

시선추적기를 활용한 어린이 보행환경 위험요인분석

남다인*, 남궁준형*, 김용진*

*국립한국교통대학교 도시교통공학전공

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

Analysis of Risk Factors in Children's Walking Environments Using Eye-Tracking Technology

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

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

요약

어린이 보행자는 인지 능력과 시지각 발달이 미숙하여 교통사고에 취약하다는 점에서, 어린이의 시점에서 위험요인을 분석하는 것이 중요하다. 본 연구에서는 시선추적기를 활용하여 어린이 보호구역 내 실제 사고다발구간에서 어린이의 시각적 주의 특성과 위험 인식 구조를 분석하였다. 세종시 새롬초등학교 인근을 대상으로 선정하고, 만 11세 이하 어린이와 성인을 대상으로 실험을 수행하였으며, 히트맵 분석과 관심 영역(AOI) 분석을 통해 시선 고정 위치와 이동 경로를 정량적으로 비교하였다. 주차장 진출입부와 비신호 횡단보도와 같은 주요 위험 구간에서 어린이는 특정 시각 요소나 바닥에 시선이 집중되는 경향이 강했고, 좌우 시야 확보가 부족하여 사고 위험이 큰 것으로 나타났다. 특히 보도와 차도의 시각적 구분 여부는 시선 분포와 위험 인지에 결정적인 영향을 미쳤다. 본 연구는 어린이 시점에서의 보행환경 분석을 통해 도시 설계 및 교통안전정책 수립을 위한 기초자료를 제공하며, 교통약자를 위한 시선 기반 분석의 가능성을 제시한다.

2. 선행연구 고찰

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

어린이 교통사고는 매년 꾸준히 발생하며, 사회적 경각심이 요구되는 심각한 문제이다. KOSIS 통계에 따르면, 최근 3년간 전국 어린이 교통사고는 연간 약 8,900건 내외로 발생하였으며, 어린이 보호구역 내 사고도 2023년 기준 486건으로 전체 사고의 약 13%를 차지한다. 이는 보호구역의 제도적 설치에도 불구하고 여전히 높은 사고율을 나타내고 있음을 의미한다.

이에 따라 단순 사고 건수 분석을 넘어, 어린이 보행자의 시지각 기반 행동 특성과 도시 보행환경 간의 연관성을 실증적으로 분석할 필요성이 제기되고 있다. 본 연구는 어린이 교통사고 다발 지역을 중심으로 시선추적 장비를 활용한 정량적 시각 데이터 분석을 수행하여, 어린이의 시각적 주의가 집중되는 공간적 요소와 위험인지의 특성을 파악하고자 한다. 이를 통해 어린이 보행환경의 안전성을 저해하는 도시 구조적 요인을 규명하고, 도시 설계적 개선 방안을 도출하는 데 목적을 둔다.

2.1 어린이 교통사고 관련 선행연구

어린이 교통사고의 원인을 이해함에 있어, 어린이 보행자의 교통 행동 특성은 핵심적인 분석 요소로 간주된다. 선행연구에 따르면, 어린이는 거리 및 속도에 대한 인지력이 낮고, 상황 판단 능력과 운동·지각 능력도 성인에 비해 부족하다. 특히 정서적 자제력이 약하고, 모방 및 모험심이 강한 특성으로 인해 예측 불가능한 보행 행동을 나타낼 가능성이 높다(황대철·채범석, 2011). 또한, 일정한 보행 환경에 익숙해질 경우 사선 횡단이나 무단횡단을 자연스럽게 받아들이는 경향도 나타난다(최재원, 2014). 이는 어린이가 복잡한 보행환경에서 위험 요소를 빠르게 인식하고 회피하기 어려운 구조적 한계를 지님을 의미한다.

어린이 보호구역 내 사고 발생 특성에 대한 연구로는 소나영·장태연(2023)의 로그선형모형 분석이 있다. 해당 연구는 도로교통법 및 특정범죄 가중처벌법 시행 전후를 비교하여 어린이 교통사고 증상 발생 요인 간 관계를 분석하였다. 분석 결과, 사고의 심각도는 도로 형태, 노면 상태, 운전자 특성과 밀접한 연관이 있었

으며, 특히 단일로 구간에서 차량 속도와 운전자 요인이 중대한 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이들은 단속 위주의 처벌보다는 운전자 인식 개선과 어린이 대상 안전교육의 병행 필요성을 하였다.

또한, 통학로 내 물리적 안전 요소를 다룬 김동식 외(2023)의 연구에서는 어린이보호구역 내 교통안전시설의 위치 및 높이 특성을 교문으로부터의 거리 기준으로 분석하였다. 이를 통해 구간별 안전시설의 설치 현황과 개선 필요 지점을 도출하고, 효과적인 안전 확보 방안을 제시하였다.

이러한 선행연구들은 어린이 보행자의 인지적 특성과 통학로 내 위험 요소의 실태를 드러내며, 이를 시각적 주의특성으로 보행환경을 해석하고자 하는 본 연구의 문제의식과 방향성에 근거를 제공한다.

2.2 안경형시선추적기 관련 선행연구

시선추적기술을 활용한 보행환경 분석 관련 선행연구로는 김주연 외(2020)의 연구가 있다. 이들은 안경형 시선추적 장비를 활용하여 수원시 국제자매테마거리의 가로공간에서 보행자의 시선 이동 및 주시 특성을 분석하였다. 실험에서는 보행자의 시지각 데이터를 실시간으로 수집하고 시각화함으로써, 보행 편의성과 안정성, 가로환경의 영향 등을 정량적으로 평가하였다.

안경형 시선추적 장비는 실험자의 행동에 제약이 적고, 자연스러운 반응을 유도할 수 있어 연속적 활동이 이루어지는 도시 보행환경 연구에 적합한 도구로 평가된다. 또한, 주시 특성 분석을 통해 무의식적으로 이루어지는 시각 정보 처리 과정을 객관적 데이터로 전환할 수 있는 장점이 있다. 분석 결과, 피실험자 그룹 간의 시선 이동 패턴과 주의 집중도에는 차이가 있었으며, 이는 보행 경로, 속도, 정보 획득 순서 등 다양한 요인에 따라 영향을 받는 것으로 나타났다.

이러한 연구는 본 연구에서 수행한 어린이 보행자의 시선 기반 위험인지 특성 분석에 있어 실증적 기반을 제공하며, 시선추적 장비의 활용 가능성과 타당성을 뒷받침해준다.

2.3 선행연구와의 차별성

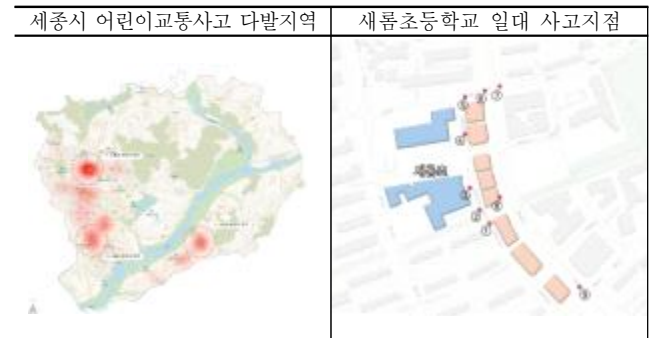
선행연구들은 주로 어린이의 교통행동 특성, 운전자의 시야에서의 교통안전시설 인식, 안전교육 및 운전자 인식 개선의 필요성에 초점을 맞추고 있다. 그러나 실제 보행자인 어린이의 시점에서 보행 중 경험하는 위험 요소나 방해 요인을 정량적으로 분석한 연구는 매우 제한적이다. 이에 본 연구는 시선추적 실험을 통해 어린이의 실제 시야에서 보행환경을 분석하고, 시각적 주의 특성을 기반으로 도시 보행환경 내 잠재적 위험요인을 도출하고자 한다는 점에서 기존 연구와의 차별성을 지닌다.

3. 시선추적 실험

3.1 실험 대상 선정

[표 1]의 세종시 어린이교통사고다발지역 중 세종시 새롭초등학교 일대가 실험 대상지로 선정되었다.

[표 1] 세종시 어린이교통사고다발지역 및 새롭초등학교일대 사고지점



해당 구역은 복합적 보행환경을 형성하고 있어 어린이의 시각적 주의와 위험인지 특성을 분석하기에 적절한 장소로 판단된다. [표 2]은 해당 지역의 사고별 주요정보를 정리한 자료이다.

[표 2] 새롭초등학교 일대 어린이교통사고 주요 정보

구분	사고 유형	가해		피해	
		운전	연령	운전	연령
1	측면충돌	승용	35	자전거	8
2	횡단중	이륜	28	보행자	14
3	측면충돌	승용	33	자전거	11
4	기타	승용	48	자전거	11
5	보도통행중	이륜	18	보행자	6
6	측면충돌	승용	52	자전거	9
7	기타	승용	49	자전거	5
8	횡단중	PM	18	보행자	9
9	횡단중	승합	52	보행자	8

현장 조사를 통해 주요 시설요소와 어린이 보행자가 차량과 마주하게 되는 시설을 확인하였고 이를 종합적으로 분석해 어린이 보행 행태 및 위험 요인을 파악하여 보도통행이 주로 이루어진다고 판단되는 구간을 분석 대상 구역으로 설정했다.

3.2 실험 절차 설계 및 실험

실험은 안경형 시선추적기를 활용하여 진행되었다. 장비는 피실험자의 시야, 시선 데이터를 영상으로 기록하며, 어린이와 성인의 시선 특성을 비교할 수 있도록 대조군 실험도 병행하였다. 실험은 안전 확보를 위해 보조자와 함께 진행되었으며, 사전 안내와 개별 실험 방식으로 피실험자의 불안과 외부 영향을 최소화하였다. 2024년 2월 사전실험(어린이 2명), 7월 본 실험(어린이 9명), 대조군 실험(성인 6명)으로 구성되었으며, 실험 동선은 사전 검토를 통해 설정되었다.

4. 시선주시특성 분석

4.1 주차장 진출입부

4.1.1 히트맵을 통한 주시특성 분석

우리나라의 건축물 부설 주차장은 대부분 경사로를 통해 도로와 직접 연결되며, 이로 인해 보행자는 언제 차량이 진출입할지 예측하기 어려운 상황에 노출된다(조영진 외, 2024). 특히 인지 능력과 상황 대처력이 부족한 어린이 보행자에게 이러한 주차장 출입부는 더욱 위험한 요소로 작용할 수 있다.

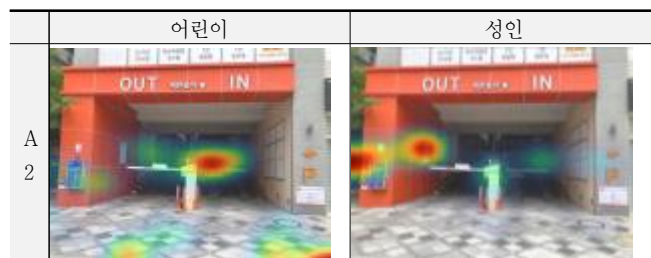
[표 3]의 시선추적 분석 결과에 따르면, 어린이는 건물 외벽에 부착된 안내판에 시선이 집중되는 반면, 성인은 안내판뿐 아니라 주차장 입구 전반에 걸쳐 넓게 주시하는 경향을 보였다. 이는 어린이가 주행 중 시각적으로 도드라진 특정 요소에만 주의를 집중하는 경향이 강함을 보여주며, 잠재적 위험요소에 대한 인지 범위가 성인보다 협소하다는 것을 시사한다.

[표 3] 주차장진출입부(A1)의 히트맵분석결과



[표 4]의 히트맵 분석 결과에 따르면, 어린이는 주차장 입구뿐만 아니라 진출입 경사로 바닥까지 시선이 분산되는 경향을 보였다. 이는 시선이 특정 위험요소에 집중되지 못하고 주변 시각 자극에 영향을 받는다는 점에서, 주의 집중의 어려움과 위험 인지의 한계를 시사한다. 반면, 성인은 안내판과 출차 주의등을 포함한 주차장 입구 주변 전반에 걸쳐 좌우로 넓게 시선을 분포시켰으며, 이는 보다 넓은 시야 확보와 위험요소 예측 가능성을 나타낸다. 이러한 차이는 어린이가 시각적 정보처리 및 주의 분배에 있어 성인보다 미숙함을 보이며, 특히 주차장과 같이 차량과 보행자의 동선이 교차하는 공간에서 위험 인지의 사각지대가 발생할 수 있음을 보여준다.

[표 4] 주차장진출입부(A2)의 히트맵분석결과



추가적으로 주차장진출입부 A1과 A2를 비교해보면, 보도와 주

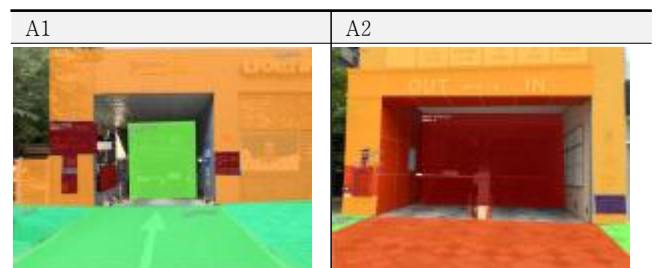
차장 진출입부의 포장재 구분 여부가 시선 분포에 미치는 영향을 확인할 수 있다. A1의 경우 보도와 진출입로가 다른 포장재로 명확히 구분되어 있는 반면, A2는 동일한 포장재로 처리되어 공간적 경계가 식별되지 않는다. 히트맵 분석 결과, A2 구간에서는 어린이의 시선이 바닥에 집중되는 양상이 두드러졌으며, 이는 보행 중 시각적 단서 부족으로 인해 주차장 진출입부를 인지하지 못하고 그대로 진입할 위험성이 높음을 시사한다. 즉, 어린이는 반복되는 바닥 패턴에 시선을 고정하게 되어 공간 변화에 대한 인지가 지연될 가능성이 있으며, 이는 보행 안전성 저하로 이어질 수 있다.

4.1.2 관심 영역 시선이동특성 분석

본 연구에서는 주차장 안내판, 건물 외벽, 주차장 진출입 도로, 주차장 입구를 주요 시설 요소로 설정하고, 이를 각각 관심 영역으로 구분하여 시선 분석을 수행하였다. 각 AOI를 기준으로 주시 시간과 시선이동 특성을 분석하여, 어린이 보행자의 시선 집중 요소 및 시선 이동 경로를 도출하였다.

[표 5]는 해당 관심 영역에 대한 구분과 분석 항목을 제시한 것으로, 이를 통해 피실험자가 특정 시설 요소를 최초로 인식하기까지의 반응 시간과 주의 집중 수준을 정량적으로 비교하였다. 본 분석은 어린이 보행자가 복잡한 도시 보행환경 내에서 어떤 요소에 먼저 주목하고, 어느 지점에서 시각적 주의가 지체되는지를 파악하는 데 활용되었다.

[표 5] 주차장진출입부(A1)과 주차장진출입부(A2) 관심영역분석결과



각 분석구간의 시선이동 분석 결과, A1 구간(보도와 진출입로 구분)에서는 어린이가 건물 외벽과 안내판을 먼저 주시한 후, 진출입로와 입구로 시선을 이동하였다. 반면, A2 구간(구분 없음)에서는 진출입로 바닥에 시선이 먼저 머무른 뒤 안내판으로 이동하는 경향을 보였다. 이는 공간 구분 여부가 시선 흐름과 위험 인지에 영향을 미침을 보여준다. 성인의 경우 전반적으로 다양한 요소를 빠르게 인식하며, 주의 분산이 적고 위험 인지가 더 빠른 특성을 보였다.

4.2 비신호 횡단보도

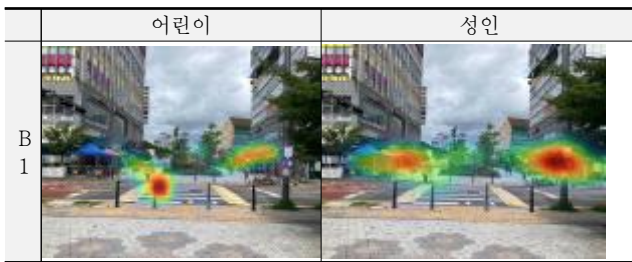
4.2.1 히트맵을 통한 주시특성 분석

비신호 횡단보도(B1)에 대한 분석 결과, 어린이는 바닥과 정면 상가에 시선이 집중되는 좁은 시야 범위를 보인 반면, 성인은 좌

우 상가와 식생 등 넓은 시야 분포를 나타냈다([표 6]). 이는 차량의 접근 여부를 좌우로 확인해야 하는 비신호 횡단보도에서 어린이가 위험 인지에 취약할 수 있음을 시사한다.

또한 사전 조사 및 실험 중, 「도로교통법」 상 어린이 보호구역 내 비신호 횡단보도 일시정지 규정이 실제로 지켜지지 않는 경우가 많아, 해당 구간의 실질적 사고 위험이 높은 상황임도 확인되었다.

[표 6] 비신호 횡단보도(B1)의 히트맵분석결과



4.2.2 관심 영역 시선고정시간 분석

비신호 횡단보도에 대해서도 관심 영역(AOI) 분석을 적용하였다. 보행자가 차량 접근 여부를 인지하기 위해 좌우를 충분히 확인해야 하는 점을 고려하여, 보행 정면을 기준으로 3×3 그리드로 영역을 구분하고 각 영역별 총 시선 고정시간(Fixation Duration)을 산출하였다([표 7]). 분석 결과, 어린이는 정면과 정면우측(B2, C2) 및 바닥 영역(B3)에 시선이 집중되었으며, 좌우 확인에 해당하는 A2 영역의 주시는 상대적으로 짧게 나타났다. 반면, 성인은 정면뿐 아니라 좌우(A2, C2) 영역에도 고르게 시선을 분포시켜, 차량 접근 방향에 대한 인지가 상대적으로 우수한 것으로 나타났다.

이러한 결과는 어린이가 비신호 횡단보도에서 좌우 확인보다는 정면과 바닥에 시선이 머무는 경향이 강하며, 이로 인해 차량 접근 인지가 지연되어 사고 위험에 노출될 가능성이 높음을 시사한다.

[표 7] 비신호 횡단보도(B1)의 그리드형 관심영역분석결과

	어린이			성인		
	A	B	C	A	B	C
B1	A1 4ms	B1 32ms	C1 0ms	A1 0ms	B1 0ms	C1 0ms
	A2 420ms	B2 994ms	C2 969ms	A2 943ms	B2 999ms	C2 1000ms
	A3 116ms	B3 966ms	C3 12ms	A3 157ms	B3 286ms	C3 79ms

비신호 횡단보도 AOI 분석 결과, 어린이는 A2(좌측 시야)보다 B3(바닥 영역)에 시선이 더 오래 머물며, 시선 고정 시간은 약 2배 이상 차이를 보였다. 전체 시선 고정 시간 중 1행(상단)과 3행(하단) 영역에 집중된 비율이 47.12%로, 정면 응시 위주의 시야 분포를 보이며 좌우 확인이 부족함을 나타낸다. 반면 성인은 해당 영역의 고정 비율이 17.74%에 불과하고, 특히 하단(3행)에는

시선을 전혀 두지 않으며 좌우를 적극적으로 살피는 특징을 보였다. 또한, 실험 중 어린이 피실험자 11명 중 6명은 실험 보조자의 제지 없이는 차량 접근을 인지하지 못하고 횡단을 시도했으며, 보조자의 멈춤 지시 이후에야 주변을 살피는 행동을 보였다. 이는 어린이의 선행적 위험 인지 능력이 부족함을 실험적으로 확인한 결과로, 비신호 횡단보도에서의 사고 위험성을 뒷받침한다.

5. 결론

본 연구는 세종시 새롬초등학교 인근 통학로를 대상으로 안정형 시선추적 장비를 활용하여, 어린이 보행자의 시각적 주의 특성과 보행환경 간의 상호작용을 분석하였다. 어린이의 실제 시야에서 도출된 시선 데이터를 기반으로 주요 위험 요인을 도출하였으며, 다음과 같은 결론을 도출할 수 있다.

첫째, 주차장 진출입부의 포장 구분 유무는 어린이의 시선 이동 및 주의 집중에 영향을 미친다. 보도와 진출입부 간의 재질·패턴 구분이 명확할수록 어린이는 위험 요소에 대한 주의를 더 효과적으로 기울일 수 있었다. 이는 「교통약자의 이동편의 증진법 시행규칙」에 명시된 바닥 마감 기준과 일치하며, 실제 현장에서는 해당 기준의 미준수 사례가 어린이보호구역 내에서도 빈번히 확인되었다.

둘째, 비신호 횡단보도에서는 어린이의 시선 폭이 성인에 비해 협소하며, 좌우 확인이 부족한 채 횡단하는 경향이 뚜렷하게 나타났다. 관심 영역 분석 결과, 전체 시선 고정시간의 47.12%가 정면 중심 하단에 집중되었으며, 이는 차량 접근 여부 확인에 취약한 시각적 행동 패턴을 의미한다. 실제 실험에서도 다수의 어린이가 보조자의 제지 없이는 멈추지 않고 횡단을 시도하였다. 이에 따라 어린이의 시지각 기반 위험 인지를 보완하기 위한 환경적·제도적 개선이 필요하다. 예를 들어, 어린이 하교 시간대에 일정 구간 내 비신호 횡단보도에 한시적 신호 운영을 도입하거나, 비신호 횡단보도 상시 단속장치 설치를 통해 운전자의 일시정지 준수율을 높이는 방안이 제시될 수 있다.

본 연구는 어린이의 실제 시점을 반영한 시선추적 실험을 통해, 기존의 운전자 중심 교통환경에서 벗어나 보행자 중심의 시각에서 위험요인을 분석했다는 점에서 의의가 있다. 향후 본 연구의 분석결과와 방법론은 어린이뿐 아니라 자전거 이용자, 개인형 이동장치(PM) 이용자 등 교통 약자 전반을 위한 안전 정책 수립의 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

참고문헌

- [1] 김동식, 권예진, 박현우, “어린이보호구역 내 교통안전시설의 구간별 위치 및 높이에 따른 특성에 관한 연구 - 서울특별시 에 위치한 어린이보호구역 사고다발지를 중심으로 -”, 한국 실내디자인학회 논문집, 제32권 제1호, pp. 171-184, 1월, 2023년.
- [2] 김주연, 최진경, 한원희, 김종하, “안경형 시선추적장비를 활용한 보행환경의 주시특성 분석”, 한국생활환경학회지, 제 27권 제3호, pp. 335-346, 6월, 2020년.
- [3] 신지희, 이다영, 김은혜, 홍명기, 장현석, “GIS를 활용한 노인 및 어린이 교통사고 다발지역과 어린이 보호구역 지정에 대한 적합성 검증: 서울특별시를 중심으로”, 한국웹테드학회 지, 제13권 제1호, pp. 7-46, 3월, 2022년.
- [4] 소나영, 장태연, “민식이법 시행 이후 어린이 교통사고 특성에 대한 분석”, 대한교통학회 학술대회지, 부산, 10월, 2023년.
- [5] 이선화, 이창노, “도시가로환경 구성요소의 우선순위에 관한 연구”, 한국실내디자인학회 논문집, 제25권 제1호, pp. 73-80, 2월, 2016년.
- [6] 이환진, 유초롱, “어린이 보행 교통사고 영향요인 분석과 개선방안에 관한 연구: 부산광역시 어린이 보호구역을 벗어난 통학권역을 중심으로”, 대한교통학회지, 제41권 제4호, pp. 440-457, 8월, 2023년.
- [7] 유미현, “시선추적 기법을 이용한 주얼리 광고 이미지의 주의 집중 이동특성”, 한국디자인리서치학회지, 제4권 제4호, pp. 167-177, 12월, 2019년.
- [8] 조영진, 안의순, 김효정, “보행자 안전을 위한 지하주차장 출입구 개선 방안”, auri brief, No.280, 2월, 2024년.
- [9] 최재원, “어린이 교통사고 실태와 대책”, THE GYEONGNAM DEVELOPMENT, 제132호, pp. 23-30, 12월, 2014년.
- [10] 황대철, 채범석, “초등학교 어린이 교통안전 행동지수 검사 도구 개발연구”, 한국도로학회논문집, 제13권 제4호, pp. 187-198, 8월, 2011년.
- [11] Mitsuko, T., Haruka, U., Seiji, H., Syuji, Y., Takehito, U., “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, Article No. 105706, 9월, 2022년.
- [12] Ole, S., Rasmus, K., Ellen, S., “Children's risk assessment in street crossing using virtual reality”, Journal of Safety Research, Vol. 88, pp. 1-7, 3월, 2024년.