

가로등기구와 터널등기구

김 운<강원대학교 전기전자정보통신공학부 교수>

1. 서론

도로조명은 야간에 자동차 운전자의 시각적 능력을 주간과 같은 정도로 유지함으로써 교통안전을 보장하는 것을 목적으로 한다. 반면 터널조명은 터널 외부와 내부의 차량 운행 과정에서 일어날 수 있는 순응의 문제를 더욱 중시하며, 주간의 입구부 조명이 가장 밝게 된다.

도로조명과 터널조명 모두 운전자의 위치와 시선의 방향, 노면의 재질 등이 한정되어 있으므로 이에 맞추어 조명기준이 휘도로 지정되어 있으나, 우리나라에서는 아직도 휘도를 기준으로 하는 조명계산이나 측정, 유지관리가 시도되지 않고 있는 점이 큰 아쉬움이다.

또한 노면의 평균휘도만이 아니라 노면 전반에 걸친 휘도의 균제도, 운전자의 시선방향에 따르는 차선축 균제도, 글레어 등도 매우 중요한 고려사항이지만, 역시 우리나라에서는 전혀 고려되고 있지 않으며 시급히 연구 보완되어야 한다.

평균휘도가 보장되도록 효율이 높은 조명기구를 설치하였더라도, 요구되는 수준의 균제도가 보장되지 않으면 제대로 된 도로조명이나 터널조명이라고 할 수 없으며, 평균휘도와 균제도, 글레어 등의 관련요소들을 동시에 만족시키기 위해서는 조명기구 자체의 효율과 배광 뿐 아니라 사용하는 램프의 종류와 소비 전력까지도 특정한 형태로 제한될 수밖에 없는 것이

다. 본 기술해설에서는 가로등기구와 터널등 기구의 최근의 추세를 정리해보고, 이들 기구와 사용 형태를 설명하고자 한다.



격등점등으로 인한 나쁜 균제도의 예로서 특히 일률의 어두운 부분에 장애물이 있는 경우 운전자가 관찰하기 어렵고 사고의 원인이 된다.

그림 1. 균제도가 나쁜 도로조명의 예

2. 국내외 가로등기구의 추세

가로등기구를 포함하여 조명기구들의 근래 신기술 동향을 요약하면 다음과 같다.

(1) 효율 향상과 디자인 강화

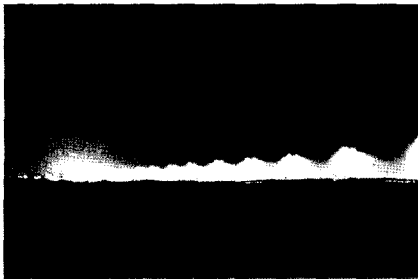
- 고효율이면서 소형화된 램프를 사용함으로써 광학기구 및 조명기구 전체의 효율을 높이면서 크기를 줄이고 디자인을 강화할 수 있다.

특집 : 도로와 터널조명

- 고성능의 반사판과 프리즘을 사용하고 고도의 광학설계와 제조기법을 이용하여 조명할 필요가 없는 방향으로의 빛의 낭비를 줄이고 효율적인 배광을 도모한다.
- 콤팩트 HID 램프, LED, 무전극 램프 등의 신 광원을 사용하여 효율을 높이고 유지보수 상의 문제를 줄인다.

(2) 환경 친화적인 제품 개발

- 램프 및 조명기구의 구조 및 성능 개선을 통하여 수명 연장 및 유지보수의 간편화를 도모한다.
- 환경오염물질(크롬, 납 등)의 사용을 규제한다.
- 전자식 안정기, 센서, 타이머 등의 내장으로 고 기능, 다기능을 도모한다.



상향하는 배광을 억제하여 광해를 극적으로 줄인 도로조명의 사례이다.

그림 2. 광해 없는 가로등 배광의 예

이상과 같은 기술적 동향을 쉽게 반영할 수 있는 방법이 콤팩트한 HID 램프와 마이크로 리플렉터를 사용한 가로등기구이다. 즉, 우리나라에서 일반적으로 사용되고 있는 250(W), 또는 400(W) 급의 타원형 HID 램프가 아니라, 200(W) 이하 급의 콤팩트 메탈헬라이드 램프, 또는 T형(Tubular) 고압나트륨램프를 사용하는 것이다. 이렇게 작은 광원을 사용함으로써 광학적으로 발광부의 표면적이 작아져서 매우 작고도 효율적인 반사갓을 구현할 수 있고, 원하는 곳에만 빛을 보내고 원하지 않는 곳에는 전혀 빛의 낭비

가 없는 조명기구가 만들어진다. 또한 램프, 반사갓, 안정기가 모두 소형화됨으로써 조명기구의 크기도 작아질 뿐 아니라, 암(arm)이 없으면서도 폴의 형태까지 고려하여 전체적으로 미려한 디자인의 가로등이 가능해진다. 이러한 고안으로서 150(W) 급의 램프를 사용하여 우리나라의 250(W) 램프 가로등기구와 동일한 조도를 노면에 공급하여 에너지 절약을 도모하는 것이 가능하다. 이러한 형태의 각종 해외 가로등기구 사진을 그림 3~7에 보였다.

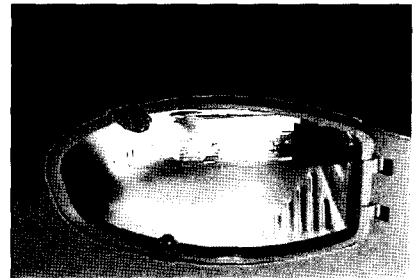


그림 3. 해외 가로등기구 사례 I

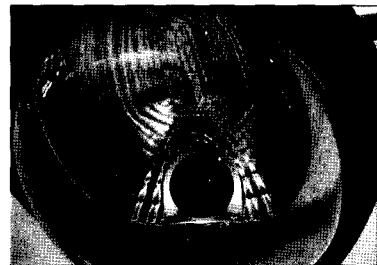


그림 4. 해외 가로등기구 사례 II

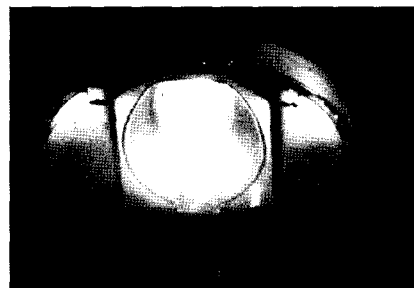


그림 5. 해외 가로등기구 사례 III

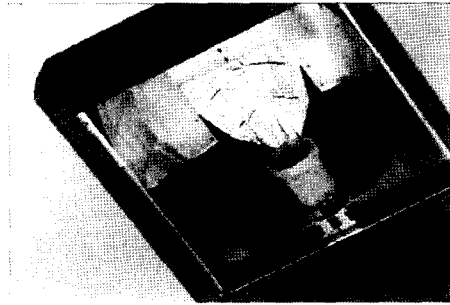


그림 6. 해외 가로등기구 사례 IV

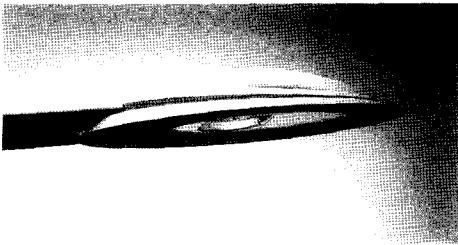


그림 7. 해외 가로등기구 사례 V

국내에서는 세미 컷오프 형태의 기존 가로등기구가 갖는 몇 가지 문제점을 해결하기 위하여 컷오프 형태의 조명기구가 개발되어 사용되고 있다. 세종로 대형이라고 불리는 세미 컷오프 조명기구는 램프가 운전자의 눈에 보여 글레어가 클 뿐 아니라, 기존의 아크릴 글로브가 열과 기계적 충격에 취약하여 일부 문제가 발생하였다. 컷오프 형태의 조명기구를 채택하면

램프가 운전자 눈에 보이지 않고, 유리 글로브를 사용하여 이러한 문제를 없앨 수 있으나, 연직각 30~60도 사이의 배광이 적어서 노면 조도의 균제도가 나빠질 수 있다.

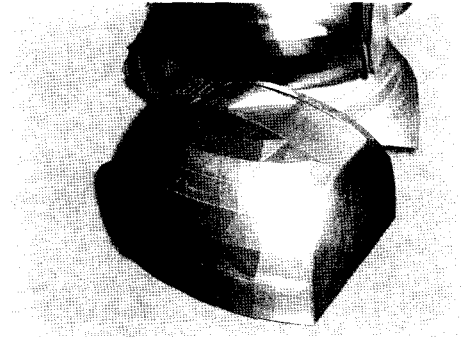


그림 8. 마이크로 리플렉터의 외형

신형 조명기구는 기존의 세종로형 조명기구가 채택하고 있던 램프 좌우만의 부분 반사판이 아니라, 컷오프 각도 이상의 램프 상반부 전체에서 나오는 광속을 제어할 수 있는 형태의 반사판을 채택하고 이를 정밀한 광학설계로 제작함으로써 CIE 및 KS에서 권고하고 있는 노면 종합균제도를 달성하고 있다. 또한 유지보수의 편리성을 도모하기 위하여 각종 조명기구 외함을 위쪽으로 들어서 램프 교환 및 청소를 할 수 있도록 고안하고 압과의 체결방식도 간편화 하였다.

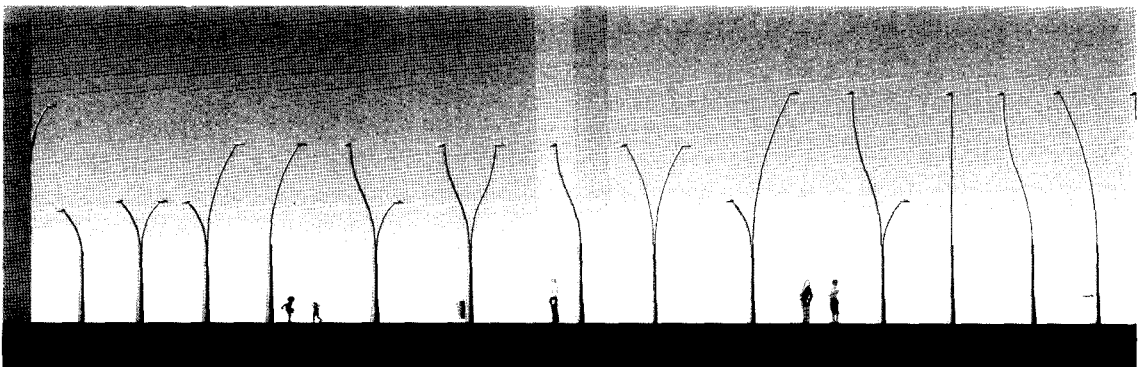


그림 9. 가로등기구가 작아짐으로써 다양한 형태의 암과 폴 디자인이 가능해진다.

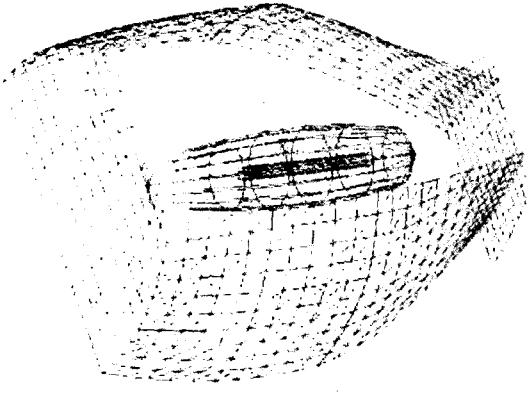


그림 10. 국내개발 가로등기구의 반사판 형상

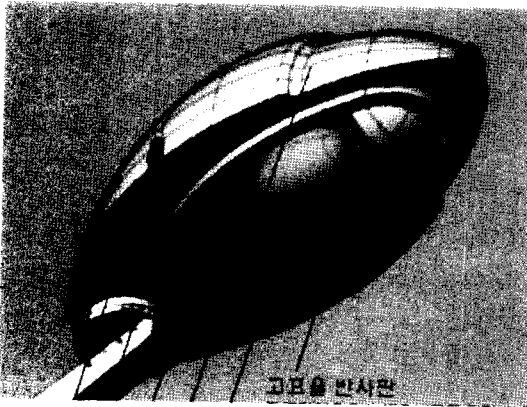


그림 11. 국내개발 가로등기구 외형

3. 터널등기구

터널 내부는 햇빛이 도달할 수 없으므로 주간과 야간 모두 어두운데, 주간의 운전자는 주광에 순응하여 있으므로 터널 조명은 주간이 더욱 중요하다. 야간의 터널 조명은 접속되어있는 도로의 조명과 동일한 수준이면 되지만, 주간은 주광과 같은 정도로 조명하는 것은 불가능하므로 입구부의 조명은 밝게 하고 안으로 진행할수록 단계를 낮추어 조명하며, 결국 기본부에 이르게 된다.

기본부의 조명은 입구부에 비하여 낮은 수준이므로, 어떠한 광원을 사용하여 어떠한 방식으로 조명할

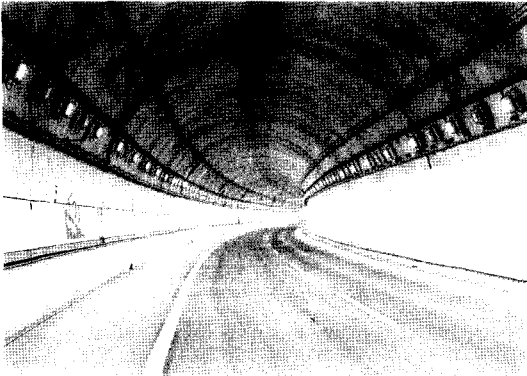
것인지가 조명 시스템 전체의 성능과 효율에 매우 중요하다. 특히 교통량이 적은 심야에는 기본부 조명을 더욱 낮추어 에너지 절약을 도모하게 되므로, 이러한 상황에서도 조명의 질을 일정하게 유지하지 않으면 안된다.

해외의 경우를 보면 대개 2차로 터널의 기본부 조명에는 광원에 상관없이 100(W) 급 내외의 램프를 사용하는 것을 볼 수 있다. 국내외의 조명기구의 제작 기술을 볼 때 대개 노면에서 조명기구까지의 설치 높이의 3.5배 이내로 조명기구 간격을 갖도록 배치하여야 원하는 균제도를 만족시킬 수 있으며, 램프 간격이 이보다 멀어지면 균제도를 달성할 수 있는 배광을 만드는 광학설계가 불가능하다. 2차로 터널에서 광속이 큰 200(W) 급 이상의 램프를 사용하면 평균조도를 만족시키기 위한 조명기구 설치 간격이 멀어져서 기구 대수가 줄어들고 에너지 절감이 되지만, 균제도가 떨어져 심한 얼룩이 생긴다. 더구나 야간에 격등점등을 하게 되면 매우 심한 얼룩이 생겨서 운전이 어려움을 주게 된다. 다만 4차로 이상의 광폭 터널인 경우에는 기구 당 200(W) 급 이상의 램프가 적합하다.

이러한 얼룩으로 인하여 운전자가 계속 이동하면서 밝기의 변화를 경험하게 되면 플리커 현상으로 되어 좋지 않으므로, 국제조명위원회에서는 플리커 주기가 2.5~15(Hz) 정도인 조명 아래에서 20초 이상 운전하지 않도록 할 것을 권고하고 있다. 이 플리커는 전 원전압의 주기로 인한 것이 아니라 일정 간격으로 설치된 조명기구 사이를 운전자가 이동하면서 받게 되는 것임을 이해하여야 한다.

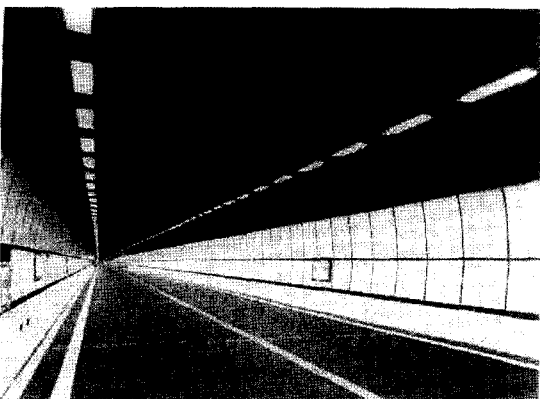
운전자의 이동속도가 시속 80(km) 인 경우, 초당 22.2(m)를 이동하는 것이 되며, 만약 조명기구 설치 간격이 4(m)라면 5.5(Hz)($22.2/4 = 5.5$)의 플리커를 받을 수 있게 된다. 2.5~15(Hz)는 설치간격 1.5~9(m) 정도에 해당되어 일반적으로 사용되는 터널등의 설치간격이라면 모두 플리커를 일으킬 소지가 있으며, 따라서 조명기구 자체의 휘도 및 글레어

제한과 함께 노면의 균제도를 규정 수준보다 높게 유지하는 것이 대단히 중요하다.



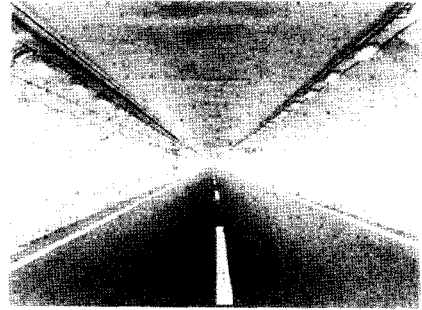
길이 10(km)에 이르는 긴 터널로서 기본부에는 고압나트륨램프 70(W), 입구부에는 70, 110, 150, 250, 400(W), 출구부에는 250, 400(W)를 사용하여 조명하였다. 안정기는 모두 조광형 안정기로 하여 심야에도 균제도를 유지하도록 하고, 조명기구는 스텐레스 프레스형 기구이며 SUS316을 사용하여 방수, 방식성 향상을 도모하였다. 벽면 휘도는 바닥 휘도의 2배가 되도록 하였다. 주간 120(lx), 야간 63.4(lx), 심야 33.6(lx)를 유지한다. 1997년 12월 준공.

그림 12. 일본 도쿄만 아쿠아라인 터널 내부 조명



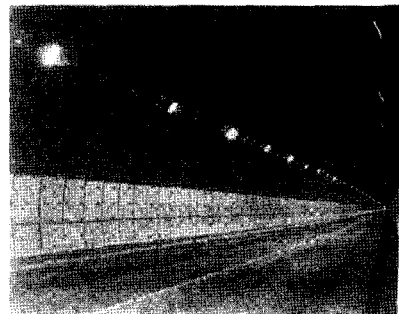
기본부는 50(W) 형광램프 2등 사용. 교통량, 매연투과율, 야외휘도에 연동하여 연속조광하는 안정기 채용. 주위 온도에 따른 광속저감 보상. 2.5(m) 간격으로 설치하여 노면휘도 9.0(cd/m²) 달성(2000년).

그림 13. 일본 동명고속도로 R선 기본부 조명



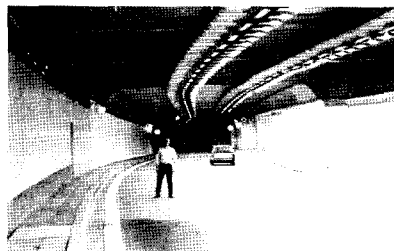
기본부 조명은 형광램프 32(W) 2등을 사용. 1등 소등과 단조광을 이용한 조명제어로 야간, 심야에도 주간과 동일한 균제도 실현(2002년).

그림 14. 일본 청매터널(수도권중앙연락 자동차도) 조명설비



수명 6,000시간, 고연색성, 순시시동성을 갖는 50(W) 무전극형광램프를 사용하였다. 터널 길이 585(m), 설계속도 60(km/h).

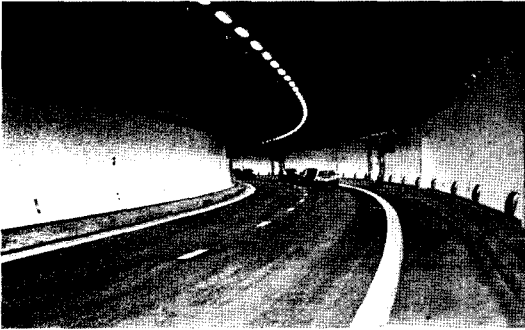
그림 15. 무전극형광램프를 사용한 일본의 터널 조명



메탈헤라이드 램프와 형광등 병용하여 사용.

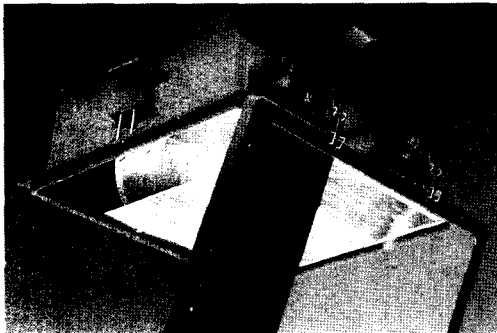
그림 16. 2000년 완공된 벨기에 Cointe Tunnel의 입구부 조명

특집 : 도로와 터널조명



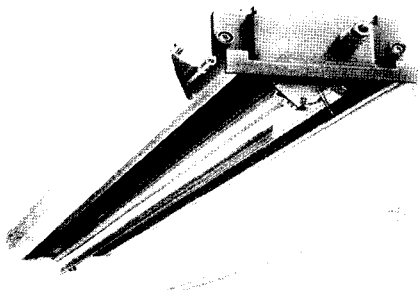
T5 형광램프를 사용하여 주간의 기본부 휘도 $6[\text{cd}/\text{m}^2]$, 야간 기본부 휘도 $2[\text{cd}/\text{m}^2]$ 달성.

그림 17. Cointe Tunnel의 기본부 조명



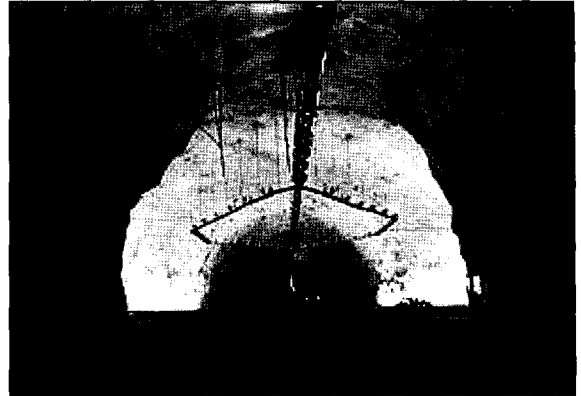
알루미늄 다이캐스팅으로 제작되었고, 고압나트륨램프 600(W) 1등, 또는 150(W) 2등, 저압나트륨램프나 콤팩트 형광램프 36(W) 2등 내장이 가능하다.

그림 18. Cointe Tunnel에 사용된 HID 터널등기구



본체는 알루미늄 사출로 제작되었고, T5, 또는 T8 형광등 58(W) 1등, 또는 콤팩트 형광램프 55(W) 2등 사용 가능.

그림 19. Cointe Tunnel에 사용된 형광 터널등기구



무려 24.5[km]에 이르는 세계 최장의 이 터널은 오슬로와 베르겐 사이 간선도로에 있으며, 여러 시간의 운전 후에 터널에 도달한 운전자는 안도감을 느끼게 된다. 이때 터널조명의 플리커가 운전자의 휴식 리듬과 일치하게 되면 운전자는 최면상태에 이르러 졸게 될 수 있다. 이러한 사고를 방지하기 위하여 터널 중간에 세 곳의 공간(Cavern)을 마련하고, 하부는 노란색, 상부는 푸른색으로 조명하여 새벽의 분위기를 조성하였다. 이곳을 통과하는 운전자는 심신이 상쾌해지는 효과를 얻으며, 경우에 따라서 U-turn도 가능하다.

(<http://news.bbc.co.uk/1/hi/world/europe/1945581.stm>)

그림 20. 노르웨이 Laerdal 터널의 조명



길이 11.6(km)로서 세계에서 일곱 번째로 긴 이 터널은 1999년의 화재로 39명이 사망하는 큰 사고를 겪었다. 이후 완전한 보수를 거쳐 2002년 3월 재개통하였으며, 기본부는 4,000여개의 형광등기구로 조명하고 있다.

그림 21. 몽블랑 터널의 조명

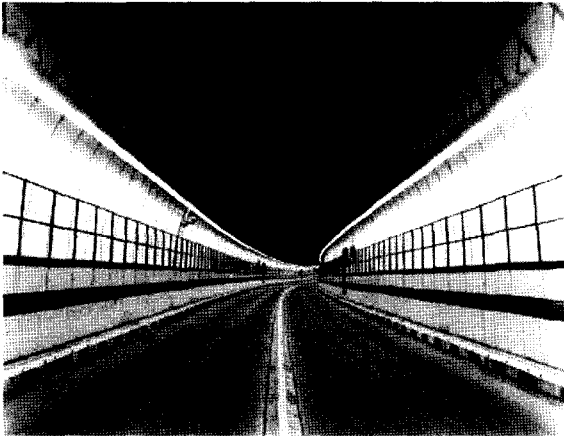


그림 22. 형광등기구를 사용한 이집트 수에즈 운하
하부 터널의 조명



그림 23. 칼라 형광등을 이용한 파리 라데팡스
지하차도의 조명(Color Games)

4. 결 론

교통량이 많은 터널에서는 터널이 병목으로 되어서 발생하는 교통사고나 지체에 대한 대책이 요구된다. 또한, 교통량이 적은 터널에 대해서는 채산성의 관점에서 조명설비의 감축과 에너지절약이 요구되고 있다.

해외에서는 조명기구의 배광을 도로측 방향에 대해서 앞뒤 비대칭으로 한 조명방식이 주로 터널의 입구

조명용으로 개발·실용화 되고 있다. 그 중 한 가지가 카운터 빔 조명이고, 유럽에서 개발되어 세계적으로 여러 터널에 채용되고 있다. 다른 하나의 조명 방식은 Pro-beam 조명이고, 일본이 개발하였으며 근래 교통량이 많은 터널에서는 유럽에서도 채택된 사례가 있다.

이러한 조명방식을 채택하기 위해서는 국제조명위원회의 규정에 따른 정확한 기준을 만족시킬 수 있도록 적절한 배광을 가진 조명기구가 개발되어야 할 것이며, 이를 채택함으로써 조명비용 및 에너지 절감과 함께 터널의 안전성을 증진시킬 수 있을 것이다. 이에 대해서는 다음 기회에 보다 상세히 서술하기로 한다.

◇ 저 자 소개 ◇



김 훈(金 燾)

1958년 8월 6일생. 1981년 서울대 공대 전기공학과 졸. 1983년 2월 서울대 공대 전기공학과 졸(석사). 1988년 서울대 공대 전기공학과 졸(박사). 1993년 호주국립대학 방문교수. 현재 강원대 공대 전기전자 정보통신공학부 교수. 본 학회 총무이사.