

## 선진국의 터널등 유지관리

장우진 <서울산업대 전기공학과 교수>

### 1. 램프 교체방법 및 횟수

터널조명설비의 유지관리에서 램프의 교체와 조명기구세척이 주이며, 조명효과를 유지하는데 필수적이다.

#### 1) 일본

일본 고속도로조사회, 도로조명연구위원회에서 작성된 "터널 조명설계지침"의 "터널조명설비의 유지관리"에 따르면 램프교체는 일반적으로 각 램프의 점등시간의 합계가 일정한 시간을 초과하는 경우에는 그 램프를 교체하는 것이 바람직하다고 추천하고 있다. 그리고 야간점등, 심야소등회로의 램프의 대체적인 1년간의 점등시간은 조명설비의 유지관리비 계산에 의하면 저압나트륨램프 60 W를 사용한다고 하면 6,600 시간정도이므로 거의 1년에 1번 교체하게 된다. 그런데, 램프의 교체방식은 개별교체, 개별적 집단교체, 그리고 순집단교체의 3가지 교체방식중 유지관리 인건비 측면에서는 개별교체는 가장 불리하고 집단교체는 가장 유리 하지만, 도로나 터널에서는 이 방식을 실행하기 힘들고 실행한다 하더라도 조명효과를 나쁘게 하거나 전기회로에 나쁜 영향을 미친다.

개별적 집단교체방식이 시행하기 쉽고 경제적으로도 또한 조명효과도 양호하다고 권장하고 있다. 결론적으로 가장 경제적인 램프교체는 대략 1년간에 1회이다.

#### 2) 국제조명위원회 (CIE)

CIE Technical Report publication : CIE 88-1990

"Guide for the Lighting of Road Tunnels and under passes" 의 Relamping 인 램프교체와 CIE Recommendation publication No.23 "International Recommendation for Motorway Lighting" 1993 의 Relamping 에 따르면 광원은 일반적으로 점등시간의 경과와 더불어 램프의 열화에 의하여 광속이 저하한다.

발산광속의 변화는 최적인 램프교체시기를 결정하기 위하여 감시되어야 한다. 어느 정도 이상의 규모를 갖춘 시설에서는 자동차 도로에 자주 보수작업차를 출동시키는 횟수를 감소시킨다는 뜻에서도 램프의 집단교체가 추천된다.

이 집단교체는 사용되는 광원의 잔존율과 광속감속에 따라 정기적으로 수행되어야 한다.

#### 3) 미국

IESNA Rp-22-96

"Recommended practice for Tunnel Lighting" 의 Relamping 인 램프교체에 따르면 터널 내에서 요구되는 교통제한 때문에, 다른 조명시스템 보다 집단램프교체가 결정적이다.

용이하고 빠른 램프 교체(기구세척과 같이)는 기구

의 구조설치 방법과 접근 등에 의하여 영향을 받는다.

이러한 요소들은 설계시에 충분히 고려되어야 한다.

설치 위치에 관련되거나 기구로의 접근등의 빈약한 설계나 또는 기구의 교체, 서비스 등의 작업자의 능력등은 시설의 운영비에 중대한 영향을 주게된다.

## 2. 터널 등기구 세척 방법 및 횟수

터널 조명설비의 유지 관리에서는 조명기구의 세척과 램프의 교체가 주이며, 이들의 작업은 그의 조명효과를 유지하는데 매우 중요하다.

### 1) 일본

“터널조명 설계지침”의 “터널조명설비의 유지관리”에 따르면 조명기구의 커버 외면은 대략 3개월에 1회 정도 이상 정기적으로 세척을 할 필요가 있다. 이럴 경우 소기의 조명효과를 유지 할 수가 있다.

교통량 약 40,000대/일, 대형차 혼입율 약 35%인 터널에 대해서 조명기구의 세척을 실시할 경우의 노면 조도가 증가한다. 이와 같이 더러움이 많은 터널에서는 1개월에 1회 정도의 청소가 필요함을 나타낸다.

그러나 일반적으로 터널에서의 더러워짐의 정도는 주로 대형차의 교통량에 비례한다고 생각되므로 이를 고려하여 3개월에 1회 정도 세척을 하면 소기의 조명효과를 유지 할 수 있다고 생각된다.

결론적으로 터널 조명기구의 커버외면은 대략 3개월에 1회이상 정기적으로 청소할 필요가 있다고 규정하고 조명기구 커버내면, 반사표면, 램프표면은 필요에 따라

세척을 하는 것이 바람직하다고 제안되고 있다.

### 2) 국제 조명 위원회 (CIE)

CIE publication NO.23 (TC-4.6)1972

“International Recommendation for Motor way Lighting”의 유지 관리에 따르면 조명기구의 광학계의 더러워짐은 조명기구의 구조, 환경, 주요 바람방향, 공기의 오염도 등에 따라 변화한다.

조명기구의 정기적인 세척은 램프의 집단 교체기간의 정수분의 1의 비율로 실시하여야 한다. 조명기구로부터 광속이 30% 떨어지더라도 차도상의 휘도는 균일성을 유지하고 또한 노면의 평균 휘도 30% 이상 떨어지지 않는 것이 바람직하다.

### 3) 미국

IESNA, RP-22-96

“Recommend practice for Tunnel Lighting”의 Luminaire cleaning 인 등기구 세척에 따르면 정기적인 램프나 조명기구의 세척은 쌓인 먼지로 인한 조명기구로부터의 광출력 저하를 감소시킨다. 터널내의 조명기구의 부품은 대기의 오염물질에 항상 지배되므로 굴절기, 렌즈, 그리고 반사기들의 정기적인 세척은 계획된 배광을 지속시키고, 또한 반사율을 증가시키므로 터널 내에서는 특히 중요하며 조명기구의 내부 및 외부 양 표면의 정기적인 세척이 요구된다. 내부세척의 요구는 조명기구의 사양에 따라 변화된다.

계획된 세척 스케줄과 고품질 조명기구의 초기투

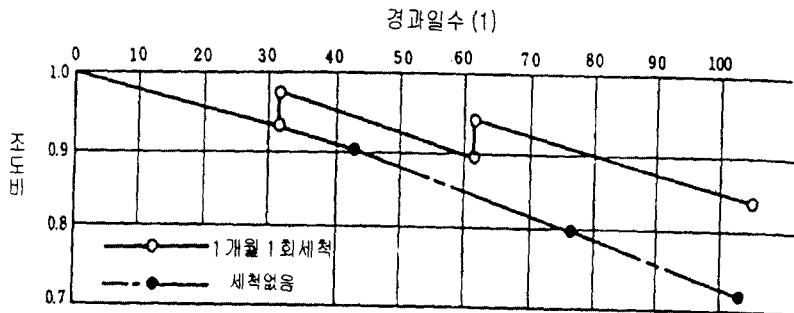


그림 1. 세척작업과 노면조도와의 관계

자는 라이프 사이클 경제적 분석에 포함되어야 한다. 조명기구의 세척 스케줄은 램프교체 스케줄과 차선 폐쇄를 최소화하도록 협조되어야 한다.

### 3. 조도 측정 방법 및 횡수

#### 1) 일본

일본 공업 규격 JISC 7612 “조도측정법”과 고속도로 조사회의 “도로조명 설계지침”에 따르면

##### (i) 유지관리를 위한 조도측정

터널조명의 밝음의 저하인 경시변화를 파악하기 위하여 정기적으로 다음과 같은 노면 조도를 측정한다.

기본부 조명의 표준구간 3개 스펙을 설정하고 전체전등을 점등 시에서의 차선외측선상 (편측) 중앙선상 및 그의 중간의 각 점의 노면조도를 측정한다.

##### (ii) 조명 설계치와의 적합성을 위한 조도측정

조명설계에 적합하고 있는가를 조사하기 위하여 조명시설 완성직후 다음항목에 대하여 노면조도를 측정한다.

##### ① 기본부 조명

기본부 조명의 표준구간 3개 스펙을 설정하고 전체전등을 점등시의 차선내의 각 점의 노면조도를 측정한다.

##### ② 입구부 조명

각 차선 중앙선을 5m간격으로 전체 전등을 점등시의 노면 조도를 측정한다.

단, 측정은 주광의 영향을 받지 않는 야간에 측정한다.

##### (iii) 조명특성의 조사 연구

필요에 따라 점등구간마다 일반적으로 다음 항목에 대하여 측정 조사한다.

##### a) 기본부 조명

전항 (ii)의 ①과 같은 측정점에 대하여 필요에 따라 점등 구간마다 노면조도를 측정한다.

##### b) 입구부 조명

전항 (ii)의 ②와 같은 측정점에 대하여 필요에 따라 점등 구간마다 노면조도를 측정한다.

#### 2) 국제조명 위원회 (CIE)

CIE publication NO.32-2 1982

“Calculation and Measurement of Luminance and Illumination in Road Lighting”

##### (a) 측정장치

조도측정에서 측정장치에 대한 성능요구사항은 다음과 같다.

① 측정기는 고감도 성능을 갖는다.

② 경사 입사광 특성은 85° 까지  $\cos\theta$ 에 근사할 것

③ 수광부의 분광응답도는 CIE 표준시감도에 근사할 것

④ 온도변화에 의한 출력의 변화가 적을 것

⑤ 입사광에 대한 출력의 직진성과 측정의 재현성이 좋을 것

##### (b) 측정절차

측정점은 등기구 설치 구간에 세로방향으로 5개 점을 이용한다. 가로방향의 측정점은 각 차선의 중앙선에 설치되어야 한다.

#### 3) 미국

IESNA LM-71

“Approved guide for Photometric Measurement of Tunnel Lighting Installation”

미국의 북미조명학회(IESNA)에서는 터널조명의 노면조도 대신에 노면휘도를 측정하도록 규정되어 있다. Luminance Measurement 인 휘도측정에 따르면 터널조명은 보통 경계부, 이행부 및 기본부 3구간으로 나누어져 있다. 경계부는 터널 입구구간에 위치되어 있고, 균일하고 높은 조명레벨 인 것이 특징이다.

내부의 기본부는 터널내의 깊은 공간에 있고 균일하며 낮은 조명레벨이다. 이행부는 경계부와 기본부 사이에 균일하고도 변화되는 조명레벨을 이루고 있다. 조명기구의 형식과 설치배열이 각 구간마다 전형적으로 다르다. 최소한 측정그룹은 각 구간 내의 한 개의 면적이 필요하다. 경계부나 이행부 구간내에 한 개의 면적이 각 중간 지점을 택해야 한다.

기본부에서는 측정구간의 휘도밸런스가 충분히 이루어져야 한다. 만약 이행부가 수 개의 조명레벨의 변화로 되어 있다면 전체 면에 걸쳐서 추가적인 측정면적을 포함하는 것이 바람직하다.

이 표준측정구간에서의 휘도 측정은 노면과 인접된 벽면으로부터 이루어진다.

측정의 위치인 측정점을 결정하는데는 주간과 야간에 가동되는 휘도수준에 집중되는 조명기구의 조합이 필요하다는 것을 유의해야 한다.

만약 필요하다면 모든 밝기 수준에 대한 시험이 필요하다. 다시 말해서 각 구간의 정밀한 측정점이 선정되어야 한다. 터널내의 노면휘도는 차량운전자가 시인되는 평균휘도값을 결정하기 위하여 측정된다.

휘도계는 평균노면휘도를 측정할 때의 휘도계의 높이는 1.45m 로 하고, 노면의 폭원의 좌단으로부터 1/6 점을 원칙으로 한다. 각 격자상의 측정점은 휘도는 휘도계의 부각을 1°로 유지하고, 도로의 길이 방향으로 측정점이 변화하는데 따라 휘도계의 측정축을 도로의 축에 평행시키면서 측정거리를 일정하게 유지하여 측정한다.

휘도계에서 측정점까지의 거리(l)는 다음과 같이 계산한다.

$$\tan 1^\circ = \frac{1.45}{l} \approx 0.017445 \text{ 이므로}$$

$$l = \frac{1.45}{\tan 1^\circ} \\ \approx \frac{1.45}{0.017455} \\ \approx 83 \text{ [ m ]}$$

휘도계의 높이를 1.5 [m]로 하여 같은 방법으로 계산하면 약 86 [m]가 된다.

평균노면휘도의 측정에서는 그의 표준구간의 노면을 도로의 길이방향 및 축방향으로 각각 등간격의 격자로 분할하여 그 교점을 측정점으로 하되 (한 표준 조명등 구간의 휘도측정은 적어도 10개점이고 5m 이상 떨어지면 안된다) 그의 노면휘도를 측정한다.

각 격자상의 측정점의 휘도를 측정하여 그 값의 상가평균값을 평균노면휘도로 한다.

추천하고 싶은 노면 휘도 측정 기술은 그림 1에서 나타낸 83m거리에서 높이 1.45m의 삼각대 위에 설치된 휘도계로 측정한다.

그림 1에서 작은 흑색 표적점은 측정 격자 점 위에 정한다.

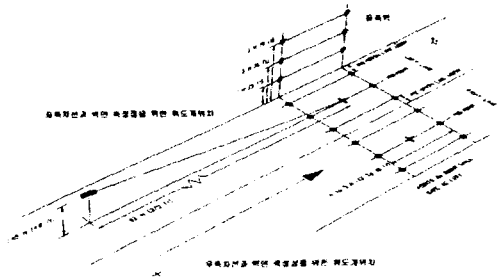


그림 1. 터널노면측정방법

그림 1은 터널노면측정방법을 나타낸 것이다.

터널노면측정은 차선 당 6개 측정점을 이용한다. 이들 측정점을 직사각형내의 차선중앙의 좌우양측에 한 쌍으로 배열된다.

삼각대 위에 설치된 휘도계는 측정하려는 직사각형의 중심점으로부터 83m 떨어진 거리에 위치한다.

이 측정면적의 직사각형의 우측과 좌측의 경계는 차선폭원 넓이의 1/6이고 차선 테두리에 평행한 차선 내를 관통한다. 차선에 근접된 터널의 벽면의 휘도는 3개의 다른 높이의 추가적인 한 쌍의 측정점을 이용하여 측정한다. 모든 측정에서 휘도계의 위치는 차선 중심선에 고정되어야 한다.

#### 4. 조명제어 방식

유럽 : 휘도 제어, 전압 제어

일본 : 휘도와 조도 제어, 전압 제어

전체 5 단계 제어(맑음, 흐림, 일출·몰, 야간, 심야)

현재는 조광 제어가 가능한 등기구가 일반적이지

않으며, 기존의 터널에 설치된 조명 설비는 On/Off 제어방식을 채택하고 있다. 최근 유럽의 한 회사에서 4 단계로 조광 제어가 가능한 등기구를 발표하여 국내에서도 이를 도입한 터널의 출현이 조만간 나타날 것으로 기대한다.

광속의 방향을 살펴보면 counterbeam lighting system을 사용한 외국의 터널의 예를 볼 수 있다. 이 시스템은 기존의 대칭형 배광분포에 비하여 도로와 터널에서의 반사광을 더 많이 사용할 수 있다. 따라서 대칭형보다 낮은 휘도 수준을 요구하며 결과적으로 더 적은 수의 램프와 등기구를 사용하여 이 수준을 만족할 수 있으며 따라서 전기를 절약할 수 있다.

호주의 시드니 북서부에 위치한 M2(Hills) Motorway의 쌍둥이 터널(1997년 완공, 길이 500[m])에 적용하여 비용효과적이며 환경에 긍정적 영향을 줄 수 있는 결과를 얻었다. 유럽에서도 최근에 counterbeam 방식이 적극적이지는 않으나 점진적으로 도입되고 있다.

## 5. 터널등 제어방식

### 1) 터널등 제어기준 수립

주간과 야간 모두의 경우에 터널에서의 조명은, 운전자 개방된 도로에서 느끼는 안전도 및 안락감과 비교하여 감소되지 않는 것이 되어야 한다. 이것이 의미하는 바는 도로의 진행 방향에 대한 정보, 도로를 사용하는 다른 이용자 및 도로면에 존재하는 방해물에 대하여 적절한 정보를 운전자가 가질 수 있다는 것이다.

### 2) 주간 조명

일반적으로, 터널 입구에서 정지거리만큼 떨어진 곳에서 보았을 때 출구가 시야의 넓은 부분을 차지하고 있다면 정상적인 야간 조명에 대하여 추가의 주간 조명이 필요하지 않다. 반대로, 같은 위치에서 보았을 때 출구가 장애물, 예를 들어 차량 등이 가려질 수 있는 어두운 부분으로 보여진다면 추가의 주

간 조명이 필요하다.

### 3) 조명 시스템

터널에 적용되는 조명 시스템은 배광분포에 따라 세 가지로 분류된다 : 횡단방향(transverse), 진행방향(longitudinal), 역광(counter-beam)(그림 2 참조) 횡단과 길이 방향의 배광분포는 대칭형, 역광은 비대칭형이다.

Typical light distributions of the luminaires		Max. beam ratio	Lighted luminaire	Efficacy (lm/W)
Transverse		15	1-0	2.0
		20	SON-T	2.8
Longitudinal		35	SON-F	4.5
		4	SON-T	35.4
Counter-beam		2-2.5	SON-T	4.5

그림 2. 터널 조명 시스템

#### 가. 횡단 방향

여기서 빛은 터널 축의 직각 방향으로 주로 방사되나. 이것의 좋은 예는 직관 형광등을 연속적으로 배치한 것이다.

이 시스템의 장점은 양호한 시각 안내, 적은 눈부심, 차량간의 빛 투과 및 간단한 제어 회로이다. 단점은 기구간의 거리가 짧고(따라서, 등기구가 많이 소요된다), 플리커를 피하기 위한 세심한 고려가 필요하다라는 것이다.

#### 나. 진행 방향

빛은 터널 축에 거의 평행하게 방사된다.

장점은 고효율과 등기구 간격이 넓은 것이다. 단점은 그림자가 생길 가능성이 크고, 벽면 휘도의 불균일 및 야간 조명제어시에 2등용 등기구가 필요한 것이다.

#### 다. 역광

빛은 터널 축에 평행하며 차량 진행의 반대방향으로 방사된다.

조명시스템의 대비 양호 비율(contrast quality ratio :  $L/E_v$ )는 도로면 0.1m 높이에서 관측자가 보는 방향으로의 수직 조도에 대한 도로면 휘도의 평균 비율이다. 역광 시스템은 높은  $L/E_v$  값을 가지며, 따라서 도로면 상의 장애물에 대하여 상대적으로 높은 대비를 준다.  $L/E_v$  값이 0.6이상인 시스템에 대하여 역광 시스템이라고 말할 수 있으며, 대칭 시스템에서 보다 낮은 경계부 휘도를 요구한다.

이 점이 역광 시스템의 주된 장점이다. 단점은 터널 입구가 어두워 접근하는 운전자에게 불안감을 줄 수 있으며, 덩치가 큰 차량의 그림자에 의해 작은 차량이 가려질 수 있으며, 벽면이 어둡고 불균일하게 조정된다는 점이다.

#### 4) 조명 설비

##### 가. 시스템 규격

시스템 규격에서 필수 정보는 교통 데이터, 터널 치수와 재질, 사용된 규격, 램프, 등기구와 그의 위치, 부착 방법, 배광 분포 및 조명 제어 시스템이다.

주광 차양이 경계부, 주변, 또는 천장에 채용된 경우에는 그 지역의 주광 조건에 대하여 정확히 파악하고 있어야 한다.

설비의 최종  $[cd / m^2] / [W / m^2]$  (휘도 효율) 값은 램프, 등기구의 위치와 배광분포 및 도로면의 반사율에 의하여 결정된다.

설계 도구는 도로 조명과 실내 조명에서와 같은 것이 사용된다.

##### 나. 램프

입구 조명에는 고압 및 저압나트륨 램프만 사용된다. 기본 조명(최소 주간 조명)에는 고압 및 저압나트륨 램프와 형광램프가 사용된다.

##### 다. 등기구

등기구는 각각의 설치기구와 정면 또는 측면 개방, 방식, 방진, 방수형이다. 배광 분포는 설계된 배치에 적합하도록 변형될 수 있으며, 전체 시스템 효율에 상당한 영향을 준다.

##### 라. 기계적 중개장치

등기구는 보통 벽이나 천장에 부착된다. 터널 환경에 따라 전기-화학적 부식을 피할 수 있는 재질을 선택하여야 한다.

##### 마. 전력

전기적 관점에서, 조명 부하는 3상에 균등하게 분배되어야 한다. 램프 제어회로에 의하여 회로의 수가 결정된다. 비상 조명은 독립적으로 LIPS에 연결되어야 한다. 형광램프의 조광제어가 가능하다. 고압 나트륨램프는 모션 전압을 변화시켜 조광이 가능하다.

##### 바. 가시도

터널내의 환기는 보통 가시도계(visibility meter)를 사용하여 제어한다. 이것을 기본부 조명 수준 제어에도 사용할 수 있다.

##### 사. 타이머

교통량 감지기와 타이머를 사용하여 야간에 조명 수준을 조절할 수 있다.

##### 아. 도로, 벽 및 천장의 반사율과 색상

가능한 한 경제적으로 터널내에서 높은 휘도를 얻기 위하여, 벽면과 도로면은 높은 반사율을 가져야 한다.(도로면은 인공적으로 밝게 하여야 한다)

양호한 시각정보를 얻기 위하여 도로와 벽면간에는 작지만 확실한 휘도 또는 색상의 차이가 있어야 한다. 경면 반사를 일으키는 표면은 피해야 한다. 벽면의 마감재는 청소하기 쉬운 재질이어야 한다.

#### ◇ 著 者 紹 介 ◇



##### 장 우 진(張禹鎭)

1956년 5월 13일생. 1979 서울대학교 전기공학과 졸. 1981 동 대학원 졸(석사). 1989 동 대학원 졸(박사). 현재 서울산업대학교 전기공학과 교수, 당 학회 총무이사.