

지하공동구 내 탈출 유도를 위한 비주얼 시그널 휘도 분석 및 광색 적용 연구

Visual Signal Luminance Analysis and Light Source Color Application Study for Escape Guidance in Underground Common Duct

임종민^{1*} · 공효주² · 신진수³ · 신상욱⁴ · 유성식⁵Jongmin Lim^{1*}, Hyojoo Kong², Jinsoo Shin³, Sangwuk Shin⁴, Seongsik Yoo⁵¹General Manager, Smart Green Research Headquarters, Korea Institute of Lighting & ICT, Bucheon, Republic of Korea²Senior Research Engineer, Smart Green Research Headquarters, Korea Institute of Lighting & ICT, Bucheon, Republic of Korea³Research Engineer, Smart Green Research Headquarters, Korea Institute of Lighting & ICT, Bucheon, Republic of Korea⁴Group Director, Smart Green Research Headquarters, Korea Institute of Lighting & ICT, Bucheon, Republic of Korea⁵Research Engineer, Smart Green Research Headquarters, Korea Institute of Lighting & ICT, Bucheon, Republic of Korea

*Corresponding author: Jongmin Lim, ljm4097@kilt.re.kr

ABSTRACT

Purpose: In this study, the luminance measurement analysis results of the smoke generation state are considered for visual signal display light color for real-time escape guidance in the underground common area. **Method:** We will analyze the scattering characteristics of light in the atmosphere and optical technology based on the visibility theory, and try to classify the elemental technology as a guidance function through a prototype of a visual signal display device for evacuation guidance. **Result:** In the experiment conducted under the smoke-generating condition, the results were derived with low luminance ratio and good visibility in the order of red, green, and yellow. However, this result is different from general lighting in which color rendering is considered, and is limited to signals for signals and detection. **Conclusion:** A conclusions were drawn by reflecting both the luminance measurement results in the smoke generation situation and the preference survey results conducted in previous studies for the light color of the visual signal for signal and detection. When events such as smoke occur, it is better to use the escape guidance visual signal in red or green.

Keywords: Visual Signal, Underground Common Duct, Light Source Color, Luminance, Escape Guidance

Received | 3 November, 2022

Revised | 25 November, 2022

Accepted | 28 November, 2022

OPEN ACCESS



This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permits unrestricted noncommercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

© Society of Disaster Information All rights reserved.

요약

연구목적: 본 연구에서는 지하공동구 내 실시간 탈출 유도를 위한 비주얼 시그널 표출 광색에 대하여 연기 발생 상태의 휘도 측정 분석 결과에 대하여 고찰하고자 한다. **연구방법:** 대기 중의 빛의 산란 특성 및 시인성 이론에 근거한 광학적 기술을 분석하고 탈출 유도를 위한 비주얼 시그널 표출 장치 시제품을 통하여 유도기능으로서의 요소기술을 분류하고자 한다. **연구결과:** 연기 발생 조건 상태에서 수행한 실험에서 적색, 녹색, 황색 순으로 휘도비가 낮고 가시성이 좋은 것으로 결과가 도출되었다. 단, 본 결과는 연색성이 고려되는 일반 조명과는 다른 결과로 신호용, 감지용 등의 시그널에 국한된다. **결론:** 신호용, 감지용 비주얼 시그널의 표출 광색에 대한 연기 발생 이벤트 상황에서의 휘도 측정 결과와 선행 연구에서 실시된 선호도 조사 결과를 모두 반영하여 결론을 도출하였다. 연기 발생 이벤트 발생 시 적색 또는 녹색의 광색으로 탈출 유도 비주얼 시그널을 적용하는 것이 좋을 것으로 판단된다.

핵심용어: 시각 신호, 지하공동구, 광원 색상, 휘도, 대피 안내

서론

지하공동구는 2종 이상의 라이프라인(도로/철도/항만의 교통시설, 전화/무선 방송시설 또는 통신시설, 상하수도/전력/가스 등의 공급 처리 기반 시설)을 수용하고 있는 지하 시설물로 편리한 도심 생활 조성을 위한 국가 중요 시설물이다. 따라서 지하공동구의 관리가 절실하게 필요하며 지하공동의 재난 발생은 막대한 경제적, 사회적 손실뿐만 아니라 국민 생활 불편은 물론 경제적 마비 현상으로 연결될 수 있는 엄청난 사회재난이라고 할 수 있다(Jung et al., 2020). 본 논문에는 지하공동구의 이벤트 발생 시 연기에 의해 작업자의 탈출 유도를 위한 골든타임에 대한 대처 지연으로 인한 인명피해를 최소화하기 위한 선행 연구로 시인성 탈출 유도 비주얼 시그널의 시인성 확보를 위해 적용되는 요소기술에 대하여 분류하였다. 지하 공동구와 같은 시설은 도시 관리 계획에 의한 결정과 설치가 필요한 시설로서 사회 기반 시설로 국토계획 및 이용에 관한 법률 제2조에서 기반 시설로 분류하고 있으며, 추가적인 세분과 구체적인 범위는 소방시설 설치·유지 및 안전관리에 관한 법률 등에서 규정하고 있다. 또한 소방시설 설치·유지 및 안전관리에 관한 법률 시행령 별표2 특정소방대상물 제28호에 지하 공동구는“전력·통신용의 전선이나 가스·냉난방용의 배관 또는 이와 비슷한 것을 집합 수용하기 위하여 설치한 지하 공작물로서 사람이 점검 또는 보수하기 위하여 출입이 가능한 것 중 폭 1.8m 이상이고 높이가 2m 이상이며 길이가 50m 이상(전력 또는 통신사업 용인 것은 500m)인 것”이라고 구체화하고 있다.

도로 조명의 경우 야간에 운전자가 장애물을 쉽게 인식하고 이를 회피하거나 안전하게 정지할 수 있도록 하여 운전자와 동승자 및 보행자의 안전을 도모하는 것이 목적으로 도로와 동일한 위치에 배치된 폴 위의 조명기구에서 나오는 빛으로 도로의 선을 인식하여 대비할 수 있도록 광학적 안내 역할을 한다. 지하공동구와 같은 지하 시설물의 경우에도 작업자와 순찰자의 안전 및 재난 발생 감지를 통한 사전 대응을 위한 최적의 환경조성이 필요하다고 할 수 있다. 이에 따라 각 지하공동구 환경 상황에 적합한 감지 대응을 위한 시인성 향상 개별 요소기술 분석을 통한 적용 기술개발이 필요하다고 할 수 있다(Lim et al., 2021). 특히, 화재로 인한 소화수 및 연기 발생은 지하공동구 유도조명에서 나오는 빛이 노면 및 전방에 전달되지 않기 때문에 감지할 수 있는 조도가 낮아지게 되고 특히 연기의 경우 빛이 산란되어 연기 자체에서 빛이 나기 때문에 상황 감지에 대한 관찰이 어려워져서 광학적 기능의 저하로 인하여 사고의 위험이 증대된다.

소방청 통계에 따르면 최근 5년간(‘17년~’21년) 화재 발생 시 연기 및 유독가스에 의한 사망자는 전체 사망자의 약 74%에 달해, 사망원인 1위인 것으로 나타났다. 특히 노인·장애인·영유아 등 재난에 취약한 시민의 경우 화재 발생 시 연기를 흡인해 대피 골든타임을 놓쳐 소중한 생명을 잃는 경우도 빈번하다. 연기가 발생한 화재 상황에서는 탈출구에 대한 정보를 대피자에게 빠르고 정확하게 전달하는 것이 가장 중요하다(Do, 2013).

본 논문에서는 탈출 유도조명의 색상과 관련된 선행 연구내용을 분석하고 이를 바탕으로 가설을 수립하여 비주얼 시그널 표출 장치 시작품을 제작한 후 다양한 분석 방법을 거쳐 최적의 탈출 유도조명의 색상을 도출하고자 한다.

탈출 유도조명의 색상과 관련된 선행연구 조사

비상 상황에서 색상별 시인성에 대한 선행연구

Na Chen의 연구에서는 지하철 안전 표지판에 적합한 색상을 찾기 위해 서로 다른 색상 조합의 4가지 안전 표지판을 설계하고 가상지하철 화재 탈출 실험에서 가상 현실, 시선추적 기술, 생리적 지표 측정을 활용하였다. 녹색과 검은색 조합이 대피

성능이 가장 우수하고 인지 부하가 낮으며 안전표지 검색효율이 높았으며, 또한 스트레스 수준과 몰입도가 가장 높아 안전표지에는 녹색과 검은색이 가장 적절한 색상으로 확인되었다(Chen et al., 2020).

Joseph Whitlock의 연구에서 적색 LED, 녹색 LED, 청색 LED, 점멸 LED에 대한 휘도 및 대비 평가를 실시했다. 색상 LED가 아닌 점멸 LED를 제외했을 때 휘도 수준은 연기가 있거나 없을 때 모두 적색, 녹색, 청색 순으로 높은 것으로 나타났다. 휘도 대비는 연기가 없을 때는 녹색, 적색, 청색 순으로 나타났으며 연기가 있을 때는 적색, 녹색, 청색 순으로 나타났다(Whitlock et al., 2018).

김철용 외 3인의 연구에서는 안개 발생 시 휘도에 따른 도로 전광 표지에 사용되는 색상별 판독거리를 개발한 모형으로 실험하였다. 실험 결과, 적색은 시정거리 10m에서 휘도 2,000cd/m²와 20,000cd/m² 일 때의 판독거리가 각각 10.2m와 18.8m로 84% 향상되었다. 시정거리 20m에서는 34%, 시정거리 30m에서는 17% 판독거리가 향상되었다. 녹색은 시정거리 10m에서 69%, 20m에서는 63%, 30m에서는 19% 판독거리가 향상되었다. 황색은 시정거리 10m에서 100%, 20m에서는 47%, 30m에서는 36% 판독거리가 향상되었다. 개발된 색상별 판독거리 모형식을 분석한 결과, 시정거리가 멀 때는 황색, 적색, 녹색 순으로 판독거리가 길게 나타났으나, 시정거리가 짧을 때는 녹색, 황색, 적색 순으로 판독거리가 길게 나타났다. 결과적으로 안개가 매우 짙은 환경에서는 녹색이 우수한 판독거리를 보여줌을 확인할 수 있다(Kim et al., 2020).

김영삼 외 2인의 연구에서는 화재 발생 시, 피난자들이 효과적으로 피난유도사인을 인식할 수 있도록 연기 속에서 효율적인 색상에 관한 조도와 휘도실험을 실시하고 시인성이 우수한 색상을 추출하여 피난 유도사인에 적용할 것을 제안하였다. 연구 방법으로는 일정한 조도를 유지하는 LED라이트박스에 6색(Red, Green, Blue, Orange, Yellow, GreenYellow)을 인쇄한 후 분광조도와 동영상대면휘도 실험을 실시하여 인간의 시지각과 가장 근접한 색상 범위를 확인하였다. 결론적으로 거리별 시인성이 가장 좋은 Yellow색상을 추출하고 피난유도사인의 적용색으로 제안하였다(Kim et al., 2018).

비상상황시 유도등의 휘도기준을 살펴보았다. 소방방재청, 유도등 및 유도표지의 화재안전기(NFSC 303) 해설에 따르면 피난구유도등 표시면의 색상은 녹색바탕에 백색문자로 표시하며 휘도는 비상점등시 평균 100cd/m² 이상의 기준을 두고 있다. EN 1838의 녹색 탈출유도등의 최소 휘도는 2cd/m²의 기준을 제시하고 있다.

비상 상황 색상에 따른 선호도 및 연관성에 대한 선행연구

Max Kinateder의 연구에서는 가상 현실(VR)을 사용하여 시뮬레이션된 비상 대피에서 사람들이 출구 표시로 유추할 가능성이 가장 높은 색상을 연구했다. 실험이 일어난 건물을 포함하여 지역 환경의 출구 표시판이 빨간색임에도 불구하고 참가자들은 주로 녹색 표시판을 향해 걸어갔다. 그러나 실험 후 설문조사에서 대부분의 참가자는 출구 표시가 빨간색이어야 한다고 답변했다. 결과는 관찰자가 비상 상황에서 행동 할 것이라고 생각하는 방식(빨간색=출구)과 시뮬레이션된 비상 상황에서 행동한 방식(초록색=출구) 사이에 차이가 있음을 보여주었다(Kinateder et al., 2019).

Daniel Nilsson의 연구에서는 비상시에 색상들이 갖는 의미적 연관성을 실험했다. 그 결과 녹색은 주로 “안전”과 관련된 반면 빨간색은 주로 “위험”과 연관성이 있었다. 노란색, 파란색, 흰색은 특별한 관련성이 없었지만 주황색과 노란색은 “경고”와 연관성이 있었다. 또한 녹색으로 제작된 비상 출구 조명을 적색, 주황색, 청색으로 된 조명을 비교했을 때 녹색이 더 좋다는 의견이 다수 이상인 것으로 확인되었다. 하지만 청색을 제외한 적색, 주황색은 유의성이 5%를 크게 초과하는 수준으로 나타나 큰 연관성을 갖지는 않는 것으로 분석되었다(Nilsson et al., 2005).

Na Chen의 연구에서 실시 한 사후 설문조사에서 응답자의 85.4%가 “녹색과 검정색”이 “가다” 또는 “안전”을 의미한다고 생각하고, 참가자의 76%가 “빨간색과 검정색”이 “중지”의 의미를 전달한다고 설문하였다. ‘노란색과 검정색’은 67%가 ‘경고’를 의미하며, 59.4%는 ‘청색과 흰색’이 ‘표시’의 의미를 전달한다고 생각했다. 이것은 또한 대부분의 사람들이 적절한 안전 표지 색상으로 “녹색 및 검정색”을 사용한다는 것을 보여준다. 하지만 이 실험은 중국인을 대상으로 한 것으로 색의 의미는 문화에 따라 다르며, 같은 색이라도 문화에 따라 의미가 다를 수 있음을 강조하였다(Chen et al., 2020).

Mary F. Lesch의 연구에서는 미국 대학생 40명과 중국 대학생 43명을 대상으로 색상, 신호, 기호에 대한 다양한 구성을 1 (전혀 위험하지 않음)에서 9(매우 위험)까지의 척도로 평가했다. 미국 피험자는 적색, 주황색, 흑색, 황색, 녹색, 청색 순으로 위험하다고 인지했으며 중국 피험자는 주황색, 적색, 흑색, 녹색, 청색, 황색 순으로 위험하다고 인지해 차이를 보였다. 미국 피험자는 중국 피험자보다 위험 등급이 높게 나타났으며 색상에 대한 응답으로부터 위험의 인지에 대한 상대적 수준에서 문화 간 차이가 관찰되었다(Lesch et al., 2009).

오륜석 외 1인의 연구에서는 가시광선 영역에 있는 27가지의 유도등 그래픽 심볼 색조합을 대상으로 인간의 반응시간을 측정하고, 이를 통해 유도등에 대한 반응시간을 최소화할 수 있는 그래픽 심볼 색조합을 도출하였다. 그 결과, 현재 국내에서 주로 사용하고 있는 녹색과 흰색 바탕색의 색조합이 가장 반응시간이 짧은 것으로 나타났다(Oh et al., 2020).

신상욱 외 2인의 연구에서는 남녀 30명을 대상으로 실시한 선행연구에서 Fig. 1과 같은 표출 광색에 따른 선호도 조사를 실시하였다. 도형 비주얼 시그널의 광색으로 주간에는 적색(53.3%), 황색(26.6%), 녹색(10%), 백색(10%) 순으로 선호했고 야간에는 적색(40%), 황색(26.6%), 녹색(20%), 백색(13.3%) 순으로 선호했다(Shin et al., 2020). 주간에는 적색을 선호하는 비율이 50% 이상으로 다른 색상과 명확한 선호도 차이가 났으나 야간에는 그 차이가 줄어드는 것으로 확인되었다.

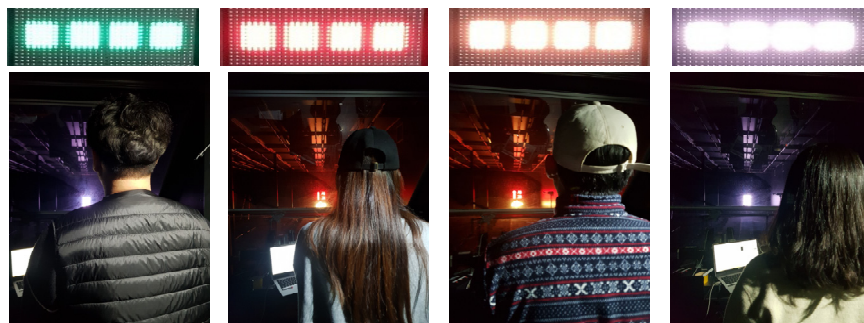


Fig. 1. Preference survey on light color of visual signal display

선행연구 결과에 대한 분석 및 가설 도출

안개 상황의 시인성에 대한 선행연구 결과에서는 다양한 색상이 우수한 것으로 평가되어 특정한 색상이 우수하다는 결과를 도출하기 어려웠고 하나의 색상이 우수하게 평가되더라도 다른 색상과 큰 수준의 차이를 나타내지는 않는 것으로 나타났다. 앞서 확인한 산란 이론에서 미에 산란이 파장에 크게 의존적이지 않음을 볼 때 특정 색상이 우수하게 평가되기는 어려운 것으로 판단된다.

즉 설문조사에서는 “안전”에 대한 의미를 갖는 색상은 녹색이었으며 “위험”을 의미하는 색상은 적색으로 느끼는 것으로 분석되었고 눈으로 직접 보는 표출 광색의 선호도 조사의 경우 적색을 더 눈 잘 띄는 것으로 나타났다.

시작품 제작 및 표출 사양

시작품 제작

분석을 위한 사전 검증 시작품의 형태는 점/소등 및 점멸 TEST를 위한 점 형태의 연속 표출 시작품과 시인성 검증을 위한 적색(R), 녹색(G), 황색(Y) 3가지 광색 표출 제어가 가능한 Fig. 2와 같은 시작품을 제작하였다. 시작품의 사양은 Table 1과 같다.

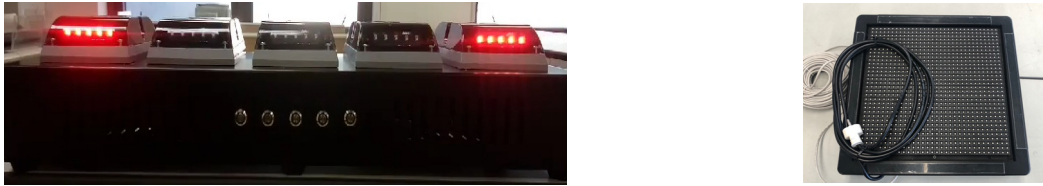


Fig. 2. Prototype for luminance analysis

Table 1. Specifications of LED emergency visual signal light

구분	내용
LED 모듈 크기	160 × 160mm
LED 모듈 수량	5개
기능	LED제어 : 백색(W), 적색(R), 녹색(G), 황색(Y) 색상표출 밝기, 색상별 점/소등 및 점멸 스케줄 지정 가능
전체 크기(표출부)	400 × 400mm(320 × 320mm)
Drive Duty	고휘도 1/2Duty
전원장치	SMPS 200W
컨트롤러	32bit Micro Controller

비주얼시그널 표출

광색은 연기 이벤트 발생상황 투과 휘도 측정 시험을 위하여 평상시와 이벤트 발생 시 적용하여 Table 2와 같이 3가지 광색(적색, 황색, 녹색)을 선정하였으며 선호도 선행조사 결과와 휘도 측정분석 결과를 반영하여 탈출 유도 적용 비주얼 시그널 광색을 제시할 예정이다.

Table 2. Visibility analysis on light color of display



표출방식은 Table 3과 같이 도형과 문자 등 다양한 방식이 적용 가능하지만 지하공동구 구조에 적용할 수 있는 최적의 방

식인 포인트 발광방식을 본 연구 개발 목표인 지능형 조명시스템에 내장 형태로 제작될 예정이다. 특히 지하공동구 구조는 전력구의 경우 높이 2.1m, 폭 1.8m / 상수구의 경우 높이 2.1m, 폭 3.6m로 공간이 협소하며 통행의 원활함을 위해 등기구 높이는 15cm 이내로(바닥부터 천장 등기구 하단까지의 높이 1.95m) 천장 중앙 취부방식으로 적용되며 지능형 조명시스템에는 조명 디밍 기술 및 작업자 위치 감지 기술, 가스 환경 감지 기술, 침입자 감지 기술, 탈출유도 비주얼 시그널 기술 등이 함께 내장되어 10m 이내 간격으로 설치하고자 한다.

Table 3. Signal display form

화살	분할화살	점/도형	문자
			

장비 활용 이벤트 연출 후 연기 상태의 시인성 측정 및 분석

측정 장비

본 측정은 연기 및 소화수 연출이 가능한 Fig. 3의 기후환경 테스트베드에서 화재로 인한 연기 발생 이벤트 상황으로 측정하였다. 테스트베드 및 연기 발생기의 제원은 다음과 같다. 여기에서의 크기는 3중 개착식 공동구의 단면은 폭 3,850, 높이 2,350을 조건을 두기 때문에 조건과 유사한 크기의 공간을 선택하였다.

- 크기 : 3,000 × 3,000 × 12,000mm
- 구성 : 연기 발생 제어시스템, 챔버 내 조명 및 제어시스템, 환풍 시스템 등
- 연기 발생기 : Antari M-10, 연무액 소비 250ml/min, 분사량 10~100% 제어 등



Fig. 3. Climate environment test bed

또한 각 환경조건에 따른 시인성 평가를 위하여 휘도 측정 장비와 분석프로그램을 활용하였으며 제원 및 분석화면은 Fig. 4와 같다.

- 측정장비 및 소프트웨어 : LMK Mobile Advanced 및 LMK Labsoft
- 측정항목 : 면 휘도, 광 색도, 색 분포 등
- 분석항목 : 면 휘도 평가, 점 휘도 평가, 영역설정 휘도 평가 등

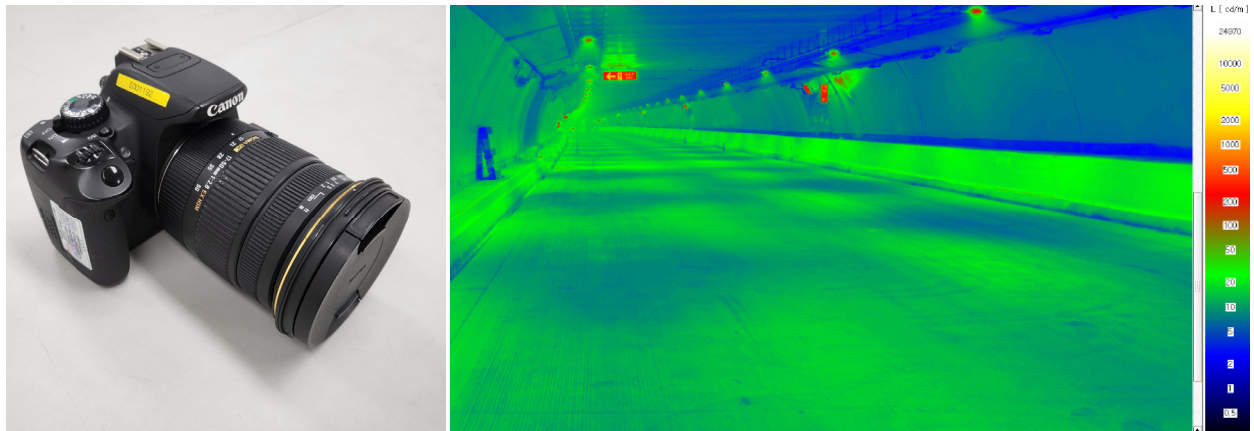


Fig. 4. Analysis screen of LMK Labsoft software

측정조건 및 분석결과

측정조건은 평상시 맑은 상태 기준으로 연기 상태의 휘도 값을 측정하여 평가를 진행하였으며 이벤트 발생 시를 가정하여 연기 발생기 분사량 50%(가시거리 약 40~60m)의 연기를 분사하고 각각의 광 색별 동일한 환경조건으로 측정분석 하였다. 또한 표출 광색은 적색, 황색, 녹색을 점등한 후 맑은 상태와 연기 상태의 휘도 분석을 진행하였고 측정 거리는 설치되는 비주얼시그널의 간격을 고려하여 10m 이내로 하였으며 휘도 측정 및 환경조건은 Table 4과 같다.

Table 4. Luminance measurement and environmental conditions

맑음	연기 발생		
	적색	황색	녹색

휘도 측정 장비를 사용하여 측정 및 분석한 결과는 Table 5과 같이 적색, 녹색, 황색 순으로 연기 발생 이벤트 적용 대비 휘

도 증가비가 낮아 연기 발생 시에 더 가시성이 뛰어난 결과가 도출되었다. 여기서 측정 휘도 값은 최대휘도 값이며 각 광 색별 모듈에서 동작되는 전류값이 다르기 때문에 휘도 밝기 차이가 발생하고 이에 따라 맑은 상태와 연기 상태의 휘도 증가비를 산출하여 분석하였다. 단, 본 결과는 연색성이 고려되는 일반 조명과는 다른 결과로 신호용, 감지용 등의 시그널에 국한된다.

Table 5. Luminance analysis result by light color of visual signal according to event occurrence

색상	항목	환경조건				
		연기 발생(a)	맑음(b)			
적색	30초 간격 반복 측정 휘도값[cd/m ²]	1	2,689	128,800		
		2	2,695	128,600		
		3	2,690	128,900		
		4	2,690	128,800		
		5	2,697	128,900		
		평균	2,692.2	128,800.0		
		표준편차	3.19	109.54		
		연기 발생 이벤트 적용 대비 평균 휘도 증가비		4,784%		
		녹색	30초 간격 반복 측정 휘도값[cd/m ²]	1	2,822	140,100
				2	2,835	139,900
3	2,838			140,100		
4	2,825			140,000		
5	2,840			139,900		
평균	2,832.0			140,000.00		
표준편차	7.18			89.44		
연기 발생 이벤트 적용 대비 평균 휘도 증가비				4,944%		
황색	30초 간격 반복 측정 휘도값[cd/m ²]			1	2,990	194,100
				2	2,996	194,200
		3	2,982	194,500		
		4	2,985	194,300		
		5	2,992	194,400		
		평균	2,989.00	194,300.00		
		표준편차	4.98	141.42		
		연기 발생 이벤트 적용 대비 평균 휘도 증가비		6,501%		

* 휘도 증가비[%] = (b / a) × 100

이미지 품질 측정(PSNR, SSIM)을 통한 시인성 측정 및 분석

PSNR(Peak Signal-to-Noise Ratio) 및 SSIM(Structural Similarity Index Map)

PSNR은 이미지의 화질에 대한 손실 정보를 평가하는 기법이며 기준이 되는 이미지와 처리된 이미지를 수치적으로 도출이 가능하며 두 이미지 비교 시 사용된다. SSIM은 두 이미지의 휘도, 대비 및 구조를 비교로 수치적인 에너지가 아닌 인간의 시각적 화질 차이 및 유사도를 평가하는 것이다.

PSNR 및 SSIM의 수식은 다음과 같다.

$$PSNR = 10 \log \frac{S^2}{MSE} \tag{1}$$

여기서 S: 최대값에서 최소값을 뺀값, MSE: 평균제곱오차

$$SSIM(A, B) = \frac{\iota(A, B)c(A, B)s(A, B)}{(2\mu_A\mu_B + C_1)(2\sigma_{AB} + C_2)} = \frac{(\mu_A^2 + \mu_B^2 + C_1)(\sigma_A^2 + \sigma_B^2 + C_2)}{\dots} \tag{2}$$

여기서 A: 원본이미지, B: 왜곡된 이미지, $\iota(A, B)$: 두 이미지간의 평균 휘도비교, $c(A, B)$: 이미지 대비 비교, $s(A, B)$: 이미지 구조 비교

따라서, 본 논문에서는 연기가 없는 기준 이미지와 연기를 발생한 처리된 이미지 두 개의 PSNR 및 SSIM을 분석하였다. 즉, 적색, 황색 및 녹색 환경에서 연기 발생 유무에 따른 이미지를 촬영하여 이미지의 손상도 및 시인성을 평가하였으며 거리는 공동구에 설치되는 10m 간격의 등기구 사이 중간지점을 감안하여 5m 이격하여 분석 하였다.

PSNR 및 SSIM 분석결과

PSNR 및 SSIM 분석을 위해 사용된 이미지는 Table 6과 같으며 측정 결과는 Table 7과 같다. PSNR 및 SSIM은 높은 값일 수록 이미지의 손상도가 적고 시인성이 높다는 뜻이다. 적색, 황색 및 녹색 중에서 PSNR 및 SSIM이 가장 높은 색상은 적색으로 27.39 PSNR과 0.7496 SSIM으로 나타났다. 그러나 황색 및 녹색 색상도 적색과 유사한 21.56 PSNR(황색), 0.6745 SSIM(황색) 및 23.07 PSNR(황색), 0.5199 SSIM(황색)으로 나타났다. 즉, 연기 발생시 색상(적색, 황색, 녹색)에 따라 시인성 성능의 차이는 크지 않는 것으로 나타났다.

Table 6. Image with and without smoke

연기발생 유무	색상		
	적색	황색	녹색
연기발생 없음 (기준 이미지)			
연기발생 (처리 이미지)			

Table 7. PSNR and SSIM analysis results

구분	PSNR	SSIM
적색	27.39	0.7496
황색	21.56	0.6745
녹색	23.07	0.5199

결론 및 논의

선행연구 결과 표출 광색 선호도 선행연구 결과에 따르면 조사대상자 30명 모두가 주변 환경과 관계없이 천장 일반 조명 점등(주간 조건) 및 천장 일반 조명 소등(야간 조건) 모두 적색을 선호하였고 그다음으로 황색, 녹색 순으로 선호하는 것으로 분석되었다. 또한 안개 발생 시 휘도에 따른 도로 전광 표지에 사용되는 색상별 판독거리를 개발한 모형으로 실험한 선행 연구결과 10m 거리에서는 녹색보다 적색의 판독거리 향상이 다소 높은 것으로 연구 결과가 분석되었다. 본 논문에서는 신호용, 감지용 비주얼 시그널의 선호도 선행연구 조사 결과 및 비주얼 시그널의 표출 광색을 적용한 맑은 상태와 연기 발생 이벤트 상황에서의 휘도를 분석하였다. 이번 실험에서도 10m이내에서의 발광 휘도분석 결과 적색이 연기 상태의 이벤트 발생 환경조건의 휘도가 근소하게 높은 것으로 분석되었으며 시인성 분석 결과 역시 적색과 녹색이 큰 차이가 발생하지 않은 것으로 결과가 도출되었다. 공동구는 공간이 협소하고 등기구의 간격이 10m 이내인 점을 감안하면 이벤트 발생 시 적색으로 탈출 유도를 적용하여야 하나 녹색과의 휘도 차이가 근소하게 나타났으며 선행 설문 조사 연구 결과 일반적으로 “안전”에 대한 의미를 갖는 색상은 녹색이었으며 “위험”을 의미하는 색상은 적색으로 인식하고 있기 때문에 이벤트 발생 시에는 녹색으로 탈출 유도 방향의 비주얼 시그널을 점멸로 표출하여 시인성을 높이고 반대 방향으로 적색의 비주얼 시그널을 점멸 없이 표출함으로써 시각적으로 위급 상황에서의 탈출 유도를 확실하게 구분하는 것이 적합하다고 판단 된다. 추가적으로 시인성 탈출 유도 등 이외에도 소리(경보음), 피난시설과 대피경로 정보제공 등의 복합적인 탈출유도 정보 제공이 필요한 것으로 판단된다. 또한 향후 철도 터널, 차량 터널, 지하철, 극장 등 비상시 탈출 유도를 위한 표출 시그널 적용에 참고가 될 것으로 기대된다.

Acknowledgement

이 논문은 2022년도 정부(과학기술정보통신부, 산업통상자원부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2020-0-00061, 디지털트윈 기반의 지하공동구 화재·재난 지원 통합플랫폼 기술개발).

References

- [1] Chen, N., Zhao, M., Gao, K., Zhao, J. (2020). “The physiological experimental study on the effect of different color of safety signs on a virtual subway fire escape: An exploratory case study of Zijing mountain subway station.” *International Journal of Environmental Research and Public Health*, Vol. 17, No. 16, pp. 1-18.
- [2] Do, D.-M. (2013). *RFID-based Indoor Location Recognition System for Emergency Evacuation Support in Emergency*. Master's Thesis, Dongmyung University.
- [3] Jung, W.-S., Myung, S.-I., Lee, M., Oh, S.-H., Jeong, D.Y. (2020). “A study on the disaster management method of

- underground facility tunnel based on digital twin technology.” Journal of The Society of Disaster Information, Seoul, Republic of Korea, pp. 75-76.
- [4] Kim, C., Lee, S., Yun, I., Oh, J. (2020). “Development of legibility distance models for each color according to luminance under foggy condition.” The Journal of The Korea Institute of Intelligent Transport Systems, Vol. 19, No. 3, pp. 52-61.
- [5] Kim, Y.S., Lee, S.W., Kim, K.I. (2018). “A study on high visibility colors of evacuation guidance signs in the fire smoke; suggestion of an applicable color for LED emergency exit guidance lamps.” The Korean Society of Illustration Resrach, Vol. 57, pp. 108-116.
- [6] Kinatader, M., Warren, W.H., Schloss, K.B. (2019). “What color are emergency exit signs? Egress behavior differs from verbal report.” Journal of Applied Ergonomics, Vol. 75, pp. 155-160.
- [7] Lesch, M., Rau, P.-L., Zhao, Z., Liu, C. (2009). “A cross-cultural comparison of perceived hazard in response to warning components and configurations: US vs. China.” Applied Ergonomics, Vol. 40, pp. 953-61.
- [8] Lim, J.-M., Kong H.-J., Shin, S.-W. (2021). “Development of optical design for intelligent lighting system applied to underground common area.” Journal of The Society of Disaster Information, Seoul, Republic of Korea, pp. 57-58.
- [9] Nilsson, D., Frantzich, H., Saunders, W. (2005). “Coloured flashing lights to mark emergency exits - Experiences from evacuation experiments.” Fire Safety Science, Vol. 8, pp. 569-579.
- [10] Oh, R.-S., Choi, J.-H. (2020). “Development of standards for production of an exit sign lighting to minimize human reaction time: Part II: Combination of graphical symbol colours.” Fire Science and Engineering, Vol. 34, No. 6, pp. 51-58.
- [11] Shin, S.-W., Kwon, K.-T., Lim, J.-M. (2020). “A study on the optimization Procedure of Variable Message Signs(VMS) according to information expression method preference survey.” Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers, Vol. 34, No. 11, pp. 1-7.
- [12] Whitlock, J. (2018). The Photometric and Psychonomic Evaluation of Exit Signs and Wayfinding Technology. Ph.D. Dissertation, Indiana University of Pennsylvania, US.