

터널조명 측정을 통한 조도와 휘도기반의 조명 비교 연구

(Comparison Research between Lighting Based on luminance and Illuminance through Measuring Tunnel Lighting)

이미애* · 한승훈** · 김연화**

(Mi-Ae Lee · Seung-Hun Han · Yeon-Hwa Kim)

Abstract

Tunnel lighting design and operation are both regulated based on luminance in and out of Korea these days. However, domestic tunnel lighting is operated by internal lighting depending on external brightness by using an illuminometer applying the conversion factor on luminance. The purpose of tunnel lighting is to alleviate the visual shock occurring from the rapid change from external brightness to internal brightness when entering a tunnel. However, when looking at the tunnels operated based on an illuminometer, it is not a system where the driver can measure the brightness within his or her viewing angle when entering the tunnel. It is general to install and operate the illuminometer on the roof of an administrative office near the tunnel; however, this method is not structured to connect with the internal lighting by checking the brightness of the viewing scope of the driver, thus is not structured to properly apply the viewing conditions of the driver. Rather, it should be in a method for extracting the luminance value within the viewing scope of the driver pursuant to tunnel lighting standards and in connection with internal lighting. This research seeks to find the difference between operations based on luminance and operations based on intensity of Illuminance in road tunnels through field measuring, and to suggest the necessity of operating based on luminance with the resulting value.

Key Words : Tunnel Lighting, Luminance, Driver'S Viewing Condition, Luminance Measurement

-
- * 주저자 : (주)아이라이트 조명연구소 대표
 - ** 교신저자 : (주)아이라이트 조명연구소 대리
(주)아이라이트 조명연구소 과장
 - * Main author : iLight Lighting Consulting & Design
CEO
 - ** Corresponding author : iLight Lighting Consulting
& Design Assistant Manager
iLight Lighting Consulting & Design
General Manager
Tel : 02-511-4835, Fax : 02-511-9840
E-mail : ilight2000@hanmail.net
 - 접수일자 : 2013년 9월 13일
 - 1차심사 : 2013년 9월 18일
 - 심사완료 : 2013년 10월 29일

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

우리나라는 국토의 약 80%가 산지로 터널이 많은 나라 중에 하나이다. 따라서 운전자는 도로를 주행하면서 다양한 형태의 기하구조물에 접하게 되며, 터널의 구조적인 특징으로 인해 교통안전상의 많은 제약

요소를 가지게 된다. 폐쇄된 공간으로의 도로주행은 시각적인 큰 변화로, 안정적인 운전자 상태를 깨뜨려 긴장되고 불안정한 상태로 이르게 한다.

이러한 상태가 계속될 경우 운전자는 운전조작의 불안정성을 일으킬 확률이 증가하고 사고로 연결되는 원인을 제공하게 된다. 이러한 문제점을 개선하기 위하여 터널조명을 관측하는 조도계가 설치되어 있으나 그 효력을 발휘하지 못하고 있는 실정이다.

터널조명은 터널내부로 진입하는 운전자가 오픈된 공간에서 폐쇄된 터널내부 공간으로 진입하는데 느끼는 밝기를 찾아 순응을 도와주어야 한다. 통상 조도계는 하늘을 향해 설치되어 태양의 고도가 가장 높을 때에 가장 밝음을 인식하고 그 데이터를 터널내부로 전달하여 내부 인공조명을 제어하는 시스템이다. 따라서 실질적으로 운전자가 필요한 환경과는 다른 조명제어가 되고 있다고 할 수 있다. 그럼에도 불구하고, 현재 국내에서는 이러한 조도기반의 조명제어시스템이 일반화되어 있으며, 휘도기준과는 상이한 조도 환산계수를 적용하여 조도로 운영하고 있는 곳이 대부분이다.

따라서 본 연구에서는 터널입구의 야외 밝기를 CIE에서 제시하는 L20법에 의한 운전자 시야각내의 휘도를 측정하고, 현재 운영중인 방법인 터널 갭문 앞의 조도를 측정하여 두 가지를 비교하여, 운전자 중심의 안전한 터널조명시스템이 될 수 있는 방법을 찾고자 한다.

1.2 연구의 내용 및 방법

연구 방법은 국내의 개통 전의 터널을 대상으로 입구부의 조도와 휘도 측정을 하여 그 차이점을 찾아보았으며, 연구 수행 과정은 그림 1과 같다.

2. 터널입구부 조도 및 휘도 측정

2.1 측정개요

본 연구에서는 L20법(20도 시야내의 야외휘도)과

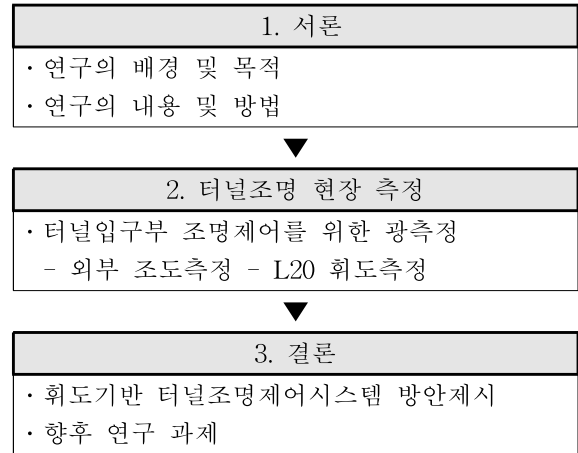


그림 1. 연구 수행 과정

Fig. 1. Process of the study

경계부 노면을 확인하기 위하여 터널 전방 정지거리 160m에서 LMK를 사용하여 측정하였고, 노면 휘도는 LS110을 이용하여 정지거리 160m에서 터널을 전방으로 90m 지점을 측정하였다. 조도는 T-10으로 노면휘도 측정지점과 동일한 지점에서 측정하였다. 측정시간은 흐린 날의 경우 오전11시~오후5시, 맑은 날은 일출에서 일몰까지를 10분 간격으로 측정하였다.

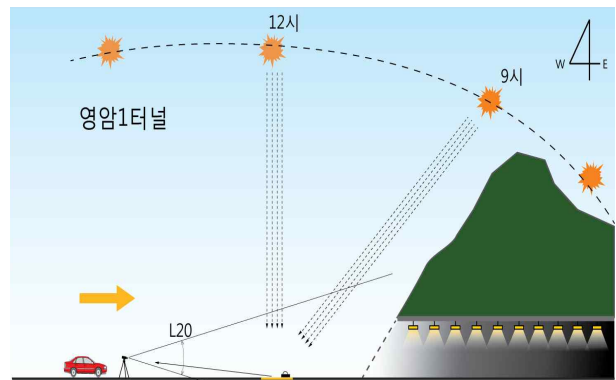


그림 2. 영암1터널 측정환경

Fig. 2. Yeongam-1Tunnel measurement environment

2.2 측정내용 및 방법

측정은 도로노면에서의 조도, 노면휘도, L20법 이렇게 세 가지 방법으로 측정하였다.

표 1. 측정 장비
Table 1. Measuring Equipment

조도측정	L20휘도측정	야외노면휘도
		
Minolta T-10	LMK mobile	Minolta LS110

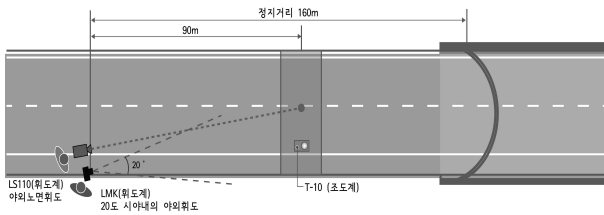


그림 3. L20과 노면휘도 측정 개요도
Fig. 3. L20 and surfaces luminance measurement overview

2.2.1 야외노면조도 측정

- ① LS110의 초점거리(정지거리에서 전방 90m 지점) 노면위에 조도계 고정
- ② 10분간격으로 측정

2.2.2 야외 노면휘도 측정 순서

- ① LS110 렌즈중심을 노면에서 1.5m로 고정
- ② 초점은 도로의 중심, 90m전방 노면에 고정
- ③ 10분간격으로 측정

표 2. 장비에 따른 측정내용
Table 2. Measurements depending on equipment

측정 항목	장비	항목	위치	측정 간격	비고
휘도	LMK (Technoteam)	L20	정지거리	10분 간격	삼각대 거치
	LS110 (Minolta)	야외노면 휘도	정지거리		삼각대 거치
조도	T-10 (Minolta)	야외노면 휘도	정지거리에서 전방90m 지점		노면

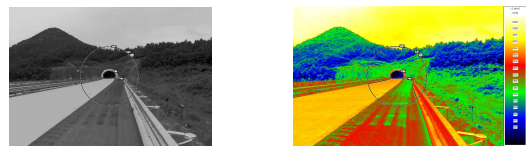
2.2.3 L20법에 의한 야외휘도 측정 순서

- ① 터널의 경계부에서 160m 거리 측정 후 표시하고, 삼각대 거치 후 LMK고정
- ② LMK 렌즈중심을 노면에서 1.5m로 고정
- ③ 초점은 터널의 중심, 터널 입구 높이의 4분의 1지점(노면에서 1.8m)에 고정
- ④ 10분 간격으로 측정



<LS110 및 LMK 장비거치> <휘도촬영> <조도측정>

그림 4. 현장측정
Fig. 4. Field measurements



구분	하늘	주변	도로	입구	합계
비율(%)	1	60	36	3	100

그림 5. L20법에 의한 비율
Fig. 5. Ratio based on the L20 method

위 그림 5는 LMK를 이용하여 L20 측정법에 의해 측정된 자료이며, 20도 원추형 시계 내에 각 영역의 비율을 구분한 것으로 하늘, 도로, 주변, 입구의 비율 중 주변 및 도로의 비율이 각각 60%, 36%로서 20도 시야 내에서 대부분을 차지하는 반면, 하늘과 입구의 비율은 각각 1%, 3%로 거의 영향을 미치지 못하였다. 국내 고속도로 터널의 대부분이 이와 같은 터널이 대부분이며, 우리나라의 도로에서 운전자에게 미치는 휘도의 영역 중 주변과 도로의 휘도가 가장 크게 영향을 주는 것을 알 수 있다. 이것은 터널조명설계시 에너지 절감 방안에 대안이 될 수 있는 중요한 요소가 될 수 있으므로 반드시 검토가 필요하다고 본다. 예로 위의 그림 4에서 주 도로는 콘크리트이며 길어깨는 아스팔트의 경우, 갱구부 주변의 식재의 종류나 상태에 따라

휘도 값이 다르게 나타남을 알 수 있다.

2.3 측정 결과 분석

흐린 날과 맑은 날의 측정 결과를 비교해 본 결과 매우 다른 결과가 도출되었다. 흐린 날의 경우는 야외노면휘도와 야외조도의 선형이 거의 동일한 반면 맑은 날의 경우는 상이하게 나왔다. 이는 흐린 날의 경우 구름에 의하여 빛의 산란으로 방향성이 사라져 생긴 결과로 유추되며, 맑은 날의 경우는 직광에 의한 휘도의 특성이 그대로 나타난 결과로 볼 수 있다. 이는 현재 적용되고 있는 운영기준에 큰 영향을 줄 수 있는 결과이다.

2.3.1 흐린날(8월 25일) 측정결과

8월 25일의 날씨는 하늘에 구름으로 직광이 없는 흐린 날씨였으며, 측정 시간중 전체의 61%가 L20법에 의한 휘도값이 1,000~2,000cd/m²대로 나왔다.

표 6을 보면 야외노면휘도, 조도, L20법에 의한 야외 휘도 모두 동일한 형태의 선형을 그리고 있으며 특히 야외노면 휘도와 조도의 경우 거의 같은 선형으로 조도 환산계수를 산출해 본 결과 10이 거의 균일하게 나왔다. 이는 구름이 태양의 직광을 산란 시켜 빛의 방향성이 없이 균일한 빛을 발산하여 나타나는 이유이며, 인공 광을 예로 들었을 시 발광부에 유백색 확산판을 적용시킨 경우로 볼 수 있다.

선형의 형태가 완만하지 않은 것은 구름의 밀도 차이에 의한 직광이 노면에 유입되는 양의 차이로 볼 수 있다.

표 3. 야외 노면휘도와 L20법에 의한 야외휘도
Table 3. Outside luminance based on the L20 method and outside surface luminance (cloudy days)

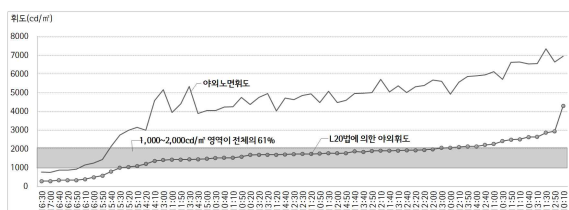
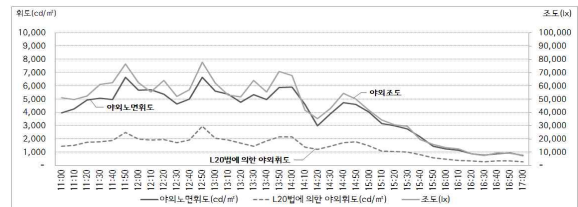


표 4. 휘도 및 조도 비교(흐린날)
Table 4. Comparison of luminance and Illuminance (cloudy days)



2.3.2 맑은 날(10월 6일) 측정 내용

흐린날 실험 이후 약 한달 반의 시간의 경과로 여름에서 가을로 계절이 바뀌면서 태양의 고도변화가 길어진 그림자로 확인할 수 있었으며, 구름한 점 없는 맑은 날 임에도 최대 야외노면 휘도 값이 9,000cd/m²를 넘지 않았다.

10월 6일의 측정결과 일출에서 일몰까지의 측정시간중 57%가 2,000cd/m² 이상의 휘도 값으로 나타났다.

맑은 날의 경우 표 8를 보면 흐린 날과는 다르게 야외노면휘도곡선과 야외 조도 곡선이 상이한 것을 알 수 있다. 이는 여러 가지 이유가 있겠지만 두 가지 이유가 있을 수 있다.

표 5. 야외노면휘도와 L20법에 의한 야외 휘도(맑은날)
Table 5. Outside luminance based on the L20 method and outside surface luminance (fine days)

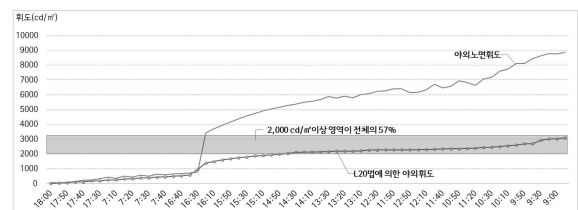
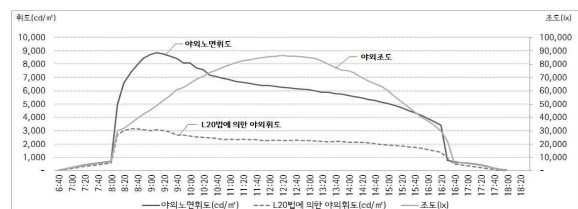


표 6. 휘도 및 조도 비교(맑은날)
Table 6. Comparison of luminance and Illuminance (fine days)



(1) 휘도와 조도의 차이로 방향성을 가지는 휘도의 경우 태양이 전방에 위치하고 있을 때가 가장 높은 휘도 값이 도출되는 경우이며, 조도의 경우 빛의 입사각이 0도에 가장 가까운 시점이 가장 높은 조도 값이 된다. 즉 야외노면휘도와 L20법의 경우에는 태양이 터널의 배경을 넘어서는 시점으로 이 날의 8시 40분 경에서 10시경에 해당되며, 조도는 빛의 고도가 가장 높은 시점으로 이날의 11시 경부터 13시 30분 경까지가 되기 때문에 흐린 날과는 다른 곡선이 나타난다.

(2) 터널의 야외휘도 결정 시 터널의 입지조건이 큰 영향을 미친다는 것이다. 위의 그림을 예로 산의 높이가 더 높아 진다면 조도의 영향은 없겠지만 야외휘도가 가장 높은 시점은 9시가 아니라 더 늦어질 것이며, 반대로 낮아진다면 더 이른 시간에 최대 휘도 값이 측정 될 것이다. 또한 영암 1터널의 경우는 터널의 방향이 동서측에 가깝기 때문에 이런 곡선이 도출되었지만 남북측의 터널이면 또 다른 결과가 나타나게 된다. 이처럼 터널은 설계 시 입지조건에 대한 일조권 분석이 필요하며 특징을 구분한 터널의 실측정를 기반으로 다양한 관점에서의 분석과 연구가 필요하다.

2.4 L20법 측정

2.4.1 흐린날 야외휘도 및 경계부노면 휘도

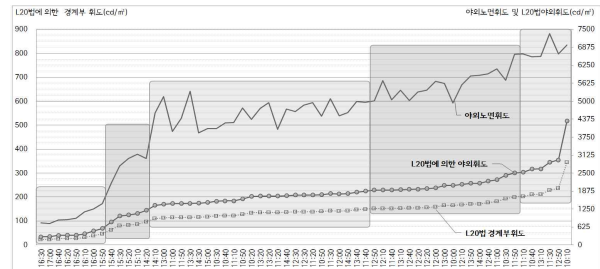
표 7을 보면 L20법에 의한 야외휘도를 기준으로 휘도가 높아질수록 거의 일정하게 야외노면휘도가 증가하며, L20법에 의한 경계부 휘도 또한 비례적으로 증가하는 것을 확인할 수 있다.

흐린 날은 야외노면의 조도곡선과 L20법에 의한 야외휘도 곡선이 정오가 최대 값이 되는 형상인 반면 맑은 날의 경우는 야외휘도 곡선이 오전의 해가 나타나기 시작하는 시점이 최대 값으로 조도곡선과 상이한 형상이 나왔다. 이는 도로의 상황에서 운전자가 보는 것은 휘도임을 감안할 때, 현재 국내에서 적용하고 있는 조도 기반의 운영기준은 잘못된 방향으로 운영되고 있음을 의미한다. 운전자의 관점에서 가장 밝아야 할 시간은 오전 해가 보이기 시작하

는 시점인 반면 운영기준에서 가장 밝은 밝기를 제공하며 높은 전력을 사용하는 시간대는 정오이기 때문이다.

표 7. L20법에 의한 야외휘도 · 경계부휘도, 야외노면휘도(흐린날)

Table 7. Outside surface luminance, threshold zone luminance, and outside luminance based on the L20 method (cloudy days)

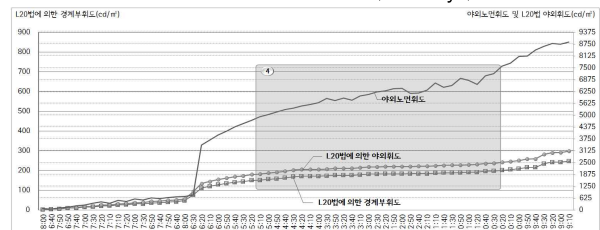


2.4.2 맑은 날 야외휘도 및 경계부노면 휘도

흐린 날은 야외노면의 조도곡선과 L20법에 의한 야외휘도 곡선이 정오가 최대 값이 되는 형상인 반면 맑은 날의 경우는 야외휘도 곡선이 오전의 해가 나타나기 시작하는 시점이 최대 값으로 조도곡선과 상이한 형상이 나왔다. 이는 도로의 상황에서 운전자가 보는 것은 휘도임을 감안할 때, 현재 국내에서 적용하고 있는 조도 기반의 운영기준은 잘못된 방향으로 운영되고 있음을 의미한다. 운전자의 관점에서 가장 밝아야 할 시간은 오전 해가 보이기 시작하는 시점인 반면 운영기준에서 가장 밝은 밝기를 제공하며 높은 전력을 사용하는 시간대는 정오이기 때문이다.

표 8. L20법에 의한 야외휘도 · 경계부휘도, 야외노면휘도(맑은날)

Table 8. Outside surface luminance, threshold zone luminance, and outside luminance based on the L20 method (fine days)



3. 결 론

터널의 경우 주간의 높은 휘도에서 터널내부로 진입하면서 낮은 휘도로의 시각적인 변화가 운전자에게는 매우 큰 부담 요소이다. 그러므로 터널은 이러한 운전자 시 환경을 고려하여 터널조명을 운영하여야 한다.

이를 위하여 터널에서 사용하고 있는 조도운영방법과 국내·외 기준에서 명시되어 있는 휘도운영방법에 대해 현재 개통 전의 터널을 대상으로 조도, 휘도(L20) 측정해 보았다.

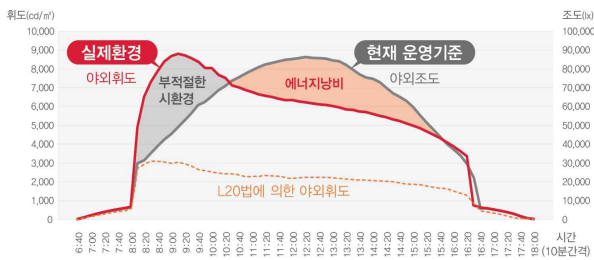


그림 6. 실제 환경과 상이한 조명운영
Fig. 6. Operation of lights different from actual conditions

조도는 운전자 입장을 고려할 수 없는 광학적 특성으로 터널주변 전체의 밝기만을 측정하여 어느 지형이든 터널의 방향과 주변 환경과 관계없이 태양의 고도가 가장 높은 정오에 가장 밝다. 이러한 방식으로 터널 내부조명을 운영하게 하여, 운전자가 느끼는 시간대별 밝기와는 다른 곡선을 이루게 되며, 그로인해 터널 내·외부가 올바르게 연계되는 조명은 될 수가 없었다. 반면 운전자 시야범위내의 주광을 휘도로 측정 한 L20법에 의한 측정값은 운전자가 터널환경을 접하면서 느끼는 주광을 측정하여 터널내부조명과 연계 방식이므로 터널내부 어두운 곳으로의 순응을 도와주는 방식이 됨을 알 수 있었다. 그러므로 터널조명 운영방식을 조도기반에서 휘도기반으로의 개선이 필요함을 알게 되었다. 이 방식은 운전자에게 쾌적하고, 안전한 조명환경을 제공할 뿐만 아니라 아외휘도에 따라 내부휘도가 연계되어 필요한 에너지만 사용하게 되므로 에너지절감이 가능하다고 본다. 본 연구를 통해 국내에서도 방향성이 있는 도로 터널에서는 운전

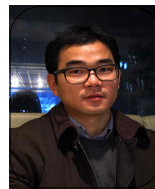
자 시야 내의 환경의 변화에 대응 가능한 휘도기반 운영이 반드시 실행되어야 한다는 점을 알 수 있었다.

본 연구는 국토교통과학기술진흥원에서 시행한 국토교통 기술연구개발사업의 일환인 건설교통기술촉진 연구사업의 자원에 의하여 수행되었습니다.

◇ 저자소개 ◇



이미애 (李美愛)
1963년 7월 13일생. 1993년 이화여자대학교 졸업(석사). 현재 (주)아이라이트 조명연구소 대표. 한국조명디자이너협회 회장. 본 학회 평의원.



한승훈 (韓承勳)
1982년 7월 7일생. 2009년 상명대학교 산업디자인과 졸업. 현재 (주)아이라이트 조명연구소 대리.



김연화 (金年嬋)
1981년 1월 22일생. 2004년 인하대학교 산업공학과 졸업. 현재 (주)아이라이트 조명연구소 과장.