

도로터널에서 최적의 조명기구 위치 연구

(The Study of the Most Suitable Location of Luminaire for Road Tunnel Lighting System)

한완모* · 장우진 · 이인환

(Wan-Mo Han · Woo-Jin Jang · In-Hwan Lee)

요 약

우리나라의 지형은 많은 산들로 이루어져 있으며 최근에는 교통량의 증가와 물류비용의 절감 등의 목적으로 많은 터널이 건설되고 있다. 터널에서의 조명은 안전한 도로조건을 만들기 위한 가장 중요한 설비이다. 과거에는 조명기구를 벽면에 설치하였으나 최근에는 천장에 설치하고 있으며 조명기구를 천장에 설치하더라도 어느 위치에 설치하여야 적절한지를 알 수가 없어 설계자의 임의로 설계를 하고 있는 실정이다.

이런 문제를 해결하고자 풍부한 경험과 정확한 데이터를 가지고, Lightscape program을 사용하여 계산 및 시뮬레이션을 시행하여 적절한 위치를 연구 검토하였다.

검토결과 조명기구를 벽면에 설치하는 것보다 천장에 설치하는 것이 균제도가 균일하고 조명률이 높아 경제적이며 휘도비도 대체로 좋다. 그러므로 터널에서는 조명기구의 위치를 일반적으로 벽면보다 천장에 설치하는 것이 바람직하겠다.

Abstract

As we know, topography of Korea is composed of many mountains. Also, the volume of traffic is increasing more and more nowadays. So, many tunnels are being constructed to reduce cost of transport and time. Thus, tunnel illumination was considered as the most important thing to make safe traffic conditions. In the past, we installed luminaires on the wall in tunnel, but currently we are installing those on the ceiling. Wherever luminaires are installed on the ceiling, the electric designer may not have known the proper point to install luminaires. Therefore, we researched this project to resolve above problems with abundant experience and accurate data through simulation(Lightscape program).

As a result of research, mounting luminaires on the ceiling are better than wall because uniformity is more regular and utilization factor is also higher and then brightness is adequate as well, whereby installation on the ceiling is economical. Therefore, it is suitable that luminaires are installed on the ceiling in tunnel than wall.

Key Words : Tunnel lighting system, Suitable location of luminaire, Lighting of traffic tunnel, Mounting method of luminaire

* 주저자 : 서울산업대학원 전기공학과 석사과정
(주) 신우디엔시 전무

Tel : 02-556-8284, Fax : 02-554-8259

E-mail : h42000@empal.com

접수일자 : 2004년 2월 9일

1차심사 : 2004년 2월 11일

심사완료 : 2004년 3월 10일

1. 서 론

우리나라는 지형적으로 산악지대가 많아 도로에

도로터널에서 짙적의 조명기구 위치 연구

많은 터널이 건설되어 왔고 최근에는 교통량의 증가 및 물류비용의 절감 등으로 인하여 설계속도가 60 [km/h]에서 80~120[km/h]로 상승되어 더 많은 터널이 발생되고 장터널화 되어 가고 있다.

터널조명은 터널의 안전시설 중 가장 기본적인 면서 중요한 설비로서 터널에서 차량이 안전하고 원활하게 주행을 할 수 있도록 하는데 목적이 있으며 과거에는 조명기구를 벽면에 설치하였으나 최근에는 천장에 설치하고 있다.

그러나 천장에 설치하더라도 어느 위치에 설치하여야 적절한지를 알 수가 없어 설계자가 임의로 설계를 하고 있는 실정이다. 이런 문제를 해소하고자 경험과 실적자료를 충분히 고려하여 계산 및 시뮬레이션(Lightscape Program)을 하여 적절한 위치를 연구 검토하고자 한다.

2. 본 론

2.1 연구방법

터널에는 여러 가지의 시설물들이 설치되므로 미리 조사를 하여 시설물들이 상충되지 않도록 하고 각종 기준의 검토 및 적절한 배광을 갖는 조명기구를 선정한다.

조명기구를 건축한계에 접촉되지 않는 위치에서 노면 위 4.5[m]이상의 벽면과 천장에 설치하여 조명기구의 높이, 광축의 변화 및 벽면 또는 터널 중앙으로 위치의 변화를 주어 계산 및 측정을 시행한다.

설계속도가 100[km/h]인 고속도로 터널의 기본조명을 기준으로 각 대상별로 그림 3과 같은 조명률을 갖는 조명기구(형광램프 FHF 32EX-W 3등용, 9,300[lm])로 조도를 계산하여 설치간격을 산정한 후 시뮬레이션을 시행하여 노면휘도(최소, 최대, 평균 휘도, 종합균제도 및 차선축균제도) 및 벽면휘도(최소, 최대, 평균휘도)를 측정하여 휘도비를 구한다.

2.2 터널내 시설물의 조사

터널에는 환기, 방재, 통신시설 등 여러 가지의 시설물이 설치되므로 상호간섭이 발생하지 않도록 미리 조사를 한다.

가. 환기용 Jet fan

- 나. 가변차로 신호등
- 다. 터널내 전광판
- 라. 도로표지
- 마. 기타 특별한 시설물

2.3 규정에 따른 기준 검토

기본부조명의 측정지점은 표준 3구간을 설정하고, 전체 점등시 그림 1과 같이 차선내의 각 점을 측정하여 제반규정의 기준값 이상이 되도록 검토한다.

- 가. 기준휘도(설계 속도에 따른 평균노면휘도)
- 나. 휘도비(벽면의 평균휘도/평균노면휘도)
- 다. 종합 균제도(최소휘도/평균노면휘도)
- 라. 차선축 균제도(최소휘도/최대휘도)
- 마. 설치 높이 및 건축한계

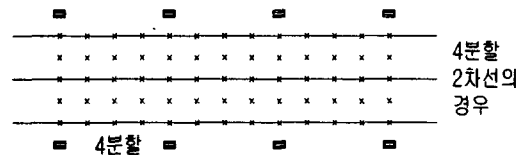


그림 1. 기본부조명의 측정 점

Fig. 1. Light measurement point in basic lighting

2.4 적절한 배광의 조명기구 선택

가. 터널형상 및 조명기구의 설치위치에 따른 적합한 배광을 갖는 조명기구 선택

나. 실제 배광측정을 한 Data 적용

형광등 FHF 32EX-W 3등용 9,300[lm]
IESNA(LM-63-1995)

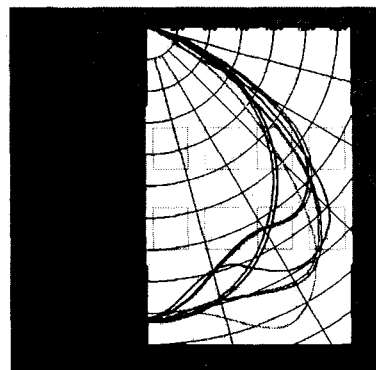


그림 2. 조명기구의 배광곡선

Fig. 2. Light distribution curve of a luminaire

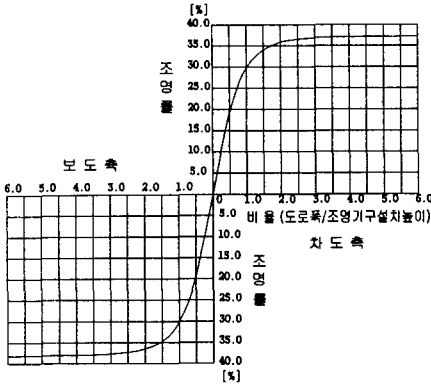


그림 3. 조명기구의 직사조명률 곡선
Fig. 3. Direct utilization factor curve of a luminaire

2.5 조명기구의 설치 위치

조명기구의 설치에 그림 4와 같은 제원의 편도2차로 고속도로 터널에 노면 위 4.5[m]이상으로 건축한계에 접촉되지 않는 위치의 벽면과 천장에 그림 5와 표 1과 같이 설치하여 계산 및 시뮬레이션을 한다.

- 가. 차도 폭 : 7.2[m] (전폭 : 11.9[m])
- 나. 터널높이 : 7.37[m]
- 다. 노면 재질 : 콘크리트 포장 (반사율 25[%])
- 라. 벽면 재질 : 백색타일 3[m] (반사율 60[%])

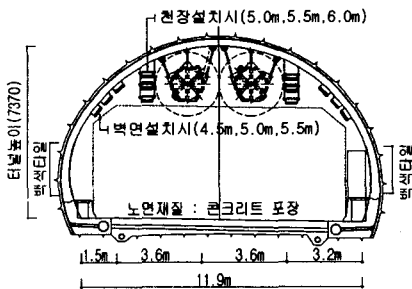


그림 4. 터널의 제원
Fig. 4. Shape of Tunnel

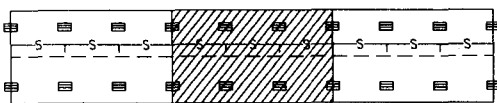


그림 5. 조명기구의 설치
Fig. 5. Arrangement of a luminaire

표 1. 조명기구의 설치간격
Table 1. Mounting space of luminaire

설치위치	벽 면			천 장 면		
설치높이[m]	4.5	5.0	5.5	5.0	5.5	6.0
설치간격[m]	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6
설치수량	조명기구는 그림 5와 같이 2열 10구간(20등)을 설치하여 시뮬레이션을 하였고 제시한 값은 빗금 친 부분(3구간)의 값이다.					

2.6 평균노면휘도

터널내의 기본조명은 터널내를 주행하는 자동차의 운전자가 안전하고 쾌적하게 주행하게 하기 위하여 주행에 위험을 일으키는 물체를 그 주행속도에 따라 충분한 안전시거리에서 판별하고 시인할 수 있는 최저의 조건으로서 필요하며, 설계속도에 따른 정상주행을 확보하기 위해서는 일반적으로 100[m]당 50[%]정도의 공기의 투과율이 필요하고 설계속도에 따라 표 2와 같다[1][2].

표 2. 기본부조명의 평균노면휘도
Table 2. Average road surface luminance of basic lighting

설계속도 [km/h]	평균노면휘도 [cd/m ²]
100	9.0
80	4.5
60	2.3
40	1.5

노면휘도의 측정범위는 그림 6과 같이 전방 60[m]에서 160[m] 범위 차도의 마른 노면으로 한다.

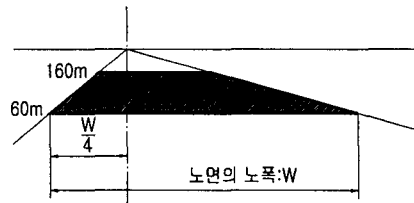


그림 6. 노면휘도의 측정
Fig. 6. Measurement of road surface luminance

2.7 벽면휘도

운전자가 터널내를 안전하고 쾌적하게 주행하기 위해서는 노면휘도만이 아니라 벽면, 천장면도 포함한 밝기의 균형을 적절히 시행하여 양호한 시각 환경을 터널내에 만들어 내는 것이 필요하며 장애물의 식별에 있어서는 경제성을 고려하여 노면 위 2[m]높이까지는 벽면의 평균휘도가 평균노면휘도의 1.5배 이상으로 한다[1][2].

2.8 시뮬레이션 프로그램의 특성

- 가. Lightscape program은 모든 면을 완전 확산면으로 가정하므로
- 나. 노면의 경면반사특성을 고려할 수 없다.
- 다. 경면반사의 영향에 대해서는 추후과제로 남겨둔다.

3. 시뮬레이션 결과 및 검토

3.1 벽면설치의 높이변화에 따른 조명변화

건축한계에 접촉되지 않는 위치에서 조명기구를 벽면에 직접 설치할 때 높이를 4.5, 5.0, 5.5[m]로 변화를 주어 계산 및 측정을 시행한 결과 높을수록 조명률 및 휘도비가 증가하였다.

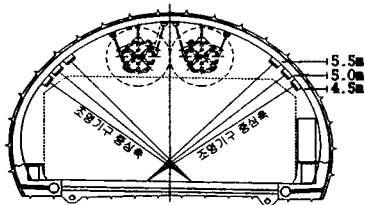


그림 7. 조명기구의 설치높이
Fig. 7. Mounting height of luminaire

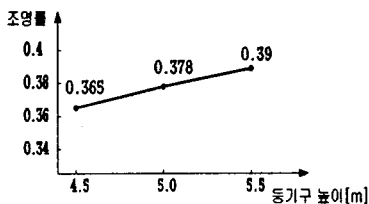


그림 8. 조명률의 변화
Fig. 8. Variation of utilization factor

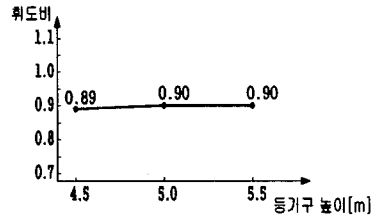


그림 9. 휘도비의 변화
Fig. 9. Variation of luminance ratio

표 3. 조명의 변화
Table 3. Variation of lighting

설치높이	4.5[m]	5.0[m]	5.5[m]
설치기준	조명기구를 벽면에 직접 부착할 경우		
조명률	0.365	0.378	0.390
벽면휘도/노면휘도	0.89	0.90	0.90
종합균계도	0.868	0.878	0.727
차선축 균계도	0.722	0.771	0.658

3.2 벽면4.5[m]설치에서 광축 변화에 따른 조명의 변화

건축한계에 접촉되지 않는 위치에서 조명기구를 벽면의 4.5[m]에 설치하여 광축을 1.5[m]간격으로 변화를 주어 계산 및 측정을 시행한 결과 조명기구의 광축을 가까운 차로로 기울일수록 조명률 및 휘도비가 대체로 증가하였다.

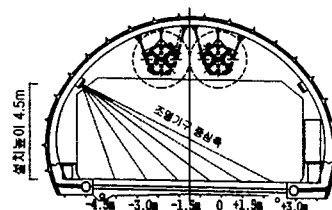


그림 10. 조명기구의 중심축의 위치
Fig. 10. Location of luminaire axis

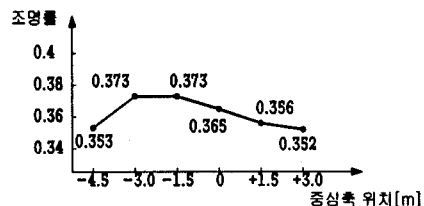


그림 11. 조명률의 변화
Fig. 11. Variation of utilization factor

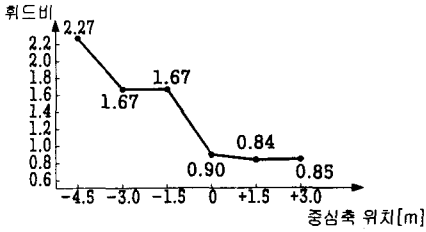


그림 12. 휘도비의 변화
Fig. 12. Variation of luminance ratio

표 4. 조명의 변화
Table 4. Variation of lighting

중심축위치	-4.5	-3.0	-1.5	0[m]	+1.5	+3.0
설치기준	조명기구를 벽면에 직접 부착할 경우					
설치높이	4.5[m]					
조명률	0.353	0.373	0.373	0.365	0.356	0.352
벽면휘도/노면휘도	2.27	1.67	1.67	0.90	0.84	0.85
종합균제도	0.897	0.792	0.852	0.868	0.770	0.617
차선축균제도	0.687	0.547	0.646	0.722	0.650	0.533

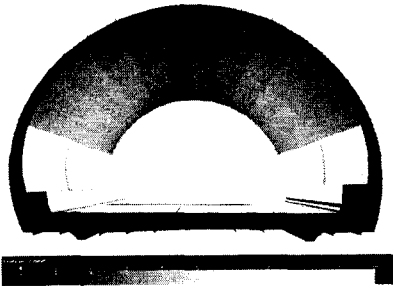


그림 13. 휘도 시뮬레이션 (단면도)
Fig. 13. Luminance simulation (section)

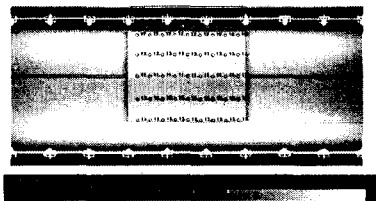


그림 14. 휘도 시뮬레이션 (평면도)
Fig. 14. Luminance simulation (plan)

3.3 천장설치의 높이변화에 따른 조명변화

터널의 설치 공간 중 Jet fan의 유효반경을 피하여 터널 중심에 가까운 위치(1차로의 중앙에서 벽면으로 0.5[m]를 이동한 위치)에서 조명기구를 설치할 수 있는 높이 5, 5.5, 6[m]로 변화를 주어 계산 및 측정을 시행한 결과 높을수록 조명률이 감소하고 휘도비는 증가하였다.

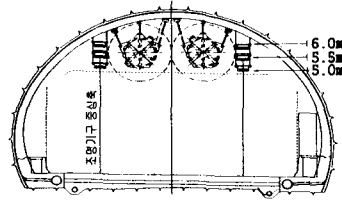


그림 15. 조명기구의 설치높이
Fig. 15. Mounting height of luminaire

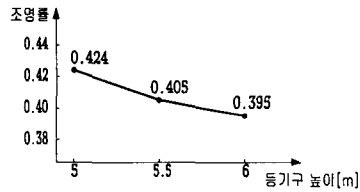


그림 16. 조명률의 변화
Fig. 16. Variation of utilization factor

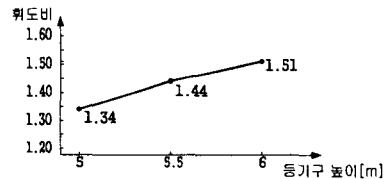


그림 17. 휘도비의 변화
Fig. 17. Variation of luminance ratio

표 5. 조명의 변화
Table 5. Variation of lighting

설치높이	5[m]	5.5[m]	6[m]
설치위치	1차로 중앙에서 좌측 벽면으로 0.5m 이동		
조명률	0.424	0.405	0.395
벽면휘도/노면휘도	1.34	1.44	1.51
종합균제도	0.866	0.854	0.857
차선축균제도	0.792	0.793	0.813

3.4 천장설치의 위치에 대한 조명의 변화

5.5[m]의 설치 높이에서 조명기구를 벽면 또는 터널 중앙으로 위치를 변화하여 계산 및 측정을 시행한 결과 벽측으로 이동할수록 조명률은 감소하고 휘도비는 증가하였다

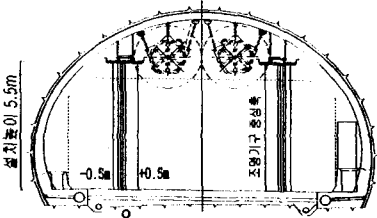


그림 18. 조명기구의 설치위치
Fig. 18. Mounting location of luminaire

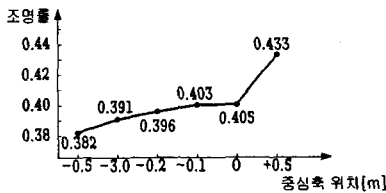


그림 19. 조명률의 변화
Fig. 19. Variation of utilization factor

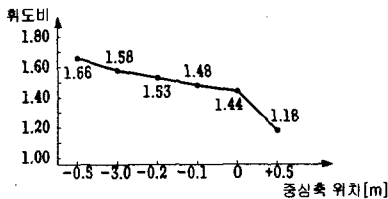


그림 20. 휘도비의 변화
Fig. 20. Variation of luminance ratio

표 6. 조명의 변화
Table 6. Variation of lighting

중심축위치	-0.5	-0.3	-0.2	-0.1	0[m]	+0.5
설치기준	Jet fan의 간섭을 피하여 1차로 중앙에서 좌측 벽면으로 0.5m 이동한 위치를 기준					
설치높이	5.5[m]					
조명률	0.382	0.391	0.396	0.403	0.405	0.433
벽면휘도/노면휘도	1.66	1.58	1.53	1.48	1.44	1.18
종합균제도	0.899	0.877	0.868	0.861	0.854	0.830
차선축균제도	0.828	0.809	0.802	0.797	0.793	0.794

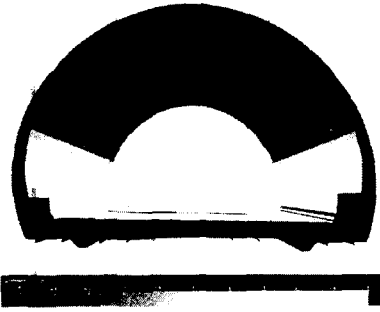


그림 21. 휘도 시뮬레이션 (단면도)
Fig. 21. Luminance simulation (section)

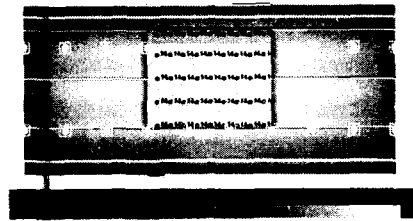


그림 22. 휘도 시뮬레이션 (평면도)
Fig. 22. Luminance simulation (plan)

3.5. 결 과

터널형상에서 건축한계에 접촉되지 않는 위치의 벽면 및 천장에 설치하여 계산 및 시뮬레이션을 시행한 결과 다음과 같다.

- 가. 벽면에 직접 설치하여 높이변화에서는 높을수록 조명률 및 휘도비가 증가한다.
- 나. 벽면 4.5[m]에 설치하여 광축위치의 변화에서는 조명기구의 광축을 가까운 차로로 기울일수록 조명률 및 휘도비가 대체로 증가한다.
- 다. 천장에 설치하여 높이변화에서는 높을수록 조명률이 감소하고 휘도비는 증가한다.
- 라. 천장 높이 5.5[m]에서 위치를 좌우로 변화하여 벽측으로 이동할수록 조명률은 감소하고 휘도비는 증가하는 것을 알 수 있다.

4. 결 론

조명기구를 천장에 설치하면 유지관리 면에서 다소 불리하고, Jet fan, 가변차로신호등 및 도로표지판 등에 의한 장애가 발생할 수 있으므로 상호간섭이 발생하지 않도록 주의하여야 한다.

본 논문에서 제시한 터널의 형상에서는 조명기구를 벽면에 설치하는 것보다 천장에 설치하는 것이 균제도가 균일하고 조명이 높아 경제적이며 휘도비도 대체로 좋다. 천장 5.5[m]에 설치하여 Jet fan의 간섭을 피하는 1차로 중앙에서 좌측 벽면으로 0.7[m]로 이동한 위치가 기준에 따른 종합균제도(0.4 이상), 차선축균제도(0.7이상) 및 휘도비(1.5이상)가 최적의 위치인 것으로 나타났다. 따라서 비슷한 형상의 2차로 터널에서는 벽면에 설치하는 것보다 천장에 설치한 이 위치를 중심으로 좌우로 위치를 조금만 조정하면 최적의 조명기구의 위치를 용이하게 찾을 수 있을 것으로 판단되며, 또한 형상은 다르지만 3, 4차로 터널에서도 이와 같은 방법으로 접근하면 최적의 조명기구 위치를 찾을 수 있을 것이다.

이 연구에서는 거의 대칭배광에 가까운 조명기구를 시행하였으나 앞으로는 비대칭배광 또는 고압나트륨램프 조명기구의 배광에 대해서도 연구하여야 할 것이다.

References

- [1] Ministry of construction & Transportation, "도로 터널 시설 설계 기준연구", pp. 41~47, December, 1995.
- [2] Korea Industrial Standard, "KS A 3703 터널조명기준" p. 4 October, 1992.
- [3] Ministry of construction & Transportation, "도로 안전시설 설치 및 관리 지침", p. 60 September, 1999.
- [4] The Japan Highway Incorporated Association, "道路照明施設設置基準・同解説", pp. 65~68, April, 1982.
- [5] The Japan Highway Public Corporation, "設計要領", 7th Edition, pp.15-5-3~15-5-6, April, 1991.

◇ 저자소개 ◇

한완모 (韓完模)

1957년 8월 15일생. 2002년 2월 서울산업대학교 전기공학과 졸업. 현재 동대학원 전기공학과 석사과정. (주) 신우디엔시 전무

장우진 (張禹鎭)

1956년 5월 13일생. 1979년 2월 서울대학교 전기공학과 졸업. 1989년 동대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 서울산업대학교 전기공학과 교수. 본 학회 부회장.

이인환 (李仁煥)

1973년 11월 28일생. 1999년 2월 서울산업대학교 전기공학과 졸업. 현재 (주) 신우디엔시 과장.