

Computer Simulation Program을 이용한 터널조명설비의 설계

(The Tunnel Lighting Design Using a Computer Simulation Program)

박상훈* (주)신우설계

장우진 서울산업대학교 전기공학과

(Sang-Hoon Park · Woo-Jin Jang)

Abstract

도로터널 조명설비의 합리적인 설계로 도로터널의 안전한 교통운행 확보와 쾌적한 운전 환경을 위하여 Computer Simulation Program을 이용하여 최적의 터널조명환경을 조성하고 그 결과를 분석·검토하여 설계에 적용하고 조명설비 공사에 반영하며, 발생하는 문제점과 그 대책을 제시하고자 한다.

1. 서 론

최근 Computer Simulation Program을 이용한 조명설비 설계의 적용과 활용이 적극적으로 요청되며 그 필요성이 점차 증가하는 추세이다. 조명 Simulation Program은 그 결과를 직접 눈으로 볼 수 있어 직관적 해석이 가능하고, 설계 계산서, Data 및 설계도에 의한 수식적, 평면적 설계도서에서 탈피하여 공사 완료 후의 현장감까지를 확인할 수 있으며, 특히 터널조명설비 설계계산서에 의한 단순한 조명기구의 배치 등의 설계작업에서 벗어나 설계과정의 예기치 못한 실수로 인한 설계 오류 및 입력 정보의 결함을 설계자가 사전에 인식하여 수정의 기회를 제공하는 장점이 있다. 이에 터널조명설비의 개요와 조명 Simulation Program을 이용한 결과를 분석하고 검토하고자 한다.

2. 터널조명설비의 개요

2.1 터널조명설비의 목적

터널을 통과하는 운전자 시야의 밝기가 급격히 저하하여도, 안전하고 원활한 운행을 할 수 있도록 하며, 충분히 떨어진 지점부터 안전운전에 필요한 시각정보를 얻을 수 있고, 쾌적한 시(視) 환경이 확보되도록 하여야 한다. 그러므로, 터널조명설비는 급격한 밝기의 변화에 순응할 수 있는 충분한 조명과, 운전상 필요한 충분한 시각 정보가 얻어지고 불쾌한 눈부심이나 반짝임이 없어 안심하고 운전을

할 수 있으며, 선형 유도성이 확보될 수 있도록 하여야 한다.

2.2 터널조명설비의 필요성

교통수송 기능의 향상과 터널내부의 특수한 조건에 의한 교통 기능 저하의 경감, 터널 내 또는 외부로 주행시 운전자의 시각 평형상태의 유지 및 터널 내 공기의 오염에 의한 투과율 저하에 따른 교통장해방지대책 등이 고려되어야 한다.

2.3 터널조명설비 설계의 고려사항

터널조명설비는 일반도로의 조명과는 달리 주간에도 조명이 필요하고 주위가 구조물로 제한되어 주행 시 특히 주의를 해야하는 특수성을 가지고 있다. 따라서 터널조명설비 계획에 있어서 노면휘도 등의 기준을 고려하고, 설계속도, 교통량, 구배 및 선형 등에 적합한 안전성과 쾌적성을 얻기 위해 충분한 검토가 필요하다. 터널조명설비에 관해서는 국제조명위원회(CIE)에서 국제적인 추천기준을 권고하고 있다.

2.4 터널조명설비의 기본

2.4.1 구 성

터널조명은 다음과 같이 터널 내에 설치하는 조명과 접속도로의 조명으로 구분되며, 터널내에 설치하는 조명설비는 그 기능에 따라 입구부조명, 기본부조명, 출구부조명 및 비상조명설비로 구성된다.

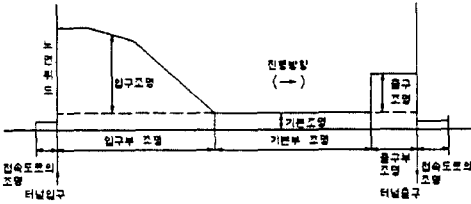


그림 1 일방교통인 경우 터널조명설비의 구성
Fig.1 Construction of tunnel lighting system for a one-lane road

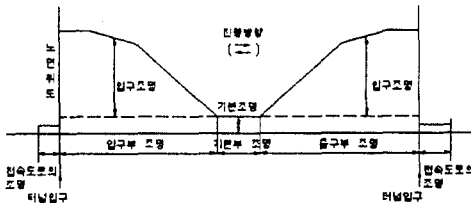


그림 2 대면교통인 경우 터널조명설비의 구성
Fig. 2 Construction of tunnel lighting system for a both sides-lane road

2.4.2 터널 입구부의 조명

자동차가 주간의 대단히 휘도가 높은 야외로부터 암흑에 가까운 터널에 진입할 때, 운전자의 눈은 급격한 휘도 변화와 암순응의 지연으로 터널 내를 잘 볼 수가 없게 되어 사고의 유발이 우려된다. 따라서 터널 입구의 조명은 “블랙홀” 현상과 암순응의 지연을 감소시키기 위하여 야외 휘도와 터널의 설계속도에 맞는 입구부 조명을 한다.

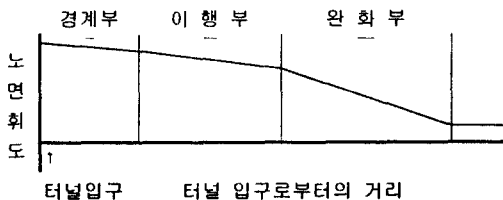


그림 3 터널 입구부 조명의 구성
Fig. 3 Construction of tunnel entrance lighting system

1) 경계부의 노면휘도

터널 경계부의 노면휘도는 자동차가 터널의 입구로부터 시인거리만큼 떨어진 점에서 식별할 정도의 밝기가 필요하며, 터널입구 부근 운전자의 시야 상황에 따라 정해지는 야외 휘도의 연간 출현빈도를 고려하여 설정되는 값에 설계속도에 따라 정해지는 계수를 곱한 값으로 결정된다.

2) 이행부의 노면휘도

이행부는 자동차가 실제로 터널 내에 진입하기 전, 시각적으로 터널의 장애물을 식별하기 위해 필요한 휘도를 주는 부분으로 운전자는 터널에 접근함에 따라 눈의 순응 휘도가 감소하며 배경의 소요 휘도도 감소하게 되므로 이행부의 노면휘도는 경계부의 노면휘도 값을 기준으로 하여 터널입구부터의 거리에 따라 감소한다.

3) 완화부의 노면휘도

완화부는 자동차가 터널에 진입한 후, 시거만큼 전방에 있는 장애물을 보기 위해 필요한 배경 휘도를 주는 부분으로 경계부의 노면휘도 값을 기준으로 하여 터널 입구로부터의 거리에 따라 감소시켜 기본조명에 접속한다.

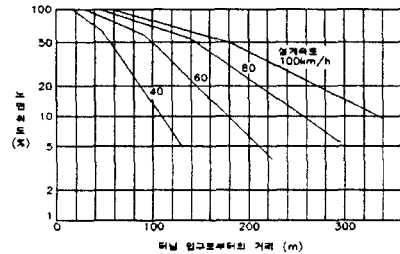


그림 4 터널 입구부의 노면휘도
Fig. 4 The road surface luminance of tunnel entrance

2.4.3 터널 기본부의 조명

터널 기본부의 조명은 터널 내의 운전자가 안전하고 쾌적하게 주행할 수 있도록, 도로상에 있는 장애물을 주행속도에 따른 충분한 거리에서 시인할 수 있는 밝기로 터널전체에 걸쳐 조명기구를 일정한 간격으로 배치하여 조명한다.

1) 조명기구의 설치

터널 조명기구는 일반적으로 양 측벽 상부 또는 천장의 건축한계 밖에 설치하며, 터널조명기구의 설치 높이는 터널 조명기구의 배광특성에 따라, 기본부 노면휘도의 분포를 양호하게 유지하기 위하여

적정한 높이 이상에 설치한다.

2) 조명기구의 설치간격

조명기구의 설치간격(S)은 노면·벽면의 휘도 균제도를 결정하며, 노면의 휘도 분포는 조명기구의 설치 높이가 높을수록 설치간격을 적게 할수록 균일하므로 적합한 휘도 분포가 확보되도록 한다.

3) 조명기구의 배열

조명기구의 배열은 조명기구의 배광, 노면의 휘도 분포, 플리커현상, 선형 유도효과, 야간의 감광, 유지 보수 및 경제성을 고려한 최적의 배열을 선택한다.

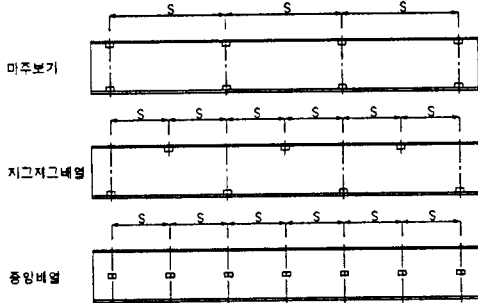


그림 5 조명기구의 배치방법
Fig. 5 Arrangement method of luminaires

4) 조명기구의 설치 간격과 플리커현상

운전자가 느끼는 플리커현상은 터널 내를 주행할 때 불연속적인 조명기구의 설치로 운전자 시각의 명암 변화 때문이므로 터널 내 조명기구의 설치간격은 터널의 길이와 설계속도에 따른 플리커현상에 의한 불편감이 없도록 한다.

2.4.4 터널 출구부의 조명

주간에 운전자가 터널 내를 주행하여 터널의 출구에 가까워지면 출구의 개구부가 대단히 밝게 보여 입구와는 반대로 “화이트 홀”로 보이는 것 같은 현상이 일어난다. 이때, 교통량이 많거나 차량간격이 짧은 경우 큰 자동차 배후를 따르는 자동차는 장애물의 식별이 저하하게 되므로 터널의 출구부 조명은 이를 보완하기 위해 선행 차량의 뒷면을 밝게 하기 위하여 출구 부근에 조명등을 추가 설치한다.

3.비 상 조명

터널 내에서 갑자기 정전이 되면, 선행하는 자동차와의 차량 간격이 충분하지 않을 때 충돌의 우려가 있고, 또 차도의 폭이 좁은 터널의 대면 교통인 경우 반대측 차와 충돌할 위험성이 있으므로 자동차 운전자에게 심리적인 불안감 방지와 사고 예방을 위한 정전시 전용 비상조명의 설치가 필요하다.

4. 조명기구

4.1 광 원

광원의 선택에 있어서 광속, 효율, 수명, 광색, 안정기, 기구 설치장소의 환경조건 및 경제성에 대해 조명에 필요한 일반적인 사항을 검토함과 동시에 터널조명설비로서 다음과 같은 특수성을 고려한다.

- 1) 주위가 폐쇄된 공간이므로 쾌적성을 고려
- 2) 조명기구의 설치위치나 그 크기의 제한
- 3) 배기 가스에 의한 빛의 투과율이 저감
- 4) 높은 레벨의 터널입구 조명이 필요

4.2 안 정 기

안정기의 양부는 램프의 효율과 수명에 직접적인 영향을 미치므로 사용하는 램프의 종류나 용량에 적합한 것을 사용하며, 조명을 설치하는 장소의 전원상황 및 경제성을 고려하여 적절한 안정기를 사용하여야 한다.

4.3 조명기구

터널 조명기구는 사용하는 광원의 광속이 효율적으로 터널 내에 방사되고, 램프를 유해한 매연이나 물로부터 보호하고 장수명으로 그 성능을 발휘시킬 수 있는 것으로서, 광원의 종류나 조명기구의 설치장소 및 설치방법 등을 고려하여 선정하며, 특히 터널조명설비에 적합한 배광특성을 갖고 있는 것 중 방수형으로 설치한다.

5.조명계산

터널조명설비를 위해 조명기구의 배치나 조도를 얻기 위한 계산은 상호 반사분을 고려하기 때문에 광속법으로 계산한다.

5.1 조명계산식

$$\frac{F}{S} = \frac{W \times K \times L}{X \times M \times M}$$

- F : 광원의 광속[lm] W : 차도폭[m]
- U : 조명률 M : 보수율
- K : 평균조도 환산계수[lx/cd/m²]
- L : 노면휘도[cd/m²]
- S : 조명기구의 간격[m]
- N : 조명기구의 배열 수
- 대칭배열 : 2
- 지그재그 및 중앙배열 : 1

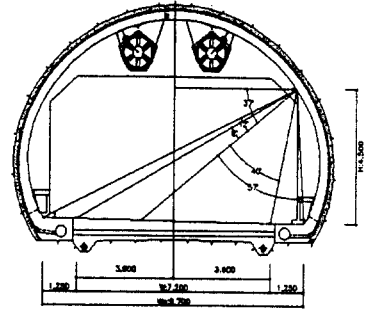


그림 6 터널형태 및 조명기구의 배치 예
Fig. 6 Example of tunnel construction and arrangement of luminaires

5.2 평균조도 환산계수

단위 노면휘도를 얻기 위해 필요한 평균 노면조도의 값으로, 노면의 반사특성과 조명기구의 배치 및 배광에 의하고 이들 조건에 따라 거의 일정한 값으로 되는 것이 계산 및 실측으로 확인되어 있다.

표 1 조도환산계수(K)

Table 1 The conversion constants of average illuminance (K)

노면의 종류	평균조도환산계수 [lx/cd/m ²]
아스팔트	18
콘크리트	13

5.3 보수율

조명설비를 설치한 후 램프의 광속저하, 조명기구의 오염, 벽면 및 천장 면의 오염 등에 의하여 평균 노면휘도가 설치 초기의 값보다 감소하는 비율을 나타내는 계수이다.

6. 조명 Simulation Program에 의한 설계

6.1 설계 입력

6.1.1 Simulation의 적용

- 1) 대 상 : 수인터널 등
- 2) Simulation Program : Lightscape Visualization 3.01 (Lightscape Technologies, Inc.)
- 3) Modeling Program : Autocad R14

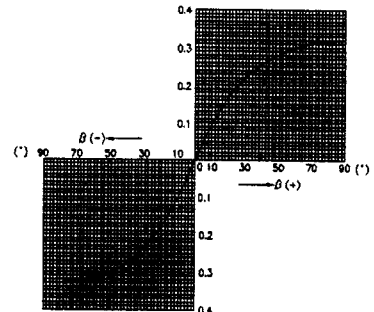


그림 7 조명기구의 직사 조명률 곡선
Fig. 7 Direct CU curve of luminaire

6.1.2 Modeling 과정

- 1) 적용 대상 터널의 단면 구조도 검토
- 2) 설계 요구 사항 및 적용 조명기구 검토
- 3) 적정 조도 및 노면 휘도의 결정
- 4) 적정 보수율 선정
- 5) 선정 조명기구의 조명률 조사
- 6) Layer 및 Block 생성
- 7) 3D 작업에 의한 터널 3차원 도면 작성
- 8) .dwg File을 .dxf File로 변환·저장

6.1.3 Simulation 과정

- 1) .dxf File을 불러들여 초기화 작업
- 2) IES Data가 적용된 광원의 특성을 정의
- 3) 보수율의 적용을 위한 광학특성 고려
- 4) 피조면 재질에 반사율 및 투과율 부여
- 5) 조명기구의 조사방향을 선정하고 부착위치 결정
- 6) 조명 Simulation Program 수행
- 7) Simulation 수행 결과를 분석하고 설계 요구조건

및 제반 규정과 적합 여부 판정
8) 최적의 설계를 위한 조명기구의 배치 간격 조정

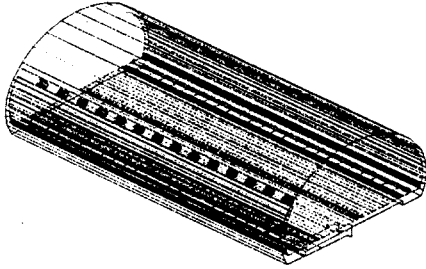


그림 8 터널의 3차원 모델링 작업
Fig. 8 3D modeling of a tunnel

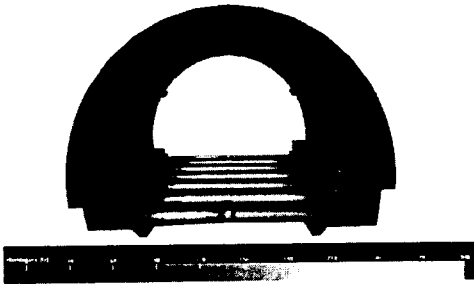


그림 9 터널의 기본부조명 시뮬레이션 결과
Fig. 9 Solution of basic part lighting of a tunnel

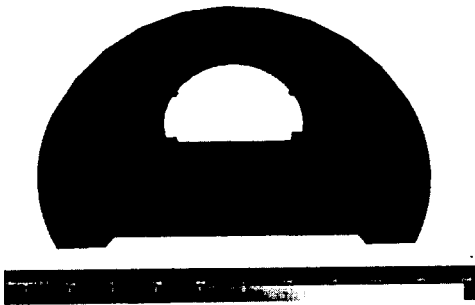


그림 10 터널의 입구부조명 시뮬레이션 결과
Fig. 10 Solution of entrance lighting of a tunnel

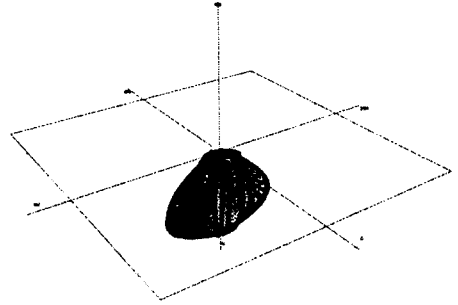


그림 11 조명 시뮬레이션 해석에 사용된 IES 데이터
Fig. 11 Used IES data for lighting simulation analysis

6.1.3 Simulation 결과 분석

- 1) 조명기구의 설치 위치에 따른 조사 방향 검토
- 2) 기준 조도 및 요구 휘도에 적합 여부 판정
- 3) 조명기구 설치 간격·수량 검토
- 4) 설계조건에 적합한 배치 결정
- 5) 관련 규격·기준 등 제반사항 준수 여부 검토

6.2 문제점과 대책

국내에서 생산되는 조명기구는 배광특성을 측정 한 것이 거의 없어서 설치되는 조명기구의 배광특성과 서로 다른 배광곡선표 등을 이용하여 설계자료로 적용하는 실정이다. 더욱이 피조면의 재질에 적합한 광학적 특성인 마감 재료의 반사율 등의 Data가 부족하여 정확한 조명해석이 되지 않으며, 특히 한국산업규격 등에 조명기준을 휘도 단위로 명시하고 있으나 본 논문에 사용된 조명 Simulation Program에서는 피조면을 완전확산면으로 취급하여 조도 계산은 정확한 결과를 보이나 휘도 계산 결과는 도로·터널조명기준과 다른 것으로 판단된다.

이러한 문제점을 해결하기 위하여 조명기구 제조업체는 생산되는 조명기구의 배광특성을 측정하여 제시하고, 설계자는 적합한 조명기구의 배광특성을 선정하여 조명계산을 하여야 하며, 또한 Computer Simulation Program 등에 의한 정확한 조명설계를 수행하기 위하여 마감재료의 광학적 특성의 조사 및 자료 공개 등의 기반환경의 조성이 필요하다.

7. 결 론

현재 공사를 진행중인 터널공사 설계와 장차 도로터널 전기설비 설계를 수행하는 경우 도로터널 조명설비는 기존의 광속법에 의한 설계계산과 병행하여 조명 Simulation Program의 결과를 검토하여 최적의 설계품질을 유지하고 시공 완료 후 조도 및 휘도 측정을 통하여 조명 설계의 적합성 여부를 검증하며 그 결과를 설계에 반영하여 조명 환경의 계속적인 발전에 기여하고자 한다.

참 고 문 헌

- 1) 한국산업규격, “조도기준 KS A 3011-1993”
- 2) 한국산업규격, “터널조명기준 KS A 3703-1992”
- 3) 건설교통부, “도로터널 조명시설의 설계기준-1996”
- 4) 한국도로공사, “고속도로 조명시설 개선방안에 관한 연구”, 1997, pp.97~169
- 5) 한국조명·전기설비학회, “도로조명의 최신기법”, 1998, pp.51~79
- 6) 서울특별시, “도로기전시설물 유지관리 요령”, 1999, pp.157~275
- 7) 국제조명위원회 기술보고서, “터널도로와 지하차도 조명 안내서”, 1990
- 8) Lightscape Technologies, Inc., “Lightscape Visualization System Version 3 for Windows NT and Windows 95 Tutorials & User's Guide”, 1996