



# 교통도로 TUNNEL조명의 이해(II) The Understanding of Road TUNNEL Lighting(II)

글 | 李 殷 豊

(Lee, Eun Poong)

건축전기설비 · 소방설비기술사,

(주)미동 엔지니어링 기술사 사무소 대표

E-mail: ELECM1@chollian.net



Until the first stage of the 1990's years, Korean are not concern so much the facilities of traffic tunnel, because of them are the short length and also the quantity of them are not over the several tens in Korea.

But, in latest many tunnels has been constructed and are designed in expressway and local national roads. The government office concerned forecast the numbers of tunnel are increased about 300 until the 2003 years, and then we need more interesting about the facilities of tunnel.

In the tunnel, the first above of all important facilities is lighting installations which are required much electric energy and continuing maintenance.

본 원고는 지난 1999년 12월호 본 기술사지 기술자료부문에 게재되었던 원고에 이어지는 부분입니다.

## 4. 조명시설

### 4.1 조명광원

터널조명은 에너지 집적도가 높아 경제성을 우선하지 않을 수 없다. 따라서 터널광원의 선정에 있어서 효율과 수명을 무시할 수 없다. 이러한 것들을 종합하여 고려될 수 있는 광원은 고압 나트륨 램프, 저압 나트륨 램프, 형광등 정도이다.

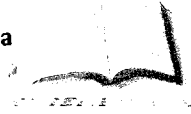
에너지 효율면에서는 저압 나트륨 램프가 단연

우수하나, 국산화가 되어있지 않아 전량 수입에 의존할 수밖에 없으며 수명과 광색에서 불리한 점 등 여러 면으로 보아 고압 나트륨 램프 사용이 바람직하여 보인다. 요즘은 형광등을 기본조명으로 하고 나트륨 램프를 입구조명으로 하는 조명방식이 시도되고 있다. 형광등은 광색이 월등히 우수하고 램프의 휘도가 낮으며 순간점등이 되는 점등이 유리하여 터널광원으로 시도해볼만 하다. 그러나 입구조명에는 불합리한 면이 있다.

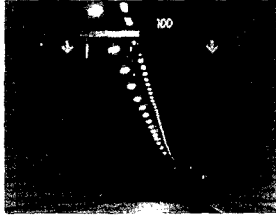
그밖에 북미에서 광 파이프 조명방식이 일부 사용되기도 하는데 이 방식은 램프광속을 투명 광 파이프로 유도하여 분산 방사(放射)시키는 방식으로 선형을 유지하고 플리커 방지와 균제도 유지 측면에서는 우수하나 경제적 부담이 많아 국내에 도입하기에는 부적합하다고 판단된다.

기타 야외 자연광을 집광장치와 광섬유를 이용하여 입구조명으로 이용하는 방식이 연구되고 있

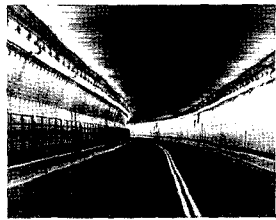
구 분	고압 나트륨 램프	저압 나트륨 램프	형광등
효율(lm/W)	110	160	80
수명(시간)	24,000	12,000	10,000
광 색	황백색	황적색	주광색
램프의 최대규격	1,000W	180W	40W(국내)



으나 경제성에서 고려 대상이 되지 않는다.



〈그림 11〉 형광등 및 나트륨등 검용 조명방식



〈그림 12〉 광 파이프 조명

#### 4.2 조명방식

##### 1) 천장배치와 모퉁이 배치방식

배치방식에서 고려할 사항은 휘도 분포상태, 점 검보수, 조명률, 균제도 등이 있다. 교통도로에서 터널의 휘도 분포는 도로의 중앙보다는 측벽과 갓길 도로면의 휘도가 높은 것이 안전운전에 유리하다. 이러한 측면에서는 광축을 반대편 모퉁이에 조사할 수 있는 모퉁이 배치방식이 유리하다. 그러나, 이 방식은 노폭이 넓은 경우(4차선 이상)에는 상대적으로 취부 높이가 낮아 눈부심을 가져올 수 있고 조명률에서도 천장배치보다 낮아 바람직하지 않다.

천장배치는 조명률이 높으며 종방향의 균제도면에서도 우수하고 눈부심도 적은 이점이 있다. 그러나, 천장배치의 경우 벽면휘도를 유지하기 위해 배광을 측벽으로 유도하다보면 벽면상부에 조명의 얼룩임이 심하게 발생하고 일렬로 배치할 경우 벽면과 갓길 부분의 휘도가 낮아질 우려가 있다.

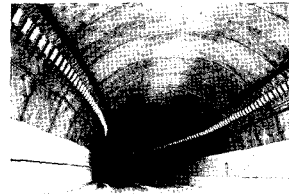
배치방식에서 유의할 점은 보수를 위해서는 교통을 통제하여야 하는데 이때, 천장 배치보다

는 모퉁이 배치방식이 교통의 흐름에 덜 장애를 준다.

그러나 '어떠한 조명방식을 택하여야 할 것인가'에 대해서는 도로의 여건, 도로의 중요성 등을 종합 검토하여 선택하여야 한다.



〈그림 13〉 천장 배치



〈그림 14〉 모퉁이 배치

##### 2) 대칭 조명방식과 비대칭 조명방식

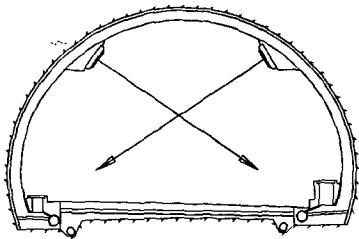
조명기구의 배광은 형태에 따라 대칭조명과 비대칭 조명으로 구분할 수 있다. 비대칭 조명방식은 다시 배광의 방향에 따라 카운터빔 조명방식과 프로빔 조명방식으로 구분하고 있다. 조명방식의 선정에 있어서는 도로의 형태, 터널의 부위, 조명 배열방식 등이 종합적으로 검토되어야 한다.

터널을 조명의 기능면에서 분류하면 입구부와 기본부, 출구부로 나눌 수 있으며 조명의 목적이 다소 차이가 있다. 입구조명은 암순응되지 않은 상태에서 장애물을 보는데 필요한 휘도배경을 주는 부분이고, 기본부는 주행에 필요한 기초조명구간이며, 출구부는 선행하는 자동차의 후면에 배경을 주는 부분이다. 이와 같이 조명의 목적이 다르기 때문에 그에 적합한 조명방식을 채택하여 좀 더 좋은 조명환경을 유지하도록 해야 한다.

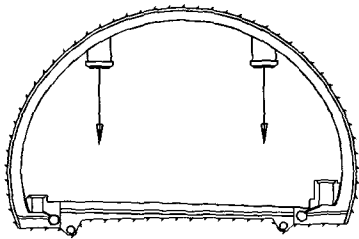
##### ① 대칭 조명방식



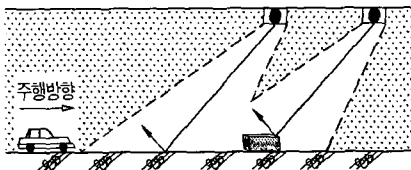
대칭 조명방식은 조명기구를 중심으로 하여 배광의 분포가 종방향으로 대칭을 형성하는 것이며 일반적 조명방식이다. 모퉁이 배열이나 천장배열에 모두 가능하고 특히 대면교통의 경우에는 이 방법을 사용해야만 한다.



〈그림 15〉 대칭 조명방식 I



〈그림 16〉 대칭 조명방식 II



〈그림 17〉 카운터빔 조명방식

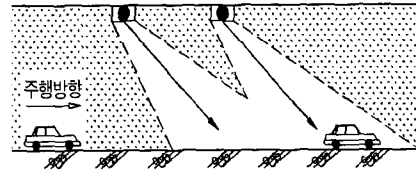
### ② 카운터빔 조명방식

이 방식은 동일한 광속으로 노면의 휘도를 높일 수 있는 방법으로 입구조명에 바람직하다. 배광이 자동차 전면 방향으로 기구에 의한 눈부심을 유발할 수 있으나, 입구에서는 야외의 높은 휘도에 순응된 상태이므로 그 영향은 미미하다. 그러나 기본부에서는 바람직하지 않다.

이 방식은 천장배치가 효과가 크며 모퉁이 배치는 효과가 적다.

### ③ 프로빔 조명방식

출구부 조명의 목적은 노면에 휘도를 주기 위함이 아니고 선행하는 자동차의 후면을 조명하기 위함이므로 이 방식이 출구부 조명에 효과적이다.



〈그림 18〉 프로빔 조명방식

터널은 영구적으로 사용할 구조물이며 그에 시설되는 설비들은 수명이 다할 때까지 사용할 설비로서 초기에 이러한 제특성을 고려하여 시설한다면 수십 년간 보다 좋은 시환경을 이용할 수 있다.

### 4.3 조명기구

터널 조명기구 선정시 고려되어야 할 사항은 배광곡선(配光曲線), 방수성, 기밀성(氣密性), 내구성(耐久性), 휘도, 방열, 내부 보호장치 등을 검토하여야 한다.

#### 1) 배광곡선

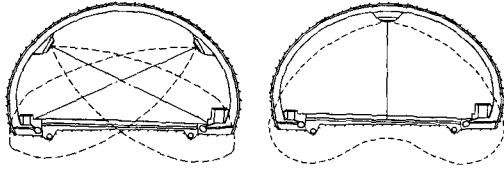
터널의 조명은 천장이나 상부벽의 반사율이 거의 없으므로 상호반사의 효과는 기대할 수 없고 필요한 조도를 거의 직사광에 의존하므로 잘못된 배광곡선은 조명률을 현저하게 저하시키며 불량한 조명환경을 만든다. 기구의 배광곡선은 노면의 균제도와 측벽의 휘도를 유지시킬 수 있는 형태로 조명방식에 따라 달라져야 한다. 대칭 조명방식에서는 좌우 배광이 중요하나, 기본부에서 기구배열이 멀어지면 균제도가 떨어지므로 이도 함께 고려되어야 한다.

비대칭 조명방식은 좌우 배광곡선과 종횡 배광곡선을 다같이 고려하여야 한다.

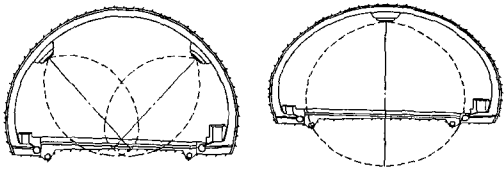
배광곡선으로부터 조명률과 균제도가 결정되므로 설계시에 검증되어야 한다.



◆ 배광곡선



〈그림 19〉 잘된 배광곡선



〈그림 20〉 잘못된 배광곡선

2) 방수성, 기밀성

터널에서 조명기구는 물로 청소해야 함으로 방수는 필수적이며 기밀성 또한 요구된다. 등기구는 내부발열이 상당히 높아 공기의 온도팽창에 의해 패킹부분을 통하여 외부와 공기의 출입이 발생할 수 있다. 외부공기의 유입은 오염물질이 내부에 축적되므로 기구내부가 오염되며 오염된 기구내부를 소제하는 데는 상당한 어려움이 따르므로 기밀을 유지하여 내부오염을 막아야 한다.

3) 내구성, 휘도, 보호장치

기구의 내구성은 장기간 사용할 때에 방수와 기밀성 유지가 중요한 요인으로 작용한다. 현재 PVC계, FRP, 스테인레스 제품이 생산되고 있으나 터널에 사용된 기간이 적어 제대로 검증되지 않고 있다. 외형의 재질도 중요하며 패킹 재질과 부속품 재질 등에 영향을 크게 받는다.

휘도는 낮을수록 좋으나 무리하게 낮추다보면 기구효율이 떨어질 수 있으므로 주의해야 한다.

터널등은 한 회로에 수십 수백개가 병렬로 연결되므로 개별 고장시 개별로 차단되도록 누전 및 과전류 차단기를 내부에 장착하여야 한다.

5. 조명제어

5.1 조명제어의 중요성

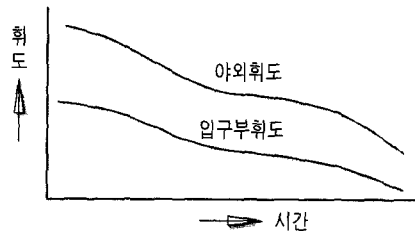
터널은 에너지(전력)의 다량 소비시설이므로 최적의 제어를 통해 불필요한 에너지를 절약하여야 할 필요가 있다. 터널조명의 특성은 야외휘도 변화에 따라 제어를 통해 내부의 휘도도 변화되어야 하므로 잘못된 제어는 전력의 낭비와 시환경을 해칠 우려가 있다.

설계속도	100km/h	80km/h	60km/h
시설용량(kW)	500	300	200
사용량(kWh/년)	1,600,000	900,000	600,000
전력요금(천원/년)	130,000	73,000	49,000

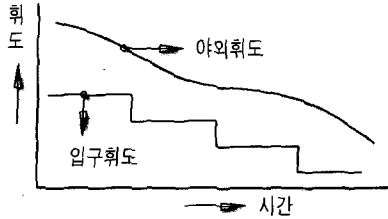
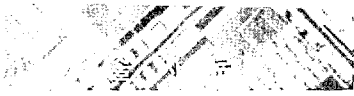
터널길이 1,000m×2, 야외휘도 3,000(cd/m<sup>2</sup>), 2차선, 광원-고압나트륨 램프

5.2 입구조명 조절

앞절의 터널 조도구성에서 보듯이 터널에서 입구조명이 전체조명에 비해 차지하는 비중을 보면 짧은 터널에서는 거의 대부분을 차지하고 장터널의 경우도 50%를 넘고 있다. 입구부 휘도(3항 설명 참조)는 운전자가 터널에 진입하기 직전의 순응휘도에 따라 조명레벨이 결정되는데 시야휘도는 기후, 계절, 태양의 고도 등에 따라 수시로 변화하므로 이에 따라 입구부의 휘도를 변화시켜 주어야 한다.



〈그림 21〉 이상적인 조명제어 방식



〈그림 22〉 다단계 제어방식

많은 연구에 의해 입구 소요휘도는 순응휘도에 비례하여 저하시켜도 좋다는 것이 밝혀졌다. 입구 조명 조절에서 최적의 제어는 그림과 같이 야외휘도의 변화에 따라 비례 제어하는 방법이 이상적이나, 현재의 기술로 완전한 선형제어가 가능한 광원으로는 백열등계밖에 없으나, 효율이 너무 떨어져 사용할 수 없다. 현재 일부 선진국에서는 방전등을 3단계 정도 조절할 수 있는 기술이 개발되어 사용하고 있으나, 국내에서는 개발되지 못하고 있다. 이러한 현실로 조명등 회로를 다수로 하여 야외휘도의 변화에 따라 회로를 점멸하는 방법으로 입구휘도를 조절하고 있다. 회로수를 많이 하면 할수록 이상적 조명 제어방법이 될 수 있으나, 방전등의 특성이 점등하는데 3~5분의 시간이 소요되는 특징이 있고(형광등의 경우는 제외) 잦은 점등은 램프수명이 저하되며 조명기구 배치의 어려움, 시설비의 증가 등을 고려하지 않을 수 없다. 이러한 면에서 분석하면 입구부 회로를 3~4회로 정도로 구성하는 것이 합리적인 것으로 판단된다.

### 5.3 출구부 조명제어

출구부 조명도 야외휘도에 따라 변화시킬 필요가 있다. 그러나 출구의 소요조도는 최대 600lx 이하로 입구부에 비하면 1/4 정도밖에 되지 않고 전력비도 1/20 정도여서 대개는 제어를 하지 않고 주간 기본조명과 같이 점등하고 있으나, 야외휘도가 낮은 경우에는 과조명 상태가 되므로 2단계 정도로 변화시켜 주는 것이 바람직하다.

### 5.4 기본조명 제어

기본조명은 입·출구부와 상관없이 전터널에 기본으로 시설되는 조명으로 주간조명, 야간조명, 심야조명으로 구분할 수 있다.

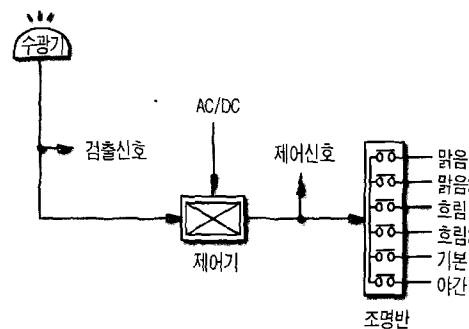
주간 기본조명은 주간에 입구부 조명이 끝난 이후의 조명으로 어느 정도는 야외휘도에 영향은 있으나 반드시 비례하는 것은 아니다. 조명레벨이 낮아 회로를 구분하여 제어하려면 시설비가 증가하고 기구배치상 균제도가 떨어지는 점등을 고려하여 1단계로 하는 것이 바람직하다.

야간조명은 야외휘도의 영향이 전혀 없어 주간 조명의 1/2~1/3 정도의 값으로 1회로로 한다. 심야는 교통량이 현저히 저하하는 것을 전제로 야간조도의 1/2 정도로 낮추고 있는데 비교적 2차선 이내에서는 야간회로에서 편측만 점등하는 방법이 바람직하다.

### 5.5 자동 조명제어 시스템

터널용 자동 조명 제어장치는 야외휘도의 변화에 대응하여 내부휘도를 적절하게 변화시켜 조명의 경제적 운용을 목표로 하므로 입구부 및 출구부 조명, 기본부 조명의 목적에 부합되게 제어되어야 한다.

현재의 광원을 제어하는 방법으로는 속음제어로서 회로를 제어하는 방법으로 야외휘도를 수광기로 검출하여 제어기에서 필요한 회로의 개폐신호를 조

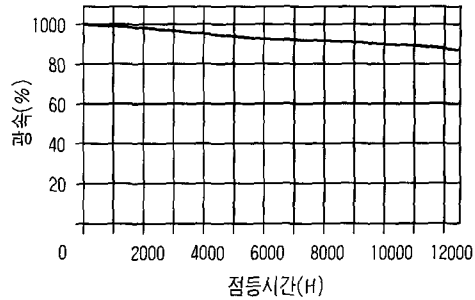
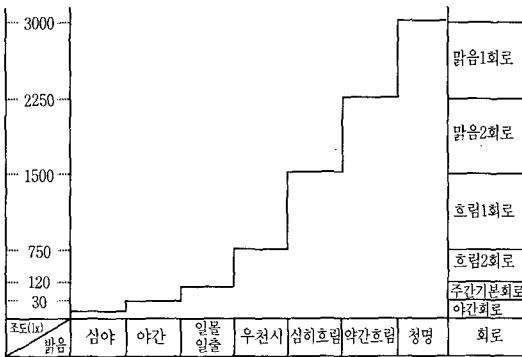


〈그림 23〉 조명제어 블록 다이어그램



명반에 보내어 전자 릴레이를 조작하도록 되어 있다. 이러한 방식은 이상적인 방법은 되지 못하므로 조명원리에 맞게 좀더 연구 개발되어야 한다.

〈표 1〉 조명제어 개념도(예시도)



〈그림 24〉 고압나트륨 램프의 동정특성

여하에 따라 정하고 있다.

노면휘도의 변화와 제관계에서 보듯이 보수율이 60%로 설계된 경우, 기구청소를 광속감소 60%대에 맞춘다면 전력손실은 이론상 67%까지 이른다. 이와 같이 보수여하에 따라 에너지 손실이 많이 발생하므로 경제적 측면에서 보수율의 적용은 중요하게 검토되어야 한다.

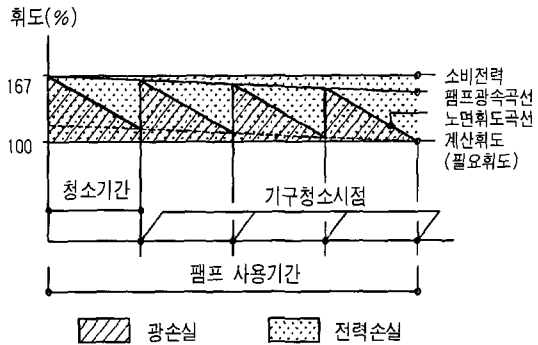
## 6. 조명의 유지보수

### 6.1 보수율과 유지보수

조명의 설계시에는 조명램프의 광속감소나 기구의 오염, 반사면의 반사율 저하 등이 조도를 감소시키므로 이를 보상하기 위해서 보수율을 적용한다. 터널의 경우는 환경여건이 열악하여 보수율을 0.45~0.7 정도까지 터널의 특성에 따라 적용하고 있다. 터널에서 조도감소의 원인을 크게 나누면 램프의 광속감소와 기구오염에 의한 광속감소로 나눌 수 있다. 터널에서 주로 사용되는 고압나트륨 램프의 동정특성을 보면 사용 시간에 따라 완만하게 감소하여 말기에는 초기점등 광속에 비해 80% 정도를 유지한다고 보고되고 있다.(국내 제작자로 부터는 자료가 없음)

기구오염은 터널여건에 따라 오염속도가 다르겠지만 기구의 청소여하에 따라 초기광속의 수십%대까지 광속이 감소할 수도 있어 휘도저하의 주원인이 된다.

보수율은 어느 정도 기구청소를 자주 하는지의

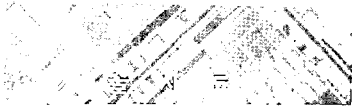


〈그림 25〉 노면휘도 변화와 제관계

### 1) 청소

앞절에서 보듯이 조도감소의 주 요인이 대부분 기구오염에서 발생하므로 기구청소를 자주 하면 좋은 상태의 조명을 유지할 수 있고 에너지도 절약할 수 있다. 기구의 청소는 외부의 오염만 제거하면 되므로(기구내부는 완전밀폐로 오염이 되지 않음) 물청소를 하게되는데 터널벽면의 타일청소와 함께 하면 효과적이다.

청소를 하려면 교통을 통제하여야 하고 비용이 많이 소요되므로 경제적 청소 횟수를 결정하여야



한다. 터널에서 오염의 정도는 각 터널의 교통량, 도로구배, 도로의 특성에 따라 각각 다르므로 청소 전후 조도의 차이 등을 여러 번 실측하여 데이터를 분석하여 경제적 횡수를 결정할 필요가 있다.

### 2) 램프의 교환

램프의 동정특성은 메이커, 전압변동, 점멸회수, 기구의 발열 등의 영향에 따라 상당히 다르므로 기존의 자료를 그대로 적용하기가 곤란하며 메이커조차도 다양한 정보를 주지 않아 사용자가 판단할 수밖에 없다. 램프의 점등불능 상태까지의 수명은 상당히 길지만(대략 20,000시간 이상) 사용시간에 따라 광속감소가 발생하므로 일정시점에서 교체하는 것이 바람직하다. 램프 교체기간은 다음 식에 의거하여 분석되어야 한다.

$$\text{램프교체기간} = \frac{\text{램프값} + \text{교체비용}}{\text{램프의 광속감소 에너지 비용}}$$

터널조명은 제어관계로 회로가 많고 회로별 사용 시간과 점멸횟수가 다르므로 당연히 교체기간이 달라져야 한다. 터널의 특성상 램프의 교체작업에는 상당히 어려움이 따르므로 효율성을 감안하여 집단으로 교체하는 것이 바람직하다. 이때 각 회로별 교체기간을 미리 정하여 계획을 수립하는 것이 필요하다.

### 3) 조도의 측정

노면의 조도(휘도를 대신하여 측정)는 계속적으로 관찰해야 할 대상으로 측정계를 고정하여 자동 기록을 하는 것이 바람직하나, 조도계를 도로면에 설치하는 것은 기술적인 어려움이 있어 정기적으로 측정하여 기록을 보전할 필요가 있다. 측정은 입구부와 출구부, 기본부로 나누어서 하며, 측정 데이터는 유지보수의 기초자료로서 필수적이다.

### 4) 기록 및 자료의 보관

계속적인 유지관리를 위해서는 지난 자료를 정

리하고 분석함으로써 합리성을 기할 수 있고 개선해 나갈 수 있으므로 유지보수의 모든 사항을 자세히 기록, 정리하여 보관할 필요가 있다.

## 7. 맺음말

우리 나라는 산악지역이 국토의 7할을 넘는 지형적 특성을 가지고 있으며, 이러한 여건으로 많은 도로가 산악지역을 통과하고 있다. 그동안 우리나라는 경제적 여건과 환경보존 인식의 부족으로 산악지역을 통과하는 도로의 대부분을 비용이 많이 소요되는 터널보다는 산을 우회하여 시설해왔다. 그러나, 그동안의 경제성장으로 인해 자동차 보급이 거의 한계에 도달하였고, 교통수송이 경제의 중요한 요소가 되었으며, 환경보존의 가치가 증대되고 있으므로 도로망이 더욱 확장되어야 하는 금후에는 국내에도 터널이 상당히 늘어나게 될 것이다.

일반적으로 터널은 토목 구조물 정도로 인식하여 초기 시설비만을 고려하게 되지만 터널은 방재시설과 환기시설 및 조명시설 등 많은 설비가 시설되어 운용되고 있으며, 환기설비와 조명시설은 에너지가 계속적으로 소요되는 에너지 다량 소비시설이다.

환기설비를 해야 하는 터널의 전력수요는 1,500kW~3,000kW 정도에 이르며 터널이 수백개가 된다면 그 에너지 비용은 국가적으로도 무시할 수 없을 정도이다.

터널에서 조명의 대부분은 주간에 조도순응을 위한 설비이므로 운전자의 시각의 순응을 도울 수 있도록 자연환경을 개선하고 자연광을 적절히 이용한다면, 조명전력을 상당히 줄일 수 있으므로 이에 대한 연구가 지속적으로 이루어져야 한다. 또한 부적절한 조명제어 방식과 유지보수 방식을 개선한다면, 귀중한 에너지를 효율적으로 사용할 수 있어 국가적으로 많은 이익을 가져올 수 있을 것이다.

(원고 접수일 1999. 10. 19)