노출되어 있는 시간(본 시험에서는 한 번의 테스트가 이루어지는 시간)이 증가하면 불쾌감을 더 느끼는 것으로 나왔다. 이것은 플리커가 발생하는 도로를 장시간 주행 시 불쾌감이 증가한다는 연구 결과와 일치한다. 본 시험에서는 한 번의 테스트가 장시간동안 이루어지지 않았기 때문에 경향만 파악할 수 있었다.

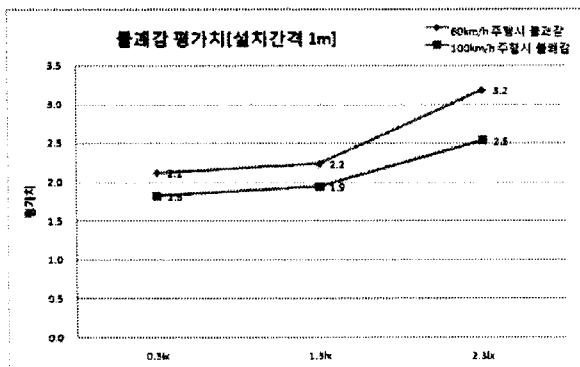


그림 11. 불쾌감 평가치(설치간격 1m)

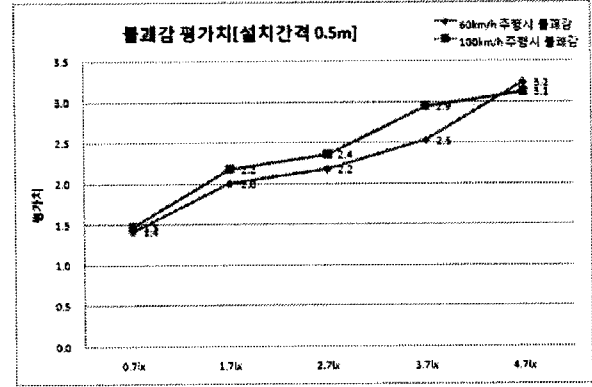


그림 12. 불쾌감 평가치(설치간격 0.5m)

리커드식 평가 방법에서 평가치 2.5를 “봐줄만한 정도”로 간주하며[3], 이 값을 기준으로 볼 때 대략 제공된 망막조도 2.3lx, 2.7lx보다 높아지게 되면 불쾌감이 크게 증가하는 것으로 나왔다.

### 5. 결론

본 연구의 목적은 첫째, 개발 중인 조명기구가 운전자 시야 선상의 낮은 위치에 연속으로 설치되기 때문에 기구에 의한 눈부심과 플리커의 영향을 평가하는 것이다. 둘째, 개발 중인 조명기구에 의한 눈부심과 플리커 영향을 억제하기 위한 적정 망막조도를 도출하는 것이다. 셋째, 도출된 조도 수치를 조명기구의 광학 설계 과정에 반영하여 운전자에게 과도한 망막조도를 제공하지 않도록 설계를 수행하는 것이다.

플리커에 의한 영향을 줄이기 위해서는 기구에 의한 연직면 조도가 2룩스[lx]보다는 작아야 할 것으로 판단하여 광학 설계를 하고 있다.

향후 60대의 피험자를 대상으로 동일한 시험을 수행할 계획이다.

본 연구는 국가교통핵심기술개발사업의 일환인 “다가형 라인조명시스템 기술 개발(3차년도)”의 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

### 참고 문헌

- [1] “A Driving Simulator for Road Lighting Using Fixed Low Mounting Height Luminaires”, Jean-Paul RAM, CIE 26TH SESSION, D4-56
- [2] “A Study for the Visibility Appraisals of the Road Lighting System installed at the guardrail”, Dae-II Seok, 1st Tripartite Lighting Sci-Tech Forum, pp.215