

터널의 조명환경 개선을 위한 반사거울 시스템의 위치 선정에 관한 기초연구

정명순¹, 주재성², 정인영³, 송규동^{4*}

A basic study on the location of mirror reflector system to improve illumination environment

Myeong-Soon Jeong, Jae-Sung Joo, In-Young Jeong, Kyoo-Dong Song

ABSTRACT As the economic growth achieved and the straight road was increased. so, the tunnel built more than before. In these days, lighting of tunnel entrance is important for safety and comfortable driving. Most of the tunnel lighting depend on artificial lighting and they use a lot of energy. In this paper, as a research for illumination improvement and saving energy at tunnel, reflecting mirror system is suggested. The performance of the system was evaluated with respect to various aspects. By applying a reflective mirror system, tunnel lighting and environment can be improved. This study is a preliminary study for developing a system to save energy of tunnel artificial lighting.

Keywords: Tunnel, mirror reflector system, daylight, saving energy, illumination environment

요약 경제성장의 달성과 직선도로의 증가에 따라 터널은 전보다 더 많이 만들어졌다. 이러한 터널들의 입구 조명은 안전하고 편안한 운전을 위해 중요하다. 대부분의 터널 조명은 인공조명으로 많은 에너지를 사용한다. 본 연구에서는 터널의 조명 개선과 에너지 절약으로 반사거울 시스템을 적용하여 평가하였다. 반사거울 시스템을 적용하면 주광을 유입하여 터널 조명 환경을 개선할 수 있으며, 본 연구는 터널 인공조명 에너지의 절약을 위한 선행연구의 일환으로 진행되었다.

주요어: 터널, 반사거울시스템, 주광, 에너지 절감, 조명환경

접수일(2011.5.31), 수정일(2011.9.7), 게재확정일(2011.9.19)

¹비회원, 한양대학교 건축환경공학과 석사과정

²비회원, 썬앤라이트 기술연구소 연구원

³정회원, 썬앤라이트 기술연구소 소장

⁴비회원, 한양대학교 건축학부 부교수

*교신저자: 송규동 (E-mail: kdsong@hanyang.ac.kr)

1. 서론

지속적인 경제성장과 더불어 물자와 인력의 원활한 수송을 위해 정부에서는 도로의 건설을 늘리고 있다. 또한 수송시간의 단축과 물류비 절감을 위해 도로의 직선화는 가속화 되고 있다.

우리나라는 국토의 70%이상이 산악부로 구성되어 있어 지형적인 특성상 도로 터널의 건설이 증가되고 있는 추세이다.

최근에는 저탄소 녹색성장이라는 슬로건 아래, 에너지 절약에 대한 관심이 커지고 있고, 조명이 에너지 부분도 예외일 수 없는 실정이다. D광역시는 터널 지하차도의 소비전력을 낮추는 에너지 다이어트 시대에 들어갔으며, 전기료가 많이 발생하는 Y터널을 대상으로 KS C 3703 조도기준 범위 내에서 적정용량으로 낮추는 에너지 절약을 실시해 매년 1천만원의 예산절감을 한다고 한다.

우리나라 도로조명설치기준에서는 ‘터널 조명은 터널내부의 특수한 조건에서 교통의 안전과 원활한 확보를 목적으로 한다.’고 정의되어 있으며, 터널은 밀폐되고 특수한 공간으로 운전자에게 시각적인 정보를 제공하고 안전하게 주행할 수 있도록 충분한 밝기가 제공되어야 한다.

터널 조명에서는 개방구간에서 터널구간으로 진입시 인체의 생리적 현상인 명순응과 암순응에 의해 시각장애현상이 발생하며, 이러한 현상으로 인하여 터널에서는 교통저항이 증가하고 있다. 실제로 고속도로 운전자의 66%이상이 터널 진입시 속도를 줄이고 있으며, 차량사고의 대부분이 터널 전방에서 발생되고 있는 것으로 보고되고 있다(이미애 외, 2002).

일조가 강한 주간에 도로를 주행하는 차량이 터널에 진입하면 운전자의 눈은 야외휘도에 순응되어 있는 상태로 터널에 접근하기 때문에 터널내부가 모두 암흑으로 보이는 블랙홀 현상이 발생한다. 운전자가 주간의 3,000~6,000 cd/m²의 밝은 야외도로에서 2~10 cd/m²의 어두운 터널 내부로 진입함에 따라 선행하는 차량을 포함한 내부의 물체가 일정시간 동안 잘 구분되지 않는다. 입구부 조명은 이와 같이 운전자가 주간에 터널 진입 초기시점에 겪는 암순응 과정에 도움을 줄 수 있도록 하기 위함이다(이영규, 2007).

입구부 조명설비는 인공 조명만을 사용하는 방법이 일반적이나 입구부의 집중 조명 구간을 축소함으로써 조명시설비 및 유지관리 전력비를 절감절감하기 위하여 여러 가지 시각순응시설에 대한 연구가 이루어지고 있다(이은풍, 2006).

본 연구는 터널에서 대부분 인공조명에너지에 의존하여 시환경을 조절하는 터널에 자연채광을 유입하여 인공에너지 절감효과와 주간에 야외 도로를 주행하는 차량이 터널 내부 진입시 안전하고 쾌적하게 주행할 수 있도록 터널 입구부에 자연채광을 유입하는 방법으로 시각순응시설중에 하나인 반사거울 시스템을 적용하여 터널내 채광성능을 평가해 보았다.



그림 1. 실험에 사용된 반사거울 시스템

2. 반사거울 시스템의 설계

본 연구에서는 터널의 경계부에 주광을 유입하기 위한 방법으로 기둥형식(pole type)의 시스템을 제작하였다. 시뮬레이션 분석 결과, 바형식(bar type)의 채광성능이 더 우수한 것으로 검토되었으나, 이는 시뮬레이션 분석에 의한 결과값으로 실제 터널에서의 채광성능을 평가해보고자 기둥형식의 시스템을 우선 제작하였다(이범석, 2011).

반사거울 시스템은 수직높이와 수평거리의 조절이 가능하도록 설계되었으며, 수직높이는 기본 2 m이고 11 m까지 조절이 가능하도록 설계되었다. 반사거울 시스템의 상부에는 지름 1.2 m인 원형 반사거울을 부착하였고, 반사거울은 좌·우 각도 0~180°, 상·하각도 0~90° 까지 조절이 가능하여 태양의 고도에 따라 방향과 각도를 변화시키면서 반사된 주광을 터널의 벽면으로 유입시킬 수 있다. 기둥에 반사거울을 부착한 형태는 그림 1과 같다.

3. 실험의 개요 및 방법

터널의 진입부에 주광을 유입하기 위해 반사거울 시스템을 터널 입구에 설치하였고, 반사거울 시스템의 이격거리와 터널 입구부에 반사거울 시스템의 반사된 주광이 유입되는 타겟점(aiming point)을 변화하면서 터널내부의 조도를 측정하였다. 그림 2는 반사거울 시스템의 측정의 개요와 타겟점(aiming point)을 나타낸 그림이고, 표 1은 실험의 측정에 사용된 변수를 나타낸 것이다.

표 1. 실험에 사용된 변수들

구분		세부변수내용	계
반사거울 높이		8 m	1
반사거울 이격거리		20 m, 30 m, 40 m	3
타겟점 (aiming point)	거리	20 m, 30 m, 40 m	3
	높이	2 m, 3 m	2
총 계			7

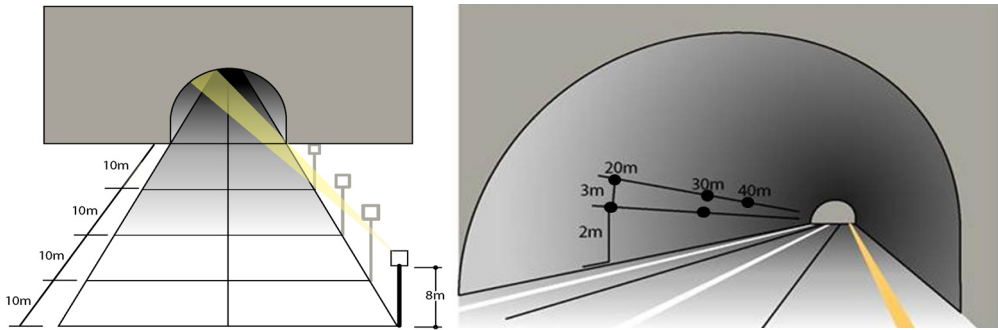


그림 2. 반사기둥 시스템의 개요 및 타겟점(aiming point)

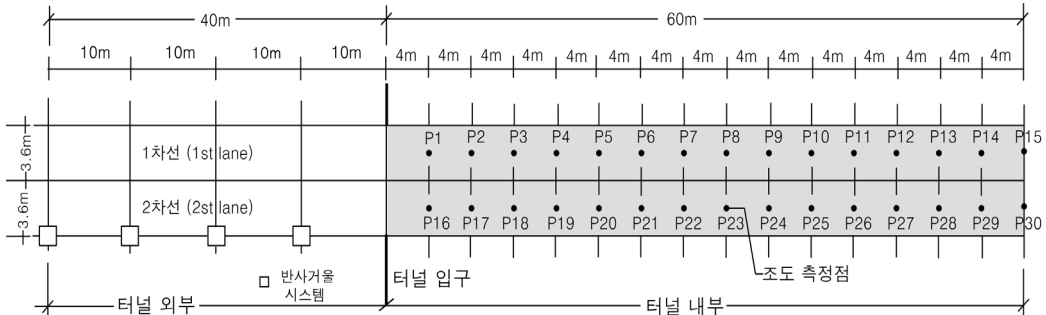


그림 3. 반사거울 시스템의 위치 및 조도계 측정점

실험의 장소는 충북 영동군 황간면에 위치한 현재는 사용하지 않는 2차선 일방향 남북방향의 폐터널로 가로 5.3 m, 높이 5.3 m, 길이 170 m의 형상을 가지고 있다. 반사거울 시스템의 높이는 시뮬레이션으로 검토된 내용을 참고하여 반사거울이 운전자의 시야에 눈부심의 영향이 없는 8 m로 고정하여 측정했고(이범석, 2011), 반사거울 시스템의 적용은 터널의 입구에서 좌측면으로 했다. 실험의 측정값은 주간에 들어오는 주광과 반사거울 시스템의 영향만이 고려된 값이다.

조도계는 터널입구에서 4 m 떨어진 곳부터 터널 안쪽으로 4 m 간격으로 좌·우측에 설치해서 조도를 측정했고, 평균 조도비로 계산했다.

그림 3은 터널내부의 조도계측점과 반사거울 시스템의 위치를 나타낸 그림이다.

주광율(daylight factor)은 천공의 상태가 담천공인 경우를 기준으로 외부 천공 조도에 대한 내부 수평면 조도를 의미한다. 그러나 담천공을 제외한 다른 천공상태(청천공, 부분담천공)에서는 직사일광이 존재하여 주광률을 이용한 주광 특성 분석에 적합하지 않을 뿐만 아니라 태양의 고도가 낮은 동절기에는 실내의 깊숙한 부분까지 직사일광이 접하기 때문에 오차가 커지게 된다(송규동 외, 2005). 따라서 외부 전천공 수평면조도에 대한 내부 작업면 조도를 나타내는 조도비 식 (1)를 사용하는 것이 적합하다.

$$\text{조도비} = \frac{\text{내부작업면조도}(E_i)}{\text{외부전천공조도}(E_s)} \quad (1)$$

4. 측정결과

4.1 이격거리에 따른 조도비

다음의 표 2는 반사거울 시스템을 터널의 입구로부터 10 m, 20 m, 30 m, 40 m 이격하면서 터널 내부의 조도를 측정한 뒤 조도비를 계산한 결과를 나타낸 것이다. 그림 4에서 보는 바와 같이, 터널 입구에서 반사기둥 시스템을 10 m, 20 m, 30 m, 40 m 이격 할수록 각각 평균조도비는 낮아졌다.

반사거울 시스템이 적용되었던 좌측면의 평균조도비보다 반사거울 시스템이 적용되지 않았던 우측면의 조도비가 높게 나온 이유는 터널의 뒤쪽 곡선으로 이루어진 출구부의 영향이 있었던 것으로 고려된다.

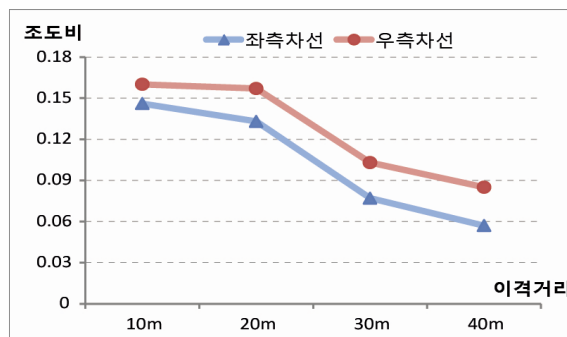


그림 4. 이격거리에 따른 평균조도비

표 2. 이격거리에 따른 좌우측 차선의 평균조도비

이격거리	타겟점		좌측	우측
	거리	높이	평균 조도비	평균 조도비
10 m	20 m	2 m	0.167	0.161
10 m	30 m	2 m	0.143	0.160
10 m	40 m	2 m	0.143	0.160
10 m	20 m	3 m	0.140	0.159
10 m	30 m	3 m	0.141	0.159
10 m	40 m	3 m	0.141	0.159
10 m의 평균조도비			0.146	0.160
20 m	20 m	2 m	0.135	0.159
20 m	30 m	2 m	0.137	0.159
20 m	40 m	2 m	0.134	0.158
20 m	20 m	3 m	0.134	0.157
20 m	30 m	3 m	0.131	0.155
20 m	40 m	3 m	0.130	0.152
20 m의 평균조도비			0.133	0.157
30 m	20 m	2 m	0.078	0.105
30 m	30 m	2 m	0.078	0.105
30 m	40 m	2 m	0.078	0.103
30 m	20 m	3 m	0.077	0.103
30 m	30 m	3 m	0.076	0.103
30 m	40 m	3 m	0.076	0.103
30 m의 평균조도비			0.077	0.103
40 m	20 m	2 m	0.076	0.089
40 m	30 m	2 m	0.074	0.097
40 m	40 m	2 m	0.059	0.102
40 m	20 m	3 m	0.056	0.089
40 m	30 m	3 m	0.053	0.081
40 m	40 m	3 m	0.022	0.053
40 m의 평균조도비			0.057	0.085

4.2 타겟점에 따른 조도비

다음의 표 3은 반사거울의 반사된 주광을 터널 입구부로 유입할 때, 타겟점(aiming point)의 거리와 높이에 따른 각각 좌·우측 차선의 평균조도비를 나타낸 것이다.

그림 5~8은 반사거울 시스템의 이격거리(설치위치)가 10 m, 20 m, 30 m, 40 m로 변화될 때, 각각의 좌·우측차선의 평균조도비를 그래프로 나타낸 것이다.

표 3. 타겟점 위치에 따른 좌우측차선의 평균조도비

이격 거리	타겟 거리	타겟 높이	좌측 평균조도비	우측 평균조도비	이격 거리	타겟 거리	타겟 높이	좌측 평균조도비	우측 평균조도비
10 m	20 m	2 m	0.167	0.161	30 m	20 m	2 m	0.078	0.105
10 m	20 m	3 m	0.140	0.159	30 m	20 m	3 m	0.077	0.103
10 m	30 m	2 m	0.143	0.160	30 m	30 m	2 m	0.078	0.105
10 m	30 m	3 m	0.141	0.159	30 m	30 m	3 m	0.076	0.103
10 m	40 m	2 m	0.143	0.160	30 m	40 m	2 m	0.078	0.103
10 m	40 m	3 m	0.141	0.159	30 m	40 m	3 m	0.076	0.103
20 m	20 m	2 m	0.135	0.159	40 m	20 m	2 m	0.076	0.089
20 m	20 m	3 m	0.134	0.157	40 m	20 m	3 m	0.056	0.089
20 m	30 m	2 m	0.137	0.159	40 m	30 m	2 m	0.074	0.097
20 m	30 m	3 m	0.131	0.155	40 m	30 m	3 m	0.053	0.081
20 m	40 m	2 m	0.134	0.158	40 m	40 m	2 m	0.059	0.102
20 m	40 m	3 m	0.130	0.152	40 m	40 m	3 m	0.022	0.053

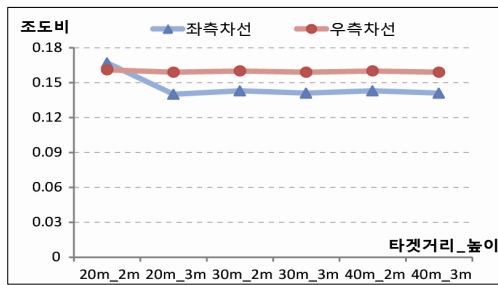


그림 5. 이격거리 10 m의 타겟점별 평균조도비

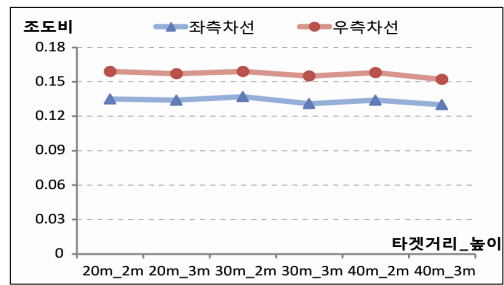


그림 6. 이격거리 20 m의 타겟점별 평균조도비

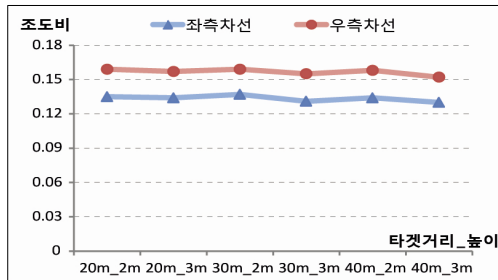


그림 7. 이격거리 30 m의 타겟점별 평균조도비

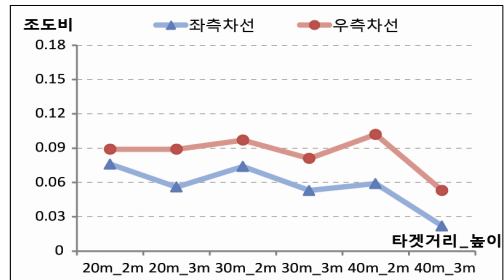


그림 8. 이격거리 40 m의 타겟점별 평균조도비

반사거울 시스템의 이격거리에 따라 좌측면의 조도비는 타겟거리 20 m, 타겟높이 2 m에서 조금 더 높게 나타났다. 그러나 반사거울 시스템이 적용되었던 좌측면 보다 시스템의 영향을 받지 않았던 우측면의 조도비가 높았던 것은, 그림 9와 같이 뒤쪽의 곡선부분인 터널 출구에서 주광이 유입되었기 때문으로 판단된다.



그림 9. 터널의 출구부 형상

5. 결 론

반사거울 시스템의 위치 선정을 위한 기초연구로 터널 입구에 기동형식의 반사거울 시스템을 설치하였으며, 시스템의 이격거리(설치위치), 타겟점(타겟거리와 높이)을 변화시키면서 측정된 터널내 채광성능 분석결과는 다음과 같다.

1. 반사거울 시스템의 이격거리를 10 m, 20 m, 30 m, 40 m로 이격하여 설치할수록 평균조도비는 낮아졌다.
2. 반사거울 시스템의 이격거리(10 m, 20 m, 30 m, 40 m)에 따른 타겟높이(2 m, 3 m)에서의 평균 조도비는 타겟높이 2 m인 경우가 높게 나타났다.
3. 반사거울 시스템의 이격거리(10 m, 20 m, 30 m, 40 m)에 따른 타겟거리(20 m, 30 m, 40 m)에서의 평균조도비는 타겟거리 20 m와 30 m 구간이 높게 나타났다.
4. 반사거울 시스템이 적용되어 측정되는 동안 터널 출구부분의 곡선에서 우측면으로 주광이 유입되었기 때문에 전반적인 조도비의 평균값은 좌측면보다 우측면이 조금 더 높게 나타났다.
5. 향후 연구과제

본 연구는 반사거울 시스템의 위치 선정을 위한 기초연구로 최적의 시스템 위치 선정을 위하여 다음과 같이 지속적인 연구를 수행하고자 한다.

- 가. 바형식 시스템의 제작 및 채광성능 분석
- 나. 반사거울의 크기에 따른 채광성능 분석
- 다. 반대편 차선 운전자의 눈부심 분석

감사의 글

본 연구는 국토해양부 건설기술혁신 연구개발사업의 연구비지원(과제번호 07-기술혁신-A01)에 의해 이루어졌음에 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

1. 송규동, 김민성, 김지현(2005), “RADIANCE 프로그램을 이용한 베네치안 블라인드 차양특성 분석”, 한국생태환경건축학회논문집, Vol. 5, No. 3, pp. 3-9.
2. 이미애, 이성기, 한신인(2002), “고속도로 터널의 시각순응시설”, 조명전기설비학회논문지, 제16권, 제5호, pp. 46-51.
3. 이범석(2011), “시뮬레이션 분석을 통한 반사거울 시스템의 터널 적용성 연구”, 한국터널공학학회논문집, 제13권, 제5호, pp. 371-383.
4. 이영규(2007), “화이트홀 현상이 있는 터널출구에서 운전자 시인도 향상을 위한 프로빔조명에 대한 시뮬레이션 연구”, 한국터널공학학회논문집, 제9권, 제1호, pp. 29-36.
5. 이은풍(2006), “터널조명시스템에서의 에너지절약을 위한 기법연구”, 한국터널지하공간학회논문집, 제8권, 제4호, pp. 85-98.