



고령 보행자 교통사고 영향요인의 상호작용 효과 분석

: 보행환경개선사업과 보행자안전시설을 중심으로*

Interaction Effect Analysis of Determining Factors for Older Pedestrian Crash

: Focused on Walking Environment Improvement Projects and Pedestrian Safety Facilities

박은총** · 이수기***

Park, Eun-chong · Lee, Sugie

Abstract

The safety of older pedestrians is becoming more important as the global population ages. The number of traffic accidents that involve older pedestrians in Korea is on the rise. In this study, we aim to analyze the factors affecting traffic accidents involving older pedestrians and the interaction effects of the determining factors, thus focusing on walking environment improvement projects and pedestrian safety facilities suitable for older adults. We used a negative binomial regression analysis with the 2019–2021 Traffic Accident Analysis System (TAAS) data. The results of the analysis suggest that pedestrian crashes involving older adults are highly associated with all physical environmental factors. Additionally, road network factors have a negative impact on traffic accidents involving older pedestrians. However, older pedestrian crashes are not associated with walking environment improvement project factors. Pedestrian safety facilities such as crosswalk and crosswalk sign show positive associations, while road markings have negative associations. On the other hand, when considering the interaction effects between the physical environmental factors and walking environment project factors and between physical environmental factors and pedestrian safety facility factors, they show negative associations. Thus, this study presents policy implications to promote a safe walking environment for older pedestrians.

주제어 고령 보행자 교통사고, 상호작용 효과, 물리적 환경요인, 보행환경개선사업, 보행자안전시설

Keywords Elderly Pedestrian Traffic Accident, Interaction Effect, Physical Environment, Walking Environment Improvement Projects, Pedestrian Safety Facilities

1. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

세계적으로 많은 나라와 도시들이 고령화 사회로 진입함에 따라 고령 보행자의 안전에 대한 인식이 높아지고 있다. 특히, 고령

보행자 교통사고는 우리나라 보행자 교통사고의 절반 이상을 차지한다. OECD에 따르면 한국은 10년 이상 노인 십만 명당 보행자 교통사고 사망자 수에서 1위를 차지했다. <그림 1>과 같이 2005년부터 2019년까지 고령 보행자 교통사고는 계속 증가하고 있으며, 2019년 고령 보행자 교통사고는 전국에서 12,186건, 서울에서 2,261건이 발생하였다(교통사고분석시스템, 2023). 코로

* 이 논문은 대한민국 교육부와 한국연구재단의 지원의 지원을 받아 수행된 연구(NRF-2023S1A5A2A21084426)이며, 2022년 10월 대한국토·도시계획학회에서 발표한 논문을 수정·보완하였음.

** M.S. Student, Department of Urban Planning & Engineering, Hanyang University (First Author: pecae@hanyang.ac.kr)

*** Professor, Department of Urban Planning & Engineering, Hanyang University (Corresponding Author: sugielee@hanyang.ac.kr)

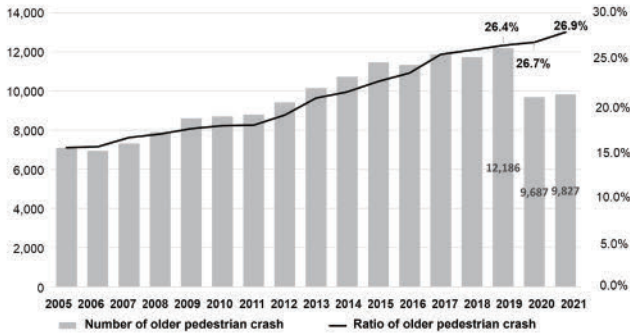


그림 1. 연도별 전국 고령 보행자 교통사고 건수 및 비율(2005~2021)
 자료출처: 도로교통공단 교통사고분석시스템

Figure 1. Number and ratio of older pedestrian crash by year in Korea (2005-2021)

Source: Traffic Accident Analysis System (TAAS) of the Road Traffic Authority

나19로 인해 고령 보행자 교통사고는 감소하였지만, 전체 보행자 교통사고에 대한 고령 보행자 교통사고 비율은 2019년 26.41% (12,186건), 2020년 26.74%(9,687건), 2021년 27.86%(9,827건)로 계속해서 증가하고 있다.

또한, 고령자는 신체가 약하기 때문에 모든 보행자 교통사고와 비교하였을 때, 교통사고로 인한 부상 심각도가 높다. <그림 2>에서 볼 수 있듯이 고령 보행자 교통사고는 모든 보행자 교통사고에 비해 사망 및 중상 사고의 비율이 높다. 이에 따라 고령 보행자에게 안전한 보행 환경을 제공하는 것이 중요해지고 있으며, 관련된 연구가 증가하고 있다(Lee et al., 2020; Gálvez-Pérez et al., 2022). 정부는 고령 보행자 교통사고를 줄이기 위해 고령 보행자 사고다발지역을 분석하여 안전시설 개선 및 노인보호구역 지정과 같은 교통안전정책을 시행하고 있다.

국토교통부(2020)에서는 2014년 「고령자를 위한 도로설계 가이드라인」을 제정하였으며, 2020년 개정하였다. 개정된 내용에는 도로의 기하구조물과 시설물을 포함하여 고령자의 도로 안전을 강화하고 편의를 증진하고자 하였다. 고령 운전자와 고령 보행자를 모두 고려하였으며, 고령 보행자에 대해서는 고령 친화형 도로 시설물 설치에 집중하였다. 그러나 지정 및 설치 이후 노인보호구역을 제외하고 다른 보행환경개선사업과 보행자 안전시설에 대한 평가는 부족하다. 그러므로 고령 보행자를 위한 교통안전정책의

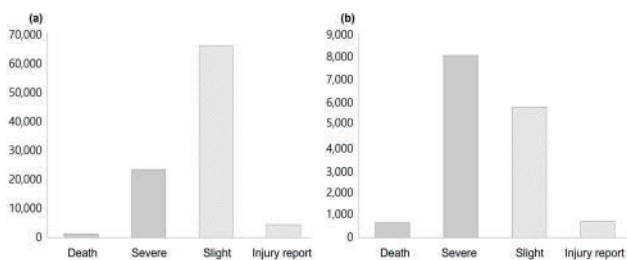


그림 2. 보행자 교통사고 심각도 분포 (a) 전체, (b) 고령자
 Figure 2. Severity distribution of pedestrian crash (a) total (b) older pedestrian

교통사고 예방 효과를 평가하고, 정책이 제대로 작동되기 위해 고령 보행자 교통사고의 특성을 고려하여 분석할 필요가 있다.

본 연구에서는 고령 보행자 교통사고를 부상심각도에 따라 전체, 중상이상, 경상이하 고령 보행자 교통사고로 구분하여 고령 보행자 교통사고의 영향요인을 분석한다. 이때, 노인보호구역과 함께 국토교통부(2020)에서 제안한 고령 친화형 보행환경개선사업과 보행자 안전시설이 실제로 고령 보행자 교통사고 감소 효과가 있는지를 파악하고자 한다. 이후 도출된 영향요인 간의 상호작용 효과를 분석하여, 고령자를 위한 보행환경개선사업과 보행자 안전시설을 평가하고 정책적 시사점을 제공하고자 한다.

2. 연구의 범위

본 연구의 공간적 범위는 서울특별시이다. 서울은 우리나라의 수도로 고령 인구나 차량 대수가 가장 많은 곳이다. 서울시에서 발생한 고령 보행자 교통사고는 2019년부터 2021년까지 총 5,780건(17.37%)으로 고령 보행자 교통사고 영향요인을 분석하기에 적합하다고 판단하였다. 분석단위는 통계지리정보서비스에서 제공하는 총 18,614개의 집계구로 설정하였다. 본 논문은 교통사고분석시스템(TAAS)을 사용하였으며, TAAS 자료는 교통사고와 관련된 사고 속성과 개인 속성의 세부 정보를 포함한다. 본 연구의 시간적 범위는 2019년 1월부터 2021년 12월까지이다. 내용적 범위는 「노인복지법」의 기준을 참고하여 고령자의 기준을 65세 이상으로 설정하였다. 차대사람 중 65세 이상인 고령 보행자의 교통사고를 부상 정도에 따라 전체, 중상이상, 경상이하 고령 보행자 교통사고로 구분하여 연구를 수행하였다. <그림 3>은 2019년~2021년 서울시 집계구별 고령 보행자 교통사고 건수의 분포이다.

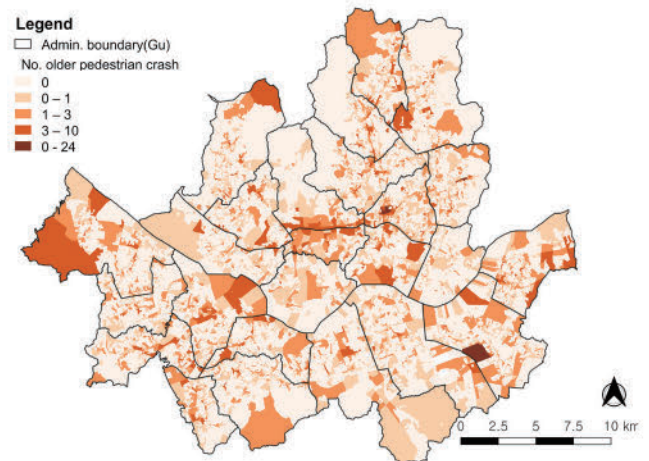


그림 3. 서울시 집계구 단위 고령 보행자 교통사고 건수(2019~2021)
 Figure 3. Number of older pedestrian crashes by Jipgyegu in Seoul (2019-2021)

II. 선행연구 고찰

1. 고령 보행자 교통사고 영향요인

본 연구에서는 고령 보행자 사고의 공간적 패턴을 이해하고 이에 영향을 미치는 요인을 도출하기 위해 고령 보행자 교통사고 분석을 수행한 연구를 고찰하였다. 여러 연구에서 고령 보행자 교통사고에 영향을 미치는 물리적환경요인을 분석하고자 하였다 (박준범·남궁미, 2019; 양광식 외, 2021; 최성택 외, 2015). Kim (2019)는 2015년부터 2017년까지의 보행자 교통사고에 대해서 연령별 보행자 교통사고 건수를 종속변수로 하여 다항로지스틱 회귀 분석하였다. 교차로 특성과 토지이용 특성이 고령 보행자 교통사고에 미치는 영향을 분석한 결과, 교차로는 다른 연령대 보행자 교통사고보다 고령 보행자 교통사고에 영향이 더 큰 것으로 나타났다. 중앙분리대와 삼거리 교차로, 가로수, 공원 및 녹지는 고령 보행자의 안전에 긍정적인 영향이 있었으며, 교차로 내 버스정류장 주변에서 고령 보행자 교통사고가 집중된 것을 확인하였다. Gálvez-Pérez et al.(2022)는 2006년부터 2018년 동안 보행자 교통사고를 고령 보행자와 비고령 보행자로 구분하여 고령 보행자의 교통사고에 대한 고유 취약성을 살펴보았다. 건축환경 지표를 고려하여 고령 보행자와 비고령 보행자 교통사고를 음이항 회귀 분석을 수행하였다. 주요 결과는 고령 보행자 교통사고 건수에 대해 인구 수준과 교통량이 영향이 있었다. 보도와 신호등, 보행섬 등은 교통사고 저감에 효과가 있었지만, 고령 보행자 교통사고 저감에는 효과가 충분하지 않다는 것을 확인하였다.

더 나아가 물리적환경요인과 함께 고령 보행자 교통사고에 영향을 미치는 사회경제적 요인과 근린환경요인에 관한 연구도 수행되었다. Lee et al.(2020)은 모든 보행자 교통사고와 고령 보행자 교통사고에 물리적 환경 요인이 미치는 영향을 경제적 상황과 부상 정도에 따라 계층화하여 차이가 있는지 살펴보았다. 인구와 교통량을 노출변수로 고려하고 도로환경요인, 목적지시설요인, 토지이용요인을 변수로 고려하여 2015년부터 2017년까지의 보행자 교통사고에 대해 공간 자기상관을 보정한 음이항 회귀 분석을 수행하였다. 분석 결과, 물리적 환경 요인은 보행자의 연령과 지역 특성에 따라 다르게 나타났다. 또한, 이세영·이제승(2014)은 어린이 보행자와 고령 보행자의 교통사고에 영향을 미치는 근린환경요인을 도출하고자 하였다. 차량 내부 통행량, 보행자 밀도, 어린이 및 노인 인구밀도, 토지이용 혼합도, 교차로 밀도, 도로 면적 비율, 평균경사도, 버스정류장 밀도, 지하철역 밀도를 설명 변수로 이용하여 공간회귀모형 분석을 하였다. 분석 결과, 교차로, 도로 면적, 버스정류장, 지하철역 등이 보행자 교통사고의 영향요인으로 분석되었다.

다른 한편, 심각도별로 고령 보행자 교통사고 영향요인을 분석하기도 하였다(Hyun et al., 2019; Shi et al., 2020). Noh et

al.(2018)은 서울의 8년 동안 교통사고 데이터를 활용하여 고령자를 65~74세와 75세 이상으로 구분하여 고령 보행자 교통사고에 대한 기여 요인을 도출하고자 하였다. 부상심각도를 중상이상과 경상이하로 나누어 이항 로지스틱 분석을 수행하여, 성별, 음주 유무, 차량종류, 충돌위치, 시간, 도로 경사의 개별적인 영향과 상호작용 영향을 분석하였다. 분석 결과, 육교근처, 길가, 음주 유무, 트럭이 고령 보행자 교통사고에 영향을 미치는 것으로 나타났다으며, 위험요인들 간의 증폭 효과가 확인되었다.

추가로 고령 보행자 교통사고의 공간적 패턴을 이해하기 위한 고령 보행자 교통사고 핫스팟 분석이 수행되었다. Kang et al.(2018)은 서울시 고령자의 교통사고의 시공간적 특성이 시간에 따라 어떻게 변화하는지를 살펴보려고 하였다. 커널 밀도 추정과 핫스팟 분석을 적용하여 노인 교통사고의 공간적 특성을 분석하고, 시공간 큐브, 신흥 핫스팟 및 시공간 커널 밀도 추정 분석을 적용하여 시공간적 특성을 분석하였다. 그 결과는 고령 보행자와 고령 운전자 사이에 차이가 나타났다. 시간별로 살펴보았을 때 고령 보행자 교통사고는 낮부터 저녁까지 넓은 지역에 분포되어 있으며, 고령 운전자보다 산발적인 공간 분포를 가지는 것으로 나타났다. 또한, Gris  et al.(2018)은 캐나다 토론토시에서 연령, 부상심각도, 위치를 고려하여 보행자 교통사고의 공간적 패턴을 살펴보려고 하였다. 분석 결과에서 공간 패턴의 차이는 어린이 교통사고와 고령자 교통사고 사이에서 분명했으며, 어린이 교통사고는 군집이 형성되었으나 고령자 교통사고는 어린이 교통사고보다 분산되어 나타났다.

2. 고령 보행자를 위한 교통안전정책

본 연구에서는 고령 보행자의 안전한 보행환경을 평가하기 위해서 교통안전정책과 이에 관한 연구를 고찰하였다. 국토교통부(2020)는 「도로법」 제10조에 따라 고령자를 고려하여 도로 계획에 적용할 「고령자를 위한 도로설계 가이드라인」을 제시하였다. 이는 고령자의 특성을 신체적, 인지적 능력의 변화에 따라서 살펴보고 도로계획 지침에 포함하였다. 구체적으로 고령 보행자를 고려한 점검항목을 도로의 기능, 보행안전성, 보행편의성으로 구분하여 도로 기능별 정비유형을 세 가지로 분류하였다. 유형 1의 경우 보행편의성은 있으나 보행안전성이 미흡한 경우, 유형 2는 보행안전성은 있으나 보행 편의성이 미흡한 경우, 유형 3은 보행 안전성과 보행 편의성이 모두 미흡한 경우이다. 각 유형에 대해 개선 권장사항을 제시하고 이에 대한 구체적인 보행환경개선사업과 보행안전시설을 설명하고 있다.

현재 보행안전의 측면에서 도로 시스템은 차량과 젊은 연령층을 위해 설계되었으며, 고령자는 도로에서 취약하다(Kim, 2019). 고령 보행자의 안전을 위해서 노인보호구역 설정을 지정하고 있으며, 여러 연구에서 노인보호구역의 효과에 대한 분석이 수행되었다

(우보람 외, 2020; Jung et al., 2016). Choi et al.(2018)은 노인 보호구역의 교통사고 감소 효과를 파악하고자 하였다. 노인보호구역의 설치로 고령 보행자 충돌사고가 감소했는지와 노인보호구역이 적절하게 설치되었는지에 대해 서울시를 대상으로 실증 분석하였다. 분석 결과, 노인보호구역은 고령 보행자 교통사고 저감에 효과가 없었으며, 공간통계분석을 통해 고령 보행자 교통사고 다발지역과 노인보호구역의 공간적 불일치를 확인하였다.

한편, 노인보호구역의 효과에 대해서 다양한 질적 및 혼합방식 연구도 수행되었다(한음 외, 2020; 이소영·김은정, 2020). 이소영·김은정(2022)은 노인보호구역의 보행환경 평가 지표를 선정하고, 대구광역시 남구에 있는 노인보호구역을 대상으로 적용하였다. 안전성, 접근성, 쾌적성, 편의성의 평가항목과 24개의 평가 요인을 선정하여 분석을 수행하였다. 분석 결과, 노인인구가 많은 지역의 300m 내의 보행환경이 열악함을 파악하였다. Chng et al.(2022)는 싱가포르의 노인보호구역에 대한 주민들의 관점을 조사하고자 하였다. 도로 안전 애호가, 불편한 사용자, 구현 비평가의 세 가지 관점에서 분석을 수행했다. 분석 결과는 교통안전정책이 이웃과 지역 사회의 거주성과 전반적인 교통안전에 향상할 수 있다는 것을 보여줬으나, 교통안전정책은 그룹마다 이점과 불편함을 다르게 느껴질 수 있다는 것을 확인하였다.

이외에도, 속도가 높은 차량과 충돌하였을 때 보행자의 부상 심각도가 높다는 것을 고려하여 보행자의 안전을 위한 속도제한이 보행자 교통사고에 미치는 영향에 대한 분석이 수행되었다(Gonzalo-Orden et al., 2016; Seya et al., 2021). Seya et al.(2021)은 일본의 30km/h 제한 구역의 효과를 살펴보고자 하였으며, 30km/h 제한 구역을 과속방지턱 및 병목, 보도 건설과 같은 교통안전정책과 결합하여 상호작용 효과를 분석하였다. 그 결과, 30km/h 제한 구역은 다른 교통안전정책과 결합하였을 때, 교통사고 감소효과가 있는 것으로 나타났다. 또한, Inada et al.(2020)은 일본의 30km/h 제한 구역의 정책이 자전거와 보행자 교통사고에 미치는 영향을 좁은 도로와 넓은 도로로 구분하여 효과를 분석하였다. 분석 결과 좁은 도로에서 30km/h 제한 구역을 설치하면 설치 이전에 비해 좁은 도로에서 잦은 교통사고를 줄일 수 있는 것으로 나타났다.

3. 선행 연구의 한계점과 연구의 차별성

선행 연구에서는 고령 보행자 교통사고에 영향을 미치는 요인을 물리적 요인을 중심으로 분석하였지만, 노인보호구역 이외에 고령자 친화형 도로시설물이나 교통안전정책의 영향과 효과에 관한 연구는 미비한 실정이다. 또한 고령 보행자 교통사고에 영향을 미치는 요인들의 개별적인 영향관계에 관해서는 탐구가 되었으나, 각 요인이 다른 요인과 어떤 상호작용을 가졌는지에 대한 연구는 부족하다. 특히 고령 보행자의 안전한 환경을 조성하

기 위한 보행환경개선사업과 보행자 안전시설이 다른 요인과 결합하였을 때 효과에 대한 분석은 부족한 실정이다. 추가로 운전자와 보행자의 행태에 영향을 미치는 도로 특성요인이 고령 보행자 교통사고에 미치는 영향을 파악하는 데는 한계가 있다.

따라서 본 연구에서는 고령 보행자의 도로 안전을 위한 교통안전정책을 변수로 고려하여 고령 보행자 교통사고 저감효과를 평가하고자 한다. 이때, 물리적 환경요인과 보행환경개선사업과 보행자 안전시설의 상호작용 효과를 볼 수 있는 상호작용 항을 변수로 추가하여 분석하였다. 또한, 통과도와 전환비와 같은 도로 특성 요인을 같이 고려하였다. 더 나아가 고령 보행자 교통사고의 공간적 자기 상관성을 제어하기 위해, 연구에서 사용하는 음이항 회귀 분석에 자동공변량을 추가하여 분석을 수행하였다.

III. 방법론

1. 분석 자료와 변수 설정

본 연구에서는 서울시 고령 보행자 교통사고를 분석하기 위해서 2019년부터 2021년 발생한 고령 보행자 교통사고 5,722건을 분석에 활용하였다. 도로교통공단에서 제공하는 TAAS 자료를 포인트 자료로 사용하였다. 집계구 단위의 자료를 구축하고 가공하기 위해서 QGIS, ArcGIS 10.7를 사용하였으며, 통계분석과 데이터 가공을 위해 RStudio 및 STATA 17.0을 사용하였다.

도로교통공단의 TAAS 자료를 활용하여 2019년부터 2021년까지 서울시에서 발생한 고령 보행자 교통사고를 종속변수로 활용하였다. 이때 고령 보행자 교통사고를 심각도에 따라 사망사고 및 중상사고를 포함하는 중상이상 사고와 경상사고 및 부상사고를 포함하는 경상이하 사고로 구분하였다. 전체 교통사고(5,722건), 중상이상 교통사고(3,260건), 경상이하 교통사고(2,462건)을 종속변수로 활용하였다.

독립변수는 인구 및 교통요인, 토지이용요인, 물리적환경요인, 도로특성요인, 보행개선사업요인, 보행자 안전시설요인을 구축하였다. 또한, 고령 보행자 교통사고는 공간에서 발생하는 것으로 가깝게 있는 지역과 연관성으로 인해서 발생할 수 있는 공간적 자기상관을 제어하기 위해 자동공변량을 독립변수로 추가하였다.

첫째, 인구 및 교통 요인은 인구, 노령화 지수, 교통량, 평균속도, 교통혼잡도를 분석에 사용하였다. 유동인구는 서울 열린 데이터 광장에서 제공하는 집계구 내 전일 생활인구데이터를 2019년 자료로 활용하였다. 노령화지수는 65세 이상 인구와 14세 이하 인구의 비로 인구의 고령화 정도를 알 수 있는 지표이다. 노령화 지수는 통계지리정보서비스에서 분석단위인 집계구 단위로 제공하는 2019년 자료를 활용하였다. 교통량과 평균속도, 교통혼잡도는 국가교통DB(View T)에서 2019년 9월 자료를 수집하여 전일 데이터를 활용하였다. 교통혼잡도의 경우 도로 주행 시 모든 차

량 중에서 혼잡을 경험한 차량의 비율을 의미하는 혼잡빈도강도를 활용하였다. 선행연구를 참고하여, 유동인구와 노령화지수, 교통량을 노출변수로 고려하였다(서지민·이수기, 2016).

둘째, 선행연구에 의하면 토지이용요인 용도에 따라 인구 통행량과 차량의 통행량이 달라질 수 있으므로, 고령 보행자 교통사고에 영향을 미칠 것이라 판단하였다(Kim, 2019). 주거용지, 상업용지, 업무용지, 토지이용 혼합도를 분석에 활용하였다. 데이터는 국가공간정보포털에서 수집하였으며, 기준연도는 2022년이다. 집계구 내 포함되는 면적을 활용하였으며, 1,000m²의 단위로 변환하였다. 토지이용혼합도는 Frank의 엔트로피 지수를 통해 계산하였으며, 단일용도일 때 0에 가까우며 모든 용도가 같은 비율을 가질수록 1과 가깝게 나타난다.

셋째, 물리적환경요인으로 Lee et al.(2020)을 참고하여 교차로의 수, 버스정류장의 수, 지하철역 입구의 수, 중앙버스전용정류장의 수로 활용하였다. 서울열린데이터 광장에서 제공하는 2021년 교차로와 버스정류장 데이터를 분석 단위인 집계구 내에 포함하는 개수를 변수로 구축하였다. 지하철역입구 수는 2019년 Kakao Map에서 제공하는 데이터를, 중앙버스전용정류장은 공공정보포털에서 제공하는 2022년 데이터를 사용하였다.

넷째, 도로특성요인으로 보행자 교통사고와 도로 네트워크 구조의 연관성을 분석한 이호준·이수기(2017)와 Zhang et al.(2011), Zhang et al.(2015)을 참고하여 도로의 매개중심성을 나타내는 통과도를 활용하였다. 통과도는 도로 네트워크에서 교통류(보행자, 차량)가 통과하는 빈도를 나타낸다. 또한, Osama and Sayed(2017)을 참고하여 전환비를 도로특성요인으로 분석하였다. 이는 도로네트워크에서 시야 전환 빈도를 나타내며, 전환비가 높을수록 길이 구불거리고 시야전환이 많이 발생한다. 국가공간정보포털의 도로중심선 데이터를 QGIS를 통해 보행자의 시점인 500m를 기준으로 Spatial Design Network Analysis(sDNA) 분석을 수행하여 집계구 내 평균을 활용하였다.

다섯째, 보행환경개선사업요인으로 노인보호구역과 도로 다이어트를 활용하였다. 노인보호구역은 「노인보호구역의 지정 및 관리에 관한 규칙」에 의하여 노인들의 안전을 지키기 위하여 노인들의 통행량이 많은 구역을 지방자치단체가 지정하는 구역이다. 선행연구를 참고하여 노인보호구역이 고령자 보행자 교통사고 저감에 효과가 있는지를 평가하기 위해 서울열린데이터 광장의 데이터를 지오코딩을 통해 구축하여 활용하였다(Choi et al., 2018; Lee et al., 2020).

본 연구는 국토교통부(2020)에서 제시한 고령자의 보행 안전성을 높이기 위한 유형 1(보행 편의성은 있으나 보행 안전성이 미흡한 경우)의 개선 권장사항 세 가지 사항을 참고하여 변수를 추가하였다(표 1). 도로 다이어트는 ‘보행로 설치 및 개선’에서 보행로를 확보하기 위한 정책으로 본 연구에서 변수로 고려하였다. 데이터는 오성훈·허재석(2017; 2018), 김성준·허재석(2020)을 통

표 1. 보행 안전성 확보를 위한 개선 권장사항

Table 1. Recommendations to ensure walking safety

Category	Contents
보행로 설치 및 개선 Installation and improvement of pedestrian path	<ul style="list-style-type: none"> If there is no pedestrian path, secure a pedestrian path as much as possible (apply road diet, etc.) Consideration of disconnected pedestrian routes, damage to sidewalks, etc.
속도저감 시설 설치 Installation of speed reduction facility	<ul style="list-style-type: none"> Zigzag road Speed hump Pavement surface treatment Entry deterrence facility Raised intersection Raised crosswalk
시인성 확보 Visibility improvement	<ul style="list-style-type: none"> Removal of plantings, obstacles, etc. Installation of crosswalk signs, etc. Narrow intersection width Narrow the width of the roadway Alarm-based warning light

출처: 국토교통부(2020)

Source: Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2020)

해서 2019년 기준으로 구축하였다.

여섯째, 보행자 안전시설요인으로는 횡단보도, 험프, 안전지대, 노면표시, 횡단보도표시를 활용하였다. 고령자의 보행안전성을 높이기 위한 개선 권장사항 중 ‘속도저감시설 설치’로 험프와 안전지대(진입억제시설)를 살펴보고자 하였으며, 서울열린데이터광장의 2021년 자료를 활용하여 데이터를 구축했다. ‘시인성 확보’에서는 노면표시와 횡단보도표시를 변수로 추가하였으며, 서울열린데이터광장에서 2021년 자료를 활용하였다.

마지막으로, 앞서 고려된 변수 중 중요한 변수를 도출하여 변수 간의 상호작용 효과를 확인하고자 하였다. 이때 물리적환경요인과 보행환경개선사업요인과 보행자 안전시설요인의 상호작용 효과를 확인하고자 상호작용 항을 독립변수로 추가하여 음이항 회귀 분석을 수행하였다. <표 2>는 최종 선정된 변수이다.

2. 음이항 회귀 모형

본 연구에서는 고령 보행자 교통사고의 영향 요인을 분석하기 위해 음이항 회귀 모형을 사용하였다. 교통사고는 주어진 시간 또는 공간에서 사고가 발생할 확률이 희박한 특성이 있어 이산확률분포 중 포아송 분포에 해당한다. 더 나아가 종속변수에 0이 많고 과도하게 분포되어 있다면 음이항 회귀 분석을 고려해야 한다. 고령 보행자 교통사고는 사고 발생 여부를 1 또는 0으로 도출한다. <그림 4>에서 고령 보행자 데이터의 분포는 0이 많은 것을 확인할 수 있다. 과분산된 데이터임을 확인하기 위해 과분산계수(α)를 이용했다. 평균과 분산이 같으면 과분산계수(α)가 0으로 도출된다. 과분산계수(α)가 0이 아닌 다른 값이 도출된다면, 과분산된 데이터를 음이항 회귀모형으로 분석하는 것이 적합하다. 전체 고령 보행자 교통사고, 중상이상 고령 보행자 교통사고, 경상이

표 2. 변수 정의 및 출처

Table 2. Definition of variables and data source

Category	Variables	Definition	Data source
Dependent variable	No. total older pedestrian crash	Number of total older pedestrian crash in Jipgyegu (2019-2021)	Traffic Accident Analysis System (TAAS)
	No. older pedestrian crash above severe	Number of older pedestrian crash above severe in Jipgyegu (2019-2021)	
	No. older pedestrian crash below slight	Number of older pedestrian crash below slight in Jipgyegu (2019-2021)	
Population and traffic factors	Population	Population in Jipgyegu (1,000 people) (2019)	Seoul Open Data Plaza
	Aging index	Ratio of the population over age 65 to the pop under age 15 according to Jipgyegu (1,000) (2019)	National Statistics Office (SGIS)
	Traffic amount	Traffic amount in Jipgyegu (1,000) (2019)	View T
	Average car speed	Average car speed in Jipgyegu (km/h) (2019)	
	Traffic congestion	Congestion frequency intensity in Jipgyegu (2019)	
Land use factors	Residential use	Residential use floor area in Jipgyegu (1,000m ²) (2022)	National Spatial Data Infrastructure Portal (NSDI)
	Commercial use	Commercial use floor area in Jipgyegu (1,000m ²) (2022)	
	Official use	Official use floor area in Jipgyegu (1,000m ²) (2022)	
	Land use mix (LUM)	Land use mix in Jipgyegu (2022)	
Physical environment factors	Intersection	Number of intersection in Jipgyegu (2021)	Seoul Open Data Plaza
	Bus stop	Number of bus stop in Jipgyegu (2021)	Kakao Map
	Subway entrance	Number of subway entrance in Jipgyegu (2019)	
	Bus rapid transit (BRT)	Number of bus rapid transit in Jipgyegu (2022)	Data Portal
Road characteristic factors	Betweenness	Frequency of passage through road network in Jipgyegu (2020)	Seoul Open Data Plaza
	Diversion ratio	Frequency of road network view transition in Jipgyegu (2020)	
Walking environment improvement project factors	Silver zone	Number of silver zone in Jipgyegu (2021)	AURI
	Road diet	Number of road diet in in Jipgyegu (2019)	
Pedestrian safety facility factors	Crosswalk	Number of crosswalk in Jipgyegu (2021)	Seoul Open Data Plaza
	Speed hump	Number of speed hump in Jipgyegu (2021)	
	Refugee island	Number of refuge island in Jipgyegu (2021)	
	Road mark	Number of road mark in Jipgyegu (2021)	
	Crosswalk sign	Number of crosswalk sign in Jipgyegu (2019)	

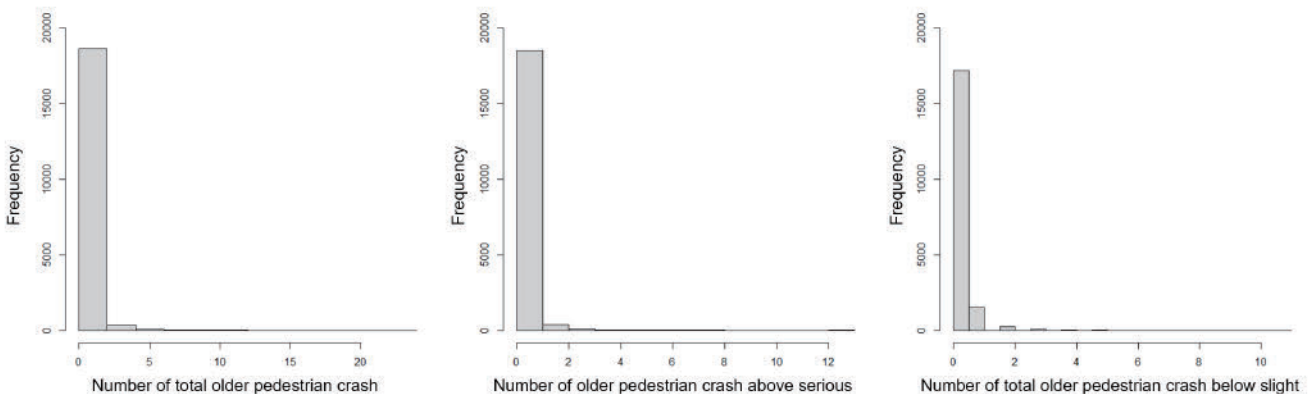


그림 4. 고령 보행자 교통사고 심각도별 분포

Figure 4. Distribution of older pedestrian crash by severity

하 고령 보행자 교통사고 세 가지 모형의 과분산계수(α)는 각각 0.93, 1.10, 1.10로, 음이항 회귀 모형이 적합하다 판단하였다.

이와 함께, 교통사고는 공간에서 발생하는 사건으로 공간 자기상관에 대한 고려가 필요하다. 공간 자기상관은 공간에 분포하는 교통사고 사고 지점과 근린환경이 무작위로 위치하는 것이 아니라 인접된 지역에 서로 영향을 주며 분포하는 것을 의미한다. Moran's I는 전역 공간 자기상관을 결정하는 데 사용하는 대표적인 지표이다. 이것은 변수와 공간 지연 간의 고차 곱 통계로, 변수는 평균과 편차로 표시된다. 전체 고령 보행자 교통사고의 Moran's I는 0.117로 공간 자기상관이 있는 것을 확인하였다.

황선근·이수기(2021)를 참고하여 고령 보행자 교통사고에 영향을 미치는 공간 자기상관을 제어하고자 하였다. 자동공변량은 한 지역의 종속변수가 주변에 인접하는 지역의 종속변수를 고려하여 가중치를 계산한 것이다. 따라서, 자동공변량을 추가한 음이항 회귀 분석을 수행하였다.

IV. 분석 결과

1. 기초통계분석

서울시 18,614개의 집계구에 대해 종속변수와 독립변수를 구축하고, 변수가 올바르게 형성되었는지를 확인하기 위해 기초통계분석을 수행하였다(표 3). 전체 고령 보행자 교통사고의 평균은 0.31건이며, 중상이상 고령 보행자 교통사고의 평균은 0.17건, 경상이하 고령 보행자 교통사고의 평균은 0.13건으로 나타났다. 집계구 내 최대 사고 건수는 전체사고 16건, 중상이상 사고 11건, 경상이하 사고는 8건으로 나타났으며, 중상이상의 사고가 경상이하 사고보다 더 많이 발생한 것을 알 수 있다.

노출변수로 고려한 인구는 평균 0.37(천명)이며, 노령화지수는 평균 0.26(1,000)으로, 교통량은 22.80(1,000)으로 나타났다. 토지이용요인에서는 주거용도와 상업용도, 업무용도가 각각

표 3. 기술통계 분석 결과
Table 3. Descriptive analysis

Category	Variables	Obs.	Mean	Std.	Min.	Max.	VIF
Dependent variable	No. total older pedestrian crash	18,614	0.31	0.84	0.00	16.00	-
	No. older pedestrian crash above severe	18,614	0.17	0.55	0.00	11.00	-
	No. older pedestrian crash below slight	18,614	0.13	0.45	0.00	8.00	-
Population and traffic factors	Population (1,000people)	18,614	0.37	0.11	0.00	3.92	1.02
	Aging index (1,000)	18,614	0.26	0.45	0.00	15.75	1.07
	Traffic amount (1,000)	18,614	22.80	9.55	0.00	58.22	2.01
	Average car speed (km/h)	18,614	29.04	6.33	0.00	54.67	1.87
	Traffic congestion	18,614	51.65	18.19	0.00	100.00	1.15
Land use factors	Residential use (1,000m ²)	18,614	12.16	34.91	0.00	1345.17	1.02
	Commercial use (1,000m ²)	18,614	1.36	6.91	0.00	385.92	1.10
	Official use (1,000m ²)	18,614	3.18	12.38	0.00	525.21	1.15
	Land use mix	18,614	0.22	0.29	0.00	1.00	1.32
Physical environment factors	Intersection	18,614	0.36	0.95	0.00	24.00	3.61
	Subway entrance	18,614	0.11	0.64	0.00	18.00	1.81
	Bus stop	18,614	0.60	1.42	0.00	40.00	2.53
Road characteristic factors	BRT	18,614	0.02	0.17	0.00	4.00	1.36
	Betweeness	18,614	1.07	0.72	0.00	2.05	2.39
	Diversion ratio	18,614	1.26	0.59	0.00	2.06	2.25
Walking environment improvement project factors	Silver zone	18,614	0.01	0.09	0.00	1.00	1.02
	Road diet	18,614	0.01	0.05	0.00	1.00	1.06
Pedestrian safety facility factors	Crosswalk	18,614	2.00	4.52	0.00	175.00	7.23
	Speed hump	18,614	0.77	1.67	0.00	36.00	1.47
	Refugee island	18,614	0.63	2.41	0.00	53.00	3.78
	Road mark	18,614	8.54	21.21	0.00	745.00	4.63
	Crosswalk sign	18,614	1.84	4.63	0.00	120.00	6.35
Autocovariate		18,614	0.43	0.61	0.00	12.50	1.12

12.16(1,000m²), 1.36(1,000m²), 3.18(1,000m²)로 주거용도의 연면적이 넓게 나타났다. 물리적 환경은 교차로, 지하철역입구, 버스정류장, 중앙버스정류장(BRT)이 0.36개, 0.11개, 0.60개, 0.02개로 분석되었다. 도로특성요인으로 고려한 통과도는 평균 1.07, 최대 2.05이며, 전환비는 평균 1.26, 최대 2.06으로 나타났다.

보행환경개선사업요인인 노인보호구역과 도로 다이어트는 평균 0.01개를 가지는 것으로 나타났다. 보행자 안전시설요인은 횡단보도, 험프, 안전지대, 노면표시, 횡단보도표시가 2.00개, 0.77개, 0.63개, 8.54개, 1.84개로 나타났다. 노면표시는 최대 745개, 횡단보도표시는 최대 120개로 확인되었다.

독립변수 간의 다중공선성 문제를 진단하기 위하여 Variance

Inflation Factor(VIF)를 확인하였다. VIF 값이 10 이상이면 다중공선성 문제가 발생할 수 있다고 판단할 수 있다. 본 연구에서 활용된 독립변수 간의 VIF는 모두 7 이하로 도출되어 다중공선성 문제가 없는 것을 확인하였다.

2. 음이항 회귀 분석 결과

음이항 회귀 모형 분석 결과는 <표 4>와 같다. 분석에 앞서 전역적 Moran's I를 확인하였을 때, 전체, 중상이상, 경상이하 고령 보행자 교통사고에서 모두 공간적 자기 상관이 있음을 확인하였다. 이를 제어하기 위하여 독립변수로 자동공변량을 추가하였다.

표 4. 고령 보행자 교통사고 심각도별 음이항 회귀 분석 결과

Table 4. Negative binomial regression by severity of older pedestrian crash

범주(Category)	변수(Variable)	전체(Total)			중상이상(Above severe)			경상이하(Below slight)		
		Coef.	z	p	Coef.	z	p	Coef.	z	p
Population and traffic factors	Population	0.289**	2.01	0.044	0.238	1.33	0.183	0.237	1.17	0.240
	Aging index	0.170***	6.28	0.000	0.160***	4.82	0.000	0.183***	5.45	0.000
	Traffic amount	-0.009***	-3.38	0.001	-0.010***	-3.11	0.002	-0.005	-1.33	0.185
	Average car speed	-0.002	-0.48	0.628	0.002	0.34	0.732	-0.007	-1.34	0.180
	Traffic congestion	-0.001	-1.27	0.204	-0.001	-0.90	0.368	-0.002	-1.31	0.190
Land use factors	Residential use	0.002***	4.15	0.000	0.001***	2.77	0.006	0.002***	3.43	0.001
	Commercial use	0.003	1.60	0.109	0.002	1.11	0.266	0.004	1.60	0.109
	Official use	0.009***	11.68	0.000	0.008***	8.56	0.000	0.009***	10.08	0.000
	Land use mix	1.254***	20.65	0.000	1.301***	17.23	0.000	1.316***	15.61	0.000
Physical environment factors	Intersection	0.109***	5.75	0.000	0.105***	4.63	0.000	0.103***	4.18	0.000
	Subway entrance	0.090***	4.88	0.000	0.054**	2.45	0.014	0.121***	5.30	0.000
	Bus stop	0.099***	9.27	0.000	0.097***	7.76	0.000	0.091***	6.69	0.000
	BRT	0.052	0.83	0.404	0.123*	1.71	0.088	0.057	0.73	0.467
Road characteristic factors	Betweeness	0.438***	8.24	0.000	0.438***	6.45	0.000	0.472***	5.87	0.000
	Diversion ratio	0.174**	2.43	0.015	0.126	1.40	0.162	0.209*	1.91	0.057
Walking environment improvement project factors	Silver zone	0.160	1.19	0.233	0.114	0.69	0.491	0.221	1.26	0.206
	Road diet	-0.065	-0.27	0.786	-0.205	-0.69	0.492	-0.053	-0.17	0.867
Pedestrian safety facility factors	Crosswalk	0.025***	4.85	0.000	0.025***	4.06	0.000	0.015**	2.30	0.022
	Speed hump	0.007	0.87	0.385	0.004	0.42	0.676	0.022**	2.04	0.042
	Refugee island	0.009	1.20	0.230	0.009	1.03	0.303	0.009	0.95	0.344
	Road mark	-0.003***	-2.96	0.003	-0.003***	-2.63	0.009	-0.004***	-3.02	0.003
	Crosswalk sign	0.018***	3.66	0.000	0.018***	3.23	0.001	0.011*	1.81	0.070
Autocovariate		0.345***	16.94	0.000	0.420***	10.34	0.000	0.720***	13.17	0.000
Constant		-2.898***	-21.91	0.000	-3.366***	-20.24	0.000	-3.689***	-19.44	0.000
Obs.			18,614			18,614			18,614	
AIC			21,606			15,380			12,685	
Alpha (α)			0.93			1.10			1.10	
VMR			2.31			1.75			1.54	

분석 결과, 자동공변량은 모두 유의하게 나와 공간적 자기 상관성이 제어된 것을 확인하였다.

먼저, 인구 및 교통요인에서 노출변수인 인구는 전체 교통사고에서 양(+)의 관계를 가지는 것으로 나타났다. 노령화지수는 모든 사고에서 양(+)의 관계가 나타났다. 이는 Lee et al.(2020)과 일치하는 결과이다. 교통량은 전체 사고와 중상이상 사고에서 음(-)의 관계를 가지는 것으로 나타났다. Arias et al.(2021)에 따르면, 속도가 높고 혼잡도가 높은 도로는 고령 보행자가 접근하기 어려워 고령 보행자의 통행이 적기 때문에 교통사고가 덜 발생한 것으로 해석할 수 있다. 차량속도와 혼잡도는 모든 사고에 대해서 유의하지 않은 것으로 나타났다. 토지이용요인은 주거용도와 업무용도, 토지이용혼합도가 모든 사고에서 양(+)의 관계를 가지는 것으로 나타났으며, 상업용도는 유의하지 않은 것을 확인하였다.

물리적환경요인은 교차로, 지하철역입구, 버스정류장이 전체 사고에서 양(+)의 관계가 나타났다. 중앙버스전용정류장(BRT)은 중상이상 사고에서만 양(+)의 관계가 있으며, 이는 윤준호·이수기(2018)와 일치하는 결과이다. 중앙버스전용정류장(BRT)은 도로 폭이 넓은 곳에 위치하며, 버스와 충돌할 가능성이 높아 부상 심각도가 높은 것으로 보인다. 전체적으로 물리적 환경에서 고령 보행자의 교통안전이 취약하게 나타나 이에 대해 안전개선을 할 필요가 있을 것으로 보인다.

도로특성요인에서 통과도는 모든 사고에 대해서 양(+)의 관계를 가지는 것으로 나타났으며, 전환비는 전체사고와 경상이하 사고와 양(+)의 관계가 있다. 통과도가 높은 곳은 차량과 보행자가 많이 다니는 곳으로 고령 보행자가 차량에 더 노출되기 쉽기 때문으로 보인다. 전환비의 경우 네트워크 우회 분석에 사용하며, 직선거리와 실제 네트워크 거리를 비교하여 네트워크가 직접적인 경로에서 얼마나 벗어나는지를 보여준다. 즉, 전환비가 높을수록 한 지점에서 다른 지점으로 가는 길에 많이 꺾이고 시야 전환이 많아 운전자와 고령 보행자가 서로를 확인하지 못하여 교통사고가 자주 발생할 수 있다. 그러나 이러한 도로에서는 속도를 내기 어렵기 때문에 중상사고에 비해 경상사고가 더 많이 발생하는 것으로 보인다.

보행환경개선사업요인인 노인보호구역은 모든 사고와 유의미한 관계가 도출되지 않았다. 이는 Choi et al.(2018)과 유사한 결과로 노인보호구역이 고령 보행자 교통사고 지점과 공간적으로 일치하지 않고, 저감효과가 없는 것을 보여준다. '보행로 설치 및 개선'으로 고려한 도로 다이어트도 모든 사고에 대해서 유의미하지 않은 것으로 나타났다. 보행자 안전시설요인의 경우 횡단보도는 모든 사고에 대해서 양(+)의 관계를 가지는 것으로 나타났다. 이는 서지민·이수기(2016)와 같이 횡단보도는 횡단의 편의를 위한 시설이며 횡단 안전을 보장하는 시설이 아님을 보여준다. '속도저감시설 설치'로 고려한 험프는 경상이하 사고에 대해서 양(+)

의 관계가 나타났으며, 안전지대는 유의하지 않은 것으로 나타났다. "시인성 확보"를 위한 노면표시는 모든 사고에 대해서 음(-)의 관계가 있는 것으로 나타났으며, 횡단보도표시는 모든 사고에 대해서 양(+)의 관계를 가지는 것을 확인하였다.

3. 상호작용 효과 분석

전체 고령 보행자 교통사고에 대해 물리적환경요인과 보행환경개선사업요인 및 보행자 안전시설요인의 상호작용 효과를 살펴본다. <표 5>와 <표 6>은 각각 물리적환경요인과 보행환경개선사업요인의 상호작용 항과 물리적환경과 보행자 안전시설요인의 상호작용 항을 고려한 음이항 회귀 분석 결과이다. <그림 5>와 <그림 6>은 유의미한 결과를 가진 상호작용 항에 대해서 상호작용 항이 없을 때와 보행환경개선사업요인 또는 보행자 안전시설요인이 최소, 최대일 때의 물리적 환경요인과 전체 고령 보행자 교통사고의 관계를 보여준다. 분석에 활용한 상호작용 항은 모두 VIF가 10 이하인 것을 확인하고 분석에 활용하였다.

먼저, 노인보호구역 상호작용 모형에서 교차로와 노인보호구역의 상호작용 항은 전체 고령 보행자 교통사고와 음(-)의 관계가 나타났다. 반면, 지하철역입구 및 버스정류장과 노인보호구역의 상호작용 항은 유의하지 않은 것으로 분석되었다. <그림 5(a)>를 보면 노인보호구역의 상호작용을 고려하지 않았을 때와 노인보호구역이 지정되지 않은 경우 교차로와 전체 고령 보행자 교통사고는 양(+)의 관계를 가지는 것으로 나타났으나, 노인보호구역이 지정된 경우 음(-)의 관계로 분석되었다. 교차로는 고령 보행자 교통사고가 빈번하게 발생하는 장소로, 보행자와 운전자가 서로를 정확히 인지하지 못하고 이동하다 충돌하는 경우가 많다. 특히 고령 보행자는 신체 능력의 저하로 시야가 좁고 반응속도가 느려 교차로에서 안전을 확보할 필요가 있다. 분석 결과에 따르면 노인보호구역이 설치된 경우 교차로에서 보행자 교통사고가 덜 발생하는 것으로 보인다. 이후 교차로 횡단보도와 교차로 부근에서 고령 보행자 교통사고가 자주 발생하는 것을 고려하여 노인보호구역의 확대를 통해 교차로에서 고령 보행자의 안전성을 높일 필요가 있다.

중앙버스전용정류장(BRT)과 노인보호구역의 상호작용 항은 전체 고령 보행자 교통사고와 음(-) 관계가 있는 것으로 분석되었다. <그림 5(b)>에서 중앙버스전용정류장(BRT)을 단독으로 고려할 때와 노인보호구역이 지정되지 않은 경우 중앙버스전용정류장(BRT)은 전체 고령 보행자 교통사고와 양(+)의 관계를 가지는 것으로 나타났다. 그러나 노인보호구역이 지정된 경우 음(-)의 관계로 분석되었다. <표 4>에서 중앙버스전용정류장(BRT)은 중상 이상의 고령 보행자 교통사고와 양(+)의 관계가 있는 것으로 나타나 고령 보행자에게 위협적인 물리적 환경으로 나타났다. 반면, 상호작용 효과를 살펴보면 노인보호구역이 설치되지 않았을

표 5. 보행환경개선사업 요인의 상호작용 항을 고려한 음이항 회귀 분석 결과

Table 5. Negative binomial regression considering interaction terms of walking environment improvement project factors

범주(Category)	변수(Variable)	노인보호구역 상호작용 (Silver zone interaction)			도로 다이어트 상호작용 (Road diet interaction)		
		Coef.	z	p	Coef.	z	p
Population and traffic factors	Population	0.285**	1.99	0.046	0.299**	2.10	0.036
	Aging index	0.174***	6.44	0.000	0.169***	6.26	0.000
	Traffic amount	-0.009***	-3.48	0.000	-0.009***	-3.50	0.000
	Average car speed	-0.002	-0.43	0.669	-0.002	-0.50	0.619
	Traffic congestion	-0.001	-1.22	0.222	-0.001	-1.26	0.207
Land use factors	Residential use	0.002***	4.16	0.000	0.002***	4.20	0.000
	Commercial use	0.003*	1.65	0.098	0.003	1.64	0.101
	Official use	0.009***	11.80	0.000	0.009***	11.87	0.000
	Land use mix	1.245***	20.48	0.000	1.247***	20.58	0.000
Physical environment factors	Intersection	0.113***	5.93	0.000	0.110***	5.74	0.000
	Bus stop	0.087***	4.69	0.000	0.093***	5.11	0.000
	Subway entrance	0.100***	9.27	0.000	0.095***	8.81	0.000
	BRT	0.063	1.02	0.310	0.074	1.19	0.233
Road characteristic factors	Betweenness	0.438***	8.24	0.000	0.438***	8.24	0.000
	Diversion ratio	0.173**	2.42	0.016	0.173**	2.41	0.016
Walking environment improvement project factors	Silver zone	0.386**	2.30	0.021	0.154	1.16	0.246
	Road diet	-0.075	-0.31	0.756	0.600**	2.07	0.039
Pedestrian safety facility factors	Crosswalk	0.026***	4.95	0.000	0.027***	5.01	0.000
	Speed hump	0.006	0.78	0.433	0.007	0.81	0.418
	Refugee island	0.007	1.02	0.306	0.011	1.44	0.150
	Road mark	-0.003***	-2.81	0.005	-0.003***	-2.92	0.004
	Crosswalk sign	0.017***	3.61	0.000	0.018***	3.68	0.000
Autocovariate		0.345***	16.98	0.000	0.344***	17.01	0.000
Intersection X		-0.196**	-2.09	0.036	-0.025	-0.27	0.785
Subway entrance X		0.123	0.95	0.343	-0.351***	-3.52	0.000
Bus stop X		0.025	0.36	0.722	-0.061	-0.62	0.534
BRT X		-2.305***	-3.34	0.001	-1.011**	-2.35	0.019
Constant		-2.901***	-21.97	0.000	-2.897***	-21.99	0.000
Obs.			18,614			18,614	
AIC			21,598			21,578	

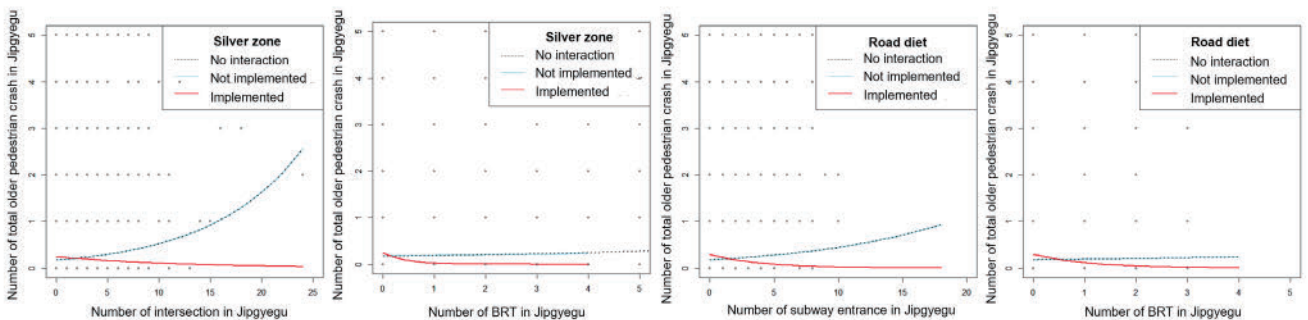


그림 5. 보행환경개선사업 요인의 상호작용 그래프

Figure 5. Interaction graph of walking environment improvement project factors

때보다 노인보호구역이 설치된 경우 중앙버스전용정류장(BRT)에서 고령 보행자 교통사고가 더 적게 발생한다. 고령 보행자는 신체 능력이 저하되면서 교통사고로 인한 부상심각도가 높다. 따라서 중앙버스전용정류장(BRT)과 같은 물리적 환경에 대한 적절한 대응이 필요하다. 고령 보행자의 통행량이 많은 지역에 중앙버스전용정류장과 차로가 있는 경우 보행안전 확보를 위해 노인보호구역 지정과 같은 보행환경 개선이 필요하다.

다음으로 도로 다이어트 상호작용 모형에서 교차로와 도로 다이어트의 상호작용 항은 유의하지 않은 것으로 나타났다. 지하철역입구와 도로 다이어트의 상호작용 항은 전체 고령 보행자 교통사고와 음(-)의 관계가 있는 것으로 나타났다. <그림 5(c)>를 보면 지하철역입구만 고려하였을 때와 도로 다이어트가 시행되지 않았을 때 지하철역입구는 전체 고령 보행자 교통사고와 양(+)의 관계가 나타났으며, 도로 다이어트가 시행되었을 때 음(-)의 관계가 분석되었다. 도로 다이어트는 차로의 폭을 줄이거나 차선을 줄여 보행로를 제공하고, 보행자의 시야를 가리는 시설물 또는 적치물을 제거하여 걷기 좋은 환경을 제공하는 보행환경 개선사업이다. 지하철역입구 인근에 도로 다이어트가 시행이 된 경우 보행로가 확장되고 가로환경이 정비되어 고령 보행자에게 더 안전한 것으로 보인다. 서울시는 2019년 노인보행사고다발지역을 분석하여 노인보행환경 개선 사업을 시행하였으며, 특히 고령 보행자의 통행이 많은 지하철역과 지역 상권을 중심으로 진행하였다. 분석 결과를 통해 고령 보행자를 위한 보행환경개선 사업의 효과를 확인할 수 있으며, 향후에도 고령 보행자 교통사고의 특성과 보행 특성을 고려한 조치가 필요한 것으로 보인다.

버스정류장과 도로 다이어트의 상호작용 항은 유의하지 않게 도출되었으며, 중앙버스전용정류장(BRT)과 도로 다이어트의 상호작용 항은 전체 고령 보행자 교통사고와 유의미한 음(-)의 관계가 나타났다. <그림 5(d)>는 상호작용을 고려하지 않았을 때와 도로 다이어트가 시행되지 않았을 때 중앙버스전용정류장(BRT)은 전체 고령자 교통사고와 양(+)의 관계가 있으나, 도로 다이어트가 시행되었을 경우 음(-)의 관계가 나타났다. 전술한 것과 같이 중앙버스전용정류장(BRT)은 중상 이상의 고령 보행자 교통사고와 양(+)의 관계를 있으며 부상 심각도가 높다. 따라서 중앙버스전용정류장(BRT) 인근에서 고령 보행자의 보행 안전 및 횡단 안전을 확보해야 한다. 도로 다이어트는 차로의 폭을 줄여주거나 차선을 줄여주어 차량이 빠른 속도로 주행할 수 없는 환경을 제공한다. 또한 도로 다이어트를 통해 보행로가 넓어지고 경관이 정비되면서 고령 보행자가 중앙버스를 이용하기 위해 길을 횡단할 때 주변의 차량을 확인하기에 더 용이한 것으로 보인다. 향후 노인보호구역뿐 아니라 도로 다이어트와 같은 보행환경개선사업을 통해 고령 보행자의 보행 안전을 향상할 필요가 있다.

물리적환경요인과 보행자 안전시설요인의 상호작용 항을 고려한 세 가지 모형의 결과는 다음과 같다. 먼저, 안전지대 상호작용

모형에서 교차로, 지하철역입구, 버스정류장과 안전지대의 상호작용 항은 전체 고령 보행자 교통사고와 음(-)의 관계가 나타났다. 한편, 중앙버스전용정류장(BRT)은 유의미하지 않은 것으로 분석되었다. <그림 6 (a), (b), (c)>는 교차로, 지하철역입구, 버스정류장과 안전지대의 상호작용 그래프이다. 자세히 살펴보면 교차로의 경우 안전지대의 상호작용이 고려되지 않았을 때와 안전지대가 최소(0)일 때 전체 고령 보행자 교통사고와 양(+)의 관계가 있었으나, 안전지대가 최대(53)일 때 음(-)의 관계로 나타났다. 지하철역입구는 지하철역입구가 단독으로 고려되었을 때와 안전지대가 최소(0)일 때 전체 고령 보행자 교통사고와 양(+)의 관계로 나타났으며, 안전지대가 최대(53)일 때 음(-)의 관계로 분석되었다. 버스정류장 또한 상호작용 항을 고려하지 않았을 때와 안전지대가 최소(0)일 때 전체 고령 보행자 교통사고와 양(+)의 관계가 있으며, 안전지대가 최대(53)일 때 음(-)의 관계가 나타났다. 안전지대는 「도로교통법」이 규정하는 차량의 진입이 금지된 장소로 횡단하는 보행자의 안전을 위한 보행자 안전시설이다. 교차로의 경우 보행자와 차량이 만나는 공간이며, 버스정류장과 지하철역입구로 접근하기 위해서 고령 보행자가 횡단을 하기도 한다. 고령 보행자 교통사고는 횡단 중에 가장 많이 발생하며, 이때 안전지대가 설치된 경우 차량의 접근을 제한하여 보행자의 안전성을 높여주는 것으로 보인다. 보행자와 차량이 만나는 도로에서 보차 분리를 해주는 안전지대와 같은 보행자 안전시설 설치를 통해 고령 보행자의 횡단환경을 개선할 수 있을 것으로 보인다.

다음으로 노면표시 상호작용 모형에서는 교차로와 노면표시의 상호작용 항이 전체 고령 보행자 교통사고와 음(-)의 관계가 있는 것으로 나타났다. <그림 6(d)>에서 교차로만 단독으로 고려하였을 때와 노면표시가 최소(0)일 때 교차로와 전체 고령 보행자 교통사고는 양(+)의 관계로 나타났으며, 노면표시가 최대(745)일 때는 음(-)의 관계로 분석되었다. 노면표시는 차량과 보행자에게 추가적인 도로에 대한 정보를 제공해 주는 역할을 하여 복잡한 도로 위에서 고령 보행자의 안전한 보행을 도와주는 것으로 나타났다. 고령 보행자는 허리가 굽어 안전표지와 신호등을 보는 것에 어려움이 있어, 이러한 노면표시가 고령 보행자에게 도로환경에 대한 정보를 제공하는 데 도움을 주는 것으로 보인다. 한편, 지하철역입구와 노면표시의 상호작용 항은 유의하지 않았으며, 버스정류장과 노면표시의 상호작용 항은 전체 고령 보행자 교통사고와 음(-)의 관계가 나타났다. <그림 6(e)>를 보면 상호작용을 고려하지 않았을 때와 노면표시가 최소(0)일 때 버스정류장은 전체 고령 보행자 교통사고와 양(+) 관계가 있었으나 노면표시가 최대(745)일 때 음(-)의 관계가 나타났다. 중앙버스전용정류장과 다르게 버스정류장은 보도 인근에 있으며 따로 분리되어 있지 않다. 버스에 탑승하는 고령 보행자들이 버스정류장의 주변 차량과 충돌할 가능성이 높다. 버스정류장의 노면표시가 이루어지면 버스를 타는 곳을 명시적으로 알 수 있고 지정된 곳에서 승하차할 수

있어 보행자와 차량이 접촉하는 것을 줄일 수 있는 것으로 해석할 수 있다.

마지막으로 횡단보도표시 상호작용 모형에서는 모든 물리적환경요인과 횡단보도표시의 상호작용 항이 유의하게 도출되었다. 먼저, 교차로와 횡단보도표시의 상호작용 항은 전체 고령 보행자 교통사고와 유일하게 양(+)의 관계가 있는 것으로 나타났다. <그림 6(f)>는 횡단보도표시가 최대(120)일 때 양(+)의 관계가 있는 것으로 나타났다. 이는 고령 보행자 교통사고가 많이 발생하는

교차로 횡단보도 인근에 횡단보도표시를 많이 설치하여 나타난 결과일 수도 있으며 해석에 유의가 필요하다. 교차로에서는 고령 보행자 교통사고는 횡단 중에 가장 많이 발생하는 것으로 나타났다. 교차로 횡단 중에 사고가 많이 발생하는 원인 중 하나로 고령 보행자가 횡단하는 시간보다 짧은 신호등의 신호 시간이 이야기 되고 있다. 교차로의 횡단보도에서 고령 보행자의 횡단 안전을 확보하기 위해서는 횡단보도표시를 통해 교차로 인근에서 차량의 속도를 줄이는 것과 동시에 고령 보행자에게 충분한 횡단 시간

표 6. 보행안전시설요인의 상호작용 항을 고려한 음이항 회귀 분석 결과

Table 6. Negative binomial regression considering interaction terms of pedestrian safety facility factors

범주(Category)	변수(Variable)	안전지대 상호작용 (Refugee island interaction)			노면표시 상호작용 (Road mark interaction)			횡단보도표시 상호작용 (Crosswalk sign interaction)		
		Coef.	z	p	Coef.	z	p	Coef.	z	p
Population and traffic factors	Population	0.310**	2.29	0.022	0.268*	1.95	0.051	0.300**	2.16	0.031
	Aging index	0.150***	5.63	0.000	0.164***	6.26	0.000	0.154***	5.95	0.000
	Traffic amount	-0.011***	-4.12	0.000	-0.011***	-4.09	0.000	-0.011***	-4.37	0.000
	Average car speed	-0.003	-0.71	0.475	-0.002	-0.51	0.609	-0.001	-0.35	0.725
	Traffic congestion	-0.001	-1.19	0.236	-0.001	-1.24	0.216	-0.001	-1.00	0.317
Land use factors	Residential use	0.002***	4.21	0.000	0.002***	4.14	0.000	0.002***	4.30	0.000
	Commercial use	0.002	1.08	0.281	0.002	1.03	0.305	0.002	0.84	0.402
	Official use	0.007***	9.83	0.000	0.007***	9.86	0.000	0.007***	9.56	0.000
	Land use mix	1.142***	19.02	0.000	1.114***	18.33	0.000	1.091***	18.14	0.000
Physical environment factors	Intersection	0.119***	5.68	0.000	0.097***	4.57	0.000	-0.001**	-2.30	0.022
	Subway entrance	0.127***	5.88	0.000	0.095***	4.49	0.000	0.115***	5.61	0.000
	Bus stop	0.123***	9.21	0.000	0.126***	9.60	0.000	0.129***	6.01	0.000
	BRT	0.013	0.16	0.876	0.043	0.49	0.625	0.131***	9.42	0.000
Road diet factors	Betweenness	0.440***	8.31	0.000	0.432***	8.16	0.000	-0.015	-0.18	0.859
	Diversion ratio	0.170**	2.38	0.018	0.175**	2.43	0.015	0.446***	8.44	0.000
Walking environment improvement project factors	Silver zone	0.102	0.78	0.433	0.105	0.80	0.421	0.162**	2.26	0.024
	Road diet	-0.042	-0.18	0.856	0.007	0.03	0.977	0.116	0.90	0.367
Pedestrian safety facility factors	Crosswalk	0.025***	4.96	0.000	0.035***	6.74	0.000	0.107	0.48	0.631
	Speed hump	-0.007	-0.92	0.357	-0.009	-1.15	0.249	0.036***	7.13	0.000
	Refugee island	0.075***	9.93	0.000	0.009	1.39	0.164	-0.007	-0.83	0.406
	Road mark	0.000	0.51	0.613	0.006***	6.11	0.000	0.015**	2.33	0.020
	Crosswalk sign	0.020***	4.32	0.000	0.017***	3.61	0.000	0.000	-0.51	0.609
Autocovariate		0.324***	16.42	0.000	0.330***	16.71	0.000	0.051***	10.04	0.000
Intersection X		-0.007***	-6.14	0.000	0.000***	-3.68	0.000	0.325***	16.74	0.000
Subway entrance X		-0.006***	-4.30	0.000	0.000	-1.08	0.279	-0.003***	-4.89	0.000
Bus stop X		-0.005***	-6.26	0.000	-0.001***	-7.27	0.000	-0.004***	-5.37	0.000
BRT X		-0.001	-0.13	0.898	-0.001	-0.90	0.367	-0.004***	-6.68	0.000
Constant		-2.874***	-22.23	0.000	-2.888***	-22.22	0.000	-2.914***	-22.51	0.000
Obs.			18,614			18,614			18,614	
AIC			21,354			21,376			21,227	

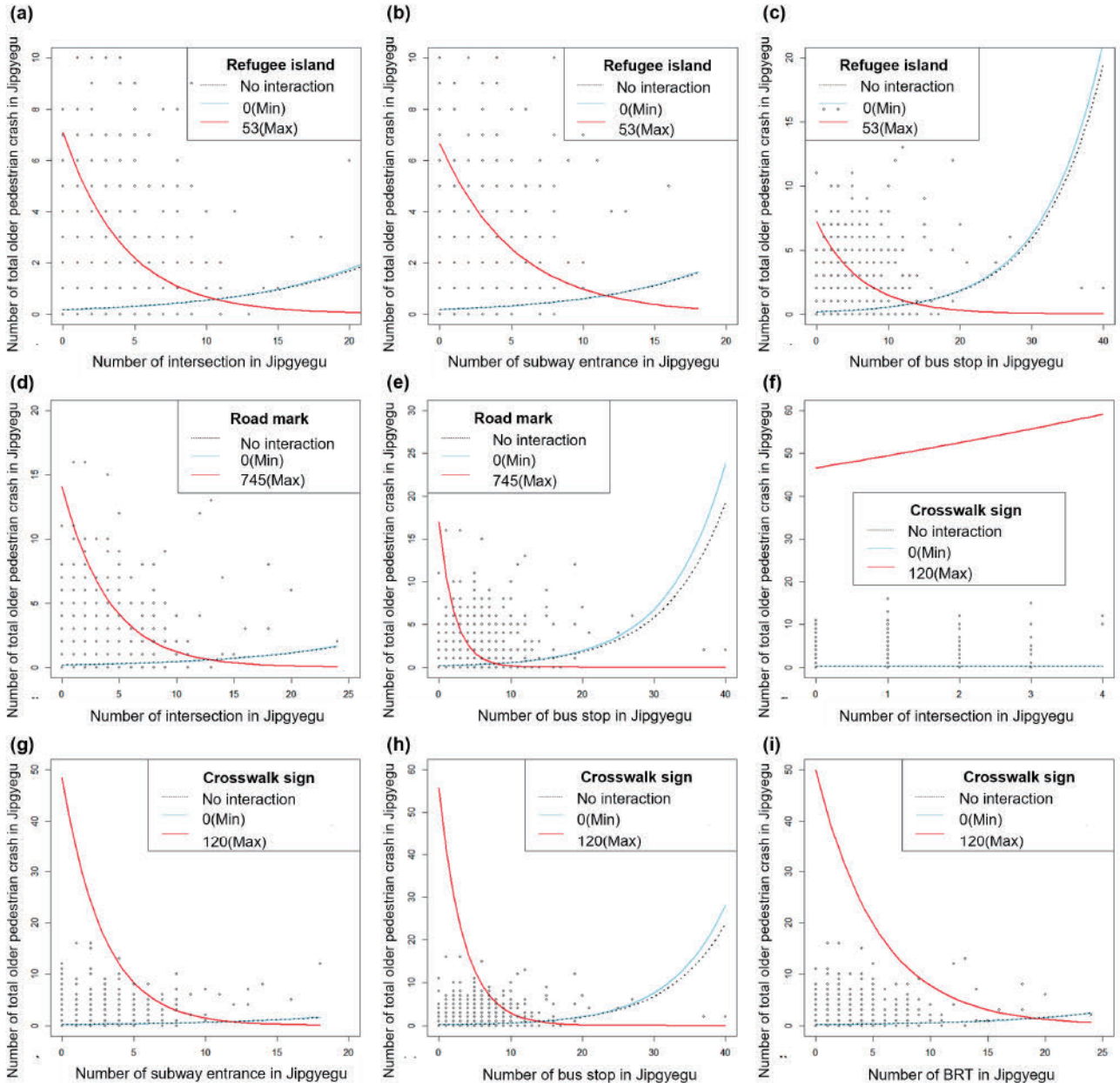


그림 6. 보행자안전시설요인의 상호작용 그래프

Figure 6. Interaction graph of pedestrian safety facility factors

을 제공하는 등의 개선이 필요할 것으로 보인다. 반면 지하철역 입구, 버스정류장, 중앙버스정류장과 횡단보도표시의 상호작용은 전체 고령 보행자 교통사고와 음(-)의 관계 나타났다. <그림 6 (g), (h), (i)>는 지하철역 입구, 버스정류장, 중앙버스전용정류장(BRT)과 횡단보도표시의 상호작용 효과 그래프이다. 지하철역 입구는 상호작용을 고려하지 않았을 때와 횡단보도표시가 최소(0)일 때 전체 고령 보행자 교통사고와 양(+)의 관계가, 횡단보도 표시가 최대(120)일 때 음(-)의 관계가 있는 것으로 나타났다. 버스정류장의 경우도 버스정류장을 단독으로 고려할 때와 횡단보도 표시가 최소(0)일 때 전체 고령 보행자 교통사고와 양(+)의 관계로, 횡단보도 표시가 최대(120)일 때 음(-)의 관계로 분석되었다. 또한, 중앙버스전용정류장(BRT)도 상호작용을 고려하지

않았을 때와 횡단보도표시가 최소(0)일 때 양(+)의 관계로 확인되었으며, 횡단보도표시가 최대(120)일 때 음(-)의 관계로 나타났다. 한국교통안전공단(2020)에 따르면 고령자가 비고령자에 비해 무단횡단으로 인한 사고가 발생할 가능성이 높다. 이는 고령자들의 인지능력 저하로 인해 잘못된 판단으로 인한 것으로 보인다. 특히, 지하철역 입구, 버스정류장, 중앙버스전용정류장(BRT) 인근에서 대중교통에 급하게 탑승하기 위해서 횡단을 할 때 무단횡단을 할 가능성이 높다. 이때 횡단보도표시를 설치하면 횡단보도의 위치를 명확하게 인식시켜 줄 수 있기 때문에 사고가 덜 발생하는 것으로 보인다. 이후 보행자 안전시설을 설치할 때 고령자의 신체 능력과 함께 인지 및 인식 능력을 고려하여 보행 안전을 높일 수 있도록 해야 할 것이다.

V. 결론

1. 연구의 종합

본 연구는 2019년부터 2021년까지 고령 보행자 교통사고 자료를 활용하였으며, 고령자의 보행 안전을 위한 보행환경개선사업 및 보행안전시설에 집중하여 고령 부상 심각도별로 고령 보행자 교통사고의 영향요인을 분석하였다. 또한, 도출된 중요 요인인 물리적환경요인과 보행환경개선사업요인 및 보행자안전시설요인의 상호작용 효과를 분석하였다. 분석 결과를 통한 결론과 정책적 시사점은 다음과 같다.

첫째, 물리적 환경요인에서 교차로, 지하철역입구, 버스정류장은 모든 사고에 대하여 양(+)의 관계로 나타났으며, 중앙버스전용정류장은 중상이상 사고에 대하여 양(+)의 관계가 있는 것으로 나타났다. 이는 현재 서울시의 물리적 환경이 고령 보행자에게 안전한 환경이 아님을 보여준다. 세계적으로 고령자 인구가 꾸준히 증가하고 있다. 통계청에 따르면 우리나라 65세 이상 인구는 2000년 약 340만 명(7.0%), 2010년 약 551만 명(10.9%), 2020년 850만 명(16.4%)으로 그 수와 비율이 급격히 증가한 것을 알 수 있다. 초고령사회로 전환 과정에서 도시 및 교통계획 단계에 고령자의 특성을 고려해야 하며, 이를 고려한 설계가 고령 보행자 교통사고 저감에 기여할 것으로 판단된다.

둘째, 노인보호구역은 단독변수로 고려했을 때 모든 모형에서 고령 보행자 교통사고와 관련이 없는 것으로 분석되었다. 이는 Lee et al.(2020)과 Choi et al.(2018)의 연구와 일치하는 결과로 노인보호구역이 고령 보행자 교통사고 저감에 영향이 미미한 것을 의미한다. 노인보호구역은 고령 보행자의 교통사고 예방을 위해 양로원, 경로당, 노인복지시설 등 고령 보행자의 통행량이 많은 구역에 통행속도를 30km/h로 제한하고 주정차를 금지한다. 노인보호구역의 시행은 2007년 5월부터 시행되어 2011년 1월부터 “어린이·노인 장애인 보호구역의 지정 및 관리 규칙”으로 통합되어 관리되고 있다. 그러나 노인보호구역을 운영한 지 15년 이상의 시간이 지났음에도 인식이 낮고 효과가 미미하다. 2020년 기준 사망한 고령 보행자는 1,342명이며 사망한 어린이 보행자(만 13세 미만) 24명과 비교하여 56배 높은 데 반해, 서울시 내 노인보호구역은 163곳으로 그 수가 어린이보호구역(1,741개)의 10% 미만이다. 또한, 교통약자 보행자 안전사업 예산의 91.6%(1,983억 3,000만 원)는 어린이 보호구역 개선에 배정되고, 노인보호구역 예산은 전체의 2.8%(60억 원)만 편성되고 있다. 그러나 노인보호구역을 교차로 또는 중앙버스전용정류장(BRT) 변수와 상호작용을 고려하였을 때 고령 보행자 교통사고 저감 효과가 있는 것으로 나타났다. 이를 고려하였을 때 더 적극적으로 노인보호구역 설치를 지원하고 개선한다면 고령 보행자의 안전을 증진하는 데 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

셋째, 도로특성요인인 전환비와 통과도 또한 주요한 고령 보행자 교통사고 영향요인으로 도출되었다. 이는 고령자에게 안전한 보행환경을 형성하고 개선하는 데 있어서 도로를 설계할 때 도로 네트워크의 전체적인 특성을 고려할 필요가 있음을 보여준다. 특히 매개중심성을 보여주는 지표인 통과도는 전체, 중상이상, 경상이하 고령 보행자 교통사고에 대해 모두 양(+)의 관계를 가지는 것으로 나타났다. 이는 통과도가 높은 도로, 즉 고령 보행자와 차량이 많이 다니는 지역에서 고령 보행자 교통사고가 자주 발생하는 것을 의미하며, Osama and Sayed(2017)의 분석결과와 일치한다. 고령 보행자의 안전을 위해서 도로설계 시 통과도가 높은 도로에 대해서는 보행자와 차량을 분리해 줄 필요가 있다. 이를 위해 제시되는 방법의 하나로 도로 다이어트 정책이 있다. 본 연구에서 도로 다이어트 변수는 단독변수로 고려하였을 때 고령 보행자 교통사고와 통계적으로 유의하지 않았으나, 물리적환경요인인 지하철역입구와 중앙버스전용정류장(BRT)과 상호작용항을 고려하였을 때 음(-)의 관계가 도출되었다.

도로 다이어트는 국토교통부(2020)에서 제시하는 지침에서 보행로 설치 및 개선에 해당하는 보행환경개선사업이다. 도로 다이어트는 자동차 점유율이 높은 공간을 축소하고 보행자를 위한 공간을 확보하는 데 활용되며, 차로 폭 다이어트와 차로 다이어트가 있다. 차로 폭 다이어트는 주변 교통 영향을 최소화하면서 보행환경을 개선하는 방법으로 평균 속도를 줄여주어 교통사고를 줄일 수 있지만, 근본적으로 통과도를 낮추는 방법은 아니다. 반면, 차로 다이어트는 차로 폭 다이어트보다 많은 공간을 보행로로 제공할 수 있고 주변 교통에 영향을 주어 통과하는 차량을 줄여줄 수 있다. 이와 같은 보행환경개선사업을 통해 도로특성요인을 조절하여 고령 보행자 교통사고를 예방할 수 있을 것이다. 또한, 도로 다이어트와 함께 보행로와 가로경관을 정비하는 것은 고령 보행자 시야 확보와 도로 환경 인지에 도움이 될 것으로 판단된다.

넷째, 속도저감시설인 험프는 경상사고에 대하여 양(+)의 관계가 나타났고, 안전지대(진입역제시)는 모든 사고에 대하여 통계적으로 유의하지 않았다. 반면, 안전지대는 물리적환경요인과 상호작용을 고려하였을 때, 교차로, 지하철역입구, 버스정류장과 상호작용 항이 음(-)의 관계가 도출되었다. 이는 속도저감시설로서 안전지대 변수가 적절한 역할을 하는 것으로 볼 수 있다. 안전지대는 횡단하는 보행자의 안전을 확보하기 위해서 안전표지나 인공구조물로 표시한다. 안전지대를 설치함으로써 차량의 속도를 낮추고 통행을 제어해 줄 뿐 아니라, 고령 보행자와 차량을 분리해 줄 수 있다. 이를 통해 신체적 기능과 인지능력의 저하로 반응속도가 느린 고령자에게 차량이 갑자기 접근할 때 대응 및 대피 시간을 제공할 수 있다. 향후 안전지대를 고령 보행자 교통사고 다발지역의 물리적 환경에 설치하여 고령자의 보행 안전성을 높일 필요가 있다.

다섯째, 고령 보행자의 시인성 확보를 위한 보행자 안전시설인

노면표시는 단독으로 고려했을 때와 상호작용에서 모두 음(-)의 관계가 나타났으며, 상호작용 항을 고려하였을 때 교차로 및 버스정류장과 노면표시의 상호작용 항이 전체 고령 보행자 교통사고와 음(-)의 관계를 가지는 것으로 도출되었다. 노면표시는 교통섬과 같이 도로의 흐름을 원활하게 하기 위해 유도하는 시설 중 하나로 차량과 보행자를 분리하여 안전하고 신속한 통행을 도와 준다. 고령자는 주의력과 기억력이 떨어져 여러 정보를 동시에 수용하는 것이 힘들고, 복잡한 도로 보행환경에 대처하는 데 어려움이 있다. 이에 대해서 노면표시는 도로 환경에 대한 정보를 제공하고 주의하는 데 도움을 줄 수 있다. 따라서 고령자의 통행이 많은 도로와 횡단보도에 노면표시를 통해 고령 보행자와 운전자의 인식을 높일 필요가 있다.

마지막으로 시인성 확보를 위한 횡단보도표시는 단독으로 고려하였을 때 모든 사고에서 양(+)의 관계로 나타났으나, 지하철역입구, 버스정류장, 중앙버스전용정류장과 횡단보도표시의 상호작용 항은 전체 고령 보행자 교통사고와 음(-)의 관계가 있는 것으로 나타났다. 횡단보도표시는 대중교통과 관련된 모든 물리적 환경에 대하여 보행환경 개선 효과가 있는 것으로 나타났다. 이는 고령 보행자 교통사고의 대부분이 횡단 과정에서 발생하는 것을 고려하였을 때, 횡단보도표시가 고령 보행자의 횡단 안전을 개선하는 데 중요한 역할을 하는 것을 알 수 있다. 고령 보행자는 다른 연령대에 비해 무단횡단으로 인한 사고의 비율이 높는데 이는 인지능력의 저하로 차량이 접근할 때 횡단할 수 있는지 잘못된 판단을 내리는 경우가 빈번하기 때문이다(한국교통안전공단, 2020). 특히 대중교통을 이용하기 위해 급하게 횡단하게 되면 횡단보도가 아닌 도로에 진입하거나 무단횡단을 할 가능성이 커진다. 횡단보도표시를 설치하면 고령 보행자가 횡단할 때 횡단보도의 위치를 파악하여 횡단할 수 있고, 차량이 횡단보도로 건너는 고령 보행자에 대해서 주의할 수 있게 되어 교통사고를 저감하는데 도움이 될 것으로 판단된다.

그러나 교차로와 횡단보도표시의 상호작용 항은 전체 고령 보행자 교통사고와 양(+)의 관계가 있는 것으로 나타났다. 그러나 이는 교차로에 횡단보도 표시를 설치하는 것이 고령 보행자 교통사고를 더 자주 발생시킨다고 해석하기는 어렵다. 고령 보행자 교통사고가 많은 교차로에 횡단보도표시를 설치하였지만, 실질적인 효과가 없거나 미미한 경우에도 양(+)의 관계가 나타날 수 있기 때문에 해석에 유의할 필요가 있다. 교차로에서 발생하는 대부분의 교통사고는 보행자가 횡단하는 과정 또는 횡단보도 인근에서 발생하며, 고령 보행자의 횡단 안전을 개선하기 위한 노력이 필요하다. 따라서, 횡단보도 인근뿐 아니라 횡단 과정에서도 안전을 확보할 필요가 있다. 고령 보행자는 신체 능력의 저하로 빠르게 걸거나 오래 걷는 것에 어려움을 느낀다. 교차로는 다른 도로에 비해 횡단해야 하는 도로의 길이가 길어 고령 보행자에게 부담이 될 수 있다. 이에 대한 개선책으로 고령 보행자의 속도

를 고려하여 횡단 신호의 시간을 늘리는 방법과 Internet of Things(IoT)를 이용하여 보행자가 횡단보도에 남아있을 경우 시간을 자동으로 늘리는 시스템의 도입이 필요하다. 또한, 교차로 중간에 교통섬을 설치하여 고령 보행자가 쉬어갈 수 있게 하는 방법을 통해서 고령 보행자의 횡단 안전을 높일 수 있다. 이와 같이 보행자 안전시설에 대한 설계와 운영에 대하여 고령 보행자의 특성을 고려한다며 향후 고령 보행자에게 더 안전한 보행 및 횡단 환경을 제공할 수 있을 것으로 판단된다.

2. 연구의 의의 및 한계점

본 연구는 고령 보행자 교통사고에 대한 영향 요인을 고령 보행자를 위한 보행환경개선사업과 보행자안전시설을 고려하여 분석하였으며, 각 중요 요인에 대한 상호작용 효과를 분석한 것에 의의가 있다. 그럼에도 본 연구는 아래와 같은 한계점이 있다.

첫째, 본 연구에서는 2019년~2021년의 고령 보행자 교통사고 자료를 활용하여, 교통안전시설에 대한 효과를 살펴보았으나, 고령 보행자 교통사고 원인에 대한 분명한 인과관계를 설명하기에는 한계가 있다. 향후 연구에서는 시계열 자료를 통해 인과관계를 설명할 수 있는 종단면 분석이 필요할 것으로 판단된다. 둘째, 본 연구에서는 중요 변수의 상호작용 효과를 분석하였지만, 선형을 가정하였기 때문에 다양한 독립변수와 비선형적인 관계에 대한 분석을 수행하지 못하였다. 향후 기계학습을 활용하여 각 독립변수의 비선형적인 관계에 대한 고찰이 필요하다. 셋째, 본 연구에서 사용한 인구, 교통량, 평균속도, 교통혼잡도는 행정동 단위로 제공되는 데이터로 한계를 가지고 있다. 향후 집계구 수준과 같은 더 세부적인 공간단위에서 데이터 수집이 가능하다면 더 정밀한 분석의 수행이 가능할 것으로 판단된다. 마지막으로, 일부 노인보호구역과 도로 다이어트는 면적과 연장길이를 반영하는 것이 필요하나, 데이터의 한계로 위치만 이용하였다는 한계가 있다. 이후에는 면적을 포함하는 데이터를 수집하여 더 정확히 분석할 필요가 있다.

인용문헌 References

1. 교통사고분석시스템, 2023. 「2023년판 교통사고 통계분석(2022년 통계)」, 원주. Traffic Accident Analysis System, 2023. 2023 Version Traffic Accident Statistical Analysis (2022 Statistics), Wonju.
2. 국토교통부, 2020. 「고령자를 위한 도로설계 가이드라인」, 세종. Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2020. Road Design Guidelines for the Elderly, Sejong.

3. 김성준·허재석, 2020. 「서울시 도로 다이어트사업의 성과 및 효과평가 연구 - 2018~2019년 사업 대상지를 중심으로」, 세종: 건축공간연구원.
Kim, S.J. and Her, J.S., 2020. *A Study on the Performance and Effectiveness Evaluation of Road Diet Projects in Seoul*, Sejong: Architecture and Urban Research Institute.
4. 박준범·남궁미, 2019. “고령 보행자 교통사고에 영향을 미치는 환경요인에 관한 연구: 부산광역시를 중심으로”, 「한국지리학회지」, 8(2): 289-303.
Park, J.B. and Namgung, M., 2019. “A Study on the Environmental Factors Influencing Elderly Pedestrian Traffic Accidents in Busan”, *Journal of the Korean Geographical Society*, 8(2): 289-303.
5. 서지민·이수기, 2016. “서울시 보행자 교통사고에 영향을 미치는 물리적 환경요인에 관한 연구: 2014 TAAS 자료를 중심으로”, 「국토계획」, 51(3): 197-216.
Seo, J. and Lee, S., 2016. “A Study on the Physical Environmental Factors Influencing Pedestrian Traffic Accidents in Seoul, Korea: Focused on the 2014 TAAS Data”, *Journal of Korea Planning Association*, 51(3): 197-216.
6. 양광식·권성문·윤치원, 2021. “고령보행자 교통사고에 미치는 영향요인 분석”, 「도시행정학보」, 34(1): 21-33.
Yang, K.S., Kwon, S.M., and Yoon, C.W., 2021. “An Analysis of the Determinants of Elderly Pedestrian Fatal Crash”, *Journal of the Korean Urban Management Association*, 34(1): 21-33.
7. 오성훈·허재석, 2017. 「2016 서울시 도로 다이어트 현황과 평가」, 세종: 건축공간연구원.
Oh, S.H. and Her, J.S., 2017. *2016 Road Diet Current Status and Evaluation in Seoul*, Sejong: Architecture and Urban Research Institute.
8. 오성훈·허재석, 2018. 「2017 서울시 도로 다이어트 현황과 평가」, 세종: 건축공간연구원.
Oh, S.H. and Her, J.S., 2018. *2017 Road Diet Current Status and Evaluation in Seoul*, Sejong: Architecture and Urban Research Institute.
9. 우보람·김아름·정대환·오세경·김희경, 2020. “노인보행자 교통사고 다발지와 노인보호구역 위치의 적합성 분석-부산광역시 원도심을 중심으로”, 「도시설계」, 21(3): 57-67.
Woo, B.R., Kim, A.R., Jeong, D.H., Oh, S.K., and Kim, H.K., 2020. “Spatial Suitability Analysis of Elderly Pedestrian Accident Hot-Spots and Silver Zones in the Old Downtown of Busan Metropolitan City”, *Journal of The Urban Design Institute of Korea*, 21(3): 57-67.
10. 윤준호·이수기, 2018. “중앙버스전용차로 정류장 주변 보행자 교통사고 요인 분석: 서울시 TAAS (2014-2016) 자료를 중심으로”, 「국토계획」, 53(4): 123-142.
Yoon, J.H. and Lee, S.K., 2018. “Analysis of Pedestrian Traffic Accident Factors around the Exclusive Median Bus Lane Station Area: Focused on TAAS (2014-2016) Data in Seoul, Korea”, *Journal of Korea Planning Association*, 53(4): 123-142.
11. 이세영·이계승, 2014. “어린이·노인 보행자 교통안전을 위한 근린환경요인”, 「도시설계」, 15(6): 5-15.
Lee, S.Y. and Lee, J.S., 2014. “Neighborhood Environmental Factors Affecting Child and Old Adult Pedestrian Accident”, *Journal of The Urban Design Institute of Korea*, 15(6): 5-15.
12. 이소영·김은정, 2022. “노인보호구역의 보행환경 평가지표 선정 및 적용 - 대구광역시를 남구를 대상으로”, 「도시설계」, 23(2): 123-142.
Lee, S.Y. and Kim, E.J., 2022. “Selection and Application of Pedestrian Environment Evaluation Indicators in Silver Zones - Focused on Nam-gu, Daegu Metropolitan City”, *Journal of The Urban Design Institute of Korea*, 23(2): 123-142.
13. 이호준·이수기, 2017. “근린의 도로 네트워크 구조와 보행자 교통사고의 연관성 분석: 서울시 TAAS (2012~2014) 자료를 중심으로”, 「국토계획」, 52(1): 141-161.
Lee, H.J. and Lee, S., 2017. “An Analysis of Associations between Neighborhood Road Networks and Pedestrian Traffic Accidents: Focused on the TAAS (2012-2014) in Seoul, Korea”, *Journal of Korea Planning Association*, 52(1): 141-161.
14. 최성택·이향숙·추상호·김수재, 2015. “도시 시설 특성을 반영한 고령 보행자의 사고 심각도 모형 개발”, 「한국안전학회지」, 30(1): 94-103.
Choi, S.T., Lee, H.S., Choo, S.H., and Kim, S.J., 2015. “Development of Severity Model for Elderly Pedestrian Accidents Considering Urban Facility Factor”, *Journal of the Korean Society of Safety*, 30(1): 94-103.
15. 한국교통안전공단, 2020. 「고령자 무단횡단 사고원인 밝혀졌다」, 김천.
Korea Transportation Safety Authority, 2020. *The Cause of the Elderly Jaywalking Accident Has Been Revealed!*, Gimcheon.
16. 한음·조혜림·문성철·윤성범·박순용, 2020. “노인보호구역 보행자녹색시간 산정을 위한 보행속도 기준 개선”, 「한국 ITS 학회는 문지」, 19(4): 45-54.
Han, E., Cho, H.R., Mun, S.C., Yun, S.B., and Park, S.Y., 2020. “Improvement of Pedestrian Speed Criteria for the Pedestrian Green Interval at Silver Zone”, *The Journal of The Korea Institute of Intelligent Transportation Systems*, 19(4): 45-54.
17. 황선근·이수기, 2021. “서울시 자전거 교통사고의 물리적 환경요인 분석”, 「국토계획」, 56(5): 83-96.
Hwang, S.G. and Lee, S., 2021. “Analysis of Physical Environment Factors of Bicycle Accidents in Seoul Korea”, *Journal of Korea Planning Association*, 56(5): 83-96.
18. Arias, D., Ederer, D., Rodgers, M.O., Hunter, M.P., and Watkins, K.E., 2021. “Estimating the Effect of Vehicle Speeds on Bicycle and Pedestrian Safety on the Georgia Arterial Roadway Network”, *Accident Analysis and Prevention*, 161(10): e106351.
19. Chng, S., Chang, C., Mosquera, K., and Leong, W.Y.L., 2022. “Living in a Silver Zone: Residents’ Perceptions of Area-wide Traffic Calming Measures in Singapore”, *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 16(12): e100710.
20. Choi, Y., Yoon, H., and Jung, E., 2018. “Do Silver Zones Reduce Auto-related Elderly Pedestrian Collisions? Based on a Case in Seoul, South Korea”, *Accident Analysis and Prevention*, 119(10): 104-113.
21. Gálvez-Pérez, D., Guirao, B., Ortuño, A., and Picado-Santos, L., 2022. “The Influence of Built Environment Factors on Elderly Pedestrian Road Safety in Cities: The Experience of Ma-

- drid”, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(4): e2280.
22. Gonzalo-Orden, H., Rojo, M., Pérez-Acebo, H., and Linares, A., 2016. “Traffic Calming Measures and Their Effect on the Variation of Speed”, *Transportation Research Procedia*, 18: 349-356.
 23. Grisé, E., Buliung, R., Rothman, L., and Howard, A., 2018. “A Geography of Child and Elderly Pedestrian Injury in the City of Toronto, Canada”, *Journal of Transport Geography*, 66(1): 321-329.
 24. Hyun, T.G., Yeom, S.R., Park, S.W., Lee, D., Kim, H., Wang, I.J., Bae, B.G., Song, M., and Cho, Y., 2019. “Factors and Their Correlation with Injury Severity of Elderly Pedestrian Traffic Accidents”, *Journal of Trauma and Injury*, 32(3): 143-149.
 25. Inada, H., Tomio, J., Nakahara, S., and Ichikawa, M., 2020. “Area-Wide Traffic-Calming Zone 30 Policy of Japan and Incidence of Road Traffic Injuries among Cyclists and Pedestrians”, *American Journal of Public Health*, 110(2): 237-243.
 26. Jung, S., Qin, X., and Oh, C., 2016. “Improving Strategic Policies for Pedestrian Safety Enhancement Using Classification Tree Modeling”, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 85(5): 53-64.
 27. Kang, Y., Cho, N., and Son, S., 2018. “Spatiotemporal Characteristics of Elderly Population’s Traffic Accidents in Seoul Using Space-time Cube and Space-time Kernel Density Estimation”, *Plos One*, 13(5): e0196845.
 28. Kim, D., 2019. “The Transportation Safety of Elderly Pedestrians: Modeling Contributing Factors to Elderly Pedestrian Collisions”, *Accident Analysis and Prevention*, 131(10): 268-274.
 29. Lee, S., Yoon, J., and Woo, A., 2020. “Does Elderly Safety Matter? Associations between Built Environments and Pedestrian Crashes in Seoul, Korea”, *Accident Analysis and Prevention*, 144(9): e105621.
 30. Noh, Y., Kim, M., and Yoon, Y., 2018. “Elderly Pedestrian Safety in a Rapidly Aging Society—Commonality and Diversity between the Younger-old and Older-old”, *Traffic Injury Prevention*, 19(8): 874-879.
 31. Osama, A. and Sayed, T., 2017. “Evaluating the Impact of Connectivity, Continuity, and Topography of Sidewalk Network on Pedestrian Safety”, *Accident Analysis and Prevention*, 107(10): 117-125.
 32. Seya, H., Yoshida, K., and Inoue, S., 2021. “Verification of Zone-30-policy Effect on Accident Reduction Using Propensity Score Matching Method for Multiple Treatments”, *Case Studies on Transport Policy*, 9(2): 693-702.
 33. Shi, J., Wu, C., and Qian, X., 2020. “The Effects of Multiple Factors on Elderly Pedestrians’ Speed Perception and Stopping Distance Estimation of Approaching Vehicles”, *Sustainability*, 12(13): e5308.
 34. Zhang, Y., Bigham, J., Ragland, D., and Chen, X., 2015. “Investigating the Associations between Road Network Structure and Non-motorist Accidents”, *Journal of Transport Geography*, 42(1): 34-47.
 35. Zhang, Y., Wang, X., Zeng, P., and Chen, X., 2011. “Centrality Characteristics of Road Network Patterns of Traffic Analysis Zones”, *Transportation Research Record*, 2256(1): 16-24.

Date Received	2023-01-24
Reviewed(1 st)	2023-03-21
Date Revised	2023-07-02
Reviewed(2 nd)	2023-07-16
Date Accepted	2023-07-16
Final Received	2023-09-19