

터널의 시각순응시설

서상진 <상진기술엔지니어링 대표>

1. 터널의 시각순응시설의 필요성

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 순응을 하는데 시간이 걸린다. 이러한 장애를 경감하기 위하여 입구부에 설치한 조명설비를 입구부 조명이라 한다. 이 경우에 입구 인접부의 휘도를 어느 정도로 하고 어떠한 변화의 형태로 기본부 조명으로 이행시키려는가는 매우 중요한 문제이다. 입구부 조명설비는 인공 조명만을 사용하는 방법이 일반적이나 자연광을 루버 또는 유사 구조를 사용하여 제어하는 방법도 있다.

2. 관련이론

2.1 터널조명의 목적과 역할

터널조명의 목적은 주간과 야간에 자동차가 설계속력으로 야외도로를 달릴 때, 야외도로 수준의 안전과 안락한 정도로 터널에 접근, 통과하는 것을 보장하는 것이다.

터널조명의 역할은 터널의 외부와 내부 사이에서 차도를 자세히 보는데 필요한 운전자의 순응 수준의 차이를 줄이거나 제거하는 것이다.

터널조명에는 많은 인자들이 결정되어야 하는데, 그 중에는 운전자의 시각적인 상태뿐만 아니라 날씨, 도로교통상황, 도로교통법, 교통시설물과 자동차의 성능 등이 문제가 된다. 이러한 인자 중 상당수는 지역적인 상황에 따르게 된다.

2.2 눈의 순응과 터널조명

밝은 곳에 있다가 갑자기 어두운 곳에 들어가면 처음에는 앞이나 주위가 잘 보이지 않고 4~5분이 지나야 완전하게 보이는 현상을 암순응이라 하고, 어두운 곳에서 밝은 곳으로 나오면 순간적으로 눈이 부시어 눈은 뜨고 있으나 아무 것도 볼 수 없는 상태가 계속 되다가 1~2 분정도 시간이 지나면 정상 시력으로 회복되는 현상을 명순응이라 한다. 이러한 문제는 도로터널 조명에 있어서 매우 중요하다.

3. 터널의 시각순응시설

3.1 개요

주간에 도로를 주행한 자동차 운전자가 터널에 진입하면, 운전자의 눈은 주위 휘도에 대하여 순응이 늦다. 이러한 장애를 경감하기 위하여 입구부 직전에 인공조명을 사용하지 않고 주광의 밝기를 적절하게 제어하는 설비를 사용하면, 운전자의 주위 휘도에 대한 순응을 도울 수 있다. 또한 제어설비의 형태를 아름답

게 하면, 운전자가 단순한 기하학적 구조의 어두운 터널입구로 들어가면서 느끼는 심리적 중압감을 덜어 편안한 운전이 가능하게 하여, 갑작스런 심리적 요인에 의한 사고를 방지할 수 있다. 이러한 목적을 달성하기 위하여 주광을 제어할 수 있는 시설을 설계하여 컴퓨터 시뮬레이션을 통한 시설물의 시환경을 검토하였으며, 1/20 스케일의 모형을 제작하여 시설물에서의 광학적 특성을 측정하여, 시설물 설치의 타당성을 검증하였다. 이러한 목적의 주광제어 설비로 루버 혹은 반투명 재질의 마감재를 사용하거나, 불투명재질의 마감재에 적당한 창문을 설치하는 방법 등이 사용되고 있다.

3.2 설계

터널의 입구 전면에 반투명 폴리카보네이트 재질의 지붕을 사용하는 구조의 주광제어 설비를 설계하였다.

터널 위치의 동지, 춘분, 하지와 추분의 태양의 방위각과 고도를 계산하여, 컴퓨터 시뮬레이션과 모형 측정실험에 사용하였다. 터널의 위치는 북위 35.75(°), 동경 139.25(°)지점으로 하였다.

다음 그래프는 터널이 위치한 장소의 동지, 춘분, 하지 및 추분의 맑은 날의 시간에 따른 지면 수평면 조도 계산값이다.

지붕 및 벽면의 투과율을 결정하기 위하여 사람의 시각적인 편안한 정도를 조사한 결과 시야 내 밝은 부분과 어두운 부분의 비는 보통 3 : 1이 가장 적당하다고 되어있다.(조명공학, 지철근저, 문운당, p.146) 또 다른 문헌에서는 한 계단과 다음 계단의 휘도비는 3 : 1을 넘지 말아야 한다고 되어있다(CIE TR Guide for the lighting of road tunnels and underpasses p.23). 따라서 적당한 투과율은 30(%)가 된다. 그리고 보수율을 결정하기 위하여 터널에 적용하는 표를 검토한 결과 환경이 가장 좋은 터

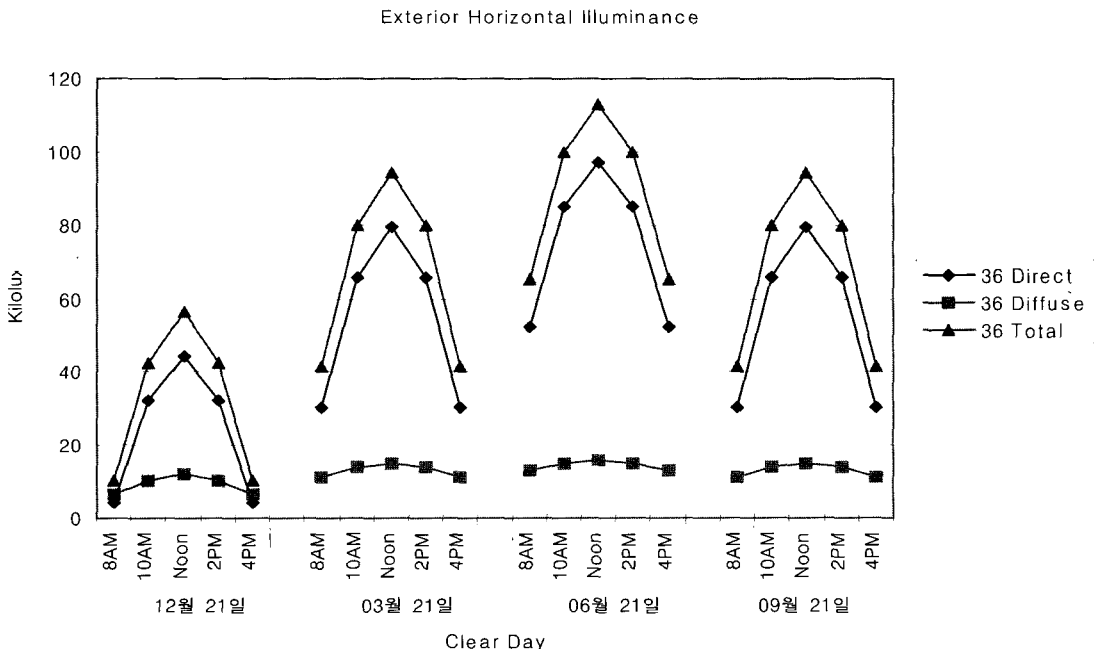


그림 1. 맑은 날 지면의 수평면 조도

널의 경우 0.75의 값을 취하도록 되어있다. 그리고 폴리카보네이트의 경년변화를 고려하여 최종 투과율은 50(%)로 결정하였다.

3.3 구조

제안한 터널 시각순응시설의 구조는 아래 그림과 같다.

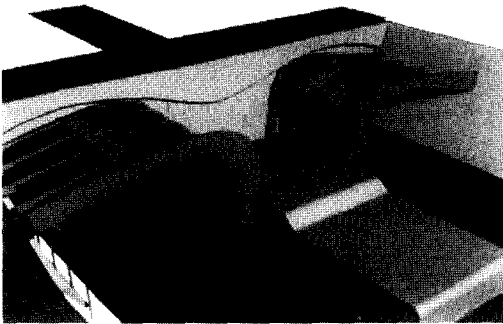
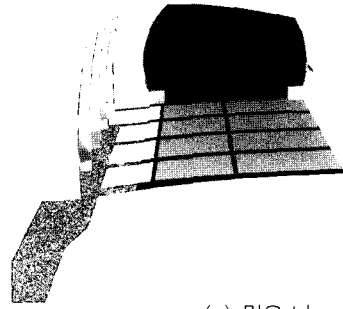
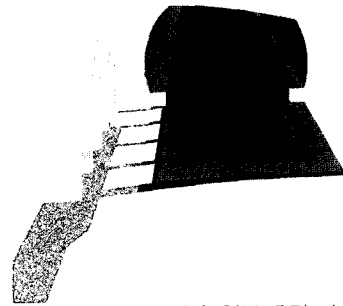


그림 2. 시각순응시설의 투시도



(a) 맑은 날



(b) 일부 흐린 날

4. 컴퓨터 시뮬레이션

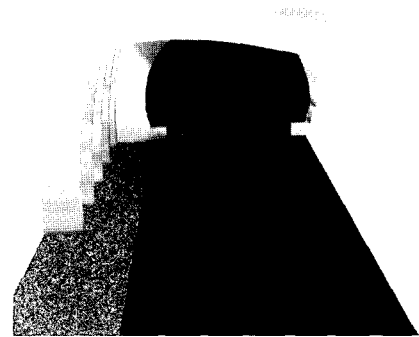
설계의 타당성을 검증하기 위하여 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였다. 컴퓨터 시뮬레이션은 시각적인 결과를 보기 위하여 3ds max를 사용하였으며, 정확한 결과를 계산하기 위하여 Lightscape를 사용하였다. 다음에 시뮬레이션 결과를 정리하여 도시하였다.

4.1 3ds max 결과

3ds max 시뮬레이션 결과를 날짜별, 시간별, 맑은 날, 일부 흐린날, 흐린날 별로 정리하였다.

시뮬레이션에 사용한 날짜는 동지, 춘분, 하지, 추분 및 이들의 중앙일을 대상으로 하였으며, 시간은 일출 시부터 일몰 시까지 2시간 간격으로 시뮬레이션을 하였다.

일기는 국제적으로 통용되고 있는 맑은 날, 일부 흐린 날(구름 50(%)), 흐린 날(구름 100(%))로 구분하여 시뮬레이션을 수행하였다.



(c) 흐린 날

그림 3. 3월 21일 12시의 터널입구 시뮬레이션

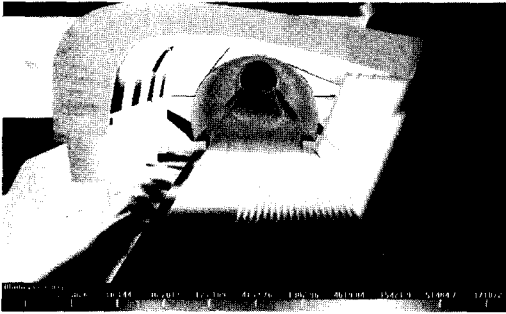
4.2 Lightscape 결과

정확한 조명계산을 수행하기 위하여 Lightscape를 사용하여 조명 시뮬레이션을 수행하였다. Lightscape 시뮬레이션은 맑은 날과 흐린 날(100(%))구름만을 대상으로 수행하였다. 결과를 날짜별, 시간별로 정리하여 다음에 나타내었다.

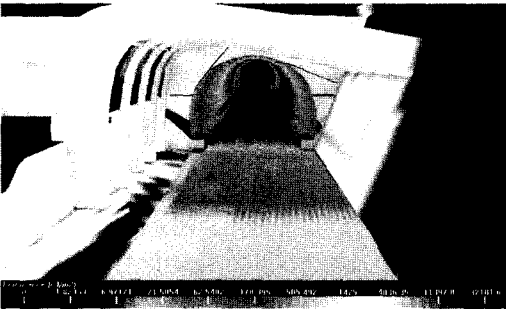
특집 : 도로와 터널조명

시뮬레이션에 사용한 날짜는 동지, 춘분, 하지, 추분을 대상으로 하였으며, 시간은 일출시부터 일몰시 까지 2시간 간격으로 시뮬레이션을 하였다.

아래에 입구부 사진을 날짜와 시간순서로 정리하여 나타내었으며, 이어서 입구부와 도로면의 조도, 휘도 분포도를 날짜와 시간 순으로 정리하여 나타내었다.



(a) 조도 분포



(b) 휘도 분포

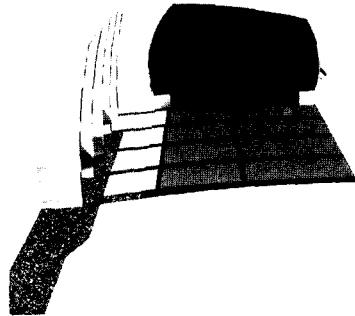
그림 4. 3월 21일 12시 맑은 날의 조도와 휘도분포

5. 터널의 모형시험

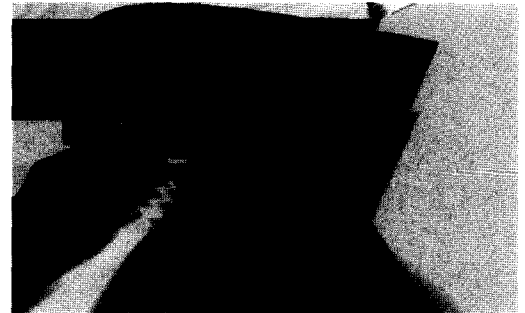
실제 주광의 영향을 검증하기 위하여 1/20 크기의 축소모형을 제작하여 태양의 방위각과 고도에 따른 시설물 내부의 시환경과 조도를 측정하였다.

아래에 측정된 입구부 사진을 날짜별 시간별로 정리하여 나타내었다.

또한 3ds max와 Lightscape로 시뮬레이션한 결과를 날짜와 시간대별로 모형에서 측정한 사진과 비교하여 결과를 검증하였다.



(a) 3ds MAX 시뮬레이션 결과



(b) Lightscape 시뮬레이션 결과



(c) 모형 사진

그림 5. 3월 21일 12시의 비교

6. 진입부 조명 시뮬레이션 및 측정

시각순응시설물에 대한 조명 측정방법은 법규로 정해진 바가 없어 입구부 조명 측정법을 원용하여, 동일한 효과를 검증하기 위하여 시설물 입구에서부터 전방으로 차로 중간에서 5(m) 간격으로 조도를 측정하였다.

6.1 Lightscape 시뮬레이션 결과

Lightscape로 맑은 날에 대한 동지, 춘분, 하지, 추분의 각 측정위치의 조도값 시뮬레이션한 결과치를 그래프로 나타내었다.

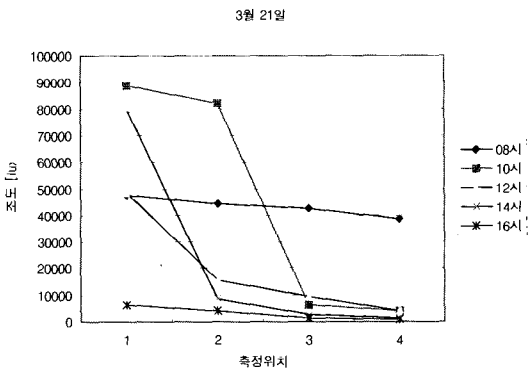


그림 6. 춘분일의 Lightscape 시뮬레이션 계산값

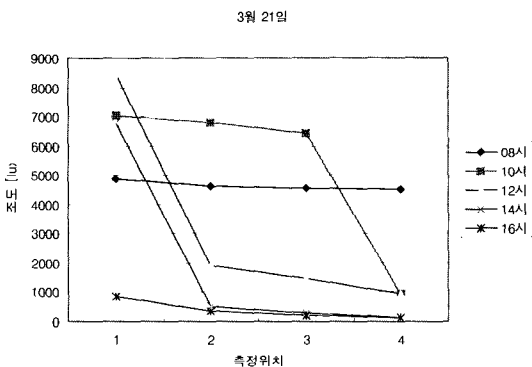


그림 7. 춘분일의 모형 측정값

6.2 모형 측정결과

제작한 모형에서 동지, 춘분, 하지, 추분 날에 각 측정점에서 측정된 조도의 평균치를 다음 그래프로 나타내었다.

7. 결 론

본 연구에서는 시각순응시설에 적용되는 이론들을 조사하여 설치의 타당성을 검증하고, 컴퓨터 시뮬레이션 결과와 축소 모형에서 실측한 결과를 상호 비교하였다.

컴퓨터 시뮬레이션 도구로는 3ds max와 Lightscape를 함께 사용하였다.

측정은 동지에서 시작하여 춘분, 하지, 추분을 거쳐 다시 동지까지 일년 간의 변화를 시간별로 검토하였다. 검토한 내용은 시각순응시설의 입구부 전경, 조도 및 휘도 분포, 시각순응시설물 하부 도로면의 조도 및 휘도분포 등을 조사 검토하였다.

3ds max의 출력물에서 나타난 입구부 전경은 축소 모형에서 얻어진 사진과 아주 흡사함을 볼 수 있었으며, 이 결과로부터 설계한 구조물이 양호하게 모델링 되었음을 확인할 수 있었다. 3ds max에서 얻어진 구조물을 대상으로 Lightscape를 사용한 조도계산을 수행한 결과는 문헌에서 제시하는 식으로 계산한 외부 직사 조도값과 아주 근사하게 계산됨을 확인하였다. 또한 계산된 조도값은 축소모형에서 실측한 조도값과 유사한 경향을 나타내었다. 이상의 결과를 통하여 결과의 신뢰성을 확보할 수 있었다.

결과를 검토하여 보면 주광이 가장 강한 오전 10시부터 오후 2시까지는 시각순응시설물에 의한 효과가 확실한 것으로 나타났으며, 오전 6시에서 8시까지는 태양의 고도가 낮아 구조물에 의한 시각순응효과가 별로 없으며, 오후 4시 이후에는 산의 그림자 때문에 효과를 볼 수 없는 것으로 나타났다. 그러나 아침과 저녁에는 주광이 약하기 때문에 야외와 터널 내의 밝

기 차이가 상대적으로 적게되어 시각적 순응이 용이하게 된다.

캐노피의 투과율은 시야 내 밝은 부분과 어두운 부분의 비가 보통 3 : 1이 가장 적당하므로 투과율을 30(%)로 결정하였다. 본 장의 모든 결과는 투과율 30(%)의 구조물에 대하여 검토한 것으로, 결과는 컴퓨터 시뮬레이션과 축소모형에서 모두 적용에 적합한 것으로 조사되었다. 모든 시설물은 사용 중의 환경적인 오염 및 재질의 경년변화를 고려하여 최초의 설계값을 결정하여야 한다. 본 시설물의 경우는 터널 중에서 사용환경이 아주 양호한 설비로 볼 수 있으므로, 보수율을 터널 설비에서 가장 높은 0.75로 볼 수 있다. 또한 사용 중 캐노피 재질의 투과율 감소를 10(%)로 설정하여, 초기 투과율은 50(%)로 하는 것이 타당하다고 사료된다.

터널 조명설계에서 입구부 중 경계부의 길이가 36(m)로 되어있다. 그러나 대체로 터널 입구에서 10(m)정도는 주광이 입사된다고 보고 있다. 따라서 본 시설물의 길이가 10(m)가 넘기 때문에 터널 내부에 입사되는 주광의 영향을 충분히 감쇠시켜 시각순응에 도움을 주고 있는 것으로 나타났다. 그리고 이러한 결과는 컴퓨터 시뮬레이션과 모형실험의 조도 측정에 의하여 검증되고 있다.

부가적으로 시각순응시설이 터널의 입구부와 더불어 출구부에도 함께 설치되므로 출구부에 설치된 시설물도 입구부와 동일한 재질과 유사한 구조로 설치되므로 출구부 시설물에 의한 조도 감쇠효과도 기대가 되므로 출구부에서 문제점으로 지적되는 화이트홀 효과를 저감시킬 수 있을 것으로 기대된다.

또한 터널 설치 지역에서 볼 수 있는 친근한 형태로 디자인된 아름다운 시각순응시설은 단순한 반원 형태의 터널 입구로 들어가는 경우 느끼는 심리적 불안감을 덜어줄 것으로 기대된다.

이상의 결과에 의하여 제안된 시각순응구조물은 터널 진입시에 나타나는 심리적 불안감을 제거하여 안

락한 주행과 사고감소에 도움이 될 것으로 사료된다.

◇ 저 자 소개 ◇



서상진(徐商辰)

1957년 8월 26일생. 1984년 인하대학교 전기공학과 졸업. 1984~1996년 한국전력기술(주) 전기기술처. 현재 상진기술엔지니어링 대표. 발송배

전기술사.