

고속도로 터널 내 LED Digital 경관조명 디자인의 유형별 특징 비교 연구

황예진

광주대학교 패션·주얼리디자인학부 교수

A Study on the Characteristics of Each Type of LED Digital Landscape Lighting in Expressway Tunnel

Ye-Jin Hwang

Professor, Division of Fashion and Jewelry Design, Gwangju University

요 약 우리나라 지형의 특성상 산지가 많아 고속도로 직선화 건설 시에는 터널 설치가 필수적인 요소이다. “2019년도 도로 교량 및 터널 현황조사” 통계에 따르면 터널은 2,682개소이고 2,077km로 전체 도로연장의 1.9%를 차지하고 있으며 10년 전에 비해 1,300개소로 94% 증가하고 있다. 국내외 연구에 따르면 고속도로 설치된 1Km이상 되는 장대터널들은 좁고 어두운 조명과 단조로운 벽면 디자인으로 인해 운전자로 하여금 집중력 저하 및 지루함을 느끼게 하여 피로와 졸음이 쉽게 발생한다. 이에 한국도로공사에서는 2020년까지 3Km 이상 터널 10곳을 대상으로 주의력 높이는 디자인 조명을 설치하였다. 본 연구는 터널 내부에서 발생할 수 있는 사고의 위험성을 개선하고자 한국고속도로에서 설치된 터널 내 LED 경관 조명 디자인을 유형별로 특징을 비교 분석하였다. 연구 결과를 바탕으로 향후 터널 내 LED 경관 조명 설치 시 운전자로 하여금 주행 안정성 확보와 피로와 졸음사고를 낮출 수 있는 효과적인 설치를 위한 기초자료 제공의 목적으로 한다.

주제어 : LED, Digital, 경관조명, 조명 디자인, 고속도로 터널

Abstract As South Korea is a mountainous topography, installation of tunnel is essential for construction of expressway in straight lines. According to “2019 Road Bridge and Tunnel Status Report”, there are 2,682 tunnels in Korea with total length of 2,077km. Tunnels take up 1.9% of total road length and the number of tunnel increased by 94% with 1,300 newly constructed tunnels over the 10 years. According to domestic and foreign researches, a long tunnel over 1km in expressway has dark lightings and monotonous wall design which decrease driver’s concentration and make the driver feel bored. This leads to feeling fatigue and drowsiness more easily. In response, Korea Expressway Corporation installed design lighting that increases attentiveness on 10 tunnels with total length over 3km by 2020. To reduce the risks of accident that may happen inside the tunnel, this study conducted a comparative analysis on characteristics of each type of LED landscape lighting installed inside the expressway tunnel. The study aimed on providing the basic material for effective installation of LED landscape lighting for securing driving stability, reducing fatigue, and lowering the risk of drowsiness.

Key Words : LED, Digital, Landscape Lighting, Lighting design, Expressway tunnel

*본 논문은 2021년도 광주대학교 대학 연구비의 지원을 받아 수행되었음

*Corresponding Author : Ye-Jin Hwang(yj3030@gwangju.ac.kr)

Received November 8, 2021

Revised November 18, 2021

Accepted December 20, 2021

Published December 28, 2021

1. 서론

1.1 연구배경 및 목적

산지가 많은 우리나라 지형의 특성상 고속도로 건설 시에는 직선화를 위한 터널 설치여부를 필수적으로 고려하게 된다. 「2019년도 도로 교량 및 터널 현황조사」에 따르면 10년 전 1,300개소였던 터널이 2,682개소로 94% 증가했으며, 총 길이 2,077km로 전체 도로연장의 1.9%를 차지하였다. 이중 고속도로의 터널은 2010년 679개소, 2019년 1,204개소로 증가하였다. 이러한 터널의 증가로 인한 주행환경은 단조로운 벽면 및 조명으로 인한 문제를 발생시켰다. 운전자의 집중력 저하와 지루함은 피로와 졸음을 유도하는 원인으로 조사되었고, 한국도로공사에서는 2020년까지 3km 이상 터널 8곳을 대상으로 주의력을 높일 수 있는 디자인 조명을 설치하였다.

본 연구에서는 고속도로에서의 위험성 개선 및 안전운전에 대한 방안으로 터널 내 집중력 저하 및 지루함을 해소하고자 설치된 국내·외 터널의 중에서 1km이상 되는 장대터널에 설치된 조명과 조명디자인에 대한 조사하였다.

본 연구는 고속도로 터널 내에서 발생할 수 있는 사고의 위험성을 개선하고자 설치된 터널 내 LED 경관 조명 디자인의 유형별 특징을 살펴보고 3km 이상 적용된 LED 경관 조명의 설치현황을 분석하여 운전자로 하여금 주행 안정성 확보 및 피로, 졸음사고를 낮출 수 있는 조명의 효과적인 설치를 위한 기초자료 제공에 있다.

1.2 연구방법 및 범위

본 연구의 목적 및 필요성의 근거하여, 그 내용은 다음과 같은 순서로 기술한다.

첫째, 연구의 방법 및 범위에 관해 기술하였다. 문헌조사와 관련 있는 논문을 바탕으로 필요성에 관해 기술하였다.

둘째, 국내·외 터널내의 설치된 LED경관조명의 현황 및 문제점에 관해 기술하였다.

셋째, 2020년까지 한국도로공사에서 3Km 이상 터널 10곳을 대상으로 터널 내에 설치된 LED경관조명디자인의 유형별 특징을 현황 및 분석하였다.

넷째, 유형별 특징에 관해 분석하여 운전자에게 미치는 영향에 대해 기술하였다.

2. 관련 연구

2.1 선행연구 고찰

터널 내부에 설치된 시설물은 운전자에게 미치는 심리적 영향에 관해 다수의 연구가 진행되어 지고 있다. 그 중에서 터널 운전자에게 미치는 요인으로 터널 내 조명, 내부 벽면 디자인, VMS시설, 기타 안내 및 유도시설 등이 있다.

터널의 동영상 촬영결과를 기반으로 조명색채에 대한 경관 만족요인과 시각적 선호도에 미치는 결정요인을 분석한 결과 심미성과 쾌적성을 포함하는 '정서성과 안정성'을 포함한 기능성으로 확인되었다. 또한 장대터널 설계 시 LED램프 시선 유도시설과 VMS시설은 운전자에게 안

Table 1. Prior research and analysis of internal facilities in tunnels

Thesis name (The author's name)	Analysis results
A Study on Human Sensitivity Engineered Internal Landscape by Lighting Colors in Tunnels using LISREL Model -Park, Il Dong(2004)	- Based on the results of dynamic image photography of tunnel, the factors of landscape satisfaction and visual preference of contrast chromosome are analyzed - Analysis of aesthetics, emotionality including comfort, and functionality including stability and visibility as visual satisfaction and determinants
A Study on Driver's Characteristics in Long Tunnel using Simulator - Korea Expressway Transportation Researches(2006)	- It appears that visual fatigue is felt by closed space and limited lighting, which are characteristics of the interior - When the tunnel lights are dark, anxiety arises and tends to speed to get out of the tunnel
A Study on Development Evaluation Modeling Internal Landscape in Tunnel Considering Human Sensitivity Engineering. -Wang Yi Wan(2010) Korea Society of Road Engineers	- The relationship between tunnel landscape composition design factors and driver sensitivity factors is understood by SD method and LISREL method, and the sensitivity image of tunnel landscape components is derived as the influence factor - It was analyzed that safety and change have a positive effect on landscape satisfaction.
Korea Expressway, Expressway Public Design Manual, Bridge, tunnel, 2010.	- The design of the inside of the long tunnel proposes a 1.5km type change to ensure stability by inducing drivers to maintain uniform driving speed in the long tunnel
A study on formative characteristics of Lighting design in the highway tunnel considering driver preference -Han Seung hee (2014)	- When designing and constructing specialized lighting, the location, brightness, quantity, etc. of specialized lighting shall be considered first
A study on the necessity of public design that takes into consideration the psychological problems experienced by users of long Read Tunnels, -Lee Chae Young (2020)	- Tunnel users should reduce psychological problems such as anxiety and fear due to the spatial characteristics of the tunnel and consider driving in a safer and more comfortable environment

정감을 주는 것으로 규명되었다.1) Table 1과 같이 선행 연구 결과 및 분석을 통하여 터널 내부 시설물 중 조명과 내벽 디자인의 변화로 인해 운전자의 주행속도 및 피로감에 영향을 주며 특히 터널 내 경관조명은 운전자로 하여금 주의력과 안정감 및 속도에 대해서도 밀접한 관계가 있다는 것을 알 수 있다. 하지만 터널 내에 설치된 유형별 LED경관 조명디자인을 통해 운전자에게 미치는 영향에 대해서는 아직 연구 필요한 실정이다.

3. 현황 조사

3.1 국내·외 현황

기술의 발전과 선행연구 「터널 내부의 시설물이 운전자에게 미치는 영향」 등으로 인하여 아래 Table 2 터널 조명시설 현황과 같이 터널 내 조명 시설은 LED조명으로 교체되고 있으며 시설물 또한 다양하게 연출되어지고 있다. 예전 우리나라 터널의 주황색 조명은 나트륨 램프이며 이는 램프 내부의 네온과 나트륨을 봉입하고 램프를 점등하면 처음엔 붉은빛을 밝히지만 램프의 온도가 올라감에 따라 나트륨이 증발하면서 주황빛이 발생한다.

Table 2. Current status of tunnel lighting facilities

Division	Low pressure light	High-pressure light
	~ 1999 Year	1999~ 2000 Year
Light source type (4Type)		
501 Place	23 Place (5%)	11 Place (2%)
brightness(cd/m²)[inside the entrance]	160/14	182/12
	High-pressure light+Fluorescent lamp	LED
	2001~2013 Year	2013~The present
		
	304 Place (61%)	163 Place (32%)
	170~220/17	227/23

1) 한승희, 박억철 “운전자 선호도를 고려한 고속도로 터널 내 조명디자인의 조형특성 연구”, 『기초조형학연구』 제15권 제2호, 2014, pp.599-607.

하지만 주행길이가 긴 장대 터널에서 주황색 나트륨 램프는 운전자로 하여금 피로감과 불안감을 느껴 빨리 벗어나고자 과속하는 경향이 연구를 통해 증명되었다.

이에 한국도로공사는 2013년 LED광원을 설치하여 장대터널을 대상으로 LED조명과 벽면의 디자인 변화를 통하여 운전자로 하여금 주황색의 불안감과 변화감을 주어 줄음운전 방지와 사고율 저하의 효과를 입증하였다. 아래 Table 3, Table 4를 통해 알 수 있듯이 터널 내 조명시설 노후는 시인성 취약으로 인해 교통사고 발생이 높다는 것을 제시하고 있다.

Table 3. Traffic Accidents with Lighting in Tunnels

Type	Place	Number of accidents	Extension[km]	Number of traffic accidents (Case/Extension/km)
Total	501	571	878	0.7
Low pressure light	23	66	12	5.3
High-pressure light+Fluorescent lamp	11	59	35	1.7
	304	442	524	0.8
LED	163	4	307	0.01

해외 터널의 내부 조명시설 사례를 보면 아래 [Fig. 1] 과 같이 특수 조명의 활용으로 광활한 광장에 일출을 연상시켜 랜드마크를 조성하거나 개방감 있고 단조로운 환경에 변화를 주었으며 커브길에 많은 해외터널의 경우 끝이 보이지 않은 터널 내 도로 정보를 조명 라인 디자인을 통해 안전하게 주행할 수 있도록 정보를 제공하고 있다.



Fig. 1. Lighting installation status in overseas tunnels



Fig. 2. Current status of sidewall pattern design in overseas tunnels

또한 Fig. 2와 같이 UAE에 있는 Sheikh Zayed Tunnel과 호주의 St. Helena Tunnel의 시공 사진을 통하여 터널의 단순함을 없애주고 변화감을 주기 위해 내장 마감재에 다양한 패턴을 도입하여 운전자의 주의를 산만하지 않게 하며 매력적인 환경을 연출하는 효과와 여러 가지 색상과 패턴을 이용하여 지역의 이미지를 묘사하고 동적인 변화감이 느껴지도록 하였다.²⁾

4. 현황 분석

4.1 터널 내에 LED 경관조명디자인의 유형별 현황 및 분석

한국도로공사는 2018년, 5년간 23,000억원을 투입해 전국고속도로 터널 조명의 LED 교체 작업을 시작하였다. 사업은 도공이 일정 비용을 투입하고 계약 기간 중 절감된 전기료를 상환하는 에너지 절약형(ESCO³⁾) 방식이다. 이는 구축시기가 20년 이상 지나 노후화가 진행된 곳을 중심으로 192개소, 전국 고속도로 터널 중 전체 40%에 해당된다. 이 사업으로 밝기가 1.6배 증가, 터널 내부 시인성이 향상되어 안전하고 친환경적인 고속도로가 될 것이다.

터널 내 전체 조도 확보에 대한 현황과는 다르게 경관 조명 디자인은 “경관 연출” 고려는 미흡하다. 터널 내 특히 강조되는 줄음방지 구간의 경관조명은 전기공사 내역에 포함되어 현장상황에 맞춰 설치해 왔다. 따라서 조명 형태가 일반적이고 색다른 조명의 시스템 개발이 이루어지지 못해 그 발전이 초보적이다.

이러한 문제를 개선하기 위해 도공은 2020년 처음 고속도로 장대터널 디자인 조명의 다양화 및 경관조명 시장 활성화를 위한 조명 사업자 공모⁴⁾를 추진하였다.

이는 경관조명 시장의 활성화와 창의적이고 기능적인 터널 경관조명 개발을 유도하는 첫걸음이다.

운전자의 주위집중과 줄음방지를 위한 무지개 디자인 조명의 시작인 순천~완주 고속도로의 천마터널(2011년)을 비롯한 최근 10년의 3Km이상 터널 10곳을 대상으로

터널 내 다양한 조명방식을 살펴보았다.

아래 Table 4에서 조명 유형별 개념 및 특징을 구분하였다.

Table 4. Concepts and characteristics of each type of lighting in the tunnel

Lighting method	Concept and Features
LED Bar	-A lamp with a long array of LED elements. LEDs are arranged at regular intervals through a stick or tube, and current flows through them to emit light -Aluminum bars, lens bars, waterproof, etc. vary in flexibility depending on the material
LED Module	-As a light source installed in an LED light, it plays the same role as a light bulb in a general room light
LED Non-neon	-It's divided into square and round non-neon, High-brightness product with flexibility to bend easily -Various productions such as lettering and character production are possible and there are no restrictions on installation -Square-shaped light emitting diode chips are mounted inside PVC lines at regular intervals
LED Gobo	-Lighting in a way that a large image is projected onto the ground or wall by attaching a film with a phrase or picture printed on the projector -The desired graphic is displayed by projecting the beam without installing a large sculpture. -It can be used as a means of promotion by applying logos, pictures, and images, and has better visibility at night
LED Face light	-In the case of general light bulbs or fluorescent lamps, they protrude downward, while LED surface lighting is inserted into the interior. -It can give a clean and simple feeling, so it has a high usage rate on the ceiling of commercial facilities and offices.

터널 내 경관조명으로써의 유형의 비교는 다음과 같다.

① LED 바 방식의 조명연출은 직진확산광의 배치를 통한 빛의 혼합이 자연스러운 그라데이션을 이루며 점멸에 의한 동적인 이미지 연출로 무지개, 일출 등 자연의 이미지로 주로 표출된다.

② LED 논네온 조명은 발광다이오드 칩이 일정한 간격을 두고 PVC선 안에 탑재된 줄 조명 방식으로 내온플렉스와는 비교하여 모든 면으로 빛이 퍼져 화려하고 다채로운 연출에 용이하다.

③ LED 고보 조명은 그림이나 문자의 표출로 인한 정보전달이 용이하며 특히 회전형 이미지의 교차로 다양한 정보의 전달과 감각적 장면전환이 가능하다.

Table 5에서는 고속도로 터널 내에 설치된 LED경관 조명디자인의 유형별 설치 현황이다.

2) 이채영 “장대도로터널 이용자의 심리적 문제를 고려한 공공디자인의 필요성 연구”, 『서울시립대학교 디자인전문대학원 석사학위논문, 2019, pp.78-79.

3) Energy Service COmpany, 에너지 사용시설에 투자한 금액을 투자시설에서 발생하는 에너지절감액으로 회수하는 기업 혹은 사업

4) 밀양~울산 간 고속도로 단장2터널(총 2,465m) 내부 디자인 조명 사업자 공모(2020. 3)

Table 5. Design lighting installation status in tunnels over 3km

Opening Year	Name of Tunnel	Lighting method	Installation status
2011	Cheonma Tunnel (Suncheon Wanju Line)	LED Bar	
2013	Geumseong Tunnel (Pyeongtaek Jecheon Line)	LED Bar	
2015	Yangbuk 1 Tunnel (Busan Pohang Line)	LED Bar	
2017	Hwachon 9 Tunnel (Seoul Yangyang Line)	LED Non-neon	
	Seoseok Tunnel (Seoul Yangyang Line)	LED Face light	
	Inje Yangyang Tunnel (Seoul Yangyang Line)	LED Bar, LED Gobo	
Sculpture, LED Module			
2018	Geumjeongsan Tunnel (Busan Outer Line)	LED Bar, LED Gobo	
		Sculpture, LED Module	

	Sineosan Tunnel (Busan Outer Line)	LED Face light	
2020	Jaeyaksan Tunnel (Ulsan Milyang Line)	LED Bar LEDGobo, Photo panel	
	Sinbulsan Tunnel	LED Bar, LEDGobo, Photo panel	

LED 바 및 LED 논네온과 같은 특수조명은 다양한 조명 변화를 통해 운전자에게 속도 저감 및 졸음 예방에 효과적이며 LED 고보조명은 유사 자연환경 분위기 연출로 두려움 및 답답함을 해소, 방지하여 주행 안정성을 강화시켜 주며 LED 포토패널과 LED 면조명은 터널 내부의 깔끔하고 심플한 인테리어 효과를 증가시켜 주행 안전성 확보에 유리하다.

5. 결론 및 제언

감성적 조명연출을 위한 기술의 발전은 터널에서 심리적 편안함과 시각적 쾌적함을 원하는 운전자의 다양한 욕구만큼이나 발전되었다.

이와 같이 조명이 교체되었던 장대터널 LED 경관 조명 디자인의 유형별 특징을 분석한 결과 디자인 조명 다각화를 통해 집중력 강화 및 주행의 안정성 확보, 피로와 졸음사고를 예방 할 수 있음을 보여 주었다.

원하는 경관조명을 구현할 수 있을 만큼 발전된 광원과 피조면(被照面)인 터널에 운전자와 동승자가 원하는 주행환경을 조성하기 위한 형상의 투사, 장면의 전환은 운전자의 졸음방지와 지루함의 개선을 위한 경관 조명 디자인 제안에 활성화 되어야 한다.

추후 터널 이용 운전자 대상의 설문조사 및 데이터 분석으로 터널 내부 조명 변화의 실효성에 대한 실질적인 연구가 요구된다.

REFERENCES

- [1] Seung-hee Han, Eok-Cheol Park, A study on formative characteristics of Lighting design in the highway tunnel considering driver preference, Korea Society of Basic Design & Art, Vol.15, No. 2, pp. 601-608, 2014
- [2] Jun-Tae Park, Qualitative Factor Analysis on Speed Reduction of Drivers in Expressways Tunnel Section, Korea Society of Basic Design & Art, Vol.13, No. 4, pp.151-158, 2011.
- [3] Il-Dongl Park, A Study on Human Sensitivity Engineered Internal Landscape by Lighting Colors in Tunnels using LISREL Model, Vol.22, No. 75, pp.97-106, 2004.
- [4] Yi-Wan Wang, A Study on Development Evaluation Modeling Internal Landscape in Tunnel Considering Human Sensitivity Engineering, Korea Society of Road Engineers, Vol.12, No. 1, pp. 9-20, 2010.
- [5] Korea Expressway Transportation Researches, A Study on Driver's Characteristics in Long Tunnel using Simulator, 2006
- [6] Korea Expressway, Expressway Public Design Manual, Bridge, tunnel, 2010.
- [7] Chae-Young Lee, A study on the necessity of public design that takes into consideration the psychological problems experienced by users of long Read Tunnels, Seoul National University Graduate School of Design, Master's thesis, pp.78-79, 2019.
- [8] Korea Expressway, Tunnel design lighting diversification promotion measures to improve driving safety and comfort, 2020.
- [9] Korea Expressway, Detailed promotion plan for ensuring driving safety considering human factors, Miryang, Ulsan Tunnel Continuous Section, 2020.
- [10] Korea Expressway, Detailed promotion plan for ensuring driving safety considering human factors, Miryang, Ulsan Tunnel Continuous Section, 2020.
- [11] Korea Expressway, Bright tunnel lighting facility improvement plan to create a comfortable driving environment, 2018.
- [12] Do-Wook Lee, A Research on the reduction of fatality in Tunnel Traffic Accidents, Master's thesis at Chung-Ang University, 2017.
- [13] Hyo-Kyu Kim, A study on the relationship among traffic accidents, fire occurrences and tunnel characteristics in local road tunnels, Korean Tunnelling and Underground Space Association, 2004.
- [14] Byung-ho Ahn, A Study on the Characteristics of Traffic Accidents in Jangdae Tunnels on Expressway, My master's thesis at Chonnam National University, 2014.
- [15] Joo-Young Kim, Analyzing drivers' visual response variation in very long expressway tunnel ; the

Yuksimnyeong tunnel, Korean Society of Transportation, Vol.27, No. 1, pp.17-25, 2009.

황 예 진 (Ye-Jin Hwang)

[장학원]



- 2010년 2월 : 광주대학교 대학원 산업 디자인 (디자인석사)
- 2016년 2월 : 광주대학교 대학원 산업 디자인 (디자인박사)
- 2020년 ~ 2021년 : 한국도로공사 제 12기 고속도로 디자인 기술자문위원
- 2014년 4월 ~ 현재 : 광주대학교 패션·주얼리디자인학부 조교수
- 관심분야 : 산업디자인, 제품디자인, 공공디자인
- E-Mail : yj3030@gwangju.ac.kr