

각국의 터널조명 기준 비교분석과 새로운 기준 제안

(Analysis for Tunnel Lighting Standards and a Proposal of New Standard)

한중성* · 김필영** · 김 훈*

(Jong-Sung Han* · Pil-Yeong Kim** · Hoon Kim*)

(*강원대학교 전기전자공학부, **한국도로공사)

요 약

본 연구에서는 교통의 안전성, 에너지 절감, 조명시설의 효율적인 유지관리에 주안점을 두고, 국내외 터널조명 관련 기술정보 및 터널조명 기준을 수집하고 분석하여 국제 추세와 국내 실정을 반영한 적절한 터널조명 기준을 제안하였다.

1. 서 론

터널조명은 차량이 주간과 야간에 설계속도로 도로의 인접한 진행방향을 따라 안락하고 안전하게 통과하기 위한 것이다. 터널조명에 사용되는 조명시설은 주간과 야간에 도로를 이용하는 운전자나 보행자들의 안전과 가시성을 보장하기 위한 대표적인 교통안전 시설이다.

터널의 주야간 이용자들에게 적절한 조명환경을 제공해 주기 위한 터널조명 설비의 기준은 자국의 경제 사정, 인구 밀도와 교통 혼잡도, 통행 규모 등의 여러 요소들을 고려하여 개별 국가마다 조금씩 다르게 채택하여 사용하고 있는 실정이다.

국내 터널조명 기준의 경우, 국제 기준과 차이가 있으며, 일부 국가의 표준에 비하여 상대적으로 엄밀하지 못하게 설정되어 있다. 특히 터널에서 요구되는 조명환경을 규정하고 있는 한국산업규격(KSA 3703)은 1992년도에 제정되어 최신의 국내의 연구 성과를 반영하지 못하고 있는 실정이다.

또한 현재 한미 FTA 체결, EU FTA 협상 등이 추진되면서 공업기술이나 기술표준이 급격히 국제화되는 추세이다. 따라서 우리나라도 국제 추세와 국내 실정에 적합한 조명방식을 계획하고, 설치 및 운용개선 방안을 모색할 필요가 있다.

이에 본 연구에서는 국내외 터널조명 관련 문헌 조사 및 분석, 국내외 각종 터널조명의 실태 조사 및 분석, 국내외 터널조명 관련 기준 분석 등을 바탕으로, 국제 추세와 국내 실정을 반영한 적절한 터널조명 기준을 제안하는 바이다.

2. 각국의 터널조명 기준 분석

국내외 각국의 자동차 터널도로에 대한 조명기준을 다음과 같이 요약 정리하였다.

2.1 주간 자동차 터널도로의 경계부 조명기준

표 1은 각국의 주간 자동차 터널도로의 경계부 조명기준의 특징을 비교한 것이다[1-5].

최근 국제조명위원회(CIE)와 미국조명학회(IESNA)에서는 Photometric과 수식적 방법을 이용한 광학회도법을 사용하여 경계부 휘도를 구할 것을 권고하고 있다[1,3]. 이 방법을 사용하면 경계부 조명 값을 보다 정확히 예측할 수 있으며, 경계부 조명수준을 최종적으로 결정할 때 유용하다. 경계부 휘도를 구하는 또 다른 방법은 경계부 조명을 위한 표 값을 이용하는 것인데, 이 방법은 경계부 조명 값의 예비 추정에 유용하다.

표 1. 각국의 경계부 조명기준의 특징 비교

	각국의 경계부 조명기준의 특징
CIE	-설계속도 3단계(60km/h, 80km/h, 100km/h) 적용 (CIE 88-1990) -대칭조명과 비대칭조명 고려(CIE 88-1990) -터널 입구 방향을 운전자 진행 방향과 반대로 설정(CIE 88-1990) -경계부 노면휘도 조절계수 적용(CIE 88-1990, CIE 88-2004) -터널 입구의 주변경관(주변 반사율, 적설 여부, 터널 방위 등) 고려(CIE 88-1990, CIE 88-2004) -CIE 88-2004에서는 Photometric과 수식적 방법을 이용한 등가광휘도법을 사용하여 경계부 휘도를 구할 것을 권고
IESNA	-설계속도 3단계(60km/h, 80km/h, 100km/h) 적용 -노면휘도 조절계수 적용사항은 CIE와 비슷함. -터널 입구부 방향을 운전자 진행 방향으로 설정 -입구부 주변경관 특성(오른, 시내, 산악) 고려 -최근 IESNA에서는 CIE와 마찬가지로 등가광휘도법의 사용 권고
일본조명학회	-설계속도 4단계(40km/h이하, 60km/h, 80km/h, 100km/h) 적용 -설계속도와 터널길이(설계속도별로 7~10단계로 구분)에 따라 경계부(이행부, 완화부, 기본부 포함) 노면휘도와 터널 각 구역별 길이를 설정해 놓았음 -경계부 노면휘도 조절계수 없음 -노면휘도는 야외휘도에 따라 3단계(3000cd/m ² , 4000cd/m ² , 6000cd/m ²)로 구분하여 적용
KS 기준	-설계속도 4단계(40km/h, 60km/h, 80km/h, 100km/h) 적용 -20도 시야에 점하는 공간의 비율(5% 미만~20% 이상까지 4단계)과 주위 상황(밤을 및 보통)을 고려한 야외휘도와 야외휘도에 곱하는 계수로 경계부 휘도 결정 -경계부 노면휘도 조절계수 없음

2.2 주간 자동차 터널도로의 기본부 조명기준

가. CIE의 기본부 조명기준

표 2는 CIE의 기본부 조명기준을 나타낸 것이다. CIE 88-2004는 그전 버전에 비해 기본부 노면 휘도를 긴 터널과 매우 긴 터널로 구분하여 정한 것이 특징이다[1,2].

표 2. CIE의 기본부에서의 평균노면휘도(cd/m²)

정지거리 (주행속도)	터널의 교통량			
	긴 터널의 교통량		매우 긴 터널의 교통량	
	적음	많음	적음	많음
160m (100km/h)	6.0	10	2.5	4.5
60m (60km/h)	3.0	6.0	1.0	2.0

※ 교통량이 중간일 때 선형 보간법으로 노면휘도 산출
 ※ 교통량 : 단위 [차량대수/시간/차선]
 ① 일방통행 : 많음(1500 이상), 적음(500 이하)
 ② 양방통행 : 많음(400 이상), 적음(100 이하)

나. IESNA의 기본부 조명기준

표 3은 IESNA의 기본부 조명기준을 나타낸 것이다[3].

표 3. IESNA의 기본부에서의 평균노면휘도(cd/m²)

주행속도 [km/h]	교통 흐름		
	적음 2,400 AADT 이하	중간 2,400~24,000 AADT	많음 24,000 AADT 이상
100	6	8	10
80	4	6	8
60	3	4	6

※ AADT(연평균 일일 교통량) : 24시간동안 터널 단방향의 전체 차선을 통과하는 차량의 평균 수량. 단위 [차량대수/일]

다. 일본과 한국의 기본부 조명기준

일본과 한국의 주간 자동차 터널도로의 기본부 조명기준은 같으며, 표 4에 기본부 조명기준을 나타내었다[4-6]

표 4. 일본과 한국의 기본부 조명기준

설계속도 [km/h]	평균노면휘도 [cd/m ²]
100	9.0
80	4.5
60	2.3
40	1.5

2.3 터널의 휘도균제도에 대한 조명기준[1-6]

표 5. 터널의 휘도균제도에 대한 권장사항 비교

	휘도균제도에 대한 권장 사항
CIE	-노면휘도와 2m 높이까지의 벽면의 종합균제도는 최소 0.4 이상을 권장함. -도로의 경우 차선축 균제도는 0.6을 권장함.
IESNA	-종합균제도(최소휘도/평균휘도) : 1/2 -차선축 균제도(최소휘도/최대휘도) : 1/3.5
일본조명학회	-휘도균제도에 대한 특별한 규정이 없음.
KS 기준	-휘도균제도에 대한 특별한 규정이 없음.

2.4 야간 터널조명에 대한 조명기준[1-6]

표 6. 야간 터널조명에 대한 조명기준 비교

	야간 터널조명에 대한 권장 사항
CIE	-야간 터널에서 균제도는 주간 조명과 같은 여건을 다 갖추어야 함. -터널이 조명이 없는 도로의 일부인 경우, 내부의 평균노면휘도는 1cd/m ² 이하로 되어서는 안됨. -종합균제도는 최소한 40% 이하여야 하고, 차선속 균제도는 최소 60% 이하여야 함.
IESNA	-터널 전 구간에 대해 최소 평균 2.5cd/m ² 의 휘도를 권고함. -접속부와 출구 도로는 정지거리 구간을 기본부 휘도의 1/3 이상의 휘도가 유지되도록 해야 함.
일본조명학회	-야간에 교통량이 감소함과 동시에 투과율이 높아지는 경우에는 평균노면휘도 값을 1/2까지 저하시키는 것이 가능함. -단, 이 경우에도 평균노면휘도 값은 0.7cd/m ² 미만으로 해서는 안 됨.
KS 기준	-설계속도가 80km/h 이상인 경우에는 1.0cd/m ² , 설계속도가 60km/h 이하인 경우에는 최저 0.7cd/m ² 로 함. -접속하는 도로에 연속 조명이 설치되어 있을 경우에는 야간의 평균노면휘도는 접속하는 도로의 평균 노면휘도의 2배 이상의 값이 바람직함.

3. 자동차 터널도로의 새로운 조명기준 제안

3.1 주간의 경계부 평균노면휘도 기준

가능하면 보다 정확한 경계부 휘도값을 얻을 수 있는 광학휘도법의 사용을 권고하며, 표 7과 표 8에 의한 표 이용 방법을 제안한다.

표 7. 경계부 노면휘도에 대한 조절계수

터널길이	교통량	출구부 보임 (ISD로부터)				출구부 안보임 (ISD로부터)			
		주광 입사				주광 입사			
		좋은		나쁨		좋은		나쁨	
		40% 이상	20% 이하	40% 이상	20% 이하	40% 이상	20% 이하	40% 이상	20% 이하
25m미만	전부	0% (주간 경계부 조명 필요 없음)				0% (주간 경계부 조명 필요 없음)			
		적음	0%	0%	0%	0%	50%	50%	50%
25-75m	많은	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%
		적음	50%	50%	50%	50%	100%	100%	100%
76-125m	많은	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
		적음	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
125m이상	전부	100%				100%			

주) (1) 교통량 : 단위 [차량대수/시간/차선]
 ① 일방통행 : 많음(1500 이상), 적음(500 이하)
 ② 양방통행 : 많음(400 이상), 적음(100 이하)

다음과 같은 절차로 경계부 휘도값(L_{th})을 결정한다.

- ① 표 7로부터 L_{th} 값의 비율을 결정한다.
- ② 터널의 설계 주행속도와 주행방향을 결정한다.
- ③ 표 8로부터 적당한 휘도값을 읽고 표 7의 비율(%)을 적용한다.

표 8. 주간의 경계부 평균노면휘도(L_{th}) 추천치

주간 자동차 터널의 경계부에서 유지해야할 평균노면휘도 L _{th} [cd/m ²]		20° 원추형 시야 내의 하늘의 비율															
		35%		25%		10%		0%		35%		25%		10%		0%	
		정상시	적설시	정상시	적설시	정상시	적설시	정상시	적설시	정상시	적설시	정상시	적설시	정상시	적설시	정상시	적설시
터널 내의 휘도상향	낮음	높음	높음	높음	높음	높음	높음	높음	높음	높음	높음	높음	높음	높음	높음	높음	높음
		남(1)	북(1)	남(1)	북(1)	남(1)	북(1)	남(1)	북(1)	남(1)	북(1)	남(1)	북(1)	남(1)	북(1)	남(1)	북(1)
60	SLS	-	-	-	-	200	250	200	250	125	175	150	175	75	150	75	200
	CBS	-	-	-	-	160	200	160	200	100	140	120	140	60	120	60	160
80	SLS	240	360	240	360	240	360	240	360	180	270	180	300	180	300	150	300
	CBS	200	300	200	300	200	300	200	300	150	225	150	250	125	250	125	250
100	SLS	400	600	400	600	400	600	400	600	300	450	300	500	250	500	250	500
	CBS	280	420	280	420	280	420	280	420	210	315	210	350	175	350	175	350

(1) 터널의 방위에 주로 따르는 영향(북반구에서 - 낮음: 남쪽 입구, 높음: 북쪽 입구), 동-서쪽의 경우 중간지를 선택함.
 (2) 주변의 밝은에 따르는 영향(낮음: 낮은 주변 반사, 높음: 높은 주변 반사)
 (3) 터널의 방위에 주로 따르는 영향(북반구에서 - 낮음: 북쪽 입구, 높음: 남쪽 입구)
 * SLS : 대칭 조명시스템(Symmetrical Lighting System)
 CBS : 카운터빔 조명시스템(Counter-beam Lighting System)

3.2 주간의 기본부 평균노면휘도 기준

표 9. 기본부에서의 노면휘도(cd/m²) 추천치

주행속도 [km/h]	터널의 교통량	
	적음	많음
100	6	10
80	4	8
60	3	6

주) 교통량 : 단위 [차량대수/시간/차선]
 ① 일방통행 : 많음(1500 이상), 적음(500 이하)
 ② 양방통행 : 많음(400 이상), 적음(100 이하)
 ③ 교통량이 중간일 때는 선형 보간법으로 산출

표 10. 기타 터널조명에 대한 권장사항

기타항목	출구부, 천장-벽체, 휘도균제도, 야간조명에 대한 권장 사항
출구부 및 출구접속부	-출구부 시작부터 휘도를 증가시켜 출구 접속부 전방 20m 지점의 휘도가 기본부의 5배가 되도록 점차 올려준다. -출구 접속부에서 도로조명을 해야 하는 거리는 정지거리의 2배 이상이어야 하며, 휘도는 터널의 기본부 야간 휘도의 1/3 이상이어야 한다.
천장 및 벽체	-터널 반사벽의 높이는 최소 2m 이상이어야 한다. -벽면의 평균휘도는 해당 지점 평균 노면휘도의 최소 60%가 되어야 한다..
휘도균제도	-터널 내 노면의 휘도와 벽면 2m 높이까지의 휘도는 균일해야 한다. 벽의 하단부는 도로와 마찬가지로 통행을 위한 배경 역할을 하므로, 양자는 항상 같은 방식으로 고려해야 한다. -터널의 창결 조건하에서 노면휘도와 2m 높이까지의 벽면의 종합 휘도균제도(최소휘도/평균 휘도)는 최소 0.4 이상을 권장한다. -도로의 경우 차선의 중심선을 따른 차선축 휘도균제도(최소휘도/최대휘도)는 0.6 이상을 권장한다. -이러한 균제도의 값은 조명시설이 끝나는 부분까지 유지되어야 한다.
야간조명	-터널이 조명이 설치된 도로의 섹션 상에 있을 때, 터널 내부 조명의 품질은 접근도로의 균제도와 글레어 수준이 최소한 같아야 한다. -야간 터널에서 균제도는 주간 조명과 같은 여건을 다 갖추어야 한다. -종합 휘도균제도는 최소 40% 이어야 한다. -차선축 휘도균제도는 최소 60% 이어야 한다. -터널이 조명이 없는 도로의 일부인 경우, 터널 내부의 평균 노면휘도는 1 cd/m ² 이하로 되어서는 안 된다.

- [1] CIE 88-2004(2nd edition): Guide for the Lighting of Road Tunnels and Underpasses, 2004
- [2] CIE 88-1990: Guide for the Lighting of Road Tunnels and Underpasses, 1990
- [3] IESNA RP-22-05: IESNA Recommended Practice for Tunnel Lighting, 2005
- [4] 일본조명학회 "Lighting Handbook, 제2판, Ohmsha, 2003
- [5] 한국표준협회, KS 터널조명기준(KS A 3703)
- [6] 건설교통부, 도로터널 조명시설의 설계기준

4. 결 론

본 연구에서는 CIE, IESNA, 일본조명학회, KS 등 국내의 도로조명 관련 기술정보 및 자료를 수집하여 국내의 터널조명 관련 기준을 비교, 분석하였으며, 이를 바탕으로 국제 추세와 국내 실정을 반영한 적절한 터널조명 기준을 제안하였다.

새로 제안한 터널조명 기준은 국제 기준에 더욱 근접함으로써 국제표준화 추세에 부응되며, 국내 터널조명의 질을 한 단계 향상시키고 운전자의 안전을 더욱 향상시킬 것으로 생각한다.

본 연구는 한국도로공사의 학술연구 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.