

고속도로 터널의 시각순응시설

이 미 애<(주) i-Light 조명연구소 소장> · 이 성 기<(주) 대우건설 토목기술 1팀 과장>
한 신 인<(주) 대우건설 토목기술 1팀 과장>

1 도입배경

도로주행시 개방구간에서 급격히 터널구간(폐쇄공간)으로 진입할 시 심리적 중압감에 의한 교통저항이 발생하게 된다.

또한 터널 진출입시 인체의 생리적 명순응 및 암순응 감지 시간 경과시까지 운전자의 시각장애 현상(흔히, 블랙홀, 화이트홀 현상이라 불리어짐)이 발생하여 이러한 교통저항을 가중시키게 된다.

실제로 고속도로 운전자의 66% 이상이 터널 진입 시 속도를 줄이고 있으며, 차량사고의 상당부분이 터널 전방에서 발생되고 있는 것으로 보고 되고 있다.

이에 대한 대책으로, 터널 진입전 개방구간에서 폐쇄구간으로의 점이구간을 두어 심리적 중압감을 경감하고, 자연광을 이용, 투과율 조절에 의한 명순응 및 암순응 유도로 시각장애 요인을 해소함으로써, 심리적 또는 신체적 장애요인에 의한 교통사고를 방지하며, 터널 조명에 관련하여서는 입구부의 집중 조명 구간을 축소함으로써 조명시설비 및 유지관리 전력비를 절감할 수 있는 순응시설의 도입을 검토하고자 한다.

2 터널의 시각순응시설 설치필요성

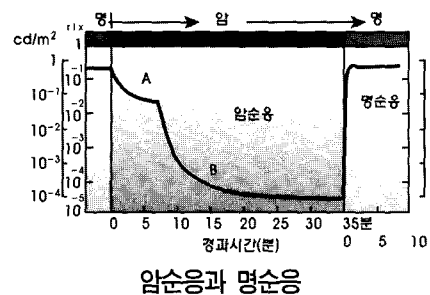
고속도로 주행시 시야가 급격히 어두워지거나 또는

반대로 밝아지든가 할때에는 일시적으로 불쾌감을 느낌과 동시에 물체를 보기가 저하한다. 이것은 눈의 휘도順應이 明度변화에 충족하지 못하기 때문에 일어난다.

눈의 輝度順應은 어두움에서 밝음으로 이행할 때에는 빠르고, 밝음에서 어두움으로 이행할 때에는 늦은 것이 특징이다. 이는 우리의 눈이 빛을 느끼는 두종류의 시세포 즉, 추상체와 간상체를 가지고 있기 때문이다. 추상체는 중심시력으로서 명소시에 작용하며, 간상체는 주변시력으로서 암소시에 작용한다.

어두운 장소에서 암소시가 되면 중심시력이 주변보다 저하한다. 이와같은 현상에 의해 명순응과 암순응의 시간이 차이가 나게 되는 것이다.

조명에서 특히 문제가 되고 있는 것은 터널의 출입구 조명이다. 눈의 휘도 순응에 따라서, 명암변화를 완만하게 하는 수법이 실시되어 이를 緩和照明이라고 한다.



이러한 시설을 視覺順應施設이라 하며, 이는 도로주

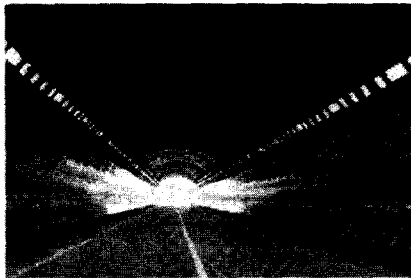
행시 터널의 진입시점에서 발생하는 운전자의 원활한 視環境에 의한 안전운전을 위하여 설치되는 시설물이다

자연광상태인 Sky-light와 Sun-light의 밝기가 인공조명밝기의 차이에서 발생하는 부적절한 시환경 즉, 터널진입시 발생하는 Black hall 현상과 터널출구에서 발생하는 White hall(실루엣현상)현상에 의한 시인성이 떨어져 불안한 운전자의 심리에 의한 충격현상이 발생하여 교통용량을 저감시키고, 교통사고 발생 요인이 된다.

참고로 KSA의 터널조명 기준의 자료에 따르면 야외휘도가 2000cd/m이며, 터널경계부는 210cd/m으로 그 차이가 1/10값으로 기록되어 있다.

3. 관련이론

시각순응시설을 함에 있어 NEW EDITION LIGHTING DATA BOOK 의 제 1편 光과 色 제3장 照明의 心理 그림1.28에 나와 있는 암순응 감지시간에 의해 조도순응길이를 찾을 수 있게 된다.



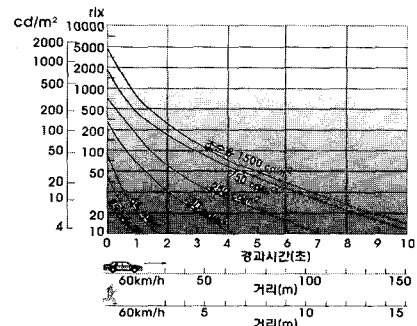
화이트홀 현상



블랙홀 현상

일반적인 야외휘도 1500(nt)에서 9(nt)까지의 순응시간이 8초로 나와, 우리나라 고속도로에서의 터널의 순응길이는 222m가 된다.

다음은 출구부에서 나타나는 명순응에 관하여 일본의 LIGHTING HANDBOOK의 내용 제3장 光과 視覺 제3항 視覺의 視空間 特性에 표 3.18에 따르면, 명순응의 감지시간은 0.5초 내에서 3단계의 밝기를 주도록 되어 있다.



〈시력을 저하시키지 않고 어렵게 할 수 있는 한계〉

그러므로 출구부의 순응길이를 알 수 있으며, 이는 0.5초의 순응시간 즉, 13.9m의 순응구간이 필요하게 된다.

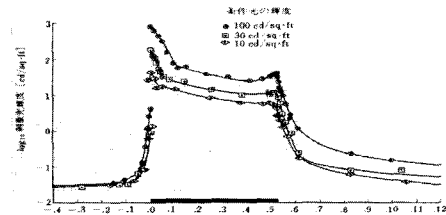


圖 3-18 クロフォードのメスギンダ關係. 条件光の値は524 lux (20 ft-candle), 刺激光の値は10 lux. 条件光の適應時間に対する刺激光の適應時間を示している(Crawford, 1947から)

4. 터널시각순응시설

(A) 개요

터널 주행시 급격한 조도변화에 따른 시각장애현상

으로 선행차 및 장애물인식과 속도감응의 어려움으로 인해 교통사고가 유발되며, 또한 주행속도 변화에 따른 위험으로 입구부의 물체인식불능과 더불어 출구부의 터널끝단에서 발생하는 눈부심 현상으로 운전자에게 불완전한 시환경을 제공하게 된다.

이러한 문제점을 해결하기 위하여 터널의 입구부와 출구부에 자연광을 이용한 시각순응시설을 한다. 이는 입구부의 시야휘도에서부터 터널의 경계부의 설계 휘도의 격차를 자연광을 이용한 순응시설로 대처하며, 더불어 일반 터널에 적용되는 입구의 경계부 기준휘도 및 조도를 낮게 설정할 수 있고 또한 완화조명 구간을 출입과 동시에 이를 기본조명으로 대신할 수 있으므로 전자 후자 모두 그 조명시설과 관리비를 절감시킬 수 있다.

따라서, 본 설계에서는 자연광을 이용한 시각순응시설을 설계함에 있어 운전자가 주행중 느낄 수 있는 시야휘도에서부터 인간이 주행시 감지할 수 있는 암순응과 명순응의 시간을 찾고, 그 결과에 의해 순응의 길이를 찾아낸다. 그리하여 설치 가능한 시설물의 길이를 정하여 가상의 시설물을 1/50 Scale로 축소모형을 제작하여 사계절의 주광변화와 하루중의 주광변화에 따른 야외휘도의 변화값 측정과 순응시설부 및 터널내부의 휘도분포도, 조도분포도 및 전반균제도를 측정한다. 이러한 결과치에 따라서 시각순응시설을 설계하는 기초자료로 만들고, 터널의 입출구부의 설계휘도, 조도를 선정하는 지표로 삼게 된다.

(B) 효과

도로터널 입구부에는 야외휘도의 높고 밝은부 보다 저조의 터널내의 진입하는 순간 터널내의 보이는 쪽의 식별능력의 저하를 보충하기 위해 고조도의 완화조명(입구조명)이 설치되어 있다.

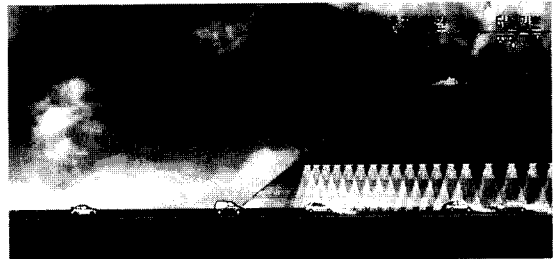
이 완화조명은 눈의 암순응에 따라서 서서히 조도를 저하시켜가는 것으로서 외부의 밝음에 설계속도에

의해서 그 규모(밝기, 길이)는 틀려서 특히 입구부에는 고휘도로 설정된다.

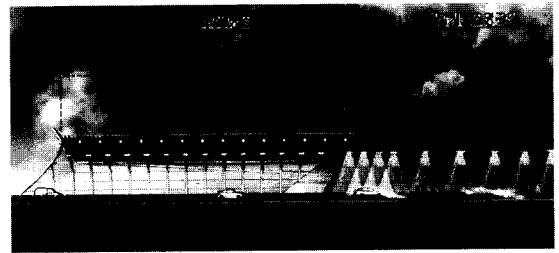
터널 입구 시각순응시설은 터널 갱구부 일사를 파하는 상태의 시설을 설치해서 낮중 조도의 저하를 측정해서 터널내의 설정해야될 완화조명을 대신할 수 있는 것이 되고 이것에 의해서 조명시설과 그 관리비의 절감이 계산된다.

- ▶ 자연광을 이용(고조도의 인공조명을 대용한다) 되는 것으로서 전기요금이 절약되고 경제적이다.

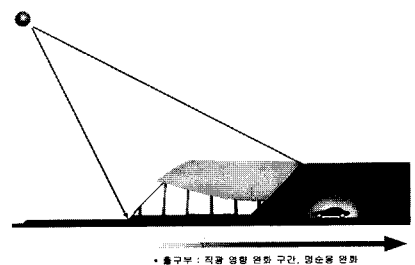
<인공조명방식>



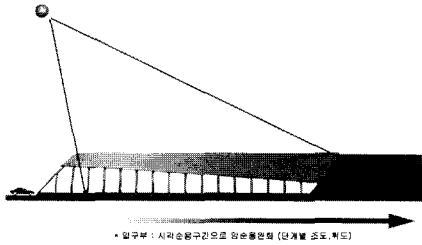
<시각순응시설조명방식>



- ▶ 터널 출고시 직사광 유입에 의한 운전자의 시각 불능글레이어현상을 감소시킬 수 있다.



- ▶ 자연광유입의 양의 조절에 의해 완화조명이 필요한 조도 콘트롤이 가능하다.



(C) 사례

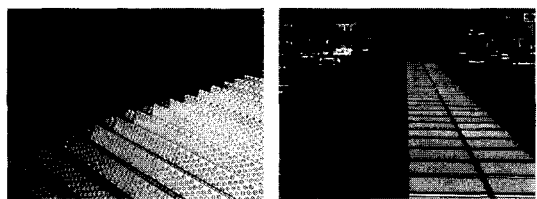
▶ 무자터널(일본)

무자터널의 순응시설은 무자터널의 갱구부에서 고가 다리위에 설치된 연장 220M의 자연광을 이용한 터널 조명시설이다.



▶ 성택터널(일본)

도로의 터널 출입구 인접한 터널간 반지하도로에서의 소음대책과 조명설비의 절약등을 목적으로한 터널이다.



▶ 오레슨드 터널(덴마크) ▶ 둔내터널(영동고속도로)

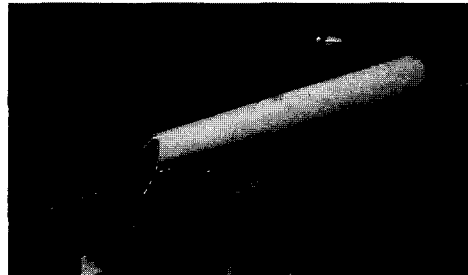


5. 터널의 순응시설 모형시험

(A) 모형물

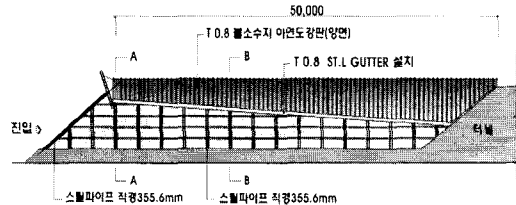
순응길이 222M에서 모형은 터널의 실제 예상규격 높이 7.8m 폭 12.6m 길이80M(순응시설 50m 터널부 30m)를 설정하여 스케일 1/50의 모형물을 만들어 테스트 하고자 한다. 순응시설은 투과량 유입을 단계별로 줄여서 유입하는 방법으로 디자인되었으며 이를 모형으로 제작하였다.

(B) 모형사진

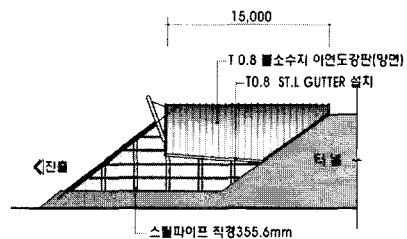


<축소모형의 모습(터널 출구 시설물의 경우)>

(C) 도면

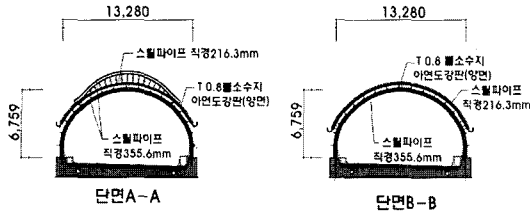


<터널 입구 시설물의 입면도>



<터널 출구 시설물의 입면도>

기술해설



〈터널 입·출구 시설물의 단면도〉

(D) 측정방법

바닥면의 조도를 측정하기 위하여 그림1과 같이 터널 출구 시설물의 경우 도로를 중심으로 6행 3열의 배치로 18곳, 터널 입구 시설물의 경우 그림2와 같이 3행 3열의 배치로 9곳에 각각 조도계를 설치하였다.

각 조도계의 행간 간격은 10m, 열간 간격은 3.6m로 각각 설치하였다. 그림3은 터널 입·출구 시설물의 배치에 따른 구분을 보인 것이다.

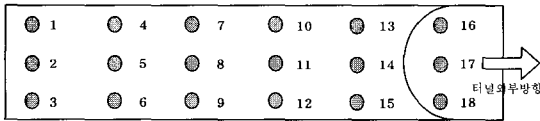


그림1. 터널 입구 시설물에서 조도계 설치위치 및 간격

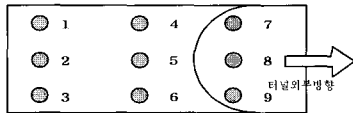


그림2. 터널 출구 시설물에서 조도계 설치위치 및 간격

(E) 모형측정시험

축소모형실험은 주변 건물의 반사성분을 최소화하기 위하여 본 연구기관 건물 최상층부 옥상에서 실시하였으며, 구름이 없는 청천공의 조건에서 실시하였다.

표1은 축소모형 실험시 각종 변수를 보인 것이며, 그림3은 축소모형 실험 모습을 보인 것이다. 또한 축소모형 실험 결과는 정량적이고 정성적인 분석을 위하여 표1의 각종 변수에 따라 바닥면 조도측정 및 터널 내부에서 외부로의 사진촬영을 실시하였다.

표1. 축소모형 실험시 각종 변수

변수명	내용
날 짜	춘추분(3/21,9/21), 하지일(6/21), 동지일(12/21)
시 간	9시, 10시, 11시, 12시, 13시, 14시, 15시
시설물의 배치	남동방향, 북서방향
시설물의 구분	터널출구 시설물, 터널입구시설물



실험모습1



실험모습2

(F) 시험결과

▶ 실험방법은 터널 입출구 시설물 아래 바닥면 조도와 터널내부에서 외부를 바라볼 경우의 사진촬영을 통한 분석방법으로 진행하였다.

▶ 조도 분석방법은 외부수평면 조도에 대한 터널 내부 실내 조도의 비를 나타내는 조도성분비를 이용하여 분석하였으며 실험결과를 비교한 결과 터널 내부에서 외부로 진입할수록 증가되는 조도성분비를 정량적으로 파악할 수 있었다

▶ 그림4-1~그림4-4는 해당 변수별 측정결과를 비교하여 보인 것으로 전체 결과를 분석한 결과 터널 입출구 시설물을 설치할 경우 운전자의 시각적 순응에 많은 도움을 줄 것으로 사료된다.

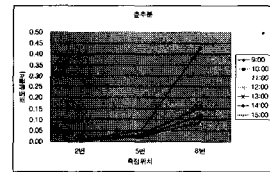


그림 4-1 북서방향 터널출구 시설물에서 시각별 중앙위치의 조도성분비 비교(3/21)

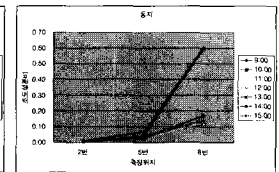


그림 4-2 북서방향 터널입구 시설물에서 시각별 중앙위치의 조도성분비 비교(12/21)

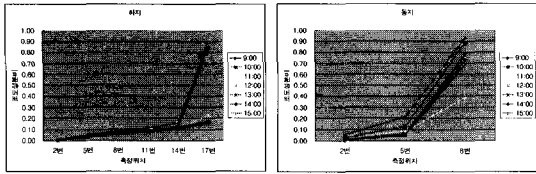


그림 4-3 남동방향 터널출구 시설물에서 시각별 중앙위치의 조도성분비 비교(6/21)

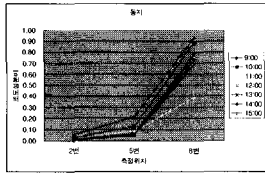


그림 4-4 남동방향 터널입구 시설물에서 시각별 중앙위치의 조도성분비 비교(12/21)

6. 결 론

터널의 야외휘도와 터널 내부의 휘도의 격차에 의해 발생하는 운전자의 불편한 시환경을 개선하기 위하여 종래에는 경관의 조형미를 가미한 차양막 형식의 구조물을 사용하여 왔다

그러나, 본 연구에서는 실질적인 완전한 순응시설을 만들기 위하여 인간이 감지할 수 있는 순응의 시간과 길이를 산정하여 시설물에 적용시켰다.

즉, 일반적인 고속도로 터널의 경우 368m의 터널 내부의 순응길이를 50m의 순응시설을 함으로써 터널내부의 순응구간을 172m로 줄일 수 있었다.

이는 1/50의 축소모형 제작을 하여 주광조도측정을 함으로써 앞서 제안한 내용을 검증할 수 있었다.

이러한 결과에 의해 첫째, 터널 주행시 발생하는 운전자의 불편한 시환경을 완전한 암순응에 의한 완화조명을 하여 쾌적한 시환경을 제공하게 되었으며 둘째, 터널 진출입시 발생하는 직사광 영향에 의한 시각 불능글래어 현상을 최소화하였고 셋째, 자연광 유입에 의한 순응시설물이 되게 함으로써 입구부의 고조도의 인공광을 줄일 수 있게 되어 에너지 절약과 함께 환경친화적인 시설물이 되었다.

따라서, 현재 우리나라 고속도로에서 적용되고 있는 갱구부 순응시설이 일반적인 경관 개념의 차양막이 아니라, 고속도로 이용자의 운전환경 개선을 위한 시각순응시설로서의 실질적 기능을 가진 필수적인 시설물로서 자리매김 할 수 있음을 검증하였다.

◇ 저 자 소 개 ◇



이미애(李美愛)

1963년

이화여자대학교 산업미술대학원 제품디자인 석사졸업

현 (주)아이라이트 조명연구소 소장

국립서울산업대학 조형대학 공업디자인과 겸임교수

서울특별시 건축위원회 위원

당학회 편수위원



이성기(李成基)

1962년

1988년 성균관대학교 토목공학과 졸업

현) 대우건설 토목기술1팀 과장



한신인(韓信仁)

1965년

1992년 고려대학교 토목환경공학과 졸업

1996년 고려대학교 토목환경공학과 졸업(석사)

현) 대우건설 토목기술1팀 과장/토질및기초기술사

♣ 참고 도서

- 조명데이터북 - 세진사 -
- Lighting Handbook - 북미조명학회 -
- 조명교실59(조명에서의 심리효과) - 일본조명학회 -
- 조명의 생리 57 - 일본조명학회 -