도로터널의 갱구부 경관설계가 터널 내부조명에 미치는 영향에 관한 연구

이미애¹ · 이동희^{2*}

¹주아이라이트 대표이사

²주아이라이트 실장

A study on effects of landscape design of road tunnel portal to interior lighting of tunnels

Mi-Ae Lee¹, Dong-Hee Lee^{2*}

¹i-Light Lighting Consulting & Design. co. kr

²i-Light Lighting Consulting & Design. co. kr

ABSTRACT: This research uses numerical analysis to examine the tunnel portal landscape affecting the brightness level of interior lighting when designing lights for road tunnels through the L20 method. In order to extract the brightness recognition per form of a tunnel entrance and to evaluate the effects of the characteristics of the materials of facilities near a tunnel portal, brightness analysis was conducted by filming brightness on a video photometer called Hi-land Elf System, and a surface brightness photometer called LMK Mobile Advanced. Tunnels in Korea are mostly distributed in mountain areas; thus, the ratio occupied by the sky, which has the highest brightness within the angle of L20, is close to zero, while most of the ratio was occupied by brightness by the area near the tunnel entrance or road surface. However, for a tunnel portal retaining wall, which allows the width of a tunnel entrance to seem wider within the L20 angle, appeared to be have higher brightness compared to nearby areas or the surface, which is an element increasing the tunnel portal brightness within the tunnel, and the road facilities near the tunnel portal appeared to have an effect on the brightness as well. Thus, when designing tunnel lights based on brightness, the form of the tunnel entrance and the area width, material, and color of areas near the tunnel portal appeared to affect outside brightness and become an element affecting the establishment of the brightness level of the interior lights of tunnels. Consequently, reviewing such matters is a prerequisite when designing tunnel portal landscape.

Keywords: Luminance, Tunnel portal, Tunnel lighting, L20 method, landscape design

초 록: 본 연구에서는 도로터널 조명설계에 있어서 내부조명의 밝기 수준에 영향을 미치는 갱구부 경관을 L20법 측정을 통하여 수치 해석적으로 고찰하였다. 갱문 형식별로 휘도인자를 추출하고 갱구부 주변시설물의 재료적 특성이 미치는 영향을 평가하기 위해서 동영상 휘도계 HI-LAND ELF SYSTEM과 면휘도계 LMK Mobile advanced로 촬영하여 휘도 분석을 하였다. 국내의 터널은 대부분 산악지대에 분포되어 L20각도 내에서 휘도가 가장 높은 하늘이 접하는 비율이 거의 없으며, 터널 입구주변이나 도로노면에 의한 휘도가 대부분을 차지하고 있다. 그러나, L20각도 내에서 갱문의 면적이 넓게 보이는 면벽식의 경우는 주변이나 노면에 비해 밝은 휘도를 나타냄으로서 터널내 경계부 휘도를 높이는 요인이 되고 있으며, 터널 갱구 주변의 도로시설물도 휘도에 영향을 미치고 있음을 파악하였다. 따라서, 휘도기반의 터널조명 설계 시 갱문의 형식 및 갱구부 주변시설물에 대한 면적, 재료, 색상 등이 외부휘도에 영향을 미치고 이로 인해 터널 내부조명의 밝기 레벨 설정에 영향을 주는 요인이 되므로 갱구부 경관설계 시 이에 대한 검토가 반드시 필요한 것으로 나타났다.

주요어: 휘도, 터널갱문, 터널조명, L20법, 경관 설계

***Corresponding author:** Dong-Hee Lee

E-mail: ilight2000@hanmail.net

Received September 6, 2013; **Revised** September 13, 2013;

Accepted September 17, 2013

Copyright ©2013, Korean Tunnelling and Underground Space Association

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서론

도로공사 통계에 따르면 우리나라의 전체 도로터널 개수는 2011년 기준 1,456개소로 꾸준히 증가하고 있는 추세이며 터널은 주야간 모두 인공조명을 사용해야 되는 특성으로 인해 에너지 소비가 가장 많이 발생하는 도로 공간이다. 특히 도로터널 유지 관리비의 약 60%가 인공조명 전기요금으로 사용되고 있어 터널의 인공조명에 대한 절감방안이 정부차원에서 다양하게 연구되고 있으나 실효성을 얻지 못하고 있다. 이는 터널조명 운영방식이 실제 운전자가 인지하는 빛의 감도인 휘도가 아닌 조도로 운영되고 있어 암순응 대비가 필요한 터널 입구부의 조명밝기를 적절히 제어하지 못해 발생하고 있는 것이다. KS터널조명기준이 휘도기준으로 되어있음에도 불구하고 운전자의 순응에 도움을 주지 못하는 조도기반으로 터널 조명이 운영되고 있어 에너지 낭비뿐만 아니라 터널 입구부의 사고위험성까지 포함하고 있는 것이다. 이에 본 연구에서는 도로터널 갱구부를 L20법으로 휘도 측정 및 분석을 통하여 운전자 시각 순응에 영향을 미치는 휘도인자를 찾아 터널설계 시 적용할 수 있는 가이드라인을 제시하여 안전한 터널주행 환경을 조성하고 에너지 절감효과를 극대화 할 수 있도록 하여 향후 휘도기반의 터널조명 설계를 위한 기초자료로 활용될 수 있도록 하고자 한다.

2. 기본이론

2.1 터널조명 기준

터널조명은 Fig. 1의 (a)와 같이 그 기능에 따라 입구부 조명, 기본부 조명, 출구부 조명, 접속도로 조명으로 구성된다. 이 중 입구부 조명은 주간에는 터널 입구부근에서의 시각적 문제를 해결함을 목적으로 기본조명에 부가하여 설치하는 조명으로서 Fig. 1의 (b)와 같이 경계부 조명과 이행부 조명으로 구성된다. 특히 경계부 조명의 수준은 외부의 야외휘도에 영향을 받으며 L20법에 의해 결정된다.

2.2 경계부 휘도의 결정

L20법은 Fig. 2와 같이 터널 입구접속부에서 20° 원추시야 내에서 측정한 휘도값의 평균으로 정의하며 Fig. 4와 같이 20°각도로 마주보며 관측자가 기준점에 위치하여 터널높이의 1/4에 해당하는 높이에서 중심점을 측정한 값이다. 즉, 터널입구의 정지거리에서 터널입구환경을 평가하는 방법으로서 공식은 (1)과 같다.

$$L_{20} = \gamma \cdot L_c + \rho \cdot L_r + \varepsilon \cdot L_e + \tau \cdot L_{th} \quad (1)$$

Fig. 1. Zone in a Tunnel : (a) Longitudinal section of a one way tunnel (b) Luminance evolution along the tunnel

Fig. 2. L20 measurement range of method

여기서, L_c = 하늘 휘도

$\gamma = 20^\circ$ 내 하늘비율(%)

L_r = 도로 휘도

ρ = 도로비율(%)

L_e = 주변 휘도

ε = 주변비율(%)

L_{th} = 경계부 휘도

τ = 터널입구 비율(%)

$\gamma + \rho + \varepsilon + \tau = 1$

3. 측정내용 및 조건

본 측정에서는 L20법에 따라 Fig. 4와 같이 입구로부터 정지거리 앞에서 측정하였다. 갱구부의 야외휘도 측정을 위해 설계속도 100 km/h의 일반 도로터널을 대상으로 터널 갱구부를 Fig. 3의 휘도계로 측정하였다. 갱문형식에 따른 휘도측정은 주행하면서 측정이 가능한 동영상 휘도계를 사용하였으며, 터널 갱구부

Fig. 3. Luminance measurement equipment : (a) Video luminance meter (b) Image luminance meter

주변시설물 및 재료적 특성을 고려한 휘도측정은 화상휘도계를 사용하였다.

- 휘도측정장비 : (a)동영상 휘도계 HI-LAND ELF SYSTEM는 차량외부에 설치하여 주행하면서 측정하며, (b)화상휘도계 LMK Mobile advanced는 운전자 눈높이에서 거치식으로 측정한다.
- 측정장소 : 중부내륙(7개소), 영동(2개소), 중앙(11개소), 56번국도(1개소), 목포~광양(3개소)로 총 25개소이다. 갱문형식별 특성 분석을 위해 추출한 7개소 터널은 Table 1과 같다. 갱문의 형식에는 완성된 형상에 따라 크게 중력형, 면벽형, 돌출형으

Table 1. Type the name of the tunnel by the tunnel portal

Type	Gravity Type	Wall Type			Extrusion Type		
	Gravity, Semi-Gravity	Wing	Arch-Wing	Parapet	Extrusion	Cylinder Cut	Bell-Mouth
Name	Geum dae2	Misi ryeong	Gang sang1	Jinbu	Dann yang	Man jong	Geum sa2

Fig. 4. Luminance measurement (a) Video luminance meter (b) Image luminance meter

Fig. 5. Measuring range 20° cone (Luminance distribution)

로 분류된다. 갭문형식 선정은 지반조건, 주변환경 등을 고려하여 설계되며 국내 도로터널에 적용된 갭문형식별로 L20법에 의한 터널 갭구부의 휘도를 측정하였다. 또한, 터널 갭구부 주변시설물의 재료적 특성에 따른 휘도분석을 위해 최근에 개통한 목포~광양간 고속도로 내 영암1터널과 조성 2터

널을 측정하였다.

- 측정조건 : 측정 휘도계는 설계속도 100 km/h의 정지거리 기준에 따라 터널 입구에서부터 160 m전 방에서 측정하였다.
- 갭구부 주변시설물 : 20° 원추 시야에는 하늘비율, 주변비율, 도로비율, 입구비율이 포함된 것으로 이중 주변비율에 해당되는 요소로는 Fig. 5와 같이 녹지, 갭문, 가로등, 중앙분리대, 가드레일, 도로표지판 등이 속한다.
- 분석방법 : 휘도계로 측정한 입구부 휘도분포도는 각각의 휘도계와 연동된 휘도분석용 프로그램인 Fig. 6의 (a)ELF-RODE-Tunnel과 (b)TechnoTeam Lmk Labsoft를 활용하여 그 값을 산출하였다.

4. 측정결과 및 고찰

4.1 갭문형식에 따른 분석결과

국내 터널의 경우 산악지대에 형성되어 L20도 시야 내에 하늘이 접하는 비율이 거의 없으며 이번 측정에서도 Fig. 7과 같이 하늘비율(Sky)은 0%로 측정되어 야외휘도에 미치는 영향이 없었다. 터널입구 (Threshold zone)의 비율은 4~6%정도로 거의 없었으며, 도로노면 비율(Road)이 37~42%, 갭구부 주변시설물 비율(Surrounding)이 53~57%로 도로노면과 갭구부 주변시설물이 야외휘도에 미치는 영향이 제일 큰 것으로 나타났다.

중력형·면벽형 갭문형식의 경우 정면벽이 형태상으로 중량감이 있고 주변경관과 시각적으로 명확히

(a)

(b)

Fig. 6. L20 Law PC screen luminance analysis program (a) ELF-RODE-Tunnel (b) TechnoTeam Lmk Labsoft

Fig. 7. L20° field of view in the ratio

Fig. 8. Ratio of facilities surrounding (a) Wall type (b) extrusion type

Table 2. Tunnel portal measurements results by L20

Type	Gravity Type			Wall Type			Extrusion Type											
	Gravity, Semi-Gravity			Wing		Arch-Wing	Parapet		Extrusion			Cylinder Cut			Bell-Mouth			
Form																		
Luminance distribution																		
L20 Cone																		
Result		Ratio	Lum		Ratio	Lum		Ratio	Lum		Ratio	Lum		Ratio	Lum		Ratio	Lum
	L _c	0%	-	L _c	0%	-	L _c	0%	-	L _c	0%	-	L _c	0%	-	L _c	0%	-
	L _r	41%	609	L _r	42%	6,245	L _r	40%	32	L _r	37%	7,256	L _r	39%	2,171	L _r	42%	488
	L _e	55%	200	L _e	54%	5,014	L _e	54%	12	L _e	57%	2,400	L _e	56%	946	L _e	54%	147
Luminance L20	L _{th}	4%	126	L _{th}	4%	925	L _{th}	5%	20	L _{th}	6%	524	L _{th}	5%	927	L _{th}	4%	88

Table 3. Luminance distribution by L20 (a)Wall type (b)Extrusion type

구분되며, 갭문의 면적이 넓어 휘도에 미치는 영향이 크게 나타났다. Fig. 8(a)의 갭구부 주변시설물 비율을 나타내는 그래프에서 갭문이 차지하는 비율은 식재 다음으로 높은 비중을 차지하였다.

돌출형 갭문형식의 경우 주변경관과 이질감이 적으며, 갭문 정면부의 면적이 적어 휘도에 미치는 영향이 적게 나타났다. Fig. 8(b)의 갭구부 주변시설물 비율을 나타내는 그래프에서 갭문이 차지하는 비중은 10% 미만으로 나타났다.

Table 2는 터널 갭문 형식별 7가지 유형을 추출하여 L20법으로 휘도 측정된 결과이다. 면벽형의 경우 상하행이 붙어 있는 날개식 갭문에서 면적비율이 높게 나타났으며, 돌출형의 경우라도 갭문주변에 벽을 설치한 경우 면적비율이 높게 나타났다. Table 3은 Table 2에서 갭구부의 방향과 측정시간대가 유사한 면벽형과 돌출형 갭문의 휘도분포를 비교한 것이다. (a)는 면벽형(날개식)으로 주변 시설물 비율 중 갭문이 차지

하는 비율이 31.8%였으며, (b)는 돌출형(파라페트식)으로 갭문이 차지하는 비율이 3.2%로서 10배 정도 차이가 났다. 또한 경계부 휘도 측정값 비교결과 최대 100 cd/m^2 내외로 차이가 나타났다.

4.2 갭구부 주변시설물의 재료적 특성에 따른 분석결과

Table 4는 영암1터널을 L20법으로 측정한 휘도분포도로서 하늘비율 1%, 도로비율 36%, 주변비율 60%, 입구비율 3%로 나타났다. Table 5는 터널입구와 하늘을 제외한 휘도측정값으로 콘크리트 도로노면의 휘도값은 $6,000 \text{ cd/m}^2$ 내외, 아스팔트 길어깨 노면의 휘도값은 $2,500 \text{ cd/m}^2$ 내외로 콘크리트 휘도가 아스팔트 휘도보다 2.4배 높게 나타났다. 녹지부분은 식재특성 따라 $200 \sim 2,000 \text{ cd/m}^2$ 으로 휘도차가 10배정도 차이가 났으며, 길어깨 측면 가드레일의 휘도값은 400

Table 4. Tunnel facilities around the luminance measurement results (Yeongam 1 tunnel)

Table 5. Tunnel facilities luminance value (Yeongam 1 tunnel)

Type	Road		meadows	Guardrail
	Concrete	Asphalt		
Luminance (cd/m ²)	Around 6,000	Around 2,500	200 ~ 2,000	400 ~ 1,000

~1,000 cd/m²으로 측정되었다.

Table 6은 조성2터널을 L20법으로 측정한 휘도분포도로서 하늘비율 0%, 도로비율 31%, 주변비율 66%, 입구비율 3%로 나타났다. Table 7은 터널입구와 하늘을 제외한 휘도측정값으로 콘크리트 노면의 휘도값은 5,000~10,000 cd/m², 길어깨 측면 방호벽의 휘도값은 5,000~10,000 cd/m², 녹지부분은 600~2,500 cd/m²로 비탈면의 식재상태에 따라 4배정도 차이가 났다. 가로등 등주의 휘도값은 3,000 cd/m²내외로 측정되었다.

Table 6. Tunnel facilities around the luminance measurement results (Chosung 2 tunnel)

Table 7. Tunnel facilities luminance value (Chosung 2 tunnel)

Type	Road	meadows	Barrier	lighting pole
	Concrete			
Luminance (cd/m ²)	5,000 ~ 10,000	600 ~ 2,500	5,000 ~ 10,000	Around 3,000

5. 결 론

본 연구에서는 도로터널의 갱구부 경관설계가 터널 내부 조명에 미치는 영향을 검토하기 위하여 동영상 휘도계로 촬영한 터널 갱문형식별 7가지 유형을 추출하여 L20법으로 휘도분석을 하였으며, 갱구부 주변시설물의 재료적 특성이 미치는 영향을 평가하기 위해서 화상휘도계로 촬영하여 L20법으로 휘도분석을 한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 갱문형식은 돌출형이 휘도를 낮추는데 유리한 조

건이나 중력형 또는 면벽형으로 설계할 경우 그 면적을 최소화 시키거나 색상을 어둡게 처리하는 방안을 모색해야 한다. 갹문형식에 따라 경계부 휘도가 100 cd/m^2 내외로 차이가 나타났으며, 이는 경계부 휘도를 낮출 수 있는 중요한 요인이 될 것이다.

2. L20° 시야 내에서는 도로비율과 주변비율이 가장 크므로 경계부 휘도에 미치는 영향이 크다. 따라서 도로와 주변시설물의 반사율이 낮은 재료를 적용하는 것이 유리하다.
3. 도로의 경우 터널 입구 접속구간은 콘크리트보다 반사율이 낮은 아스팔트를 적용하는 것이 유리하다.
4. 갹구부 주변에는 가로등이나, 도로표지판 등 휘도를 높이는 요소의 설치를 자제하도록 한다.
5. 본 연구에서 측정된 터널은 하늘비율이 0%로 경계부 휘도에 미치는 영향이 없었으나 터널에 따라 하늘비율이 영향을 미칠 경우 식재계획을 세워 하늘비율을 낮추는 것이 유리하다. 따라서, 하늘비율이 높은 도심지 터널에서는 하늘 비율을 낮추는 식재계획이 중요하다.

현재 국내 터널조명의 경계부조명의 휘도수준 결정은 20° 원추형 시야 내의 하늘의 비율, 시야 내의 밝기 상황, 설계속도에 따른다. 다만, 시야내의 밝기 상황이 구체적이지 못하고, 실제 터널의 입구상황을 제대로 반영하지 못하고 있는 실정이다. 터널입구에서 L20각도 내에서의 휘도인자가 터널내부조명의 단계를 정하는 매우 중요한 요인임을 감안할 때, 상기의 연구결과는 도로터널의 갹구부 경관설계에 중요한

자료로 활용될 수 있을 것이다. 또한 앞으로 해외에서 적용하고 있는 광막휘도법과 국내에서 적용하고 있는 L20법의 비교분석이 이루어진다면 운전자 시각 순응에 따른 휘도기반의 터널조명 설계의 기초 연구데이터로써 확실한 역할을 할 수 있을 것으로 판단된다. 추후 연구과제로서 컴퓨터시뮬레이션으로 동일한 터널조건하에서 터널외부 휘도인자의 영향계수를 조정하여 그 변화를 정량적으로 분석한다면 휘도인자에 따라 얼마만큼의 경제적 이익을 가져올 수 있는지 파악할 수 있을 것이다.

감사의 글

본 연구는 한국건설교통기술평가원에서 시행한 국토해양기술연구개발사업의 일환인 교통체계효율화사업의 자원에 의하여 수행되었습니다.

참고문헌

1. Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (2010), "Road design manual, part 6 tunnel", pp. 612.1-612.27.
2. Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (2008), "Installation of road safety and management guidelines."
3. Ministry of Knowledge Economy (2010), "KS Tunnel lighting standards (KS C3703)."
4. Ministry of Construction and Transportation (2011), "Installation of road safety and management guidelines."
5. CIE 88-2004 (2nd edition) (2004), "Guide for the lighting of road tunnels and underpasses."