

고속도로 터널조명 시설

지 철 근 <서울대 명예교수>

이 진 우 <호서대 전기·전자·제어공학부 교수>

1. 서론

고속도로 터널조명시설의 설치 목적은 시각인지가 곤란한 밝기가 급변하는 장소에서 도로의 상황이나 교통상황을 정확히 파악하기 위하여 시각환경을 양호하게 하여, 도로교통의 안전을 기하도록 하는 데 있다. 또한 보다 안전한 교통여건을 조성함과 동시에 조명시설의 에너지 절약 및 유지관리 개선을 통한 관리비 절감을 이룸으로서 도로 이용자에게 편의를 도모하는 한편, 도로운영의 경영합리화도 기하여야 한다.

2. 터널조명의 필요성

터널조명은 주간과 야간에 걸쳐서 터널 내 도로에서 차량의 교통수송이 설계주행속도로 안락하고, 안전하게 통과하기 위한 것이다. 차량을 운전할 경우에는 운전자의 눈에 보이는 주위의 상황을 모두 알아야 되므로, 터널 내부를 조명함으로써 차량 운전자에게 주위의 상황을 알려서 터널이 수송기능을 충분히 발휘할 수 있다. 터널 내 도로는 일반도로와는 달리 협소한 공간, 교통에 의한 압력 및 혼란 등의 위험성이 있는 특수한 조건에 있다. 이러한 특수 조건은 교통기능의 저하를 초래하게 되므로, 수송기능 저하를 가능한한 경감시키기 위하여, 터널 내부에

조명설비가 필요하다.

그리고 터널 내부와 또는 외부로의 차량 주행시, 운전자 시각의 평형상태를 유지하기 위하여, 터널 입구부의 야외휘도 상황에 따른 입구부의 경계부 휘도설정과, 경계부에 이어서 이행부, 완화부의 노면휘도를 터널입구로 부터 진입하는 거리에 따라 감소시켜서, 기본부의 노면휘도의 값으로 원활하게 접속시키는 완화조명이 필요하다. 주간에는 외부의 밝음에 관련시켜서 입구부의 완화조명과 이에 적합한 내부조명을 실시하고, 야간에는 외부도로의 조명조건이 고려된 터널조명이 필요하다.

터널 내 교통의 안전성은 터널조명에 의하여 큰 영향을 받으며, 터널 내의 조도가 증가하면, 교통사고가 감소되는 구체적인 사례가 있다. 터널 내부 조명에서 중요하게 고려될 사항은 도로와 벽면하부의 휘도수준, 도로 상 휘도분포의 균제도, 눈부심의 제어, 설치조명등에 의한 운전자들의 프리커 회피 등이다.

3. 터널조명의 기본사항

3.1 터널조명의 구성

터널 조명은 입구부 조명, 기본부 조명, 출구부 조명, 접속도로 조명 및 비상 조명으로 구성된다. 터널 조명의 구성 예를 도시하면 그림 1과 같이되고 각각

의 설치 목적 및 설치 장소는 다음과 같다.

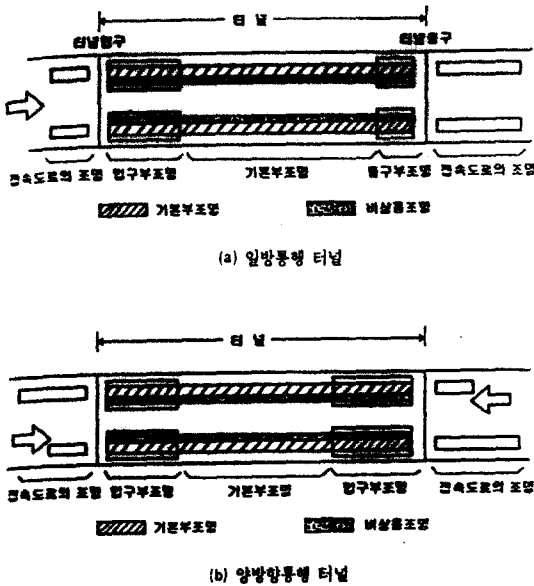


그림 1. 터널 조명의 구성

주간에 도로를 주행한 자동차 운전자의 눈은 야외 휘도에 순응한 상태로 터널에 접근하기 때문에 운전 자로서는 터널 내는 모두 암흑으로 보여, 터널의 내부는 잘 식별되지 않는다. 또 터널 진입 후, 운전자의 눈은 주위 휘도에 대하여 순응이 늦다. 이러한 장애를 경감하기 위하여 입구부에 설치한 조명설비를 입구부 조명이라 한다. 이 경우에 입구 인접부의 휘도를 어느 정도로 하고 어떠한 변화의 형태로 기본부 조명으로 이행시키는가는 매우 중요한 문제이다. 입구부 조명설비는 인공 조명만을 사용하는 방법이 일반적이나 자연광을 투버 또는 유사 구조를 사용하여 제어하는 방법도 있다.

기본부 조명이란 터널 전체에 걸쳐 원칙적으로 조명기구를 일정 간격으로 배치하여 조명하는 것으로, 주간에 터널 외부로부터 터널에 진입한 자동차 운전자가 입구부 조명 구간을 통과하여 거의 정상적 시각 상태에 도달한 후의 조명을 말한다.

주간에 출구를 터널 내부에서 보았을 경우 출구가 대단히 밝은 배경으로 되고 출구 부근에 있는 모든

장애물은 검은 실루엣으로 보이며 쉽게 보인다. 그러나 출구부 야외휘도가 대단히 높은 경우, 교통량을 많게 하기 위하여, 차간 거리가 짧게 되어 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 있다. 이것이 출구부 조명이다.

야간에 터널 접속도로에는 입구부, 출구부 모두 조명을 설치한다. 입구부의 조명은 입구부 부근의 도로폭의 변화를 알리기 위한 것이고, 출구부 조명은 터널 내에서 접속도로의 상황을 파악하도록 설치하는 것이다.

고속도로 터널 내를 주행 중 갑자기 정전을 당하면, 갑자기 어두워진 터널 내를 주행하던 자동차는 매우 위험한 상황에 처하게 된다. 이러한 현상을 방지하기 위하여 설치하는 조명을 비상조명이라 한다.

3.2 입구부 조명

보통 터널 입구에서 약 10[m]까지와 출구에서 약 40[m]까지의 터널 내부는 자연광으로 터널 내가 조명되므로, 50[m] 이상의 터널의 입구에는 야외휘도와 설계 속도에 따르는 입구부 조명을 설치하여야 한다. 단, 터널의 길이, 야외 휘도, 설계 속도, 기타의 이유로 주간에 터널 내의 상태가 잘 보이는 경우는 설치하지 않는다.

입구부 조명의 설계에는 야외 휘도, 설계 속도, 주시계시점 등을 고려하여야 한다.

(1) 야외 휘도

야외휘도값이 계절과 날씨에 따라 달라져서, 실제적으로 측정할 수 없으므로, 아래에 기술하는 야외 휘도를 구하는 두 가지 방법을 사용한다.

(가) 설정야외휘도를 사용하는 방법

터널 입구부근의 야외휘도는 20도의 원추형 시야를 구성하고 있는 부분의 휘도 즉, 노면휘도, 입구휘도, 천공휘도, 산림, 흙 등의 휘도가 이들 부분에 20도의 원추형 시야 내에 점유하는 면적비율로서 정해진다.

(나) 계산식에 의한 방법

이 방법에서는 야외휘도의 계산이 터널 입구 주변 휘도의 개략도로부터 얻어지며 다음 식으로 계산한다:

$$L_{20} = \nu L_C + \rho L_R + \epsilon L_E + \tau L_{in}$$

여기에서 L_{20} = 야외휘도

L_C = 하늘 휘도 ν = 하늘의 비율

L_R = 도로 휘도 ρ = 도로의 비율

L_E = 주변 휘도 ϵ = 주변의 비율

L_{in} = 터널 입구부의 휘도 τ = 터널입구의 비율

이 식에서 $\nu + \rho + \epsilon + \tau = 1$, L_{in} 는 결정되는 미지수이다.

(다) 두 방법의 사용

야외휘도의 설정을 쉽게 하기 위하여, 8개의 전형적인 터널 입구의 선형스케치를 그림 2에서 표시한다. 이들 스케치는 실제 사진을 기본으로하여 입구 접속부 휘도를 규정하기 위한 20도 원추형 시야를 각각의 그림에 중첩시켰다. 각 스케치 하단에 사진을 찍은 터널 입구로부터 제동거리에서의 20도 시각 내에 나타나는 하늘의 비율을 나타내고 있다. 모든 터널 입구에서의 야외휘도값에 영향을 미치는 하늘의 비율을 평가하기 위하여, 사진은 제동점에서 찍어야 하며, 사진에서 알 수 있는 크기 즉, 터널 높이로부터 사진 위에서 20도 원추의 반지름을 결정할 수 있다. 터널이 건설되지 않은 경우는 지평선이 공사 중에 변경되지 않는다면 사진을 사용할 수 있다. 그렇지 않으면 축척 도면을 사용하여야 한다. 사진이나 도면은 가장 유사한 스케치와 비교할 수 있다. 특히 하늘 비율값에 주목하여야 한다. 하늘의 비율이 표에 나타나는 값 사이에 있게 될 경우에는 야외휘도값은 내삽법을 사용하여 구한다. 표를 사용한 결과적인 야외휘도 값은 매우 개략적이며, 이것은 터널 입구에서 매우 제한적인 정보가 필요한 경우에만 유용하다. (나)에 설명한 야외휘도의 결정방법은 터널 입구에 대한 충분한 데이터가 있는 경우에만 사용되어야 한다. 실제로는 터널 조명 설계의 초기 평가는 (가)의 방법을 사용하여 수행되어도 무방하며, 더욱 자세한 것이 필요면, (나)의 방법으로 부터 구한 야외휘도값에 기초한 최종 조명 설계를 하

여야 한다.

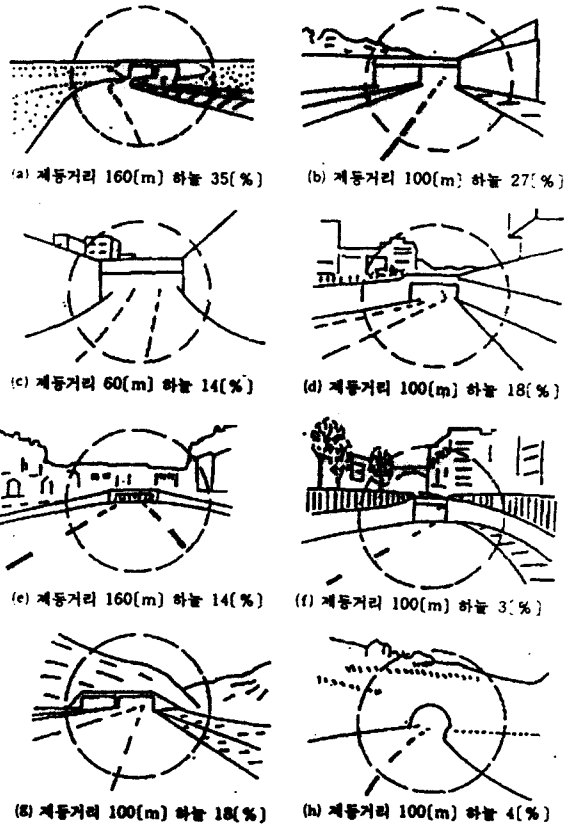


그림 2. 하늘의 비율

(2) 설계속도와 시인거리

조명설계에 사용되는 설계속도는 터널 본체의 설계에 사용되는 설계속도와 다른 경우도 있다. 고속도로의 터널에서는 안전성과 경제성을 감안하여 일반적으로 규제속도가 조명설계의 설계속도로 사용되고 있다.

(3) 주시개시점

주시개시점은 운전자가 터널 입구를 주시하기 시작하는 지점을 의미한다.

(4) 입구부 조명곡선

입구부 조명곡선은 터널의 형태, 입구부근의 상황, 설계속도와 교통량, 야외휘도 등에 따라 다르게 되지만, 기본적으로 경계부, 이행부, 완화부의 3부분으로 나눌 수 있다.

50(m)이상의 터널이 둘 이상 연속하여 존재하고, 선행(앞에 통과)하는 터널의 출구로부터 후속하는 터널의 입구까지의 거리(갱구간 거리)가 설계속도에 대응한 시인거리보다도 짧은 경우 후속하는 터널의 입구부 조명의 평균노면휘도의 설계치를 갱구간 거리에 따라서 감소시킨다.

입구부 조명은 터널입구로 접근하는 차량 운전자의 눈의 순응휘도에 따라 조명레벨이 결정되므로 계절, 기후 및 시각 등에 따라 순응휘도가 변화하는 경우에는, 이에 대응하여 입구부 조명을 조절할 수 있다.

터널입구부 조명의 조절은 터널입구부근의 야외휘도에 따라서 시행하는 것이 바람직하다. 입구부 조명의 조절단계와 입구부근의 야외휘도와의 관계는 표 1의 이상으로 하는 것을 원칙으로 한다.

표 1. 입구부 조명의 조절

조절 단계	야외 휘도 ※	노면 휘도 ※
A	100%	100%
B	75%	75% 이상
C	50%	50% 이상
D	25%	25% 이상

※설계치에 대한 비율

터널용 자동조광장치는 터널 내부휘도의 적정화와 조명의 경제적 운영을 목적으로 설치되며, 터널외부 주광조도의 변동이나, 타이머에 의하여 터널입구부 완화조명 및 내부의 기본부 조명을 몇 단계에 걸쳐서 자동적으로 변경시켜, 그의 점점신호를 조명반내의 전자 개폐기부로 공급하여, 터널조명 전체를 제어하는 것이다.

자동조광장치는 다음 사항에 유의하여야 한다.

(1) 자동조광장치의 수광기는 쌍방교통의 터널에서는 터널의 양입구에 설치하고, 일 방향행의 터널에서는 상향선, 하향선의 각 입구에 설치한다.

(2) 수광기는 터널 입구면 부근의 수직면 조도의 평균치를 대표하는 장소에 설치되어야 한다.

(3) 수광강도 및 조광동작중의 조절은 자유로이 할 수 있어야 한다.

터널 내부의 조도는 주로 입구부 조명의 조도조절이 주이고, 야간이나 심야 등 교통량이 적은 경우 기본부의 조도를 감광한다.

조명의 종류	최로의 종류	표준점등조도 [lx]	아침			낮			밤			표준소등조도 [lx]
			ON	ON	ON	ON	ON	ON	ON	ON		
입구조명	밝은날1 (입구조명전부)	30,000				ON						15,000
입구조명	밝은날2 (입구조명3/4)	10,000				ON						5,000
입구조명	흐린날1 (입구조명1/2)	4,000				ON						2,000
입구조명	흐린날2 (입구조명1/4)	2,000				ON						1,000
기본조명	주간 (내부조명전부)	200				ON						100
점속도로조명	야간 (점속도로조명)	100	ON							ON		200
기본조명	심야 (내부조명1/4)	타이머설정				ON						타이머설정

※ 점등조도의 조절은 표준점등조도를 중심으로 50%의 임의조절이 가능하다.

※ 타이머의 설정은 15분 간격으로 임의로 조절하여 사용한다.

그림 3. 자동조광장치 동작 설명도

3.3 기본부 조명

(1) 조명기구의 설치

일반적으로 조명기구의 설치 위치는 측벽 상부에 설치되는 예가 많으므로 노면상 4.5(m) 이상의 위치에 설치하는 것을 원칙으로 하였지만, 노면의 오버레이 등을 사전에 고려하여 건축 한계외의 여유를 보고 설치하는 것이 바람직하다.

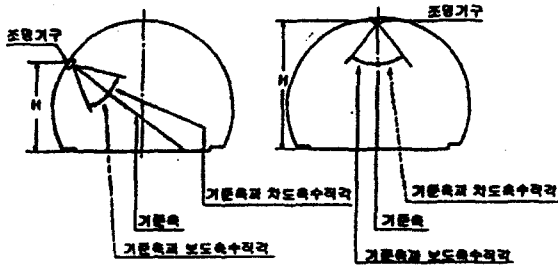


그림 4. 조명기구의 설치 높이

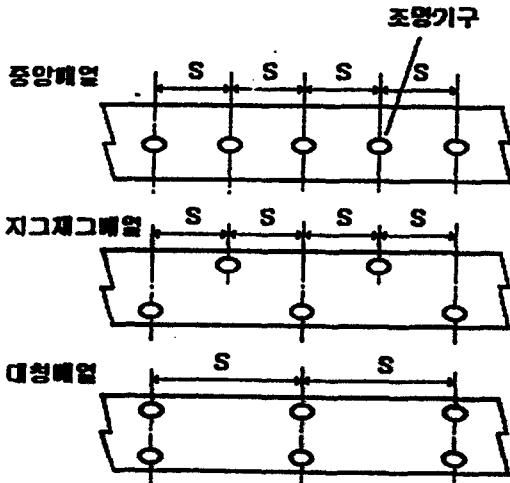


그림 5. 조명기구의 배열

(2) 조명기구의 설치 간격

(가) 설치 간격과 노면·벽면의 휘도균제도

조명기구의 설치 간격(S)의 양부는 노면·벽면의 휘도균제도를 좌우한다. 휘도균제도는, 특히 평균휘도가 낮은 경우, 보임의 상태에 크게 영향을 주기 때문에 가능한 한 양호하게 유지하는 것이 바람직하다.

바람직한 설치높이(H)에 대한 설치간격(S)은 다음과 같다. 그림 4, 5에서 H와 S의 관계를 나타낸다.

대칭 배열	$S \leq 2.5H$
지그재그 배열	$S \leq 1.5H$
중양 배열	$S \leq 1.5H$

(나) 설치 간격과 폴리커

터널 내에서 일어나는 폴리커에 의한 불편감을 피하도록 하여야 한다.

(3) 노면 휘도

운전자의 눈의 순응 휘도, 터널의 매연투과율 및 경제성을 고려하여, 노면휘도를 설정한다.

(4) 벽면 휘도

터널 내에서 존재가 예상되는 위험한 장애물의 높이나 터널의 구조 등을 고려하여 노면상 적어도 2[m] 높이까지의 벽면의 평균휘도는 평균노면휘도 이상인 것이 바람직하다.

3.4 출구부 조명

터널 출구에는 터널 설계속도 80(km/h)이상, 터널 출구부 야외휘도 6,000(cd/m²)이상, 그리고 터널 길이 400(m)이상의 경우는, 조명을 설치하는 것이 바람직하다.

출구조명은 원칙적으로, 주간의 노면휘도는 출구부 야외휘도의 1/10으로 하고, 조명구간은 80(m)로 한다.

3.5 접속도로의 조명

출구부접속도로의 노면휘도는 터널 내를 주행하는 차량 운전자의 눈의 순응휘도와 소요노면휘도에 관한 실험결과로부터 설계속도에 따라 결정한다.

4. 비상조명

비상주차대 시설의 평균노면조도는 75(lx)를 표준으로 한다. 피난경로의 밝기는 적어도 평균노면조도 10(lx)를 확보할 필요가 있다. 피난연락경로는 평균노면조도 20(lx)를 확보할 필요가 있다.

길이가 300(m)이상의 터널 내에는 정전시용 조명

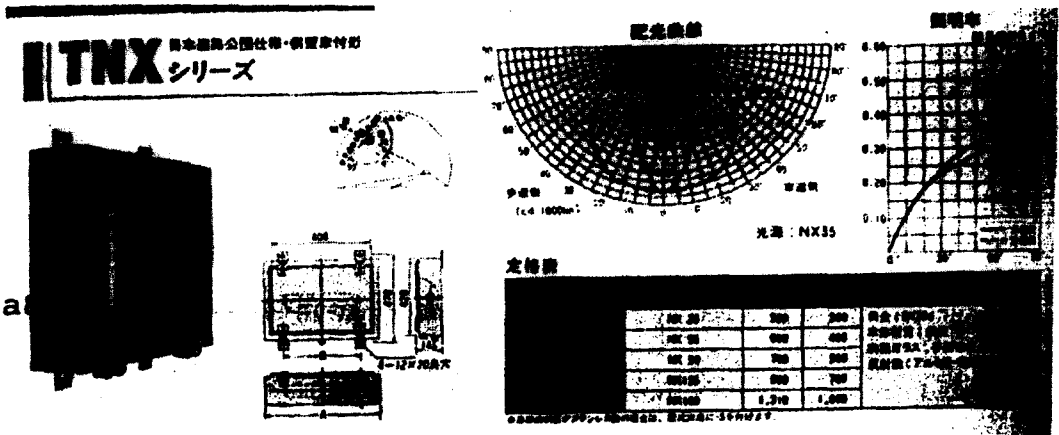


그림 6. 터널용 벽면 부착형 저압나트륨램프 기구의 예

표 2. 보수율

터널의 상황 교통량(대/일)	길이(m) 오류구배(%)	1,500(m)이상		500(m)이상~1,500(m)미만		500(m)미만	
		2%이상	2%미만	2%이상	2%미만	2%이상	2%미만
20,000 (대/일)이상		0.4	0.5	0.5	0.55	0.55	0.6
10,000~20,000 (대/일)미만		0.45	0.55	0.55	0.6	0.6	0.65
5,000~10,000 (대/일)미만		0.5	0.6	0.6	0.65	0.65	0.7
5,000 (대/일)미만		0.55	0.65	0.65	0.7	0.7	0.75

단, 일반통행터널의 입구부 조명의 보수율은 위의 값보다 0.05크게 할 수 있다.

을 설치할 필요가 있다.

5. 조명기구

터널조명용 광원은 저압 나트륨 램프, 고압 나트륨 램프, 형광 램프 중에서 선택하는 것을 원칙으로 한다.

터널 조명용으로서 저압나트륨램프를 사용할 때에는 진상형안정기, 고압나트륨램프를 사용할 때에는 일반형 고역률 안정기, 형광램프를 사용할 때에는 일반형 고역률 안정기를 사용한다. 또 필요한 경우에는 조광형 안정기를 사용한다.

터널 조명기구는 매입형이나 직부형으로 터널조명에 적합한 배광특성을 갖고 있는 것으로 하고, 방수형을 원칙으로 한다.

6. 조명계산

6.1 조명계산식

조명계산은 다음의 식을 사용한다.

$$\frac{F}{S} = \frac{W \cdot E}{N \cdot U \cdot M} = \frac{W \cdot k \cdot L}{N \cdot U \cdot M}$$

여기서, F: 광원의 광속 (lm)

S: 조명기구의 간격 (m)

W: 차도폭 (m)

k: 평균조도환산계수

L: 노면휘도 (cd/m²)

N: 조명기구의 간격 S내의 기구수
대칭 배열은 2

지그재그 배열, 중앙배열은 1

U: 조명률

M : 보수율

6.2 평균조도환산계수

평균조도환산계수 값은 콘크리트노면에서는 13[lx/cd/m²], 아스팔트노면에서는 18[lx/cd/m²]을 원칙으로 한다.

6.3 보수율

보수율은 원칙적으로 표 2에 의한다.

8. 유지관리

점등상황, 조명커버 부착 상황 및 파손의 유무, 조명기구의 설치 상황 및 파손의 유무, 자동조광장치의 동작상황에 대하여 정기적(1[회/월] 정도) 점검할 필요가 있다.

(1) 청소

조명커버 외면은 대개 3개월에 1회 이상 정기적으로 청소를 시행할 필요가 있다. 조명커버 내면, 반사판 표면, 램프 표면은 필요에 따라서 청소를 시행하는 것이 바람직하다.

(2) 램프 교환

각 램프의 점등시간의 합계가 일정 시간을 초과하는 경우, 램프 교환이 바람직하다.

(3) 조도의 측정

대표적인 지점의 선정은 정기적인 유지수선작업을 시행할 때에 조도측정이 가능한 지점을 택하면 좋다. 정기적(1[회/6개월] 정도)인 노면조도의 측정이 바람직하다.

(4) 기록

조명기구번호 등에 의한 관리대장을 비치하고, 청소, 램프교환, 노면조도 등을 기록할 필요가 있다.

참 고 문 헌

- [1] Guide for the Lighting of Road Tunnels and Underpasses : C.I.E Publication No. 88-1990 (ISBN 3900734259)
- [2] トンネル照明設計指針 : 高速道路調査會
- [3] 터널입구 조명에 대한 조사보고서 : 高速道路調査會
- [4] 터널조명에 관한 조사보고서 : 高速道路調査會

- [5] The International Recommendation for the Lighting of Public Throughfares : C.I.E Publication No. 12
- [6] Recommendations for the Lighting of Roads for Motorized Traffic, : C.I.E Publication No. 12.2-1977
- [7] Calculation and Measurements of Luminance and Illuminance in Road Lighting, : C.I.E Publication No. 30/2-1982
- [8] Glare and Uniformity in Road Lighting Installations, : C.I.E Publication No. 31A-1976

◇ 著 者 紹 介 ◇

지 율 근(池哲根)

1927년 7월 17일생. 1951년 서울대 공대 전기공학과 졸. 1995년 서울대 대학원 전기공학과 졸(석사). 1957년 미국 케이스 공대 대학원 수료. 서울대 대학원 전기공학과 졸(박사). 1983년 대한전기학회 회장. 현재 서울대 공대 전기공학과 명예교수. 대한전기협회 부회장. 기술사. 당학회장.

이 진 우(李眞雨)

1961년 2월 4일생. 1984년 서울대 공대 전기공학과 졸. 1986년 서울대 대학원 전기공학과 졸(석사). 1990년 서울대 대학원 전기공학과 졸(박사). 세명텍트론(주) 연구실장. 현재 호서대 공대 전기·전자·제어공학부 조교수. 당학회 이사.