

시지각 데이터를 활용한 어린이 보행환경의 도시설계적 개선 방안 연구 -차량진출로 및 횡단보도 인근을 중심으로-

남다인*, 남궁준형**, 김용진*

*국립한국교통대학교 도시·교통공학과

e-mail:namdain1111@a.ut.ac.kr

A Study on Urban Design Improvement Measures for Children's Pedestrian Environments
Using Visual Perception Data

DaIn Nam*, Jun-Hyeong Namgung*, Yong-Jin Kim*

*Dept. of Urban Transportation Engineering,
Korea National University of Transportation

요약

본 연구는 어린이 보행자의 시지각적 특성을 실증적으로 규명하고, 이를 반영한 도시설계적 개선방안을 제시하고자 하였다. 세종시의 초등학교 및 학원가에서 안경형 시선추적기를 활용하여 어린이 33명, 성인 22명을 대상으로 현장 실험을 실시하였다. 정제된 데이터(어린이 29명, 성인 21명)를 히트맵 및 AOI 분석을 통해 비교하였다. 분석 결과, 어린이는 좁은 수직 시야, 바닥 집중, 좌우 전환 부족 등 성인과 뚜렷한 차이를 보였다. 이는 위험 인지 시연으로 이어져, 현행 성인 중심의 보행환경 설계가 어린이 보행자에게 효과적이지 않음을 확인하였다. 본 연구는 시야 삼각형 확보, 내민 보도 설치, 바닥형 경고장치 도입, 차량 진출입부 통합 설계 가이드라인, 보행 경로 유도 장치 마련 등을 제안하였다. 연구는 교통약자 중심의 보행환경 설계 지침 마련을 위한 기초자료로 활용될 수 있다.

2. 이론적 고찰

1. 서론

도시 가로는 다양한 교통 활동과 생활 행위가 교차하는 복합 공간으로, 안전성과 편의성은 도시의 질을 결정하는 중요한 요소이다. 그러나 현행 보행환경 설계 기준은 성인과 차량을 중심으로 마련되어 있어 어린이, 노인, 장애인 등 교통약자의 시지각적 특성을 충분히 반영하지 못한다. 특히 어린이 보행자는 좁은 시야, 미숙한 판단 능력, 충동적 행동 등으로 인해 교통사고 위험에 구조적으로 취약하다.

이에 본 연구는 어린이 보행자의 실제 시각적 주의 특성을 정량적으로 분석함으로써 보행환경 설계의 과학적 근거를 제시하고자 한다. 구체적으로, 시선추적 장비를 활용하여 고위험 보행 구간에서 어린이의 시선 패턴과 주의 집중 특성을 규명하고, 보행환경 요소와의 연관성을 분석한다. 이를 바탕으로 본 연구는 어린이 보행자의 주시 특성을 기반으로 한 설계적 시사점을 도출하는 데 목적이 있으며, 연구의 결과는 교통약자 중심의 안전한 보행환경 설계 지침 수립을 위한 학문적·실천적 기초자료를 제공하고자 한다.

2-1. 보행환경 설계 기준과 한계

「보도설치 및 관리지침」은 보도의 연속성, 평탄성, 최소 유효폭 등을 규정하고 있으나, 대부분의 기준이 성인 중심으로 마련되어 있어 어린이와 같은 취약 보행자의 시지각적 특성을 충분히 고려하지 못하는 한계를 가진다. 이에 「교통약자의 이동편의 증진법」은 차량 진출입부 단차 해소, 포장재 구분 등을 상세히 제시한다. 그러나 실제 현장에서는 불법 주정차, 가설물 설치, 관리 주체 분산 등으로 규정이 일관되게 적용되지 못하고 있다.

2-2. 어린이 보행 특성

어린이는 성인에 비해 거리와 속도 판단 능력이 미숙하고 좌우 탐색이 제한적이다(Schwebel et al., 2012). Wann et al.(2011)은 아동이 시각 팽창 민감도가 낮아 시속 40km 이상 접근하는 차량을 효과적으로 탐지하지 못한다는 사실을 입증하였다. 또한 저학년 아동은 충동성과 주의 분산이 두드러지며, 고학년 아동은 또래 압력에 따른 위험 행동 경향이 강하다(황대철 외, 2011). 최재원(2013)은 익숙한 환경에서는 무단횡단을 위험하지 않게 인식하는 경향이 있다고 분석하였다. 이처럼 발달적·행동적 요인은 환경적 요인과 결합해 사고 위험을 증폭시킨다.

2-3. 시선추적 기반 연구 동향

시선추적은 보행자의 주시 분포와 인지 과정을 정량적으로 규명 할 수 있는 방법론으로, Heatmap과 AOI 분석이 주로 활용된다. 김주연 외(2020)는 안경형 시선추적기를 활용하여 실제 가로환경에서 보행자의 주시 집중 구간을 도출하였다. 이선희·이창노(2016)는 사진 기반 실험을 통해 건물과 가로 시설물이 주시 분포에 영향을 미친다는 점을 밝혔다. Tomoda et al.(2022)은 일본 초등학생을 대상으로 한 VR 실험에서 바닥 표지가 정지 행동을 유도함을 확인하였고, Sando et al.(2024)은 VR 횡단 시설 실험에서 안전한 이동이 좌우 확인 빈도와 판단 시간이 더 높음을 입증하였다. 그러나 대부분의 선행연구는 제한된 환경에서 수행되어 실제 보행환경에서의 어린이 시지각 특성을 충분히 반영하지 못하였다.

2-4. 연구의 차별성

본 연구는 실제 보행환경에서 안경형 시선추적기를 활용해 어린이 보행자의 주시 특성을 정량적으로 규명하였으며, 이를 도시설계 개선안으로 제시한다는 점에서 의의가 있다.

3. 연구방법

3-1. 실험 대상 및 대상지

본 연구의 실험 대상은 만 13세 미만의 어린이 33명과 성인 22명으로 구성되었다. 어린이 참가자는 세종시 소재 초등학교 재학생을 중심으로 모집하였으며, 성인은 보호자 및 대학생을 포함하여 대조군으로 설정하였다. 데이터 정제 과정에서 장비 인식 오류, 경로 이탈, 착용 불편 등으로 일부 자료가 제외되었으며, 최종적으로 어린이 29명, 성인 21명의 데이터가 분석에 활용되었다. 연구 대상지는 세종시 새롬초등학교, 소담초등학교, 아름동 학원가 일대로 설정하였다. 해당 지역은 교통사고분석시스템(TAAS)을 기반으로 어린이 보행사고 다발 지점으로 확인되었으며, 통학 시간대 보행량 집중, 불법 주정차, 상업시설 밀집 등의 요인으로 어린이의 교통사고 위험이 높은 구간이다.

3-2. 실험 절차

실험은 사전 실험, 본 실험, 데이터 정제의 세 단계로 진행되었다. 먼저 사전 실험을 통해 보행 경로의 적절성과 소요 시간, 잠재적 위험 요인, 장비 작동 상태를 검증하였다. 본 실험에서는 피험자에게 안경형 시선추적기를 착용하도록 하고, 연구자가 설정한 경로를 보행하도록 하였다. 어린이 참가자의 경우 이해를 돋기 위해 눈높이에 맞춘 설명과 시연을 제공하였으며, 연구보조원은 일정 간격을 두고 동행하여 돌발 상황에 대비하고 경로 이탈을 방지하였다. 데이터 정제 단계에서는 Pupil Labs 소프트웨어를 활용하여 시선 데이터에서 오류 구간을 제거하고, 유효한 시선 고정 데이터만을 분석에 반영하였다.

3-3. 분석 지표 및 방법

분석 지표는 크게 네 가지로 설정하였다. 첫째, 히트맵 분석을 통해 각 구간에서 시선 집중 패턴을 시각적으로 확인하였다. 둘째, AOI(Grid map) 분석을 통해 래퍼런스 이미지를 격자로 분할하고 영역별 시선 고정 횟수를 산출하여 정량적 비교를 수행하였다. 셋째, 좌우 전환 횟수를 산정하여 시선 탐색 능력을 평가하였다. 네째, 시선의 수직적 분포를 분석하여 차량 접근 인지 가능성은 검토하였다. 이러한 지표는 어린이와 성인의 시지각적 차이를 다양하게 규명하기 위한 방법론적 근거를 제공한다.

4. 결과 분석

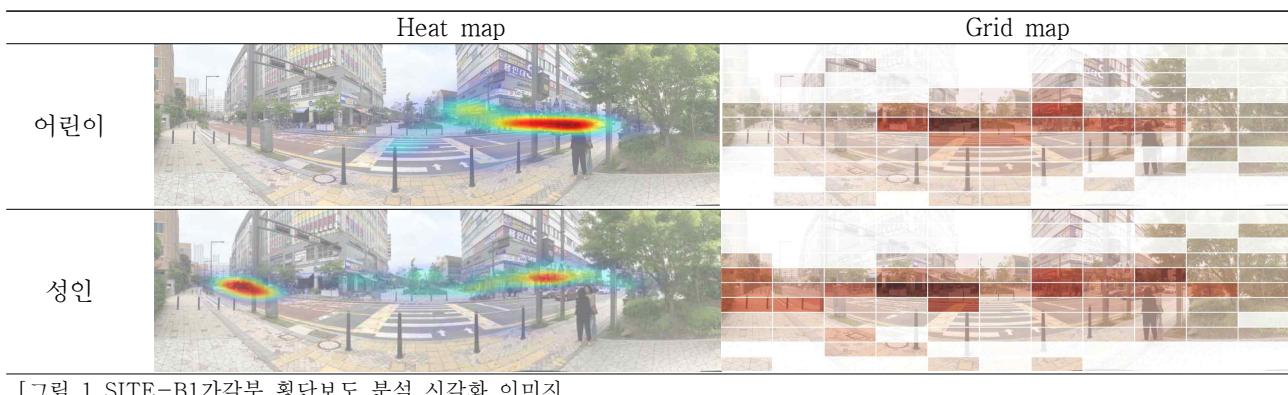
4-1. 횡단보도 주시 특성

직선형 횡단보도 구간에서 성인은 진입 전 좌우 차량 접근 방향을 폭넓게 탐색하는 주시 패턴을 보였다. 반면 어린이는 특정 간판, 보도 포장 패턴, 신호등 기둥 등 시각적으로 두드러진 요소에 시선을 집중하였으며, 좌우 탐색이 충분히 이루어지지 않았다. 이는 어린이가 실제 위험 요소보다 주변의 시각적 자극에 주의가 분산되는 경향을 의미한다. 가각부 횡단보도 구간에서는 차량의 진입 각도가 다양하고 불법 주정차로 인해 사각지대가 발생할 가능성이 높다. 성인 집단은 이러한 상황에서 주된 위험 요인인 차량 접근 방향에 시선을 집중하는 선택적 탐색 경향을 보였다. 그러나 어린이는 시선을 여러 지점에 산발적으로 분산시켜 주요 위험 요인을 선별적으로 탐색하지 못하였다. 이는 복합적 상황에서 위험 우선순위를 판단하는 능력이 부족함을 나타낸다.

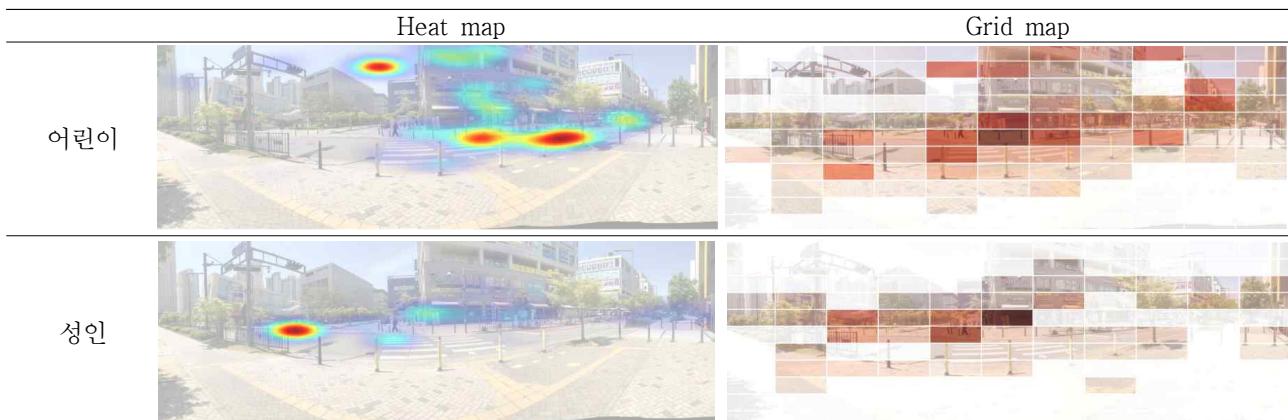
4-2. 차량 진출입부 주시 특성

차량 진출입부에서는 어린이와 성인 간의 시선 탐색 특성이 뚜렷하게 구분되었다. 수평적 탐색에서 성인은 좌우 전환 빈도가 높아 차량 출현 가능성을 적극적으로 확인하였다. 새롬초 구간에서 성인의 좌우 전환 평균은 0.47회였으나, 어린이는 0.15회에 그쳤다. 아름동 학원가 구간에서는 성인이 평균 1.50회의 좌우 확인을 수행한 반면, 어린이는 0.50회에 불과하였다. 이는 어린이가 차량 출현 가능성을 충분히 탐색하지 않은 채 보행하는 경향을 보여준다.

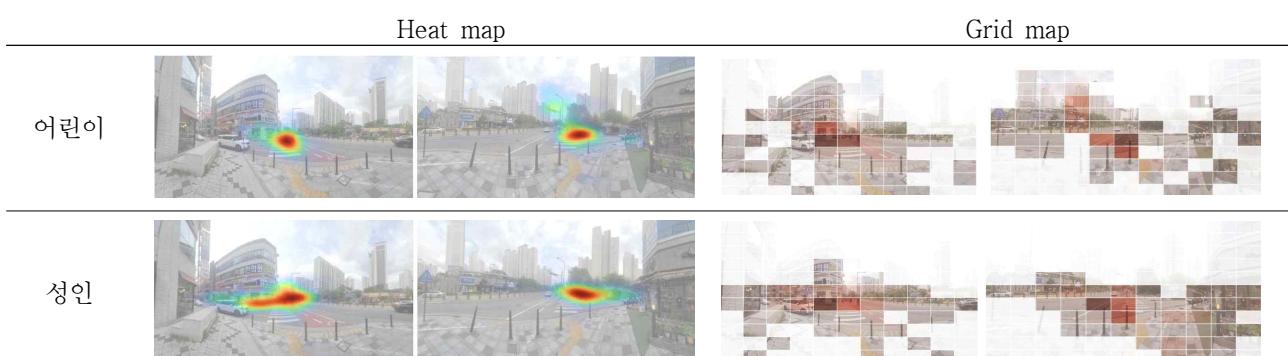
수직적 탐색에서도 차이가 뚜렷하였다. 성인은 차량 전조등 높이에 시선을 분포시켜 잠재적 위험 요소를 효과적으로 인지하는 반면, 어린이는 바닥에 시선을 집중하는 경향이 강하게 나타났다. 이러한 결과는 상부에 설치된 경고등이나 안내 표지가 어린이의 시야에는 잘 들어오지 않음을 의미하며, 지면 포장이나 바닥형 경고장치가 더 효과적인 대안임을 시사한다.



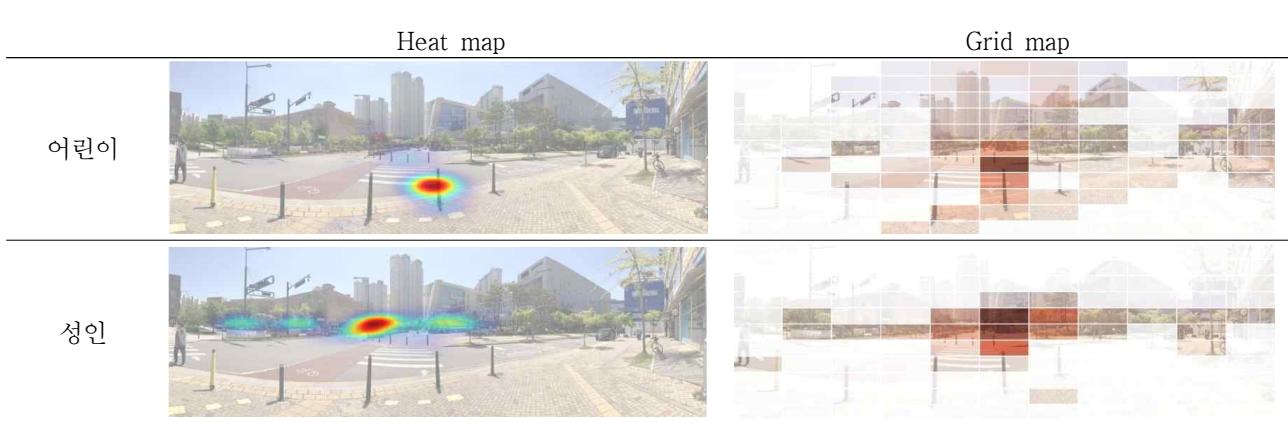
[그림 1 SITE-B1가각부 횡단보도 분석 시각화 이미지]



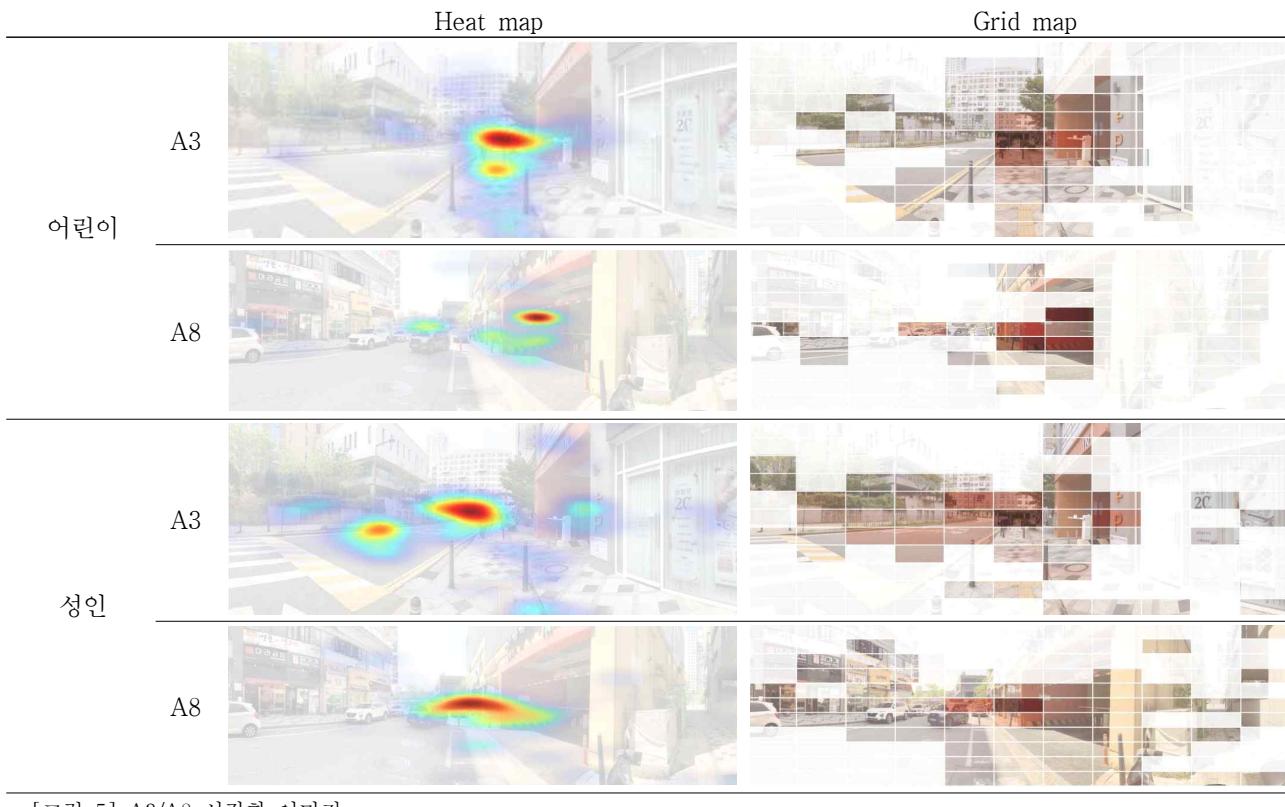
[그림 2 SITE-B5가각부 횡단보도 분석 시각화 이미지]



[그림 3 SITE-B3/4 가각부 횡단보도 분석 시각화 이미지]



[그림 4 SITE-B6 가각부 횡단보도 분석 시각화 이미지]



[그림 5] A3/A8 시각화 이미지

5. 결론

본 연구는 세종시 어린이 보행 사고 다발 구간을 대상으로 안경형 시선추적기를 활용하여 어린이와 성인의 시지각 특성을 비교 분석하였다. 분석 결과, 어린이는 좁은 좌우 시야, 하향 집중, 좌우 전환 부족 등 성인과 구별되는 주시 특성을 보였으며, 이는 위험 인지 지연으로 이어질 수 있음을 확인하였다.

학문적으로 본 연구는 기존 설문·가상실험 중심의 연구 한계를 넘어 실제 보행환경에서 어린이의 시선 데이터를 수집·분석하였다는 점에서 의의가 있다. 실천적으로는 어린이의 시각적 제약을 반영한 구체적 설계 대안을 제시하여, 단순 시설물 확충이 아닌 질적 전환을 강조하였다. 다만 연구는 특정 지역과 제한된 표본에 기반하고 있어 일반화에는 한계가 있으며, 계절과 시간대, 날씨 등 다양한 변수의 완전한 통제가 어려웠다.

향후 연구에서는 구도심과 농촌지역 등 다양한 공간 유형을 포함한 비교 연구가 필요하며, 가상현실(VR) 실험을 병행하여 현장 조건의 제약을 보완할 수 있다. 또한 머리 회전, 눈 깜빡임, 뇌파 등 생리·행동 데이터를 통합한 다층적 분석을 통해 어린이 보행자의 인지 과정을 심층적으로 규명할 필요가 있다. 이러한 후속 연구는 보행자 중심 도시설계 기준 수립에 중요한 기초자료가 될 것이다.

참고문헌

- [1] 이선화, 이창노, “도시가로환경 구성요소의 우선순위에 관한 연구”, 한국실내디자인학회 논문집, 제25권 제1호, pp. 73–80, 2월, 2016년.
- [2] 최재원, “어린이 교통사고 실태와 대책”, 경남발전, 제132호, pp. 23–30, 2014년.
- [3] 황대철, 채범석, “초등학교 어린이 교통안전 행동지수 검사도 구 개발연구”, 한국도로학회논문집, 제13권 제4호, pp. 187–198, 2011년.
- [4] 김주연, 최진경, 한원희, 김종하, “안경형 시선추적장비를 활용한 보행환경의 주시특성 분석”, 한국생활환경학회지, 제27권 제3호, pp. 335–346, 2020년.
- [5] 이덕환, 이윤석, 김원호, 이백진, “비신호 횡단보도에서의 어린이 횡단행태 분석 연구”, 대한교통학회지, 제31권 제3호, pp. 19–32, 2013년.
- [6] 소나영, 장태연, “민식이법 시행 이후 어린이 교통사고 특성에 대한 분석”, 대한교통학회 학술대회지, 부산, 2023년.
- [7] 이환진, 유초롱, “어린이 보행 교통사고 영향요인 분석과 개선 방안에 관한 연구: 부산광역시 어린이 보호구역을 벗어난 통학권역을 중심으로”, 대한교통학회지, 제41권 제4호, pp. 440–457, 2023년.
- [8] 김동식, 권예진, 박현우, “어린이보호구역 내 교통안전시설의 구간별 위치 및 높이에 따른 특성에 관한 연구: 서울특별시에

- 위치한 어린이보호구역 사고다발지를 중심으로”, 한국실내디자인학회 논문집, 제32권 제1호, pp. 171–184, 2023년.
- [9] 채한희, “어린이들의 보행행태 및 외부활동에 영향을 미치는 초등학교 근린환경요인 분석: 서울시 강서구 신곡초등학교 일대를 대상으로”, 공주대학교 대학원 석사학위논문, 2019년.
- [10] 김윤상, “어린이보호구역 내 교통안전시설물이 교통사고에 미치는 영향 분석”, 아주대학교 교통-ITS대학원 석사학위논문, 2017년.
- [11] 박시내, 임준범, 김형규, 이수범, “어린이보호구역 내 어린이 교통사고 발생에 미치는 영향요인 분석”, 한국도로학회논문집, 제19권 제2호, pp. 167–174, 2017년.
- [12] 박재영, 김도경, “어린이보호구역에서의 차량 속도위반 특성 분석”, 한국도로학회논문집, 제12권 제2호, pp. 63–69, 2010년.
- [13] 이상돈, 이승하, “어린이 눈높이에서 바라본 통학로 교통안전: AI 딥러닝 영상 분석 기반으로”, 디지털서울 이슈리포트, 제2020-04호, 서울디지털재단, 2020년.
- [14] Sando, O. J., Kleppe, R., & Sandseter, E. B. H., “Children’s risk assessment in street crossing using virtual reality”, Journal of Safety Research, Vol. 88, pp. 1–7, 2024년.
- [15] Schwebel, D. C., Davis, A. L., & O’Neal, E. E., “Child pedestrian injury: A review of behavioral risks and preventive strategies”, American Journal of Lifestyle Medicine, Vol. 6, No. 4, pp. 292–302, 2012년.
- [16] Tomoda, M., Uno, H., Hashimoto, S., Yoshiaki, S., & Ujihara, T., “Analysis on the impact of traffic safety measures on children’s gaze behavior and their safety awareness at residential road intersections in Japan”, Safety Science, Vol. 150, p. 105706, 2022년.