

도심 터널보행로의 조도 및 불쾌글레어에 관한 실태조사 연구

(A Field Study of Illuminance and Discomfort Glare in Pedestrian Passage of an Urban Tunnel)

이민희* · 박진철 · 김원우**

(Min-Hee Lee · Jin-Chul Park · Won-Woo Kim)

요 약

최근 거리상의 이점에 의해 도심 터널에 보행로의 추가 설치가 늘어남에 따라 터널 내 환경이 문제가 되고 있다. 그러므로 본 연구는 도심 터널 보행로의 조도 및 불쾌글레어를 측정하여 실제 보행자가 느끼는 빛 환경에 대한 실태조사를 실시하였다. 조도와 불쾌글레어의 물리적인 측정은 동작구에 위치한 'S터널'을 대상으로 야간과 주간으로 구분하여 실시되었다. 또한 실제 보행자가 느끼는 주관적 반응을 알아보기 위해 밝기와 불쾌 글레어에 대한 설문조사를 실시하였다. 조사 결과, 보행자는 야간보다 주간에 보행로를 어둡게 느끼는 것으로 나타났으며, 불쾌글레어 지수는 야간의 경우 더 높게 나타남을 알 수 있었다. 본 연구의 결과는 서울시에서 실시하고 있는 '터널보행로 환경개선 사업'에 있어 조명환경 개선을 위한 기초자료로 사용될 수 있을 것이라 생각된다.

Abstract

Recently, additional pedestrian passages are installed on urban tunnels in Korea. The lighting environment of the pedestrian passages should be appropriate to pedestrians. In this study, illuminance and discomfort glare were measured for determining the actual impact that pedestrians will be influenced by the tunnel lighting condition. Illuminance and discomfort glare were measured in 'S tunnel' which is located in Dong-Jack, Seoul, at day and night. And field survey on illuminance and discomfort glare was conducted to identify subjective responses of pedestrians. From the results of measurements and the survey, it is known that the lighting environment of the pedestrian passage in the tunnel is slightly dark especially at day time. UGR values which were measured at night were also higher than that at day. The results and methods of this study will be useful data for the 'Environmental Improvement of Pedestrian passage in Tunnel' project which was begun by Seoul City at 1st December 2008.

Key Words : UGR(Unified Glare Rating), Discomfort Glare, Tunnel Lighting, Pedestrian Passage

* 주저자 : 중앙대학교 대학원 석사 과정
 ** 교신저자 : 경희대학교 건축공학과 Post Doc
 Tel : 031-201-2852, Fax : 031-202-8181

E-mail : artkim55@hotmail.com

접수일자 : 2009년 6월 17일
 1차심사 : 2009년 6월 19일
 심사완료 : 2009년 7월 16일

1. 연구의 목적 및 방법

최근 거리상의 이점에 의해 기존 도심터널에 보행자 통로를 추가적으로 설치하는 사례가 늘고 있다.

서울시 내에는 총 31개의 도심터널이 있으며, 그 중 보행자 통로가 설치된 터널은 22곳으로 전체의 약 70%에 해당한다. 하지만 터널보행로를 이용하는 이용자 수는 점점 많아지고 있는 반면, 터널의 조명 환경은 운전자 위주로만 되어 있고 보행자를 위한 배려는 충분하지 않은 실정이다.

2008년 12월 1일 서울시는 '터널보행로 환경개선 사업'에 대한 계획을 발표하여 그동안 문제가 되어 왔던 터널보행로의 환경적 문제를 개선하겠다는 방침을 발표하였다. 구체적인 개선 항목은 방음시설 설치, 조명시설 개량, CCTV 및 비상벨 설치 등이다.

이는 사회적으로도 터널보행로의 환경적 문제에 대한 심각성을 인지하고 개선하려는 움직임을 보이는 것이라 할 수 있다.

터널보행로의 환경적인 문제점에 해당하는 것은 주로 환기, 소음, 안전, 어두운 조명환경으로 분류될 수 있다. 현재 터널내부의 공기질(환기)과 소음에 대한 연구는 활발히 이루어진데 비해, 빛 환경에 관한 연구는 주로 운전자를 위한 연구가 진행되어 있을 뿐, 터널 보행자를 위한 연구는 현재까지 이루어지지 않고 있다. 그러므로 터널 내 보행자로의 조명환경 개선을 위해 현 상황에 대한 실태조사와 문제점 분석이 시급한 상황이다.

본 연구의 목적은 터널 내 보행자로의 조명 개선을 위한 근거자료를 제시하는 것이며, 이를 위하여 터널 내 보행자로의 조도와 불쾌글레어의 정도를 측정하여 실제 터널보행로의 조명환경 실태를 파악하고 문제점을 검토한다.

2. 이론적 고찰

터널보행로의 조명환경 실태를 파악하고 문제점을 검토하기 위해서는 기존연구에 관한 충분한 고찰이 필요하며 터널조명에 관한 기본적인 이해가 필요하다. 또한 보행자 측면에서의 터널조명의 질을 평가하기 위해서 본 연구에서는 UGR(Unified Glare Rating) 평가법을 사용하기 때문에, 이 평가법의 적용방법을 알아 볼 필요가 있다.

2.1 터널조명의 연구동향

터널 조명에 관련된 기존의 연구는 터널 내부 환경에 대한 문제가 제기된 이래로 꾸준히 수행되고 있다(표 1). 연구 주제는 크게 실태조사, 개선방안 연구, 터널구간의 운전자 반응 및 주행특성, 터널의 입구부·출구부의 휘도 차이, 에너지 절약을 위한 기법 순으로 연구가 되어 왔다[1~8].

특히 박광용의 연구에서는 외국의 설치기준과 국내 터널 조명 현황을 비교분석함으로써 터널조명 기술기준을 토대로 합리적 설계방안을 제시하였다.

또한 정봉조의 연구는 고속도로 터널구간에서 운전자의 행태와 차량의 주행패턴을 분석함으로써, 터널조명에 따른 운전자 반응과 주행특성을 분석하여 입구부에서 주간에는 조도차이나 입구부의 형식에 관계없이 운전자의 각성수준과 주행속도는 증가하나 야간에는 운전자의 각성수준은 대체적으로 감소하며 주행속도의 변화는 일정한 패턴이 없다는 결론을 제시하였다.

박일동의 연구는 현재 개통·운영 중인 터널을 대상으로 조명색체에 따른 내부경관을 연구하여 터널 내부 조명시설개선을 통한 사고위험성 감소와 주행패턴의 증대효과 전략을 제시하였으며, 하상훈의 연구는 터널내 광원의 종류에 따른 안전성, 경제성, 효율성을 검토하였다.

위의 기존 연구 동향을 보면, 조명의 영향에 대한 연구의 대상이 운전자로 국한되어 있음을 알 수 있다. 즉, 조명 조건에 따른 운전자의 시지각의 영향과 개선에 대한 연구는 활발하게 이루어진 반면, 보행자로의 경우 아직 설치사례가 드물고 보행자도 많지 않아 그동안 중요성이 부각되지 못했던 것으로 사료된다. 하지만 최근에는 터널보행로의 이용자가 늘고 있어 실제 터널보행로의 실태 파악이 시급하다고 하겠다.

2.2 터널조명의 구성

터널 조명은 일반도로와 다르게 주변이 측벽으로 제한되어 있다는 것과 주간에도 조명이 필요하다는 특징을 갖는다. 따라서 터널 조명의 경우는 일반 도

로 조명과는 다른 기준인 한국산업규격 KS A 3703 터널 조명기준에 입각하여 설계되고 있다.

터널조명의 역할은 터널 내·외의 환경변화에 빨리 순응 할 수 있도록 운전자의 시각 차이를 줄이거나 제거하는 것이다[9]. 특히 주간 터널 진입 시에는 외부와 터널 내부의 휘도차이에 의해 내부를 정확하게 식별하기 어렵다. 그리고 내부에 진입해서도 운전자가 암순응을 하게 될 때까지는 일정 시간이 소요된다. 터널 출구부분에서도 마찬가지로 터널 내부와 외부의 휘도 차이 때문에 운전자의 시적 능력이 감소하게 되며 이러한 영향을 최소화하기 위한 환경이 계획되어야 한다. 이러한 이유로 인해 터널 내 조명은 각 부분마다 조명의 배치 간격을 달리 하고 있으며, 일부 다른 광원을 사용하는 방법으로 설계되고 있다.

터널 조명은 크게 터널 내에 설치하는 기본부 조명, 입구부 조명, 출구부 조명과 정전시 비상조명으로 구성하며 터널외부에 설치하는 접속 도로 조명(입구, 출구)으로 구성된다.

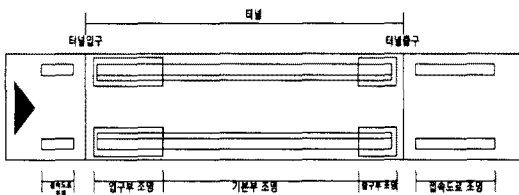


그림 1. 터널 조명의 구성
Fig. 1. Constitution of tunnel lighting

터널조명의 배치 배열은 크게 마주보기 배열, 지그재그 배열, 중앙 배열로 분류되며, 차량의 수, 유도효과, 휘도분포, 눈부심, 램프 보수 작업 등을 고려하여 가장 적합한 것을 선택한다.

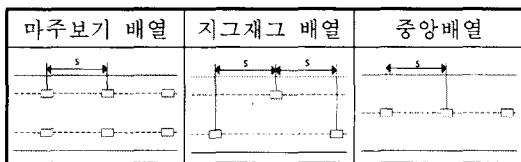


그림 2. 터널 조명의 배열방식
Fig. 2. Arrangement methods of tunnel lighting

2.3 UGR(Unified Glare Rating) 평가법

CIE에서는 1987년에 불쾌글레어 계산식의 통합을 위해 CIE 기술위원회 3-31(CIE technical committee 3-31)을 발족해 UGR(Unified Glare Rating)에 관한 기술적 검토를 행하였고, 1995년에 UGR을 CIE 기준으로 채택했다. UGR은 불쾌글레어에 영향을 미치는 일반적인 매개변수에 기초한 실용적인 글레어 평가 시스템으로서 식은 다음 식 (1)과 같다[11].

$$UGR = 8 \log_{10} (0.25/L_b) \sum (L^2 \omega / p^2) \quad (1)$$

L_b : 배경의 휘도([cd/m²])

ω : 관찰자 시선내 광원의 발광부분 입체각

L : 관찰자 시선내 광원의 발광부분 휘도([cd/m²])

p : 각 광원의 Guth 위치지수

UGR 변수 중 하나인 입체각의 크기는 조명기구의 발광부분 면적과 관찰자 위치에서 조명기구까지의 거리로부터 구해지며 다음 식 (2)를 통해 구해진다.

$$\omega = \frac{A_p}{r^2} \quad (2)$$

A_p : 조명기구 발광부분의 면적([m²])

r : 관찰자에서 조명기구 발광면적 중심까지의 거리

Guth의 위치 지수(P)는 CIE Technical Report 117에 표의 형태로 제시되어 있지만, 이는 프로그램이나 많은 양의 계산에는 적합하지 않으므로 이 연구에서는 Einhorn이 그의 논문에서 제시한 식 (3)[12]을 사용하고자 한다. Guth 위치지수를 구하기 위해 필요한 변수들은 다음 그림 3과 같으며 UGR의 평가 척도는 다음 표 1과 같다.

$$\frac{1}{P} = \left[\frac{d^2}{(0.97 \times d^2 + 2.3 \times d + 4)} - 0.1 \right] \times e^{(-0.17 \times \frac{s^2}{d} + 0.013 \times \frac{s^3}{d^2})} + 0.09 + \frac{(0.075 - \frac{0.03}{d})}{[1 + 3 \times (s - 0.5)^2]} \quad (3)$$

$d = R/H$
 $s = T/H$

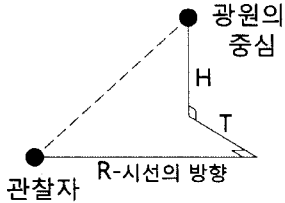


그림 3. Guth 위치지수의 변수
 Fig. 3. Variable of Guth's position index

표 1. UGR의 평가 척도
 Table 1. Rating scale of UGR

| 평가척도 | UGR지수 |
|--------------------|-------|
| Just Perceptible | 10 |
| Just Acceptable | 16 |
| Just Uncomfortable | 22 |
| Just Intolerable | 28 |

UGR은 모든 광원을 통합하여 적용할 수 있고 점 광원에서도 평가 가능하다. 그러나 정사영 면적이 0.005[m²]이하의 작은 광원이나 광천장과 같이 큰 광원은 적용하기 힘들다는 단점이 있다[12]. 또한 UGR 시스템을 개발하기 위해 사용된 데이터의 범위는 한정되어 있어 최대 0.1[sr]에서 최소 0.003[sr] 사이의 광원에만 적용된다[13].

3. 연구방법

터널보행로의 조명환경을 파악하기 위하여 터널 보행로의 조도를 측정하였고, 터널 내 조명기구에 의한 불쾌글레어를 평가하였다. 또한 보행자 설문조사를 실시하고 그 결과를 조명환경 측정결과와 비교하여 터널보행로의 문제점을 분석하였다.

일반적으로 도로조명의 글레어는 안전성 여부를 판단하기 위해 불능글레어를 측정하지만, 본 연구에서는 터널 내 보행자의 보행환경에 조명이 끼치는 불쾌감을 정량적으로 해석하고자 하는 것이므로 UGR법을 사용하여 불쾌글레어를 평가한다.

3.1 연구대상 터널 설정

서울시 동작구에 위치한 상도터널을 연구대상로 선정하여 보행자로의 조도를 측정하고 불쾌글레어 평가를 실시하였다. 상도터널은 1981년에 완공되었으며, 2007년 7월 보행자 통로를 개설함과 동시에 조명개선사업을 실시하였다. 상도터널의 개요는 표 2와 같다.

표 2. 대상터널의 개요
 Table 2. Outline of the object tunnel

| 터널 조건 | | 대상 터널 현황 사진 |
|-----------|-----------------|-------------|
| 터널의 길이 | 568[m] | |
| 터널의 높이 | 7.1[m] | |
| 터널의 너비 | 6.2[m] (2차선) | |
| 터널 형태 | 아치형 | |
| 통행방법 | 편도 | |
| 보행자 통로의 폭 | 1.55[m] | |

표 3. 대상터널의 조명조건
 Table 3. Lighting condition of the object tunnel

| 조명 간 거리(s) | 주간 | 경계부 | 0.81[m] |
|------------|-------|-----------------------------------|---------|
| | | 이행부 | 1.13[m] |
| 야간 | 야간 | 완화부 | 2.74[m] |
| | | 기본부 | 8[m] |
| | | 출구부 | 1.8[m] |
| | | 경계부 | 8.1[m] |
| | | 이행부 | 7.8[m] |
| | | 완화부 | 7.9[m] |
| 조명 배치 방법 | 주간 | 마주보기 | |
| | 야간 | 지그재그 | |
| 조명 기구 | 램프 | 고압 나트륨 램프 (NH150[W], NH250[W]) | |
| | 규격 | 610*410*160[mm] | |
| | 광원 면적 | 0.088[m ²] | |

상도터널의 측정 조건 설정을 위해 터널의 조명 조건을 파악하였다. 상세한 상도터널의 조명조건과 조명설치도면(단면, 평면)은 표 3, 그림 4, 그림 5와 같다. 상도 터널 조명부분의 구성은 입구부(경계부-이행부-완화부)-기본부-출구부로 계획되어 있으며, 각 부분에 따라 다른 간격으로 조명기구가 설치되어 있다. 또한 조명기구의 배열은 그림 5와 같이 주간에는 모든 조명을 점등하여 마주보기 배열의 형태를 유지하며, 야간에는 지그재그 배열의 형태로 일부 조명을 소등한다.

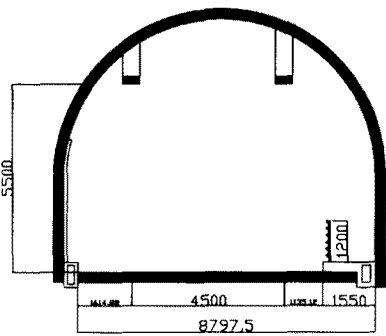


그림 4. 대상터널 단면
Fig. 4. Section of the object tunnel

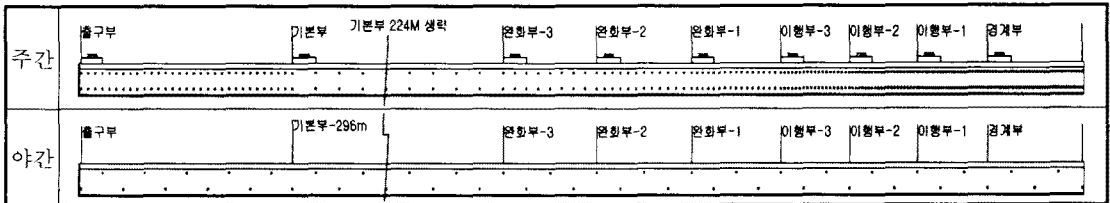


그림 5. 대상터널의 평면(광원의 위치)
Fig. 5. Plan of object tunnel(position of light source)

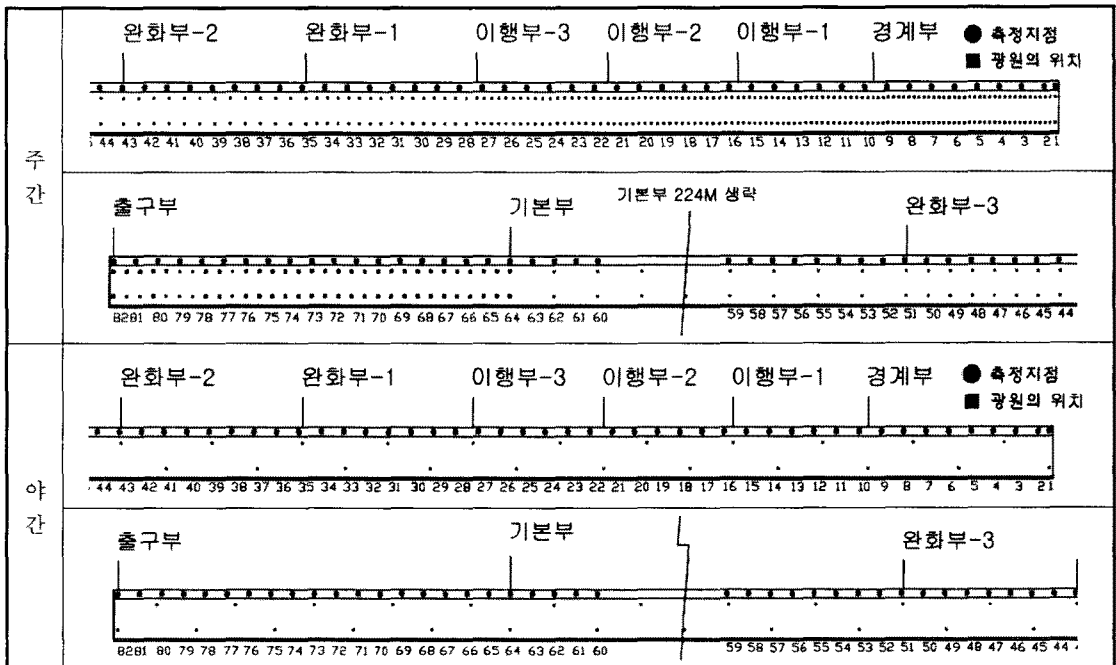


그림 6. 주간과 야간의 진행방향의 측정 지점 설정(4(m) 간격, 82지점)
Fig. 6. Horizontal measurement points setting at day and night (interval: 4(m), all 82 point)

3.2 터널 보행로의 조도 측정

주간과 야간의 조명 방법이 다르기 때문에 주간과 야간의 조도를 따로 측정하였다. 측정 방향은 차량 헤드라이트의 영향을 최소로 하기 위해 차량진행방향과 동일방향으로 진행하였다. 측정 시 주간과 야간의 측정날짜, 시간, 외부조도는 표 4와 같다.

표 4. 조도 측정 조건
Table 4. Measurement condition of illuminance

| | 주간 | 야간 |
|-----------|------------|---------|
| 측정 날짜 | 11월 22일 | 11월 20일 |
| 측정 시간 | 14:00 | 20:30 |
| 측정 시 외부조도 | 15,341[lx] | 15[lx] |

측정 높이는 도로 측의 안전분리대(1.2[m])에 의한 음영으로 인해 노면조도의 측정이 부정확하다고 판단하여 실제 사람의 눈높이인 1.5[m]의 높이에서 수평조도를 측정하였다. 그림 6은 진행방향의 조도 측정지점을 나타낸다. 각 측정지점간 간격은 4[m]로 설정하였고, 외부의 영향이 없고 조명 패턴이 일정하게 반복되는 기본부 274[m]는 측정을 생략하였다.

또한 터널 조명과의 이격 거리에 대한 밝기 차이를 알아보기 위해 각 측정지점의 보행로 폭 방향으로 그림 7과 같이 0.5[m] 간격으로 3개의 측정지점(A, B, C)을 설정하여 총 246개의 지점에서 조도를 측정하였다.

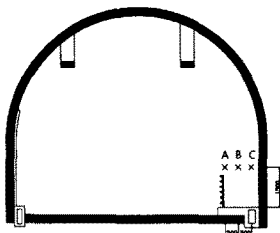


그림 7. 보행로 폭 방향의 측정 지점
(A · B · C 는 0.5(m) 간격)
Fig. 7. Vertical measurement point setting
(intervals among A,B,C:0.5(m))

3.3 UGR 지수의 산출

블래글래어의 산출지점은 조명 간격 차이에 따른 UGR지수 도출을 위해 5개 조명부(경계부, 이행부, 완화부, 기본부, 출구부)의 시점과 가장 근접한 조도 측정점(그림 6의 1,15,27,51,63)으로 설정한다(표 5).

또한 보행자에게 영향을 미치는 광원의 범위를 한정하기 위해 보행자의 시야 범위를 제한하였다. 시야 범위는 좌우 180[°], 상하 60[°], 70[°]로 제한하였으며[14], 가시거리는 실험 시 촬영한 사진을 판독하여 광원의 모습을 육안으로 구분할 수 있는 평균 거리인 120[m]로 제한하였다.

표 5. 블래글래어 산출 지점 및 보행자 시야범위
Table 5. Measurement points of discomfort glare and the visual field

| | | |
|---------------|----------------------------|---------------|
| 측정지점 (No.) | 야간 | 1,15,27,51,63 |
| | 주간 | 1,15,27,51,63 |
| 시야범위 | 좌우 | 180[°] |
| | 상하 | 60[°]/70[°] |
| 가시거리 | 120[m] | |
| 광원 휘도(Ls) | 76,517[cd/m ²] | |

블래글래어 산출은 UGR법으로 산출하였다. 엑셀 시트를 이용한 UGR 산출 시트를 제작하여 산출하였다. 광원 휘도는 측정지점과의 거리와 각도를 고려하여 cos값을 곱하여 계산하였으며, 표 6에 나타난 광원휘도는 광원의 법선면에서 측정한 광원 휘도이다. 배경휘도는 터널 내부의 배경 휘도가 광원의 거리와 밀접한 관계를 보이며, 일정한 배경 휘도를 갖지 않는다는 것을 근거로 Michelle이 제시한 배경 휘도 산출식 (4)를 사용하여 산출하였다.

$$L_b = E_i / \pi \tag{4}$$

L_b : 배경휘도, E_i : 지점의 조도

이때, 지점의 조도는 각 측정지점별 조도값을 사용하였다. 또한 유효광원의 경우 피실험자의 시야 범위와 가지거리 내에 위치하며 입체각의 크기가 0.1~0.003[sr]에 해당하는 광원을 유효광원으로 선정하였다. 각 지점별 변수는 표 6과 같다.

표 6. 각 측정지점별 UGR 변수
Table 6. Variable of UGR at each points

| 측정지점(No) | | 유효광원 개수(개) | 광원 휘도 ((cd/m ²)) | 배경 휘도 ((cd/m ²)) | $\Sigma(L^2\omega/P^2)$ |
|----------|---------|---------------|------------------------------------|------------------------------------|-------------------------|
| 주간 | 경계부(1) | 212 | 76,517 | 1,377 | 1,524,840 |
| | 이행부(15) | 140 | 76,517 | 396 | 1,266,293 |
| | 완화부(27) | 78 | 76,517 | 308 | 738,845 |
| | 기본부(51) | 32 | 76,517 | 58 | 119,196 |
| | 출구부(63) | 62 | 76,517 | 608 | 553,855 |
| 야간 | 경계부(1) | 16 | 76,517 | 48 | 93,218 |
| | 이행부(15) | 16 | 76,517 | 138 | 119,525 |
| | 완화부(27) | 16 | 76,517 | 16 | 39,393 |
| | 기본부(51) | 16 | 76,517 | 16 | 41,176 |
| | 출구부(63) | 11 | 76,517 | 7 | 62,754 |

3.4 보행자 대상 설문조사

설문 조사 인원은 야간 8명, 주간 6명으로 야간 주간 모두 참여한 피실험자는 2명으로 총 12명이 설문조사에 참가하였다. 피험자 구성은 남자 8명, 여자 4명이며, 설문자는 모두 상도터널을 도보로 이용한 경험이 없는 20대의 학부생을 선정하였다. 피험자들은 설문 실행 전에 불쾌글레어의 주관적인 평가에 대한 충분한 사전 교육을 받았다. 설문시간은 물리적 측정과의 결과비교를 위해 외부 조도가 16,562[lx], 15,297[lx]로 측정된 양일의 주간 14:00시, 야간 20:00시에 설문조사를 실시하였다.

설문조사의 내용은 총 3가지 주제의 문항으로 정리할 수 있다. 첫째, 터널 내부의 전체적인 밝기의 적절성과 둘째, UGR 측정지점에서 각 조명부분의 밝기, 셋째, UGR 산출 지점에서의 불쾌글레어의 주관적인 평가이다. 표 7은 설문조사의 내용과 조사 목적을 나타낸다.

표 7. 설문조사 문항 타입별 내용과 목적
Table 7. Field survey content and aim

| | | |
|--------|------|------------------------------|
| Type-1 | 문항내용 | 전반적인 밝기의 적절성 |
| | 조사목적 | 전반적인 터널 내부 밝기 인지 |
| Type-2 | 문항내용 | 각 측정지점에서의 밝기의 적절성 (UGR 측정지점) |
| | 조사목적 | 측정 조도 값 타당성 획득 |
| Type-3 | 문항내용 | 각 측정지점에서의 불쾌글레어의 주관적 평가 |
| | 조사목적 | 측정 불쾌글레어 지수 타당성 획득 |

4. 결과 및 고찰

4.1 터널 보행로의 조도분포

상도터널의 조도 측정 결과는 야간과 주간 각각 다음 그림 8, 그림 9와 같다.

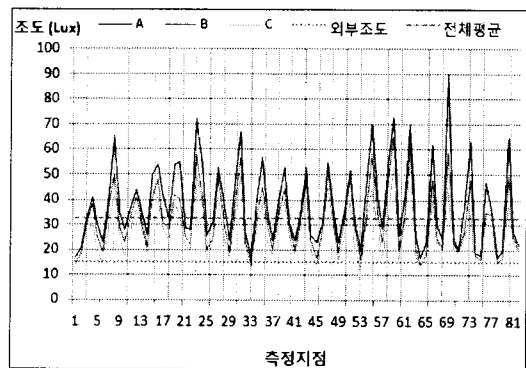


그림 8. 야간의 조도 분포
Fig. 8. Illuminance Distribution at night

야간의 조도 분포의 패턴은 그림 8과 같다. 야간의 터널보행로 조도는 평균 32.63[lx]인 것으로 나타났으며, 대부분의 측정부분에서 외부조도인 15[lx]보다 큰 것으로 나타났다. 또한 조도에 영향을 주는 요인인 조명의 간격과 개수가 한정되어 있어 조명의 위치에 따라 가까운 지점은 조도가 크고 먼 지점은 조도가 낮게 나타나는 일정한 패턴을 나타내었다.

또한 터널 내부의 야간 조도 분포는 국제조명 위원회(CIE)의 권장조도인 7.5[lx]와 비교하였을 때, 전 구간에서 높게 나타나 기준상 문제점은 없는 것

으로 나타났다.

표 8. CIE의 보행자를 위한 보도의 권장조도
Table 8. Illuminance standard of CIE for pedestrian

| 장소의 분류 | | 권장 조도([lx]) | |
|------------|--------|-------------|--------|
| 사용상황 | 주위의 밝기 | 수평면 조도 | 수직면 조도 |
| 야간사용 많음 | 밝다 | 20 | 4 |
| | 중간 | 15 | 4 |
| | 어둡다 | 10 | 2 |
| 야간사용 보통 | 밝다 | 10 | 2 |
| | 중간 | 7.5 | 1.5 |
| | 어둡다 | 5 | 1 |
| 야간사용 적음 | 밝다 | 7.5 | 1.5 |
| | 중간 | 5 | 1 |
| | 어둡다 | - | - |

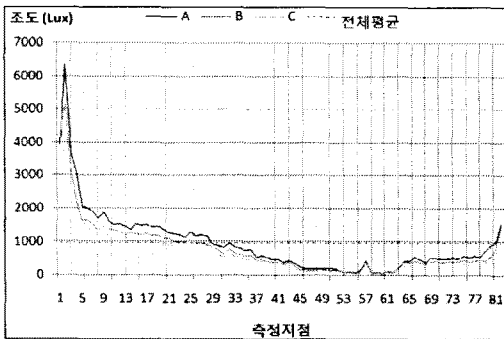


그림 9. 주간 조도 분포
Fig. 9. Illuminance Distribution at day

주간 조도 측정값을 분석해보면 전체 평균은 975.2[lx]이며, 이는 외부조도 15,341[lx]의 6.4%에 해당하는 수치이다. 그림 9에서 나타난 주간 조도의 분포 패턴을 통해 터널 내부의 조도가 각 조명 부분별 광원 배치간격 차이에 크게 영향을 받음을 알 수 있으며, 입구부의 조도 감소폭이 매우 크다는 것을 알 수 있다. 이러한 현상은 외부 자연광의 영향에 따른 결과로 파악할 수 있다.

또한 주간 조도의 폭 방향의 조도 측정 지점인 A, B, C의 조도 차이가 기본부에서는 거의 나타나지 않는 것을 알 수 있는데, 이는 기본부의 조명배치간격이

8m로, 배치간격이 다른 조명부분보다 상대적으로 크기 때문에 다른 조명부분에 비해 조도차이가 적음을 알 수 있다.

4.2 UGR 지수의 분포

물리적 측정값에 따른 UGR의 산출 결과는 일반적으로 주간보다 야간에 그 지수가 큰 것으로 나타났다. 그림 10과 표 9는 UGR 산출결과를 정리한 것이다.

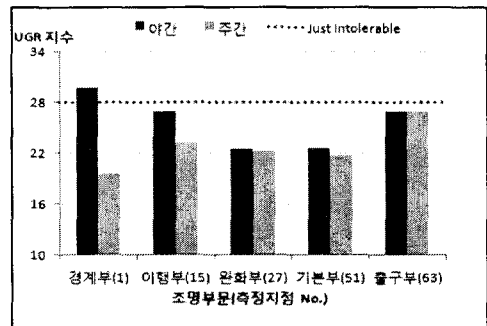


그림 10. 각 조명부분별 UGR 지수
Fig. 10. UGR rating at each lighting section

표 9. 측정지점에 따른 UGR 산출 결과
Table 9. UGR values at each points

| 측정지점 | UGR | Rating | |
|------|-----|--------|--------------------|
| 1 | 야간 | 29.8 | Just intolerable |
| | 주간 | 19.5 | Just Acceptable |
| 15 | 야간 | 26.9 | Just Uncomfortable |
| | 주간 | 23.2 | Just Uncomfortable |
| 27 | 야간 | 22.4 | Just Uncomfortable |
| | 주간 | 22.2 | Just Uncomfortable |
| 51 | 야간 | 22.6 | Just Uncomfortable |
| | 주간 | 21.7 | Just Acceptable |
| 63 | 야간 | 27.0 | Just Uncomfortable |
| | 주간 | 26.9 | Just Uncomfortable |

그림 10의 결과에서 볼 수 있듯이 주간에 비해 야간의 경우 불쾌글레어 지수가 비교적 크게 산출되었다. 야간의 경우, 경계부의 UGR 지수가 참을 수 없음을 나타내는 28 이상이 산출되었으며, 터널 내부

전 구간에서 불편함을 나타내는 지수인 22 이상이 산출되었다.

이에 비해 주간의 UGR 지수는 전 구간에서 야간의 UGR 지수보다 낮게 산정되었으며, 경계부와 기본부에서는 지수가 22 이하로 산출되어 야간에 비해 양호한 환경을 유지할 수 있음을 알 수 있었다. 이처럼 야간보다 주간의 UGR 지수가 더 낮게 나타난 것은 배경휘도의 값이 비교적 야간보다 주간이 더 크게 나타났기 때문임을 알 수 있다.

특히, 경계부의 경우 주간의 UGR 지수는 19.5로 전 구간에 걸쳐서 가장 낮은 값을 나타내며, 이는 주간의 경우 자연광의 유입정도에 크게 영향을 받기 때문으로 분석할 수 있다. 실제로 경계부의 주간 배경휘도는 약 1,377[cd/m²]로 매우 크게 나타났다.

4.3 설문조사 결과

설문조사를 비교적 적은 인원으로 실시하였기 때문에 터널보행로의 조명환경에 대한 정확한 평가를 기대하기는 어려우나 전반적인 경향을 파악하였다. 그림 11은 각 조사지점의 밝기에 대한 설문조사 결과를 나타낸다.

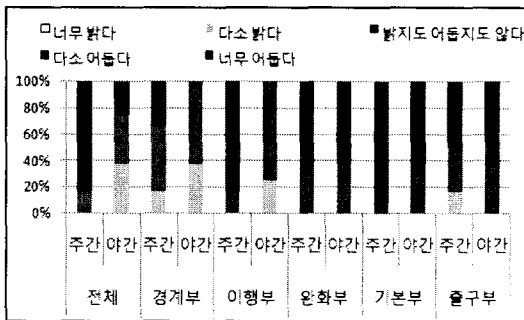


그림 11. 조명 부분별 밝기에 대한 설문조사 결과
Fig. 11. Survey results of brightness at each lighting section

전반적인 경향을 살펴보면 주간의 경우 야간에 비하여 터널내부를 어둡게 생각함을 알 수 있다.

전체적인 밝기의 문항에서 야간의 경우가 주간보다 밝다고 느끼는 것으로 나타났다. 그리고 야간의 경우는 중립(밝지도 어둡지도 않다)의견과 다소 밝

다는 의견이 전체의 70[%]를 차지해 터널의 전체적인 밝기 문제는 크게 문제시 되지 않는다고 할 수 있다.

주간의 경우 가장 문제시된 조명부분은 기본부로 모든 응답자가 어두운 것으로 평가 했다. 이것은 기본부의 조명부분의 길이가 길고(296[m]) 조명간 거리 또한 가장 길기(8[m]) 때문인 것으로 추측된다. 설문조사 결과와 조도 측정결과를 바탕으로 할 때, 주간의 내부 밝기에 대한 개선이 필요할 것으로 사료된다.

조사 지점의 불쾌글레어에 대한 주관적인 평가를 위해, 설문에 사용한 척도를 UGR지수의 척도와 비교하기 위하여 표 10과 같은 값을 대입하여 수치화 하였다.

표 10. 설문조사 척도에 따른 UGR 지수
Table 10. UGR index matched survey scale

| 설문조사 척도 | UGR 지수 |
|---------------|--------|
| 느끼기 시작한다 | 10 |
| 신경 쓰이기 시작한다 | 16 |
| 불쾌감을 느끼기 시작한다 | 22 |
| 심하다고 느끼기 시작한다 | 28 |

그림 12는 주간과 야간의 설문 조사의 결과와 산출된 UGR 지수를 나타낸 것이다.

실험 결과를 살펴보면 피험자의 UGR 지수 분포의 범위는 야간의 경우 최대 26.3~최소 22.8이며, 주간의 경우는 최대 22.5~최소 15.5로 주간에 비해 야간이 그 분포 범위가 좁음을 알 수 있다. 즉 야간의 경우 비교적 균일한 배경휘도에 의해 실제로 피실험자가 느끼는 조명부분별 불쾌글레어 차이가 크지 않은 것으로 나타났다.

또한 피실험자 응답 결과의 평균값과 산출된 UGR값을 비교했을 때, 주간의 경우는 산출된 UGR 값과 피실험자의 패턴이 동일하게 나타났으며, 설문조사 결과가 최소 1.7~최대 4.7의 차이를 보이는 것으로 나타났다. 하지만 야간의 경우 설문조사 결과와 산출된 UGR값의 차이가 최소 0.4~최대 5.2로 주간에 비하여 크게 나타났다. 전체적인 패턴에 있어서도 완화부와 기본부의 실험자 평균이 UGR 산출

값보다 크게 나타났으며, 완화부와 기본부에서 산출된 UGR 지수는 다른 조명부분에 비하여 낮게 산출되었지만 주관적인 평가는 다른 조명부분에 비해 비교적 불쾌하게 느끼는 것으로 나타났다.

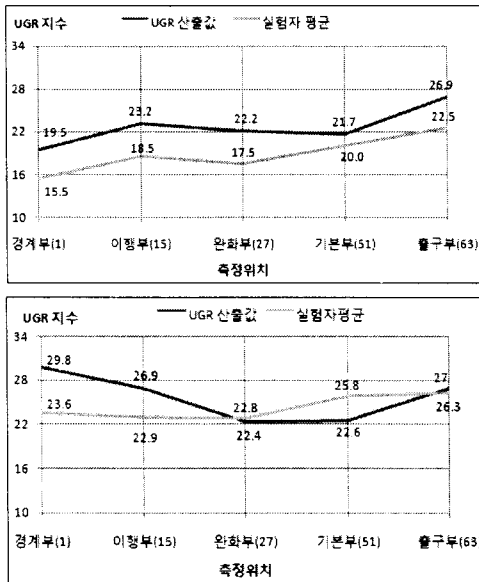


그림 12. 주간(위)과 야간(아래)의 UGR 조사 결과
 Fig. 12. UGR survey values of day(upper) and night(lower)

5. 결 론

본 연구는 기존의 터널 내 보행자로의 조명환경에 대한 실태조사를 위해 조도와 불쾌글레어를 중심으로 현재 상황을 파악하고 문제점을 분석하였다. 특히 보행자 관점의 불쾌글레어를 평가하기 위해 UGR법을 사용하여 평가하였다. 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 터널 내 보행자로의 밝기를 파악하기 위한 실제 조도는 평균조도는 주간은 975.2[lx], 야간은 32.63[lx]이었다. 야간의 조도는 국제조명위원회(CIE)의 야간 권장조도인 7.5[lx]와 비교하였을 때, 터널 보행로 내 밝기에 대한 문제가 크지 않을 것으로 사료된다.
- (2) 터널 내부의 밝기에 대한 설문조사에서는 피험자들이 주간과 야간에 비하여 터널내

부를 어둡게 인지함을 알 수 있었으며, 주간과 야간의 경우 전체적인 밝기의 개선책이 필요함을 알 수 있었다.

- (3) 불쾌글레어 지수는 주간에 비해 야간의 경우 더 높은 것으로 산출되었다. 이는 배경휘도의 차이에 기인하며 특히 야간의 경우, 경계부의 UGR 지수가 큰 것으로 나타나 불쾌글레어의 발생가능성이 크며, 조명의 개선이 필요함을 알 수 있었다.
- (4) 불쾌글레어에 관한 설문조사 결과, 주간과 야간의 경우 UGR 법을 통해 산출된 결과에 비하여 낮게 산정되었으며, 조명부분에 따른 패턴이 모두 일치하였다. 야간의 경우는 완화부와 기본부의 경우 산출된 UGR 값에 비하여 실제 보행자가 불쾌감을 크게 느끼는 것으로 나타났다. 또한 야간의 경우 주간에 비하여 주관적인 글레어 평가의 값이 크게 나타났으므로 전반적인 보행자 공간의 조명에 대하여 개선이 필요함을 알 수 있었다.

본 연구를 통해 도출된 결과로 볼 때 터널 내 보행자를 위한 별도의 조명 대책이 필요하며, 도로 조명의 조건과 보행자의 쾌적한 빛환경을 모두 만족시킬 수 있는 광원의 개발, 배치방법에 관한 연구가 진행되어야 할 것으로 보인다. 본 연구는 연구배경에서 밝힌 서울시 '터널보행로 환경개선 사업'에 있어 조명환경 개선을 위한 기초자료로 사용될 수 있을 것이다.

References

- (1) 서강기, 터널조명 실태조사 및 개선방안에 관한 연구(전라남도를 중심으로), 한국교육학술연구원, 2003.
- (2) 정봉조 외, 터널구간 조명 및 교통안전성 개선방안 수립 기초연구: 터널구간에서 운전자 반응 및 주행특성 연구, 한국 건설 기술 연구원, 2003.
- (3) 박일중, USREL 모형을 이용한 조명색채별 감성공학적 터널 내부경관 연구, 대한교통학회 논문집, 2004.
- (4) 김성식외, 단면형태에 따른 터널의 조명환경 비교, 한국조명전기설비학회 논문집, 2005.
- (5) 김일곤, 방음터널의 자연채광 성능평가에 관한 연구, 한국 태양에너지학회 논문집, 2006.
- (6) 이영규외, 화이트홀 현상이 있는 터널출구에서 운전자 시인도 향상을 위한 프로빔 조명에 대한 시뮬레이션 연구, 한국터널 공학회 논문집, 2007.
- (7) 하상훈, 최적의 터널 조명을 위한 광원의 선정, 송실대

도심 터널보행로의 조도 및 블래클레어에 관한 실태조사 연구

- 학교 석사 학위논문, 2008.
- [8] 김형권, 터널조명시스템에서의 에너지절약을 위한 기법 연구, 강원대학교 석사 학위논문, 2008.
 - [9] 박광용, 터널조명시설에 관한 조사연구, 학위논문, 2001, 6.
 - [10] 지철근 외, 도로터널 조명시설 설계기준 연구, 한국건설 기술 연구원, 1995, 12.
 - [11] 이진숙외, 건축실내 인공조명의 블래클레어 평가를 위한 기초적 연구, 조명·전기설비학회 논문지 제 20권 제 1호, pp29, 2006. 1.
 - [12] H.D.Einhorn, Unified Glare Rating(UGR) : Merits and Application to Multiple Sources, Lighting Research & Technology, pp.89-90, Vol. 30 No.2, 1998.
 - [13] CIE, 1995, CIE Technical Report: Discomfort Glare In Interior Lighting
 - [14] Michelle L. Eble Hankins, "Subjective impression of discomfort glare from sources of non-uniform luminance", Graduate College of University of Nebraska, p19, 2008,08.
 - [15] Henson, DB. "Visual Fields" Oxford, Oxford Medical Publications, 1993.
 - [16] 상도터널 조명개선 사업 시방서.
 - [17] 유정연, 벽 일체형 채광장치의 자연 채광 성능 평가 및 현회 문제 해결 방안, 한양대학교 공학석사 학위논문, pp23, 2003.12.
 - [18] 서울시 홈페이지: http://spp.seoul.gov.kr/main/news/news_report.jsp?search_boardd=1112&act=MEW&boardd=1112.

◇ 저자소개 ◇

이민희 (李敏熙)

1985년 6월 11일생. 2008년 8월 중앙대학교 건축학부 건축학전공 졸업. 현재 중앙대학교 대학원 석사과정 재학 중.

박진철 (朴辰哲)

1960년 11월 13일생. 1988년 중앙대학교 건축학과 졸업. 1990년 중앙대학교 대학원 건축공학과 졸업(석사). 1995년 중앙대학교 대학원 건축공학과 졸업(박사). 현재 중앙대학교 건축학부 부교수. 건설대학원 그린 빌딩 시스템학과장.

김원우 (金源雨)

1962년 11월 23일생. 1985년 중앙대학교 건축학과 졸업. 1991년 중앙대학교 건축학과 졸업(석사). 2007년 규슈대학교 공간시스템 전공 졸업(박사). 현재 경희대학교 건축공학과 Post doc.