

## 차량 계측 시스템을 이용한 터널의 조도 및 휘도 실측값 분석

(Analysis of the measured illuminance and luminance values from tunnel lighting mobile measuring system)

김동조 · 남동훈 · 김 훈

(Dong-Jo Kim · Dong-Hoon Nam · Hoon Kim)

(강원대학교 박사과정 · 한국도로공사 · 강원대학교 교수)

### 요 약

우리나라는 국토의 65% 이상이 산악지대로서 일반도로, 고속도로, 산업도로에서 터널이 차지하는 비중이 점차 증대 되어지고 있다. 터널은 밝기가 급변하는 장소로서 자동차 운전자가 터널 진입 시 도로의 상황이나 교통상황을 정확히 파악하여 안전하고 불안감 없이 도로를 통행 할 수 있게 하여야 한다. 터널내의 충분한 노면휘도 유지를 위하여 터널내부의 조도를 정기적으로 측정하여야 하는데 기존의 수동식 측정법으로는 신속하고 신뢰적인 조도측정에 한계가 있다. 따라서 본 논문에서는 차량을 이용한 측정시스템을 이용하여 터널조도 및 휘도를 측정하고 그 실측값을 분석하였다.

## 1. 서 론

도로조명에서 고속국도의 터널은 설계속도가 빨라 운전자가 야외휘도에 순응되어있는 상태에서 밝기가 급변하는 장소로 이동 될 때 암순응에 적응하는 시간이 길어 선행차량이나 장애물을 인지하기가 매우 곤란하게 된다. 따라서 자동차 운전자가 터널 진입 시 도로의 상황이나 교통상황을 정확히 파악하여 안전하고 불안감 없이 도로를 통행 할 수 있게 하여야 한다. 특히, 터널내의 충분한 노면휘도 유지와 균제도는 도로교통에 있어서 대단히 중요한데 터널내부는 폐쇄된 공간과 같으므로 터널내부에서 사고가 발생 할 경우 인적, 물적 피해가 대단히 크기 때문에 터널 내부의 조명설비를 항상 최적화하여야 한다. 따라서 터널 내부의 조도를 정기적으로 측정하여 기준에 적합한지를 평가하여야하는데 기존의 수동식 측정법으로는 수많은 터널의 조도측정에 의한 유지관리의 한계가 있기 때문에 보다 신속하고 신뢰적인 조도 및 휘도를 계측하는 시스템 개발이 필요하게 되었다. 따라서 본 논문에서는 자동차 운전자의 안전한 도로터널 운행에 필수적인 조도와 휘도를 신속하고 신뢰적이며 안전하게 측정 할 수 있는 시스템을 이용하여 터널조도 및 휘도를 측정하고 그 실측값을 분석하였다.

## 2. 터널의 조도 및 휘도기준

### 2.1 휘도 및 조도기준

#### 가. 터널 조명

입구부 조명은 터널의 형태나 입구부근 상황, 설계속도와 교통량, 야외휘도 등에 따라 다르며 주간에 터널 입구부근의 시각적 문제를 해결하기 위해 기본조명에 부가하여 설치하는 조명을 말한다. 기본적인 조명곡선은 그림1과 같이 경계부, 이행부, 완화부로 구분한다.

-경계부는 터널입구 직후에 있는 장애물을 설계속도에 대한 시인거리로부터 운전자가 자각하는데 필요한 배경을 제공하는 부분이다.

-이행부는 자동차가 터널에 진입하기 직전까지의 시인거리만큼 전방에 있는 장애물을 보기위한 배경을 주는 부분으로 터널에 접근하면서 운전자의 순응도 점차 저하하여 소요노면휘도도 감소한다.

-완화부는 터널에 진입한 후 시인거리만큼 떨어진 장애물을 인지하기 위한 배경을 주는 부분으로 암순응 곡선에 따라 휘도를 감소시켜서 기본부 조명에 접속한다.

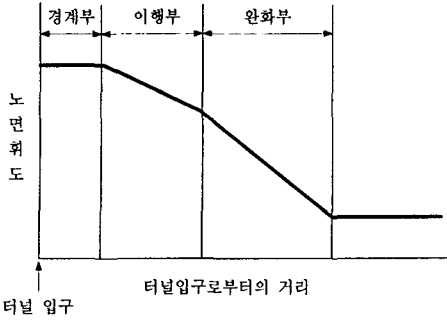


그림1 입구부 조명곡선

(1) 입구부 조명 설정

- 경계부의 노면휘도는 터널 입구 부근의 운전자 시야상황에 따라 정해지는 야외휘도의 연간 출현 빈도를 고려하여 설정되는 값에 설계속도에 따라 정해지는 계수를 곱한 값으로 한다.
- 이행부 및 완화부의 노면휘도는 경계부의 노면 휘도 값을 100%로 하여 다음 그림과 같이 터널 이행부로부터의 거리에 따라 감소시키고 기본부 조명의 노면휘도 값에 접속하는 것으로 한다.
- 입구부 조명의 노면휘도는 교통상황에 따라 증 감 할 수 있다.
- 운전자의 시야상황에 따라 정해지는 야외휘도 비 연간 출현빈도에 따라 설정되는 값은 표1. 설정되는 야외휘도를 표준으로 한다.
- 경계부의 노면휘도 값을 구하기 위하여 곱하는 계수는 표2. 야외휘도에 곱하는 계수에 따르는 것이 바람직하다.
- 입구부 조명의 벽면 휘도는 그 위치에서 노면 휘도 값의 1.5배 이상의 값으로 하는 것이 바람직하다.

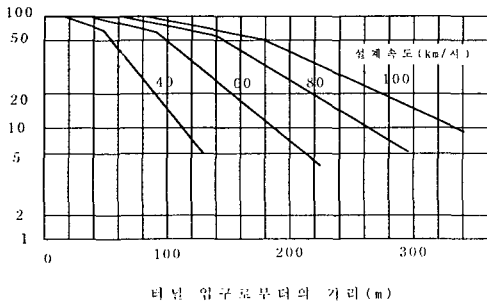


그림2. 터널입구부의 노면휘도

표1. 설정야외휘도

설계속도 (km/h)	20도 시야 내에 접하는 공간의 비율(%)							
	20 이상		20 ~ 10		10 ~ 5		5 미만	
	주위의 상황(cd/m <sup>2</sup> )							
	밝음	보통	밝음	보통	밝음	보통	밝음	보통
100	6,000	5,000	5,000	3,000	4,000	2,500	4,000	2,000
80								
60	5,000	4,000	4,000	2,500	3,000	2,000	3,000	1,500
40								

- 주) 이 시야는 터널 입구에서 시인거리 만큼 앞쪽에 있는 운전자가 터널을 볼 경우의 것이다.
- 비고 1. 주위상황이 밝다는 것은 터널 입구 부근의 지형물이 흰색, 회색 등의 반사율이 높을 경우를 말하며, 입구 부근에 장기간 적설상태가 계속되는 경우도 여기에 포함된다.
2. 주위의 상황이 보통이란 상기 이외의 경우를 말한다.

표2. 야외휘도에 곱하는 계수

설계속도(km/h)	계 수	비 고
100	0.07	
80	0.05	
60	0.04	
40	0.03	

(2) 기본 조명

기본 조명은 주·야간에 터널 내에서 운전자에게 충분한 시각 인지성을 제공하기 위하여, 터널 길이 전체에 걸쳐 거의 균일한 휘도를 확보하는 조명을 말하며 평균노면휘도값은 표3과 같은 값이 추천된다.

표3. 평균노면휘도(건조 노면에 대한 값)

설계속도(km/h)	평균노면휘도(Lr)(cd/m <sup>2</sup> )
100	9.0
80	4.5
60	2.3
40	1.5

- 주 : ① 교통량이 많고, 터널 내의 공기투과율이 낮을 경우에는 평균노면휘도를 이 값보다 높게 하는 것이 바람직하다.
- ② 교통량이 적고, 터널 내의 공기투과율이 높을 경우에는 평균노면휘도를 이 값보다 낮게 하는 것이 바람직하다.
- ③ 벽면의 노면휘도는 평균노면휘도의 1.5배 이상의 값으로 하는 것이 바람직하다.

④ 야간에는 이 값을 낮추어 적용할 수 있다. 다만, 그 최저치는 설계속도가 80km/hr 이상인 경우에는 1.0cd/m<sup>2</sup>, 설계속도가 60km/hr 이하인 경우에는 0.7cd/m<sup>2</sup>로 한다.

또한, 접속하는 도로에 연속조명이 설치되어 있는 경우, 야간의 평균노면휘도는 접속도로 평균노면휘도의 2배 이상으로 하는 것이 바람직하다.

(3) 출구부 조명

출구부 조명은 주간에 터널 출구를 통해 보이는 야외의 높은 휘도로 인한 눈부심에 의해 발생되는 시각적 문제를 해결하기 위하여 기본 조명에 부가하여 설치하는 조명을 말한다. 출구부 조명은 터널 출구 야외휘도의 1/10이상인 되도록 연직면 조도를 제공하는 것을 원칙으로 하며, 조명구간의 길이는 차 간격을 고려하여 70m전후의 길이로 설치하는 것이 바람직하다.

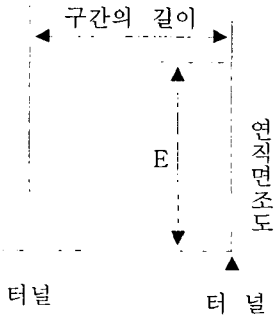


그림3. 터널 출구부 조명

(4) 평균조도 환산계수

평균조도 환산계수를 콘크리트 노면에서는 13 lx/nt, 아스팔트 노면에서는 18 lx/nt로 설정하면 노면 휘도에 따른 콘크리트와 아스팔트 노면의 조도는 표4와 같다.

표4. 평균조도 환산계수

노면휘도[nt]	콘크리트 노면조도[lx]	아스팔트 노면조도[lx]
2.0	26	36
1.0	13	18

(5) 균제도

노면의 종합 균제도(최소/평균)는 0.4, 차선측 균제도는 0.7 이상이 되도록 하여야 한다.

3. 차량을 이용한 조도 및 휘도 측정

실험용 차량을 이용하여 비교적 긴 터널과 상대적으로 길이가 작은 터널을 대상으로 하여 측정하였다. 본 실험의 목적은 노트북 pc와 연계된 다점조도계와 휘도계가 자동차 transmission에 설치된 펄스발생기의 신호를 수신하여 원하는 간격으로 조도와 휘도 측정값을 pc에 송신하고 이 과정을 pc에서 감시하며 interval control이 가능한지를 시험하여 이 값으로 실험터널의 조도 및 휘도 수준을 평가하기 위함이다.

3.1 측정

3.1.1 실험터널 1

설계된 시스템을 이용하여 중앙고속도로 춘천-홍천 간에 위치한 원무 1터널을 대상으로 터널 입구부 20m 전방에서부터 측정하였으며 노면은 콘크리트이고 터널의 제원과 측정조건은 아래와 같다.

가. 측정조건

- 터널길이 : 497m, 일방향 2차선
- 터널방향: 입구부 북향
- 조명기구 설치 형태 : FL32W\*3 + 고압나트륨 혼용
- 측정시간: 오전11시18분 날씨 맑음
- 측정거리 및 측정 소요시간: 246m, 15분
- 차량속도 : 약 5km/hr

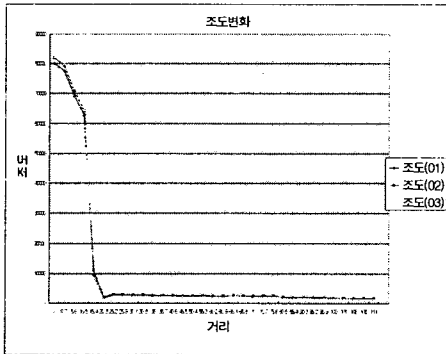
나. 측정방법

- 휘도계 : 미놀타 LS-110 Acceptance Angle (1/3°) : 노면 위 75cm 차량 중앙에 부착
- 다점조도계 : 미놀타 T10 : 노면 위 14cm , 2도 계 간격 75cm 거리로 3개 부착
- Notebook pc : 삼성 256MB
- Tachometer( pulse generator) : 차량 transmission에 부착

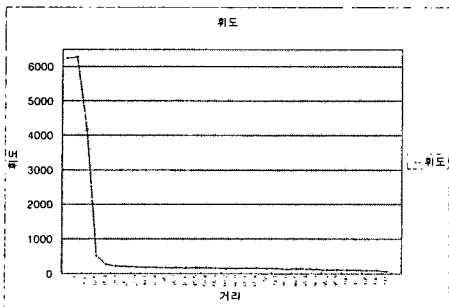


그림4. 측정차량 모습

다. 측정결과



(a) 조도



(b) 휘도

그림5. 원무1터널의 조도 및 휘도 측정표

총 측정점은 99점이며 이를 분석하면 오전 11시 18분49초 일 때의 야외휘도는 6,252nt 조도 82,000 lx (환산 계수 13.115)이다. 이는 평균조도환산계수가 콘크리트 노면인 경우 13인 것과 근사하다. 조도값의 급격한 변화를 가져오는 거리가 약 34m로서 야외휘도 측정구간 20m 를 배제하면 14m 전후하여 야외휘도의 영향을 받을 수 있다. 이는 건설교통부 “도로터널 조명시설의 설계기준”

16p에서 설명한 10m 까지를 자연광 입사 거리로 규정한 것과 거의 유사함을 알 수 있다. 여기서 주간에 측정 할 경우 조명기구에 의한 입구부 조도를 측정하기는 곤란하다. 이행부에서 완화부까지는 2400 lx에서 1400 lx로 그림1과 같이 완만하게 감소됨을 알 수 있다. 이때의 터널 내 길이는 약 220m 지점이다.

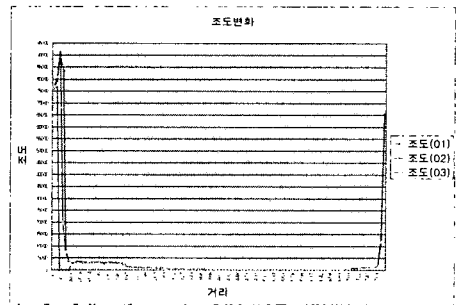
### 3.1.2 실험터널 2

설계된 시스템을 이용하여 중앙고속도로 춘천-홍천 간에 위치한 원무 2터널을 대상으로 역시 입구 20m 전방에서부터 측정하였으며 노면은 콘크리트이고 터널의 제원과 측정조건은 아래와 같다.

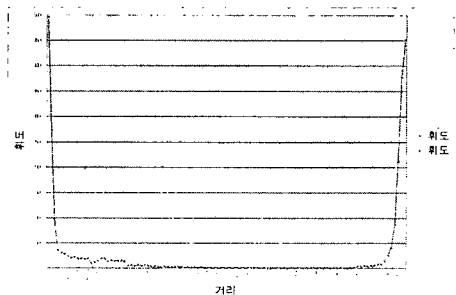
가. 측정조건

- 터널길이 : 808m, 일방향 2차선
- 터널방향: 입구부 북향
- 조명기구 설치 형태 : FL32W\*2 + 고압나트륨
- 측정시간: 오전11시51분 날씨 맑음
- 측정거리 및 측정 소요시간: 798m, 50분

나. 측정결과



(a) 조도



(b) 휘도

그림6. 원무1터널의 조도 및 휘도 측정표

측정점은 모두 324점으로 이를 분석하면 조도값의 급격한 변화를 가져오는 거리가 약 38.5m로서 야외휘도 측정구간 20m를 배제하면 18.5m 전후하여 야외휘도의 영향을 받음을 알 수 있다. 이행부에서 완화부까지는 3000lx에서 1000 lx로 그림1과 같이 완만하게 감소됨을 알 수 있다. 이때의 터널 내 길이는 약 375m(46.4%) 지점이며 기본부는 200lx 정도의 조도를 유지하고 있고 739m 지점까지 364m를 기본부 구간으로 평가 할 수 있으며 전 구간의 약 45%를 점유하고 있다. 출구부의 조도는 800-900-1500lx를 기록하였다. 그러나 구간에 측정하는 출구부 조도 역시 자연광의 영향을 받으므로 정확한 측정은 곤란하다. 터널길이가 808m이므로 출구부가 시작되는 지점이 739m라고 하면 69m 정도가 출구부 영역으로 KSA 3703의 그림3과 일치한다. 또한 flicker와 관계있는 균제도는 종합균제도( overall uniformity) 0.85(183.5 lx / 215.17), 차선축 균제도(longitudinal uniformity) 0.731(183.5 lx / 251 lx)로서 기준에 적합함을 알 수 있다. 이는 실험터널이 최근 벽부형태의 조명방식에서 천정 tray 부착방식으로 교체되었고 벽면이 깨끗한 환경이기 때문이다.

#### 4. 결 론

위 실험에서와 같이 차량을 이용한 조도 및 휘도 측정으로 많은 지점의 조도를 신속하고 신뢰적으로 측정하였으며 이들 data를 이용하여 균제도, 휘도, 조도에 대하여 기준값과의 비교가 가능하였다. 향후 인식이 빠른 조도 sensor를 사용하여 프로그램을 조정하면 70km이상으로 차량을 운행하면서 도로교통에 방해를 주지 않으면서도 많은 터널의 조도 측정이 가능함을 알게 되었다. 이 시스템이 좀더 지능적이 된다면 고속도로 및 산업도로, 일반도로의 터널 관리에 많은 도움이 될 것이다.

#### 후 기

이 논문은 한국도로공사의 연구용역에 의해 수행된 연구결과와 일부임.

#### 참고문헌

- [1] KCIE " 터널 및 도로조명기준 개선용역 " . pp. 2~25, 2004.12
- [2] 건설교통부 " 도로터널 조명시설의 설계기준" . pp 12, 22~24, 121, 1996.4
- [3] Rossi "The development of a new mobile photometric laboratory" CIE Midterm meeting. 2005.4
- [4] CIE "Photometric measurement systems for load lighting installations" proceedings of two CIE workshops. Belgium 1994, France 1996
- [5] 일본도로공단 "자동식 조도 측정 시스템" presentation 자료, 2005.9
- [6] KSA 3703
- [7] R.H. Simons & A.R Beam "Lighting engineering" chapter11.
- [8] IESNA Lighting handbook
- [9] 日本照明 handbook pp395~403