

제 9-3 편 터널 조명



목 차

1. 터널 조명	501
1.1 개 요	501
1.2 조사와 계획	502
1.2.1 조사	502
1.2.2 설치 계획	503
1.3 설 계	505
1.3.1 광원과 조명기구의 선정 및 설치	505
1.3.2 기본 조명	509
1.3.3 입구부 조명	510
1.3.4 출구부 조명	514
1.3.5 터널 접속도로의 조명	514
1.3.6 정전 시 비상조명	515
1.3.7 연속터널 조명	516
1.3.8 단(短)터널 조명	517
1.4 조명 계산	518
참고자료	520



1. 터널 조명

1.1 개 요

터널 조명은 조명학적으로 필요한 밝기를 기본으로 하여 설계속도, 교통량, 선형 및 주변 환경을 고려하여 적절하게 설치하여야 한다.

터널 조명은 주간과 야간에 터널 내부 및 접속 도로에서 차량의 운전자가 안전하고 쾌적하게 주행토록 하는 시설이다. 터널 내 도로는 일반도로와는 달리 협소한 공간, 교통에 의한 압력 및 혼란 등의 위험성이 있는 특수한 조건에 놓여있다. 이러한 특수 조건은 교통기능의 저하를 초래하게 되므로, 수송기능 저하를 가능한 한 경감시키기 위하여서는 터널 내부에 조명설비가 필요하다. 터널을 통과하는 운전자는 주위의 상황을 모두 알아야 되므로, 터널 내부 조명을 통하여 운전자에게 주위의 상황에 대한 충분한 시각적 정보를 제공함으로써 터널의 수송기능을 충분히 발휘할 수 있다.

따라서, 운전자가 터널 외부에서 터널 내부로 진입 시 운전자의 시각적 평형상태를 유지하기 위하여, 터널 외부의 운전자가 느끼는 밝기, 즉 야외휘도에 비례하여 경계부 구간의 노면휘도를 유지하여야 하고, 이어서 이행부·완화부의 노면휘도를 터널 입구로부터 진입하는 거리에 따라 감소시켜, 기본부 노면휘도 값으로 원활하게 접속시키는 조명설비가 필요하다. 이와 같이 주간에는 터널 외부의 밝음에 따라 적합한 내부조명을 실시하고, 야간에는 외부도로 조명을 고려한 터널조명이 필요하다.

터널 내부 조명의 계획에 있어서는 이론적으로 필요한 노면의 휘도를 기본으로 하여 설계 속도, 교통량, 선형 등을 고려하여 운전자의 안전성과 운행의 쾌적성을 확보하도록 조명 수준을 결정하여야 한다. 현재, 도로 조명 시설은 “한국 산업 규격(KS A 3703) 터널 조명 기준”에 따라 설치하고 있다.

1.2 조사와 계획

1.2.1 조사

조명의 계획에서는 아래 사항을 사전에 조사하여야 한다.

- | | |
|------------------|-------------|
| (1) 터널 부근의 지형 조건 | (2) 터널의 구조 |
| (3) 교통 상황 | (4) 환기 상황 |
| (5) 전원 상황 | (6) 유지관리 상황 |
| (7) 부대설비 상황 | |

터널조명 계획 시 다음 사항을 조사하여 이들 조건에 부합하는 합리적인 설비가 되어야 한다.

(1) 터널 부근의 지형 조건

터널 내부로 진입하고 있는 자동차 운전자의 시야에 들어오는 하늘, 노면, 인공구조물, 입구부 부근의 지물·경사면 등의 휘도와 이들이 차지하는 비율, 터널로 진입하는 차량의 방위, 출입구 부근의 시야 상황, 터널에 접근하는 도로의 선형(곡선, 종단경사 등), 연간 평균 야외휘도 및 기상 상황 등을 조사한다.

(2) 터널의 구조

터널 단면의 모양, 연장, 터널 내 도로의 평면·종단선형, 노면·벽면·천장면의 표면상태 및 반사율 등을 조사한다.

(3) 교통 상황

터널의 교통량, 설계속도, 통행방식(일방·대면교통), 자동차 전용도로 여부 및 혼합교통 여부 등을 조사한다.

(4) 환기 상황

배기 설비의 유무, 환기 방식, 터널 내 공기의 투과율 등을 조사한다.

(5) 전원 상황

터널 주변의 한전전력 배전선로의 위치 및 공급가능 용량, 수전개소, 전압 변동률, 비상전원 공급방식 등 전원 상황을 조사한다.

(1) 기본부 조명

기본부 조명이란 주·야간에 터널 내에서의 운전자가 주변 상황에 대한 인지능력을 확보하기 위하여 터널 전체길이에 걸쳐서 설치하는 조명을 말한다. 이는 터널 전체에 걸쳐 원칙적으로 조명기구를 일정 간격으로 배치하며, 주간에 터널 외부로부터 터널에 진입한 자동차 운전자가 입구부 조명구간을 통과하여 거의 정상적 시각 상태에 도달한 후의 조명수준으로 한다.

(2) 입구부 조명

입구부 조명이란 주간에 터널 입구부근에서의 시각적 문제를 해결함을 목적으로 기본조명에 부가하여 설치하는 조명이다. 주간에 도로를 주행한 자동차 운전자의 눈은 야외 휘도에 순응한 상태로 터널로 진입하기 때문에 터널 내부가 모두 암흑으로 보여 터널 내부의 상황 판단에 필요한 시각적 정보를 줄 수 없으며, 이러한 장애를 경감하기 위하여 입구부에 설치하는 조명을 입구부 조명이라 한다.

이 경우에 입구부의 휘도를 어느 정도로 하고, 어떠한 형태로 기본부 조명으로 이행시키는가 하는 것이 중요한 문제이다.

입구부 조명설비는 인공 조명만을 사용하는 방법이 일반적이나 자연광을 루버 또는 유사 구조를 사용하여 제어하는 조도순응시설을 인공 조명과 병행하여 설치할 수 도 있다.

(3) 출구부 조명

주간에 터널 내부에서 출구를 보았을 경우 출구가 대단히 밝은 배경으로 되고, 출구 부근에 있는 모든 장애물은 검은 실루엣으로 보인다. 특히, 선행하는 차의 실루엣이 개구부의 일부를 가리는 경우 선행하는 차를 따라가는 작은 차나 낙하물 등은 식별하기가 곤란하다. 이러한 현상을 방지하기 위하여 차의 후면을 적당히 조명할 필요가 있는데 이것이 출구부 조명이다.

(4) 터널 접속 도로의 조명

야간에 터널을 통과하는 운전자의 안전을 위하여 입구부 접속도로, 출구부 접속도로에 조명을 설치한다. 입구부 접속도로의 조명은 야간에 터널입구 부근의 상황, 터널 내외에서 도로 폭의 변화 등을 자동차 운전자가 시인할 수 있도록 설치하는 조명을 말하며, 출구부 접속도로의 조명은 터널 출구에 접근하고 있는 자동차 운전자가 밝은 터널의 내부에서 터널에 접속하는 어두운 도로의 선형 변화 등을 충분히 전방에서 시인할 수 있도록 설치하는 조명을 말한다.

(5) 비상 조명

터널 내 정전사고가 발생하면, 갑자기 어두워진 터널 내를 주행하던 자동차는 매우 위험한 상황에 처하게 된다. 이러한 정전사고를 대비하여 비상조명을 설치하여야 한다.

1.3 설 계

1.3.1 광원과 조명기구의 선정 및 설치

(1) 광원의 선정

터널 조명에 사용하는 광원은 광속, 효율, 광색, 투과율, 동정특성, 주위 온도, 수명 등이 해당터널에 적합한지를 고려하여야 한다.

(2) 조명 기구의 선정

터널 조명에 사용하는 조명 기구는 배광, 눈부심 제어, 조명율, 재질, 터널의 구조, 보수 작업의 용이 여부 등이 해당 터널에 적합한지를 고려하여야 한다.

(3) 조명 기구는 건축 한계 밖에 설치하고, 배치와 배열은 아래의 항목을 고려하여 결정하여야 한다.

(가) 유도 효과

(나) 휘도 분포

(다) 눈부심 및 깜빡거림(반짝거림)

(라) 보수 작업의 난이

(마) 조명율

(1) 광원의 선정

터널 조명용 광원은 조명 효과를 얻을 수 있는 충분한 광속, 경제성을 위한 조명효율, 유지보수성의 용이성을 위한 램프의 수명, 조명환경의 쾌적성을 위한 광색, 그 밖에 주위 온도, 투과율, 동정특성 등을 고려하여 선정하여야 한다.

터널에 이용되는 광원은 고압 나트륨 램프, 형광 램프 중에서 선택하는 것을 원칙으로 하며, 그 기능에 따라 두 가지 광원을 혼용하여 설치하는 것이 바람직하다. 이들 광원은 광속(光束), 효율, 수명 등 터널 광원으로서 구비하여야 하는 특성이 안정되고 있고 터널 환경에 적합하다. 그러나, 이들 램프는 각각의 구조·형상과 발광 구조에 차이가 있고, 동시에 용량의 대소·온도 특성·연색 등 각각의 특색을 가지고 있기 때문에 광원의 선정에 있어서는 터널의 규모·구조·환경·보수의 정도에 따라서 선택하여야 한다.

현재, 조명 분야에 있어서 광원의 효율 및 연색성이 개선되고 있으며, 수명의 연장이 이루어지는 등 신개발품이 계속적으로 출시되고 있어, 이들에 대한 꾸준한 관심을 가지고 광원을 선정하여야 한다.

(2) 조명 기구의 선정

조명 기구는 광원의 광속을 효율적으로 터널 노면에 비추고, 램프를 매연과 물로부터 보호하여 장기간 그 성능을 발휘시키기 위한 것이다.

광원의 종류와 와트(W) · 설치 장소(터널의 양 측벽 상부 또는 천장부) · 설치 방법 등에 따라 그 모양이 적합하여야 하고, 내구성이 강한 재료를 사용하여 구조가 견고하며, 보수가 용이한 것으로 선정하여야 한다.

조명기구의 배광의 역할은 빛을 유효 적절히 이용하는 것으로 노면 휘도를 높이는 것만 생각하면 노면에 향하는 광속이 많을수록 좋으나, 터널 내의 시각환경을 쾌적하게 유지하여 장애물의 시인성을 높이기 위해서는 지나치게 노면 휘도만 높이는 것은 바람직하지 않다. 더군다나 터널이 곡선인 경우는 상대적으로 벽면의 높은 휘도가 요구되므로, 노면 · 벽면 · 천정에 대하여 광속이 적당히 배분되는 배광특성을 갖는 등기구를 선택하는 것이 바람직하다.

터널 내부는 일반적으로 매연이 많고, 습도가 높으며 물세척이 이루어지는 점을 감안하여 등기구 뚜껑을 닫았을 때 완전 밀착되어 방수 · 방습 · 방진이 되어야 한다.

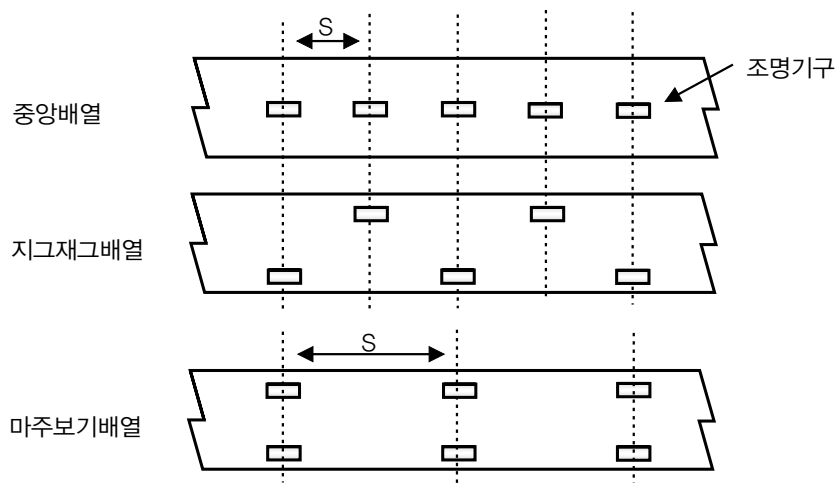
조명 기구를 구성하는 중요한 부품은 다음 조건을 만족하여야 한다.

- ① 본 체 : 기구 본체는 스테인레스 강판(STS316, 1.0mm이상), 합성수지(4.0mm이상), 알루미늄 등으로 제작한 것을 사용한다.
- ② 반 사 판 : 0.5mm 이상의 고순도 알루미늄 제품으로 형광등기구인 경우에는 반사율이 85%이상인 고조도 반사판을 사용하고, 고압나트륨등기구인 경우 엠보싱 처리된 반사판을 사용한다.
- ③ 전면유리 : 4mm 이상의 투명 강화유리를 사용하며, 사용 재료는 내열성 · 내후성 · 내충격성 등이 있는 것을 사용하여야 한다.
- ④ 소 켓 트 : 램프의 금속 부분의 발열에 대하여 충분히 견디고 진동에 의한 접촉 불량을 일으키거나 떨어지지 않는 구조여야 한다.
- ⑤ 내부배선 : 안정기의 인입선과 기구의 내부에 사용되는 전선은 기구의 온도 상승에 견딜 수 있어야 한다.
- ⑥ 램프 및 안정기 등 재료는 아래 한국산업규격에 따른다.
 - KS C 7601 형광램프(일반조명용)
 - KS C 7603 형광등 기구

- KS C 7703 형광램프 홀더 및 글로스타터 홀더
- KS C 8100 형광램프용 전자식 안정기
- KS C 8102 형광램프용 자기식 안정기
- KS C 7610 나트륨 램프
- KS C 8000 조명기구 통칙
- KS C 8108 나트륨 램프용 안정기
- KS C 7702 전구류의 베이스 및 소켓

(3) 조명 기구의 설치

조명기구의 배치는 <그림 1.2>에 나타내듯이 마주보기 배열 · 지그재그 배열 · 중앙 배열 3종류 방식이 있으며, 유도 효과 · 노면의 휘도 분포 · 눈부심 · 깜빡거림 · 유지보수 · 조명기구의 조명률 등을 고려하여 적합한 것을 선택한다. 조명기구의 설치의 벽면보다는 천장에 설치하는 것이 조명율에 유리하므로 터널 내 시설한계 밖에 조명기구 설치공간이 확보가 된다면 천장에 설치하는 것이 바람직하다.



<그림 1.2> 조명 기구의 배열

(가) 유도 효과

터널의 연장이 길거나, 종단 경사가 큰 경우, 곡선 반지름이 작아서 터널의 출구가 보이지 않는 터널에서는 자동차 운전자의 시선을 유도하는 것이 매우 중요하며, 이 효과에 있어서 조명 기구가 담당하는 역할은 크다. 조명 기구의 배열 상태에 의하여 터널이 굽어 있는지, 경사와 곡선 반지름이 어느 정도인지 판단할 수 있다. 또한, 조명에 의하여 노면 표시와 공동구, 기타 각종 부대시설 등을 충분히 비춤으로써 유도 효과를 도울 수 있다.

(나) 노면의 휘도 분포

터널 내부 쾌적한 조명환경을 조성하기 위하여서는 휘도 분포를 양호하게 유지하는 일이 매우 중요하며, 양호한 노면 휘도 분포를 얻기 위하여서는 조명 기구의 설치 높이를 높게 하는 것이 바람직하다. 등기구의 설치높이는 설치간격, 균제도, 등기구의 배광을 충분히 검토하여 선정하여야 한다. 균제도는 특히, 평균 휘도 값이 낮을 경우에 더욱 영향을 주므로 가능한 한 적절하게 유지할 필요가 있다. 일반적으로 설치 높이(H)에 대한 설치간격(S)이 아래와 같은 범위에 있는 것이 바람직하다.

마주보기 배열	$S \leq 2.5 H$
중앙 배열 또는 지그재그 배열	$S \leq 1.5 H$

또한, 노면 휘도 분포를 양호하게 유지하기 위하여 등기구의 배광 특성을 검토하여야 한다. 등기구의 배광 특성은 터널 길이방향으로 광속이 충분히 확산되어야 하며, 이러한 배광 특성을 고려하여 설치간격을 결정하여야 한다.

한편, 터널 내 운전자는 단조로운 휘도 패턴의 반복 때문에 일반 도로와 비교할 때 적절하게 선형을 예측하거나 주행 감각을 잃을 수가 있다. 이러한 문제는 노면·벽면·천정면에 적절한 휘도 차이를 둬으로써 해결할 수 가 있는데, 이러한 휘도 차이가 운전자의 시인성의 향상, 앞차에 대한 식별, 앞차와의 거리감 인식 등을 얻는데 도움이 된다는 연구 보고도 있다.

(다) 눈부심 및 깜빡거림

조명 기구의 눈부심은 기구의 배광 특성과 설치 높이에 영향을 받는다. 현재 이용되고 있는 기구의 배광은 자동차 진행 방향 전방의 기구에 의한 눈부심은 거의 문제가 없으나 설치 높이가 낮아지면 측면에서의 눈부심이 커지는 경향이 있다. 따라서, 설치 높이는 가능한 높은 것이 바람직하다. 조명 기구의 간격 선정에 있어서 깜빡거림에 의하여 생기는 불편감을 주는지 어떤지 검토할 필요가 있다. 깜빡거림이 문제가 되는 것은 장대터널과 같이 깜빡거림이 오래 동안 지속하는 경우이며, 짧은 터널이나 입구 조명 구간에서는 고려하지 않아도 된다.

(라) 보수 작업

조명 기구의 보수(램프 교환, 기구의 청소) 시 터널 내 차량 규제는 필수적이며, 교통 지체 등 때문에 통상 야간에 보수 작업을 하는 것이 일반적이다.

이들 보수 작업은 정기적으로 행할 필요가 있고, 교통량이 많은 터널에서는 오염도가 심하기 때문에 규정상의 노면 휘도를 유지하려면 잦은 보수작업이 필요하다. 최근과 같이 교통량이 증가하고 주행속도가 높아지면 교통 통제를 했다하더라도 위험이 따르므로 보수에 어려움이 있다. 따라서, 보수작업이 용이하도록 등기구를 설치하여야 한다.

(마) 조명율

터널 등기구의 조명율은 터널 내부의 도로 폭, 등기구의 설치높이, 터널 벽면 및 노면의 반사율, 등기구의 직사조명율 곡선에 따라 정하여지므로 정확한 노면휘도를 설계하기 위하여서는 실측에 의하여 등기구의 배광곡선을 측정하여 직사조명율 곡선을 구할 필요가 있다.

1.3.2 기본 조명

기본 조명의 밝기는 설계속도, 교통량 등을 감안하여 결정하여야 한다.

터널 내부의 기본 조명은 터널 내의 운전자가 안전하고 쾌적하게 주행할 수 있도록 주행속도에 따른 충분한 시거(視距)에서 장애물을 판별, 시인(視認)할 수 있는 밝기로 하는 것이 필요하다. 쾌적성에 대하여서는 수치적으로 나타내는 것이 곤란하지만 현저한 휘도 얼룩이 없도록 함과 동시에, 조명기구에 의한 유도성을 고려하여 터널의 선형을 나타내도록 하는 것이 필요하다.

또한, 터널은 일반 도로와 달리 입체적으로 밀폐된 구조이기 때문에 터널 내를 주행하는 자동차의 운전자의 시야 내에 점유하는 벽면, 천정면의 휘도가 터널의 선형이나 장애물의 식별 등의 시각 정보 확보에 큰 영향을 준다. 따라서 운전자가 터널 내를 안전하고 쾌적하게 주행하기 위하여서는 전술한 노면휘도만이 아니라, 벽면·천정면도 포함한 밝기의 밸런스를 적절히 안배하여 양호한 시각환경을 만들어 내는 것이 필요하다. 터널의 구조 등을 고려하여 벽면 타일 높이까지의 벽면의 평균 휘도는 평균 노면휘도 이상인 것이 바람직하다.

주간 및 야간의 터널 내부의 기본조명 노면 휘도 값으로서는 현재 <표 1.1> 값을 표준으로 하고 있다. 교통량이 많고 공기투과율이 낮을 경우에는 평균 노면휘도를 이 값보다 높게 하는 것이 바람직하며, 교통량이 적고 터널 내의 공기투과율이 높을 경우에는 평균 노면휘도를 이 값보다 낮게 할 수도 있다. 또한, 접속하는 도로에 연속 조명이 설치되어 있을 경우에는 야간의 평균 노면휘도는 접속하는 도로의 평균 노면휘도의 2배 이상인 것이 바람직하다.

<표 1.1> 기본 조명의 기준 휘도 값

설 계 속 도(km/h)	노 면 평 균 휘 도 (nt)	
	주 간	야 간
100	9.0	2.0
80	4.5	2.0
60	2.3	1.4

1.3.3 입구부 조명

(1) 입구부 조명의 구성

입구부 조명은 주간에 터널 입구부근에서의 시각적 문제를 해결함을 목적으로 기본조명에 부가하여 설치하는 조명으로서, 그 기능에 따라 경계부 · 이행부 · 완화부으로 구성한다.

(가) 경계부 조명

경계부 조명은 운전자가 터널을 주시하기 시작하는 터널 입구로부터의 거리에서 터널 내부의 장애물을 보는데 필요한 배경을 주는 조명이다. 경계부 평균 노면휘도는 터널 입구 부근의 운전자 시야 상황에 따라 정해지는 야외휘도 값과 설계속도에 따라 정해지는 계수에 따라 정해진다.

경계부의 길이는 터널 입구부에 있는 장애물을 터널의 입구로부터 시인거리만큼 떨어진 자동차의 운전석에서 보아 장애물 식별에 충분한 배경을 구성할 수 있는 정도의 거리가 필요하다. 이 경우 경계부 길이가 충분하지 않으면 장애물을 보았을 때 장애물 하부의 극히 일부분만 식별하게 되며, 장애물의 “존재”는 식별되어도 “크기”를 판단할 수가 없게 되어 운전자에게 충분한 시각정보를 줄 수 없다. 따라서 경계부의 길이는 설계속도가 높을수록 길어진다.

(나) 이행부 조명은 자동차가 터널로 진입함에 따라 운전자의 눈은 갑작스런 어둠에 익숙하지 않아 발생하는 블랙홀 현상을 없애기 위하여 설치하는 조명이다. 따라서 운전자의 휘도변화에 대한 인체 시각의 자율조정 필요시간인 순응시간이 필요하며, 이러한 운전자의 순응정도를 고려하여 적정 시야가 확보될 수 있도록 하는 조명시설이다.

(다) 완화부는 자동차가 실질적으로 터널에 진입한 후, 시인거리만큼 떨어진 장애물을 보기 위한 필요 배경을 주는 부분으로서, 자동차의 진행과 더불어 암순응 곡선을 따라 휘도를 감소시켜서 기본부 조명에 접속하도록 한다.

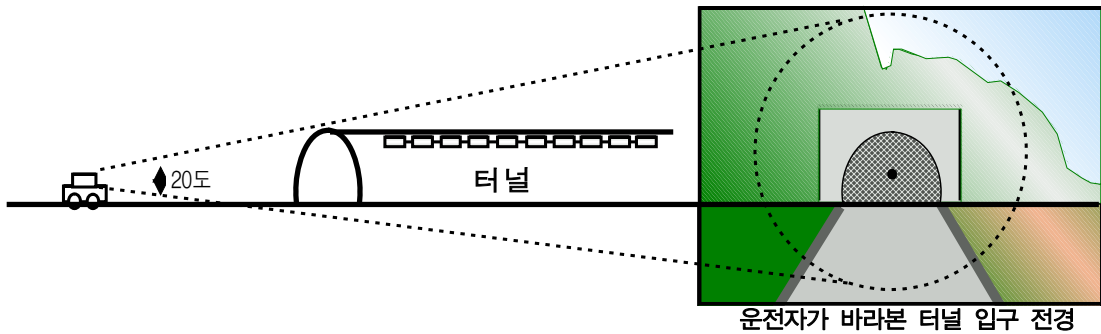
(2) 조도기준 설정인자

(가) 야외 휘도

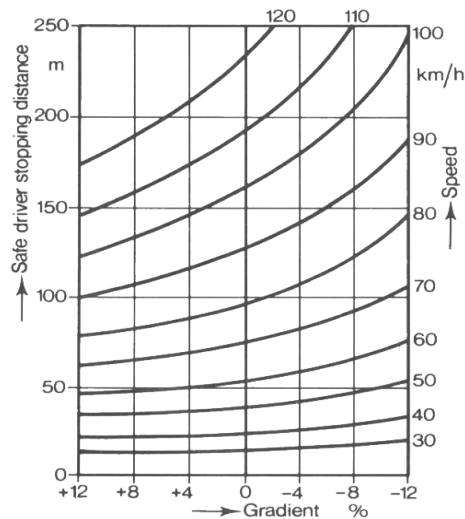
블랙홀 현상과 순응휘도의 낮음 현상을 제거하기 위한 입구부 조명의 밝기는 터널에 접근하는 자동차 운전자의 안구 내에 생기는 광막휘도에 의하여 결정되며, 이는 운전자가 보는 전방시야 내의 중심 시야휘도에 전적으로 좌우된다.

중심 시야휘도는 <그림 1.3>과 같이 터널의 주시 개시점에서 터널을 바라보며 20도의 원추형시야

를 구성하여 나타난 원내의 평균휘도이며, 주시 개시점은 <그림 1.4>에 나타난 제동거리(stopping distance)로 같음할 수 있다.



<그림 1.3> 중심 시야휘도



<그림 1.4> 터널 주시개시점

중심 시야휘도의 각 부분이 차지하는 비율을 구하고, <표 1.2>에서 표기하고 있는 각 부분별 부분 휘도 값을 (식 1.1)에 의하여 계산하면 중심 시야휘도를 구할 수 있다.

$$L_{20} = a L_c + b L_r + c L_e + d L_{th} \quad (\text{식 1.1})$$

L_{20} : 야외 휘도

L_c : 하늘 휘도

a : 하늘의 비율

L_r : 도로 휘도

b : 도로의 비율

L_e : 주변 휘도

c : 주변의 비율

L_{th} : 터널 입구부의 휘도

d : 터널 입구부의 비율

〈표 1.2〉 하늘, 도로 및 터널 주변회도

(단위:kcd/m²)

운전방향	L _c (하늘)	L _r (도로)	L _{th} (입구)	L _e (주변)		비 고
				바 위	풀 밭	
북 쪽	8	3	1	3	2	
동쪽, 서쪽	12	4	1	2	2	
남 쪽	16	5	1	1	2	

※ 터널 입구의 면벽의 회도는 바위에 준한다.

※ 주변 녹지 및 나무에 대한 회도는 풀밭의 50% 를 적용한다.

하지만 터널이 건설되지 않은 경우는 계산에 의한 중심 시야회도를 구하기는 어렵고, 터널 입구의 컴퓨터 시뮬레이션에 의한 터널입구의 단면 또한 그 신뢰도가 그리 높지는 않다. 또한 고속도로 터널의 경우 일반적으로 산악지대에 있어 하늘이 차지하는 비율이 5% 미만이고, 주변의 상황이 밝지 않기 때문에 〈표 1.3〉에 의한 최저기준을 선정하는 것이 일반적이다.

〈표 1.3〉 야외회도 선정 기준

설계속도 (km/h)	20도 시야 내에 점하는 공간의 비율 (%)							
	20 이상		20~10		10~5		5 미만	
	주위의 상황 (cd/m²)							
	밝음	보통	밝음	보통	밝음	보통	밝음	보통
100, 80	6,000	5,000	5,000	3,000	4,000	2,500	4,000	2,000
60, 40	5,000	4,000	4,000	2,500	3,000	2,000	3,000	1,500

※ 이 시야는 터널 입구에서 시거만큼 앞쪽에 있는 운전자가 터널을 볼 경우의 것이다.

※ 주위 상황이 밝다는 것은 터널 입구부근의 지물이 흰색·회색 등의 반사율이 높은 경우를 말하며, 입구부근에 장기간 적설상태가 계속되는 경우도 여기에 포함된다.

※ 주위의 상황이 보통이란, 상기 이외의 경우를 말한다.

다만, 한 가지 더 고려하여야 할 사항은 운전자가 태양을 바라보며 터널 입구로 진입할 경우 터널 내의 블랙홀 현상이 더욱 심화되어 운전자가 느끼는 시야회도가 대단히 높을 수가 있으므로 운전자가 터널입구 시거에서의 진입방향이 남서~남~남동(90°)인 경우 야외회도를 2,500 cd/m² 적용하는 것이 일반적이다.

(나) 야외 회도에 곱하는 계수

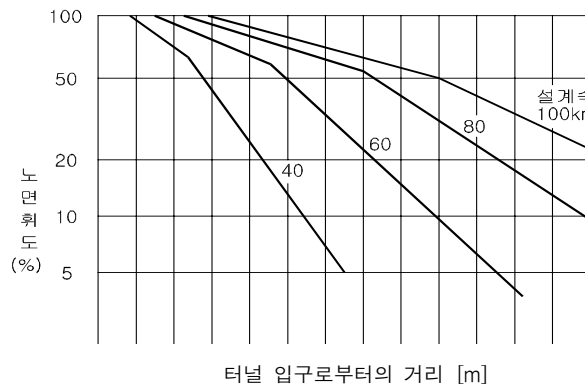
경계부의 평균 노면회도는 시야 중심회도에 〈표 1.4〉에 따른 계수를 곱한 값을 기준으로 하며, 차량의 운행속도가 빨라질수록 운전자의 시야는 원거리를 바라보게 되므로 설계속도에 따라 계수가 상향된다.

〈표 1.4〉 야외휘도에 곱하는 계수

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

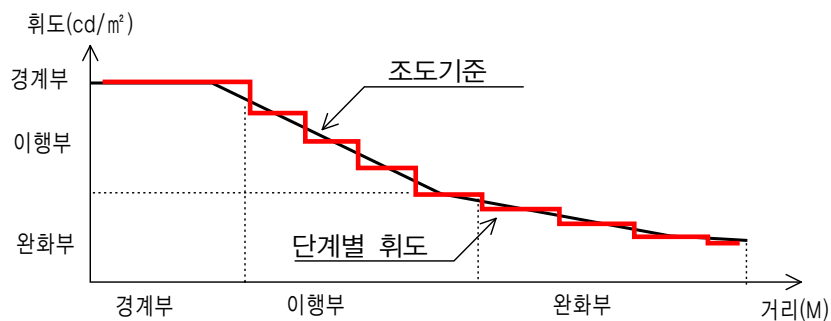
(3) 이행부, 완화부 조명

이행부, 완화부 구간의 평균 노면휘도는 경계부 평균 노면휘도를 기준으로 하여 〈그림 1.5〉와 같이 거리별로 점차 저감시킨다. 이행부·완화부 구간의 저감은 통상 4단계로 구분하며, 완화부 구간의 경우에는 설정되는 야외휘도가 높아 완화부 구간이 길어질 경우 휘도 단계를 추가할 수 있다.



〈그림 1.5〉 입구부 구간 평균 노면 휘도

경계부 및 이행부의 조명은 이론적으로는 터널의 내부로 진입함에 따라 연속적으로 감소하지만, 이 이론값에 정확히 맞추어 설계하는 것은 불가능하므로 〈그림 1.6〉과 같이 단계적으로 노면 휘도 값을 저감시키면 된다.



〈그림 1.6〉 입구부 조명 곡선 구성

1.3.4. 출구부 조명

출구부 조명은 터널 출구의 70m 이전 지점에서 설치하며, 출구 야외휘도의 1/10 이상이 되도록 연직면 조도를 주는 것을 원칙으로 한다.

주간에 터널 내를 주행하여 출구부에 가까워지게 되면 출구부가 너무 밝게 보이게 되어, 입구부와는 반대 현상으로 출구부가 ‘하얀구멍’처럼 보이게 된다.(white hole 현상)

따라서, 교통량이 많아서 차간 간격이 짧은 경우, 전방의 차량이나 장애물의 시인성이 저하되므로 이를 위하여 필요에 따라 출구부 조명을 설치한다.

출구부 조명은 터널 출구 야외휘도의 1/10 이상이 되도록 하며, 조명구간의 길이는 적정 간격을 고려하여 70m 이상 설치하는 것이 바람직하다.

1.3.5. 터널 접속도로의 조명

터널 입·출구부 접속도로에는 야간에 원활한 휘도 순응이 이루어지도록 도로조명을 설치하여야 하며, 평균노면 휘도는 KS A 3701 도로 조명 기준을 원칙으로 한다.

야간에 차량이 밝은 터널 내를 주행하여 터널출구에 도달하였을 때, 터널 출구에 이어지는 접속도로에 조명이 없으면 터널출구가 어두운 구멍으로 보여 출구 접속도로의 선형이나 위험한 장애물의 존재 등을 알지 못하게 된다.

따라서 터널출구에 연속되는 접속도로에는 터널 내의 밝음에 순응되고 있는 운전자가 전조등의 밝음만으로 안전하게 운전할 수 있도록 일정한 구간에 걸쳐서 조명이 필요하다.

그리고 야간에 터널에만 조명이 있고, 이것에 접속되는 도로에 조명이 없을 경우, 터널 입구부 부근의 도로 폭의 변화를 알 수 없어 위험하게 된다. 따라서 터널 입구부 부근에는 터널입구를 명확하게 볼 수 있는 조명설비가 필요하다.

터널 입·출구부 접속도로의 평균 노면휘도는 KS A 3701을 원칙으로 하며, 설치 거리는 <표 1.5>에 의한다.

〈표 1.5〉 접속도로 노면휘도 및 설치연장

설계속도 (km/h)	노면휘도(cd/m ²)	설치연장 (m)
100	2	180
80	1	130
60	0.5	95

1.3.6. 정전 시 비상조명

전기 설비의 고장 등에 따른 정전 시에도 위험이 없도록 설계속도, 선형, 교통량 등을 고려하여 필요에 따라서 정전을 대비한 조명을 설치하여야 한다.

전원 계통의 고장이나 화재 등에 의하여 터널 내에 정전이 되면, 터널 내를 주행하고 있는 자동차는 전조등의 점등이나 다른 조작을 하는데 약 1초의 반응시간이 필요하다. 이 사이 80km/h로 주행하고 있는 경우면 약 20m를 주행하여 대단히 위험한 상태가 된다. 따라서 200m 이상의 터널에서는 원칙적으로 정전 시에 대비하여 예비전원에 의한 비상조명을 설치하여야 한다.

터널 조명의 비상전원은 정전 시 순간적인 위험을 피하기 위하여 바로 축전지 전원에 접속된 조명 기구를 점등할 필요가 있다. 일반적으로는 축전지의 방전 특성상 정전 시간의 전부를 점등시키는 것은 경제적으로 불리하므로 자가 발전 설비를 병용하는 것이 바람직하다. 이들 비상 전원공급 방식에는 다음과 같은 것들이 있다.

- ① 축전지에 의한 무정전 전원공급장치(UPS)를 설치하여 야간조명등의 일부를 점등시켜 순간 정전에 의한 위험요소를 제거
- ② 터널 관리사무소가 인근에 있는 장대터널(1km)의 경우 무정전 전원공급장치와는 별도로 발전기를 설치하여 기본조명시설을 점등
- ③ 한국전력공사 배전선로에서 2수전등 전력계통의 신뢰도가 높은 경우에는 비상용 전원을 제외할 수 있다.

1.3.7. 연속터널 조명

연속되는 터널의 입구부 조명설계 시 선행하는 터널 출구로부터 이어지는 터널 입구까지 이동하는 시간에 따라서 후속터널의 입구부 조명을 감소할 수 있다.

50m 이상의 터널이 둘 이상 연속하여 존재하고, 선행하는 터널의 출구부로부터 후속하는 터널의 입구까지의 거리가 설계속도에 대응한 시인거리보다도 짧은 경우 후속하는 터널의 입구부 조명의 평균 노면휘도의 설계치는 터널간의 거리에 따라 (식 1.2)를 이용하여 감소시킬 수 있다.

터널 간 거리가 설계속도에 대응하는 시인거리보다도 긴 경우에는 후속하는 터널의 입구부 조명의 설계는 단독으로 존재하는 터널로 취급한다.

$$L_a = L \times K_a \quad (\text{식 1.2})$$

여기서, L_a : 후속터널의 평균노면휘도 (cd/m^2)

L : 일반 터널 경계부의 평균노면휘도

K_a : 감소계수

〈표 1.6〉 후속터널 입구부 조명의 감소 계수 (K_a)

갱구간거리 d (m)	설계속도 (km/h)		
	100	80	60
$d \leq 10$	0.30	0.35	0.40
$10 < d \leq 15$	0.40	0.45	0.50
$15 < d \leq 20$	0.50	0.55	0.60
$20 < d \leq 35$	0.60	0.70	0.75
$35 < d \leq 50$	0.70	0.80	0.90
$50 < d \leq 70$	0.80	0.90	1.00
$70 < d \leq 100$	0.90	1.00	—
$100 < d \leq 120$	1.00	—	—
$120 < d$	—	—	—

1.3.8. 단(短)터널 조명

125m 이하의 짧은 터널의 경우 터널연장, 입출구부에서의 자연 광(光) 입사여부, 터널반사율 등에 따라서 조명시설을 저감할 수 있다.

짧은 터널은 입구부 조명의 소요 회도를 결정하는 운전자 눈의 순응회도가 출구부로부터의 고회도 때문에 저하되지 않고, 출구부에서의 자연광의 차입에 의하여 터널 내 회도가 높아지므로 터널 연장 · 입출구부에서의 자연광 입사여부 · 터널 반사율 등에 따라서 조명시설을 저감할 수 있다.

〈표 1.7〉 단(短)터널 입구부 조명의 감소 계수

터널연장 (M)	교통량 (AADT) ²⁾	출구부 보임 ¹⁾				출구부 안 보임			
		자연광 입사 좋음		자연광 입사 나쁨		자연광 입사 좋음		자연광 입사 나쁨	
		벽면 반사율 ³⁾				벽면 반사율			
		30%이상	30%이하	30%이상	30%이하	30%이상	30%이하	30%이상	30%이하
25 미만	－	입구부 조명 필요 없음 (야간 기본조명만 설치)							
25~50	－	입구부 조명 필요 없음 (주간, 야간 기본조명만 설치)							
50~75	15,000이하	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	40 %	40 %	40 %
	15,000이상	40 %	40 %	40 %	40 %	40 %	40 %	40 %	40 %
76~100	15,000이하	40 %	40 %	40 %	40 %	40 %	60 %	60 %	60 %
	15,000이상	60 %	60 %	60 %	60 %	60 %	60 %	60 %	60 %
101~125	15,000이하	60 %	60 %	60 %	60 %	60 %	80 %	80 %	80 %
	15,000이상	80 %	80 %	80 %	80 %	80 %	80 %	80 %	80 %
125 초과	－	입구부 조명 100 %							

주1) 터널 전방 제동거리 위치에서 터널 출구가 완전히 보이는지 여부

주2) 교통량 단위(AADT) : 연평균 일일 양방향 교통량

주3) 벽면의 마감이 반사율이 다른 재질로 되어 있는 경우(타일 + 콘크리트)에는 면적비율을 감안한 평균반사율을 적용

1.4 조명 계산

조명 계산은 아래의 순서에 따라 행하며, 결정 요소들은 상호 관련이 있다.

- (1) 각 조명 구간의 설계 값의 선택
- (2) 각종 계수의 설정
- (3) 조도 계산 식에 따라 램프 와트 수, 기구 배치 등의 결정

조명 계산에 이용하는 기본 식은 (식 1.3)과 같다.

$$\frac{F}{S} = \frac{W \cdot E}{N \cdot U \cdot M} = \frac{W \cdot K \cdot L}{N \cdot U \cdot M} \quad (\text{식 1.3})$$

여기서, F : 광원 광속 (lm)

L : 휘도 (nt)

S : 간격 (m)

K : 평균 조도 환산계수

W : 차도 폭 (m)

U : 조명률

E : 조도 (lx)

M : 보수율

N : 지그재그 배열, 중앙 배열의 경우 1

마주 향하는 배열인 경우 2

(1) 각 조명 구간의 설계 값의 선정

설계속도, 야외 휘도 등에 따라서 '1.3'에서 제시된 내용으로 결정한다.

(2) 각종 계수의 설정

(가) 평균 조도 환산계수 : $K(lx/nt)$

조명의 설계 기준 값을 휘도(nt)로 표현되고 있지만 실제의 조명 계산에는 이 휘도로 계산하는 것은 상당히 복잡하므로 설계 평균 휘도 값을 평균 조도 값으로 변환하여 (식 1.3)을 이용하는 것이 일반적이다. 평균 휘도 값을 평균 조도 값으로 변환하는 계수를 평균 조도 환산계수(즉, (식 1.3)에서는 $E=K \cdot L$)라 하며, 이 값은 조명 기구의 광학적 특성에 크게 영향을 준다.

포장재의 종류와 포장 후 경과년도에 따른 조사를 토대로 앞으로 이 값에 대한 연구 필요하지만, 현재 콘크리트 포장에서는 13 lx/nt, 아스팔트 포장에서는 18 lx/nt를 적용한다.

(나) 조명률 : U

설치한 램프의 총 광속 중 어느 정도가 노면에 도달하는가를 나타내는 비율을 말하며, 조명 기구의 배광 · 터널 치수 · 터널 내부의 표면 상태 등에 의하여 결정된다.

(다) 보수율 : M

조명 설비를 설치한 후 램프의 광속 저하, 기구의 오염, 벽면과 천장면의 오염 등에 의하여 휘도는 감소한다. 이 감소를 억제하기 위하여 청소와 같은 유지 보수 작업을 행하며, 보수율이란 이러한 작업에 의하여 초기의 휘도 값 중 어느 정도를 유지할 수 있는지를 나타내는 계수이다.

휘도의 감소 정도는 매연 등에 의한 오염의 정도에 따라 다르며, 그 정도에 영향을 주는 주된 요소는 교통량 · 터널 길이 · 터널 경사 및 보수 작업 횟수의 순서이다. 때문에 보수율의 값은 각 터널에 따라 이들 요소를 고려하여 설정하여야 하나, 보통 <표 1.8>의 값을 적용하고 있다.

다만, 터널내 매연농도는 터널 입구부측으로부터 출구부로 갈수록 짙어 공기투과율은 낮아지는 점을 고려하여 <표 1.8>의 보수율의 90%를 적용한다.

<표 1.8> 터널 연장별 적용 보수율

터널의 상황 교통량 (대/일)	길 이 (m)	1,500 이상		500이상~1,500미만		200이상~500미만		200미만	
	오름경사(%)	2%이상	2%미만	2%이상	2%미만	2%이상	2%미만	2%이상	2%미만
20,000 이상		0.4	0.5	0.5	0.55	0.55	0.6	0.65	0.7
10,000~20,000		0.45	0.55	0.55	0.6	0.6	0.65	0.7	0.75
5,000~10,000		0.5	0.6	0.6	0.65	0.65	0.7	0.75	0.8
5,000 미만		0.55	0.65	0.65	0.7	0.7	0.75	0.8	0.85

(3) 조도 계산

평균 휘도를 평균 조도 값으로 환산하고, 각종 계수의 값을 설정하여 (식 1.3)을 이용하여 계산하고, '1.2 조사'에 의하여 선정한 광원 중별 중 적당한 램프 와트 수 및 기구의 설치 간격 등을 결정한다. 터널 조명에 대한 이 계산은 독립된 작업이 아니다. 예를 들면, 광원 중별을 선정할 때에도 관여하고, 또 설치 간격을 결정할 때에도 깜빡거림의 영향을 동시에 고려하여야 하므로 계산에 있어서는 종합적으로 검토하여야 한다.



참 고 자 료

1. 터널설계기준, 건설교통부, 2007
2. 도로안전시설 설치 및 관리지침, 국토해양부, 2008
3. 도로터널 조명시설의 설계기준, 건설교통부, 1996
4. 한국산업규격(KS A 3703) 터널조명기준, 공업진흥청, 1992
5. 고속도로 건설공사 설계기준, 한국도로공사, 2000
6. 고속도로 건설공사 표준도, 한국도로공사, 2001
7. 고속도로 공사 시공 및 품질관리 지침서(Ⅰ), 한국도로공사(수도권 고속도로 건설사업소), 1991
8. 설계요령 제3집 제9편 터널, 일본도로공단, 1997
9. 도로 조명 시설 설치기준 · 동해설, 제6장 터널 조명, 일본도로협회, 1981
10. Guide for the Lighting of Road Tunnel and Underpasses, CIE, 1990
11. Guide for the Lighting of Road Tunnel and Underpasses, CIE, 2004