

# 난간에 설치되는 도로조명기구에 의한 불능글레어의 영향 평가

(An Assessment of disability glare's impact by road lighting luminaire installed at the guardrail)

석대일\* · 윤재정 · 이미애 · 김 훈

(Dae-II Seok\* · Jae-Jung Yoon\*\* · Mi-Ae Lee\*\*\* · Hoon Kim\*)

\*강원대학교 \*\* (주)백산엔지니어링 \*\*\* (주)아이라이트

## 요 약

도로의 난간에 설치되는 조명기구에 의한 불능글레어의 영향을 가로등 조명방식과 비교, 평가하고 글레어 규제를 위한 적정 휘도 범위를 알아내기 위한 시험을 수행하였다. 실내에 시험실을 구축하고, 글레어 유무 시 휘도대비식별역의 변화를 평가하였다. 글레어 광원에 의한 망막조도가 증가하고, 좁은 시야 각 내에 글레어 광원이 존재하면 휘도대비식별역이 증가하였다. 그리고 낮은 위치에 설치되더라도 시야에서 벗어나 있다면 가로등 조명방식에 비해 불능글레어의 영향이 적은 것으로 나타났다.

## 1. 서론

만일 난간에 설치되는 조명기구가 높은 휘도를 제공한다면 운전자의 눈에서 산란되는 빛이 증가하고, 광막 휘도가 증가함으로써 불능글레어와 불쾌글레어가 발생한다. 그로 인해서 인지 능력 저하와 시각적 불편감이 유발되며, 배경과 대상물의 휘도차를 식별할 수 있는 최소 변별역은 글레어로 인해서 상승하게 된다.[1]

본 논문에서는 낮은 위치에 설치되어 도로조명을 위한 목적으로 개발 중에 있는 라인조명기구와 기존의 가로등 조명방식을 비교하여 불능글레어의 영향을 평가하고 글레어 규제를 위한 적정 휘도 범위를 알아내기 위한 시험을 수행하였다.

피험자 전방에 글레어 광원의 유무 시 대상물을 인지할 수 있는 휘도대비식별역의 변화로 불능글레어의 영향 정도를 평가하고 분석하였다.

가로등의 설치간격은 40m, 높이는 12m로 가정하였고, 난간에 설치된 조명기구의 설치간격은 0.5m, 높이는 0.9m로 가정하여 정면의 원거리 도로부에 해당하는 수직벽면에 투영시키고, 해당 지점에 글레어 모의 광원으로 5W DC LED를 부착하였다. 각 LED는 개별 점소등이 되도록 전원부에 스위치를 연결하여 제어하였다.

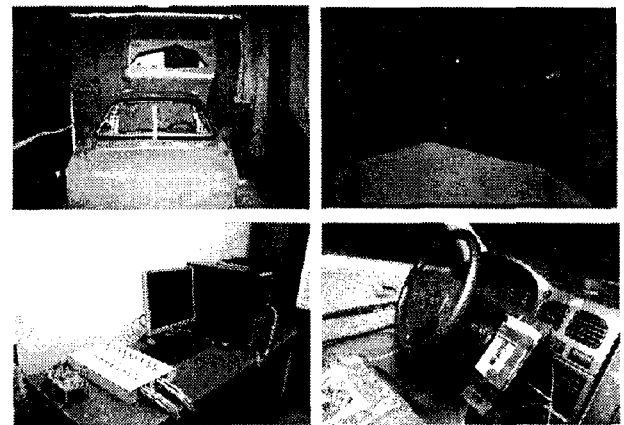


그림 2. 시험실 내부와 전면벽, 제어실과 차량 내부

## 2. 실내 시험실 제작

### 2.1 시험실 구성

그림 1은 시험실의 구성도를 보여준다.

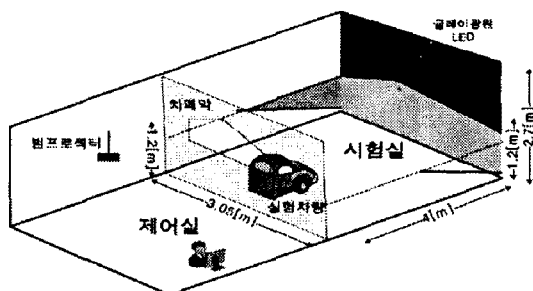


그림 1. 시험실 구성도

### 2.2 글레어 광원의 휘도 결정

KS와 CIE에서는 TI(Threshold Increment : 임계치 증분) 최대허용치 10~15로 불능글레어를 규제하고 있다. 가로등의 경우, TI값과 광막휘도를 식 (1)을 이용하여 구할 수 있지만 관찰자와 기구 사이의 각도 범위를 15°~60°로 제한하고 있기 때문에 운전자 시선보다 낮은 위치에 설치된 조명기구의 경우에는 적용하기 어렵다. 본 시험에서 글레어 광원에 의한 광막휘도를 가변시키는 것이 어렵기 때문에 규정된 TI 최대허용치인 10을 간주하여 가로등에 의한 망막에서의 연직면조도를

구하고, 망막조도의 가변 범위를 정하였다. LED 구동 전압을 조절하여 6가지의 망막조도를 제공하였고, 그때 발생하는 휘도를 광막휘도로 가정하였다. 전압 조절은 Power Supply를 이용하였다. 식 (1)은 TI를 구하는 계산식이다.

$$L_v = K \frac{E_e}{\theta^2}, TI = \frac{k \cdot E_e}{L_{av}^{0.8} \cdot \theta^2} (\%) \quad (1)$$

여기서,  $L_v$ 는 관찰자 망막 정면의 광막휘도이고,  $E_e$ 는 관찰자 망막 조도,  $L_{av}$ 는 순응휘도이며,  $\theta$ 는 관찰자와 조명기구 사이의 각도이다.[2]

### 2.3 형태 인지 대상물의 결정

대비감도와 불능글레이어를 측정하는 정신물리학적 테스트에서 다른 대비의 표준 랜들트링으로 대비감도를 평가하는 The Pelli-Robson Chart(PRC)가 이용된다.[3]

피험자는 일정한 배경 휘도( $1.5cd/m^2$ ,  $0.75cd/m^2$ )에 순응되어 있고, 0.1~0.9까지 서로 다른 대비를 갖는 랜들트링이 출현한다. 링은 6 방향의 개구부를 가지며, 개구부 방향은 랜덤으로 선택되도록 하였다.

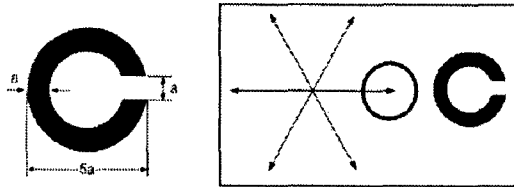


그림 3. 시험시표로써의 랜들트 링

### 2.4 영상프로그램 및 측정시스템 구성

배경 영상과 휘도대비가 다른 랜들트링의 영상은 그림 파일로 제작하였다. 차량에 배치된 키패드로 입력된 신호를 PC에서 받아들여 인지 정확도와 반응시간 등을 기록하는 프로그램과 controller를 제작하였다.

그림 4는 측정시스템의 블록도와 영상 보여준다.

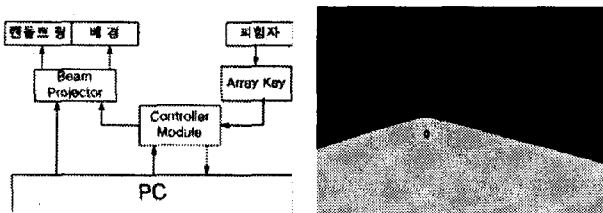


그림 4. 측정시스템의 블록도와 테스트 영상의 예

## 3. 시험 방법

### 3.1 피험자 선정과 평가 절차

예비시험에서는 20대 남성 3명, 본 시험에서는 20대 남성 10명을 모집하여 시험을 수행하였다. 피험자들은

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

휘도대비와 개구부의 방향이 다른 랜들트링이 출현하면 피험자는 개구부의 방향을 인지하고 키패드에서 해당하는 Key를 누른다. 입력된 신호가 PC로 전달되고, 프로그램에서는 인지 정확도를 판별하여 잘못 인지했을 경우에는 한 단계 높은 휘도대비의 랜들트링 영상을 보여주고, 옳게 인지했다면 시험을 종료한다. 시험 조건을 달리 제공하면서 정확히 인지할 때까지 시험은 반복되었다. 정확히 인지하는 순간의 휘도대비를 통하여 휘도대비식별역을 산출해냈다. TI 값의 최대허용치를 간주하였기 때문에 가로등의 상황과 동일한 휘도대비식별역이 나왔을 때의 망막조도를 난간에 설치된 조명 상황에서의 글레이어 규제 허용치로 제시할 수 있다.

### 3.2 시험 조건

표 1은 글레이어 평가를 위한 테스트 조건이다. 시험에 적용된 테스트 변수는 배경휘도, 시야각, 조도이며, 총 204가지였다. 글레이어가 없는 상황은 각 피험자마다 16번씩 시험을 하였다.

표 1. 글레이어 테스트 조건

배경휘도	휘도대비	개구부 방향	가로등		라인조명	
			시야각	조도	시야각	조도
1.5	0.1~0.9 (0.02씩 변화)	6가지	20	5	1.5	5
			10	3	1.3	3
			5	1	1	1
			4	0.5	0.8	0.5
			3	0.25	0.6	0.25
			2.5	0.1	0.4	0.1
0.75		2.2		0.2		
		2		0.1		
		1.5				

시야각은 피험자와 조명기구 사이에 이루는 각도이며, 멀리 있는 조명기구일수록 시야각이 작다.

## 4. 결과 분석

### 4.1 예비시험 결과

예비시험의 목적은 시험 조건과 방법이 적절한지 검증하고, 경향을 미리 파악하기 위함이다. 본 시험을 통해 나온 결과와 동일하기 때문에 여기에서는 최종 본 시험 결과만을 제시하겠다.

### 4.2 본 시험 결과

인지한 휘도대비역의 값은 10명의 피험자로부터 획득된 데이터들을 산술평균한 값으로 나타냈다. 결과는 세 가지 항목으로 나누어서 분석하였다. : (1) 망막조도의 변화에 따른 휘도대비역의 변화; (2) 글레이어 모의 광원의 시야각에 따른 휘도대비역의 변화; (3) 가로등과 난

간에 설치되는 기구가 동일한 지점에 위치하고, 설치 높이만 다른 경우 휘도대비역의 변화.

위의 휘도대비역은 피험자가 식별할 수 있었던 최소 휘도대비이고, 휘도대비역이 작을수록 낮은 휘도대비에 서도 식별이 용이하다는 의미이다. 결과를 그래프로 나타내기에는 분량이 많아서 표로 제시하였고 대표적인 경향을 보이는 것만 그래프로 나타내었다.

글레어가 없는 조건에서 평균 휘도대비역은 배경휘도 0.75cd/m<sup>2</sup>일 때 0.19, 배경휘도 1.5cd/m<sup>2</sup>일 때 0.17이었고 최소치는 모두 0.1이었다.

망막조도의 변화에 따른 휘도대비역의 변화는 표 2와 3, 그림 5와 6에 나와 있다.

표 2. 가로등 조명방식에 의한 망막조도 변화의 영향

시야각(°)	배경휘도 0.75cd/m <sup>2</sup>					배경휘도 1.5cd/m <sup>2</sup>						
	망막조도 (lx)					망막조도 (lx)						
	0.1	0.25	0.5	1	3	0.1	0.25	0.5	1	3	5	
20	0.16	0.19	0.19	0.23	0.29	0.35	0.15	0.18	0.17	0.2	0.24	0.3
10	0.14	0.17	0.17	0.19	0.25	0.28	0.16	0.16	0.16	0.18	0.23	0.25
5	0.19	0.17	0.21	0.21	0.28	0.36	0.16	0.17	0.17	0.18	0.23	0.27
4	0.17	0.19	0.2	0.22	0.34	0.41	0.17	0.18	0.19	0.22	0.28	0.34
3	0.15	0.16	0.2	0.24	0.37	0.49	0.15	0.18	0.2	0.21	0.26	0.36
2.5	0.14	0.16	0.22	0.28	0.42	0.58	0.16	0.18	0.16	0.21	0.28	0.37
2.2	0.16	0.2	0.24	0.28	0.43	0.64	0.17	0.2	0.24	0.28	0.43	0.64
2	0.16	0.19	0.25	0.26	0.64	0.74	0.15	0.16	0.19	0.28	0.4	0.52
1.5	0.19	0.19	0.26	0.37	0.72	0.84	0.17	0.16	0.22	0.3	0.45	0.66

표 3. 난간에 설치되는 조명방식에 의한 망막조도 변화의 영향

시야각(°)	배경휘도 0.75cd/m <sup>2</sup>					배경휘도 1.5cd/m <sup>2</sup>					
	망막조도 (lx)					망막조도 (lx)					
	0.1	0.25	0.5	1	3	0.1	0.25	0.5	1	3	5
1.5	0.15	0.18	0.17	0.19	0.22	0.22	0.14	0.16	0.16	0.18	0.21
1.3	0.16	0.16	0.16	0.18	0.22	0.23	0.17	0.16	0.17	0.21	0.23
1	0.16	0.18	0.18	0.19	0.22	0.25	0.17	0.17	0.17	0.18	0.2
0.8	0.16	0.18	0.16	0.19	0.21	0.3	0.19	0.15	0.16	0.18	0.18
0.6	0.16	0.19	0.19	0.21	0.24	0.28	0.16	0.16	0.19	0.21	0.22
0.4	0.17	0.17	0.2	0.21	0.31	0.33	0.16	0.17	0.19	0.19	0.25
0.2	0.16	0.17	0.26	0.34	0.59	0.75	0.18	0.18	0.19	0.26	0.41
0.1	0.17	0.21	0.34	0.62	0.87	0.9	0.18	0.18	0.29	0.41	0.78

망막조도가 증가하면 인지할 수 있는 휘도대비역이 증가하고, 동일한 글레어 광원에서 동일한 망막조도를 제공해준다면 배경휘도가 높은 경우가 인지할 수 있는 휘도대비역이 낮게 나오는 것을 알 수 있었다.

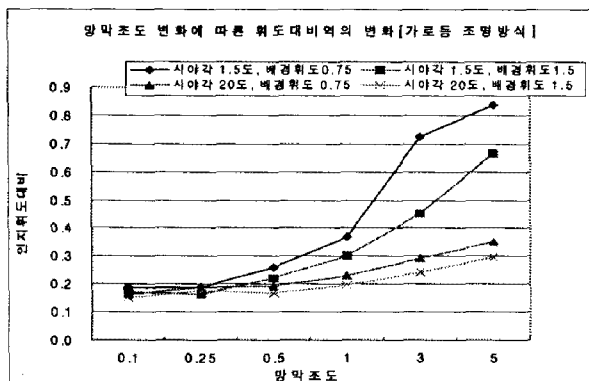


그림 5. 망막조도 변화에 따른 휘도대비역의 변화 (가로등 조명방식)

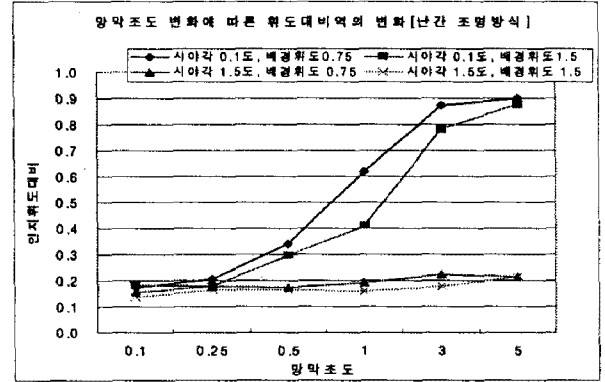


그림 6. 망막조도 변화에 따른 휘도대비역의 변화 (난간 설치 조명방식)

글레어 모의 광원의 시야각의 변화에 따른 휘도대비역의 변화는 표 4, 5, 그리고 그림 7과 8에 나와 있다.

표 4. 가로등 모의 글레어 광원의 시야각 변화의 영향

망막조도	배경휘도	글레어 광원의 시야각(°)								
		20	10	5	4	3	2.5	2.2	2	1.5
		0.1	0.75	0.16	0.14	0.19	0.17	0.15	0.14	0.16
0.25	1.5	0.15	0.16	0.16	0.17	0.15	0.16	0.17	0.15	0.17
	0.75	0.19	0.17	0.17	0.19	0.16	0.16	0.2	0.19	0.19
0.5	0.75	0.18	0.16	0.17	0.18	0.18	0.18	0.16	0.16	0.16
	1.5	0.19	0.17	0.21	0.2	0.2	0.22	0.24	0.25	0.26
1	0.75	0.23	0.19	0.21	0.22	0.24	0.28	0.28	0.28	0.37
	1.5	0.2	0.18	0.18	0.22	0.21	0.21	0.21	0.26	0.3
3	0.75	0.29	0.25	0.28	0.34	0.37	0.42	0.43	0.64	0.72
	1.5	0.24	0.23	0.23	0.28	0.26	0.28	0.33	0.4	0.45
5	0.75	0.35	0.28	0.36	0.41	0.49	0.58	0.64	0.74	0.84
	1.5	0.3	0.25	0.27	0.34	0.36	0.37	0.48	0.52	0.66

표 5. 난간에 설치되는 조명 모의 글레어 광원의 시야각 변화의 영향

망막조도	배경휘도	글레어 광원의 시야각(°)							
		1.5	1.3	1	0.8	0.6	0.4	0.2	0.1
		0.1	0.75	0.15	0.16	0.16	0.16	0.16	0.17
0.25	1.5	0.14	0.17	0.17	0.19	0.16	0.17	0.18	0.18
	0.75	0.18	0.16	0.18	0.18	0.19	0.17	0.18	0.21
0.5	1.5	0.16	0.16	0.17	0.15	0.16	0.17	0.17	0.18
	0.75	0.17	0.16	0.18	0.16	0.19	0.2	0.26	0.34
1	1.5	0.19	0.18	0.18	0.19	0.21	0.21	0.34	0.62
	0.75	0.16	0.21	0.18	0.18	0.21	0.19	0.26	0.41
3	0.75	0.22	0.22	0.22	0.21	0.24	0.31	0.59	0.87
	1.5	0.18	0.21	0.18	0.18	0.22	0.25	0.41	0.78
5	0.75	0.22	0.23	0.25	0.3	0.28	0.33	0.75	0.9
	1.5	0.21	0.23	0.2	0.18	0.25	0.3	0.58	0.88

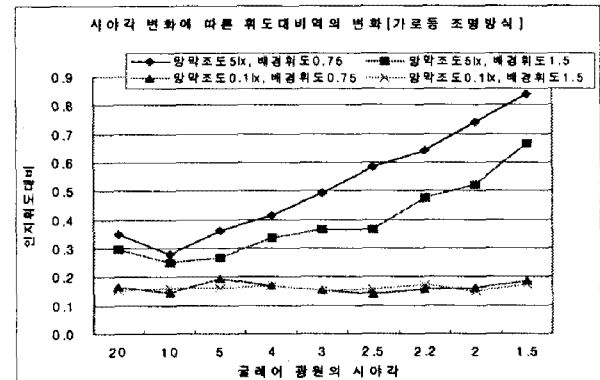


그림 7. 시야각 변화에 따른 휘도대비역의 변화 (가로등 조명방식)

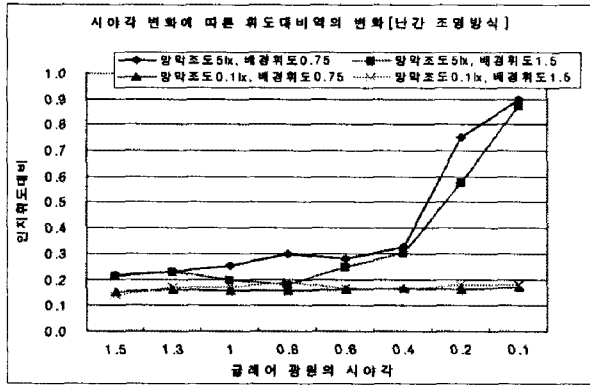


그림 8. 시야각 변화에 따른 휘도대비역의 변화 (난간 설치 조명방식)

망막조도가 높을 때 시야각의 변화에 따른 휘도대비역의 변화가 크다. 큰 시야각을 갖는 난간에 설치된 조명은 가로등에 비해 휘도대비역의 변화가 크지 않다.

동일한 지점에서 조명방식이 다른 글레어 광원이 위치하고, 설치 높이만 다른 경우 휘도대비역의 변화는 표 6 과 7, 그리고 그림 9에 나와 있다.

피험자 전방의 첫 번째 조명기구는 29m 앞에 있는 것으로 임계치중분에서 제시하는 차단각 20°에 상응한다. 동일 지점에 위치하는 글레어 모의 광원의 시야각은 가로등의 경우, 20도, 10도, 5도이고, 그에 대응하는 난간에 설치된 기구의 경우에는 0.6도, 0.2도, 0.1도이다. 피험자로부터 떨어진 거리는 29m, 69m, 100m가 되겠다.

표 6. 동일 지점에서 망막조도 변화의 영향 (배경휘도 0.75cd/m<sup>2</sup>)

거리	기구	시야각(°)	배경휘도 0.75cd/m <sup>2</sup> 망막조도(lx)					
			0.1	0.25	0.5	1	3	5
29m	가로등	20	0.16	0.19	0.19	0.23	0.29	0.35
	난간설치조명	0.6	0.16	0.19	0.19	0.21	0.24	0.28
69m	가로등	10	0.14	0.17	0.17	0.19	0.25	0.28
	난간설치조명	0.2	0.16	0.17	0.26	0.34	0.59	0.75
109m	가로등	6	0.19	0.17	0.21	0.21	0.28	0.36
	난간설치조명	0.1	0.17	0.21	0.34	0.62	0.87	0.9

표 7. 동일 지점에서 망막조도 변화의 영향 (배경휘도 1.5cd/m<sup>2</sup>)

거리	기구	시야각(°)	배경휘도 1.5cd/m <sup>2</sup> 망막조도(lx)					
			0.1	0.25	0.5	1	3	5
29m	가로등	20	0.15	0.18	0.17	0.2	0.24	0.3
	난간설치조명	0.6	0.16	0.16	0.19	0.21	0.22	0.25
69m	가로등	10	0.16	0.16	0.16	0.18	0.23	0.25
	난간설치조명	0.2	0.18	0.18	0.19	0.26	0.41	0.58
109m	가로등	6	0.16	0.17	0.17	0.18	0.23	0.27
	난간설치조명	0.1	0.18	0.18	0.29	0.41	0.78	0.88

동일한 지점에서 망막조도에 따른 휘도대비역의 변화는 난간에 설치되는 조명기구의 경우가 크다. 낮은 위치에서 피험자 시야와 마주하기 때문에 더 큰 영향을 미치는 것이며, 근거리에서는 오히려 가로등 조명방식의 영향이 크다. 이것은 근거리에서는 난간에 설치된 조명기구가 시야 범위에서 더 벗어나 있기 때문이다.

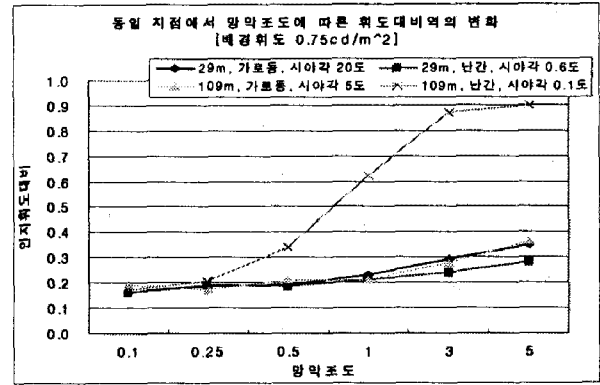


그림 9. 동일 지점에서 망막조도에 따른 휘도대비역의 변화 (배경휘도 0.75cd/m<sup>2</sup>)

### 3. 결론

본 연구의 목적은 개발 중인 “라인조명기구”와 같이 운전자 시야 선상의 낮은 위치에 조명기구가 있을 때 운전자에게 미치는 글레어의 영향을 분석하고, 글레어를 규제하기 위한 제한 수치를 도출하는 것이다. 운전자 전방 시야 범위 내의 낮은 위치에서 가로등과 동일한 광망휘도를 발생한다면 글레어의 영향은 낮은 위치에 있을 때 더 크다는 것을 알았다.

표 6과 7 그리고 전체 연구 결과를 토대로 낮은 위치에 조명기구가 있는 경우 글레어를 규제하기 위한 제한 수치를 간략히 망막조도로 제시하였다. 향후 각 변수들 간의 관계를 정밀하게 분석하여 글레어 규제 수치를 체계화 할 필요가 있다.

표 8. 라인조명기구의 글레어 규제를 위한 제한 망막조도

순응휘도 (cd/m <sup>2</sup> )	거리	망막조도	휘도식별력		제한 value
			가로등	라인조명	
0.75	운전자에서 전방 69m까지	5 lx	0.35	0.28	-
	69m에서 109m까지	0.25 lx	0.17	0.17	0.25lx 이하
	109m 이상	0.1 lx	0.17	0.19	0.1lx 이하
1.5	운전자에서 전방 69m까지	5 lx	0.3	0.25	-
	69m에서 109m까지	0.25 lx	0.16	0.18	최대 0.25lx 미만
	109m 이상	0.1 lx	0.16	0.18	최대 0.1lx 미만

본 연구는 국가교통핵심기술개발사업의 일환인 “다기능 라인조명시스템 기술 개발”의 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

### 참고 문헌

- (1) “光と照明”, 신개정 제4판 1994, 일본이공출판회
- (2) “KS A 3701 도로조명기준”, 2007년 개정
- (3) “Standad Measures of Visual Acuity Do Not Predict Driver's Recognition Performance Under Day or Night Conditions”, Optometry and Vision Science, Vol.82, No.8, August 2005