

가로환경 특성이 보행자 교통사고에 미치는 영향 분석

– 가로 세그먼트 분석단위와 공간통계모형의 적용

An Analysis of the Characteristics of Street Environment Affecting Pedestrian Accidents

– Applications of Street Segment Analysis Unit and Spatial Statistics

박철영* · 이수기**

*한양대학교 대학원 도시공학과 석사과정 / **한양대학교 도시공학과 부교수

Park, Cheol-Yeong* · Lee, Sugie**

국문요약

본 연구의 목적은 보행자 교통사고에 영향을 미치는 가로환경 특성을 분석하고 정책적 시사점을 제시하는 것이다. 교통사고분석시스템 TAAS 2014년 데이터를 활용하여 서울시를 대상으로 가로 세그먼트 단위와 공간통계모형을 사용하여 보행자 교통사고에 영향을 미치는 가로환경 특성을 분석하였다. 분석 결과는 다음 네 가지로 정리할 수 있다. 첫째, 자동차 통행량과 유동인구 보행량은 보행자 교통사고와 밀접한 관계가 있는 것으로 나타났다. 둘째, 대중교통 시설, 초등학교 주변, 상업가로 등 유동인구가 많은 지역에서의 사고가 많은 것으로 나타났다. 셋째, 어린이 보호구역과 횡단보도가 여전히 보행자 교통사고와 밀접한 관련이 있는 것으로 나타나 기존의 보행자 안전시설에 대한 검토가 필요한 것으로 나타났다. 마지막으로 생활권 주요도로에 연결된 생활권 3지 교차로 부근에서 더 많은 사고가 발생하여, 무단횡단이나 운전자의 부주의를 예방하는 시설의 확보와 보행안전 교육을 통한 안전의식 강화가 필요함을 확인하였다.

Abstract

The objective of this study is to analyze the characteristics of street environment affecting pedestrian traffic accidents and to suggest the policy implications for pedestrian safety. This study analyzes the Traffic Accident Analysis System (TAAS) 2014 data in Seoul with the street segment analysis unit and the spatial statistics. For handling spatial autocorrelation which exists in pedestrian traffic accidents, spatial regression model is used. The results are as follows. First, traffic volume and pedestrian volume are significant factors for pedestrian traffic accidents. Second, pedestrian traffic accidents are high near public transportation facility, elementary school, and commercial street. Third, school zone and crosswalk are still not safe places for pedestrians, so public policies should be addressed to reduce pedestrian traffic accidents near these facilities. Finally, 3-way intersections adjacent to main street are associated with higher pedestrian traffic accidents. We suggest pedestrian safety facilities to prevent pedestrian's jaywalking around these intersections and public awareness programs to reduce pedestrian's traffic accidents.

주제어 : 보행자 교통사고, 가로환경, 가로 세그먼트 분석, 공간통계모형, TAAS 데이터

Keywords : Pedestrian Accidents, Street Environment, Street Segment Analysis, Spatial Statistics, TAAS Data

본 연구는 2015년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구(NRF-2015R1A2A2A01006865)이며, 한국도시계획학회 2016년 춘계학술대회에서 발표 및 우수논문상을 수상한 논문을 수정·보완 하였음.

Corresponding Author : Lee, Sugie, Department of Urban Planning and Engineering, Hanyang University, 222 Wangshimni-ro, Sungdong-gu, Seoul, 133-791, Korea, Tel : +82-2-2220-0417, Email : sugielee@hanyang.ac.kr

1. 서론

1.1. 연구의 배경 및 목적

지난 수십 년간 우리나라는 빠른 산업화와 도시화를 경험하였다. 도시인구의 폭발적인 증가는 도시의 외연적 확장을 초래하였으며 대중교통과 자동차 교통의 중요성을 증가시켰다. 산업화와 더불어 자동차 교통의 보편화는 사람들에게 이동성 측면에서 많은 편리함을 제공하였다. 그러나 자동차 중심적인 생활양식은 환경오염과 에너지 소비 등의 문제뿐만 아니라 교통사고로 인한 수많은 인적·물적 피해를 초래하였다. 이에 따라 보행안전 및 보행활성화를 위한 대중교통 중심적이고 보행친화적인 도시환경조성이 중요한 이슈가 되고 있다.

국토교통부의 교통안전연차보고서(2015)에 따르면, 보행자 교통사고의 경우에 횡단보도에서만 35%가량의 사고가 발생하고 있으며, 이는 보행자 교통사고가 특정 환경에서 발생률이 높음을 의미한다. 이러한 이유로 행정구역 단위의 분석은 사고의 특성을 반영하는데 한계를 가지고 있으며, 교통사고 장소의 물리적 환경특성을 반영할 수 있는 미시적인 단위의 분석방법이 필요하다고 볼 수 있다.

따라서 본 연구의 목적은 보행자 교통사고에 영향을 미치는 가로환경에 대하여 가로 세그먼트 분석단위와 공간통계학을 적용하여 분석하고 보행자 안전을 위한 정책적인 시사점을 제시하는 것이다. 가로 세그먼트 분석 단위의 활용은 사고지점을 둘러싸고 있는 물리적 환경을 고려할 수 있는 장점이 있으며, 공간통계학의 적용은 교통사고 지점의 공간적 자기상관을 제어할 수 있다.

1.2. 연구의 범위

본 연구의 공간적 범위는 서울특별시이며, 시간적 범위는 2014년이다. 분석자료는 우리나라 도로교통공단이 운영하는 Traffic Accident Analysis System (TAAS) 에서 구축한 보행자 교통사고 지점자료이며, 서울시 전체 교통사고 자료에서 자동차와 보행자 교통사고인 ‘차대사람’ 자료만 추출하여 사용하였다. 그리고 도로 데이터는 국가공간정보유통시스템에서 제공하는 도로명주소 전자지도DB를 통해 구축하였다. 사고지점 자료 및 가로환경 자료는 가로 세그먼트별로 나누어 분석에 사용하였는데 가로 버퍼(street buffer)의 개념을 활용하여 구축하였다. 분석에 고려한 가로환경 변수들은 크게 차량 통행량, 보행량, 보호구역, 대중교통, 가로시설물, 교차로, 토지이용 등으로 구성하였다. 종속변수인 보행자 교통사고수와 각 독립변수들은 가로 세그먼트별 버퍼의 면적차이를 고려하여, 버퍼의 면적으로 나눈 밀도 단위로 구축하였다.

2. 선행연구 고찰

2.1. 국내·외 선행연구 고찰

보행자 교통사고 관련 국내 선행연구를 살펴보면, 먼저 2004년부터 2008년까지 전국 보행자 교통사고를 다룬 유기열 외(2010)의 연구가 있다. 이 연구는 TAAS 데이터를 분석하였으며, 공간적으로는 횡단보도 주변에서 사고가 많이 일어나며 시간대로는 18~20시에 사고가 많이 일어남을 밝혔다. 사고의 심각도 측면에서는 야간시간대와 과속사고가 주요한 원인으로 나타났다. 이러한 전체 사고 데이터 분석 이외에도 여러 관점에서 진행한 연구들이 있었는데, 먼저 공간분류에 따라 보행자 교통사고를 분석한 연구로는 박진경 외

(2014)의 연구가 있다. 전국의 기초지방자치단체를 대상으로 주된 사고특성과 토지이용 형태에 따른 유형을 나누어 분석을 실시하였는데, 보행안전시설이 부족한 농촌형에서 사고가 심각한 것으로 나타났다. 다른 한편으로 백태현 외(2014)는 교통사고의 장소에 있어 주간선도로와 보조간선도로를 나누어 분석하였다. 두 도로 모형에서 모두 보행량과 차량 진입·출입로가 많을수록 사고수가 늘어났으며, 주간선도로의 경우 교통량과 도로의 폭이 증가할수록 사고의 빈도가 높아지는 것으로 나타났다.

보행자 교통사고와 특정 가로환경에 초점을 맞춘 연구도 있었는데, 김용길 외(2002)는 광주광역시 66개 신호교차로에서 발생한 보행자 교통사고만을 대상으로 연구를 진행하였다. 신호교차로를 4가지 종류로 나누어 사고수를 비교분석한 결과, 직진하는 차량이 더 많은 사고를 일으키는 것으로 나타났으며, 이는 빠른 속력으로 인해 신호위반에 대한 대처가 늦기 때문이라고 주장하였다. 보행자에 초점을 맞추어 진행된 연구도 있다. 지우석(2010)은 경기도 시군을 대상으로 노인 보행자 교통사고를 분석하였는데, 교차로와 횡단보도에서 보다 교차로 부근과 횡단보도 부근에서 더 많은 사고가 발생하는 것으로 보고하였다. 따라서 보행자 펜스를 설치하여 노인 보행자들이 잘못된 접근을 하지 않게 해주어야 하며, 벤치와 같은 휴식시설을 설치하여 노인들이 쉬어갈 수 있게 함으로써 사고의 위험을 줄일 수 있다고 하였다. 이세영 외(2014)는 노인뿐만 아니라 어린이 보행자 교통사고도 함께 다루었는데, 분석모형에 있어 교통사고 자료의 공간자기상관(spatial autocorrelation)을 통제해주는 공간회귀모형(spatial regression model)을 사용하였다. 분석결과에 따르면, 기존 연구들처럼 교차로에서 많은 사고가 나며, 버스정류장과 지하철역 인근에서 사고가 많이 발생함을 밝혀냈다.

보행자 교통사고를 다룬 국외 선행연구의 경우, Loukaitou-Sideris et al.(2007)은 Los Angeles에서 발생한 교통사고를 센서스 트랙(census track) 단위로 살펴보았다. 사고수를 면적으로 나누어 사용하였으며 토지이용과 건조환경이 보행자 교통사고에 미치는 영향에 대해 분석한 결과, 높은 인구밀도와 상업지역, 고밀 주거지역이 사고유발 요인임을 밝혀냈다. 이와 유사한 연구로는 토지이용과 도로 설계가 보행자 교통사고에 미치는 영향에 대해 다룬 Ukkusuri et al.(2012)의 연구가 있다. New York에서 발생한 보행자 교통사고를 전체사고와 사망사고로 나누어 분석을 실시하였으며, 주거지역보다 상업지역과 공업지역에서의 사고가 높은 것으로 나타났고, 학교와 환승역 주변에서 더 많은 사고가 발생함을 밝혀냈다. 또한, 차로 수가 많고 차로 폭이 넓어질수록 사고 발생률이 높아져 차도의 개설이나 축소가 사고의 위험을 줄일 수 있다고 주장하였다.

국외 선행연구의 경우 교통사고의 공간자기상관을 통제한 연구가 다수 있다. 먼저 Flahaut(2004)는 벨기에의 사고다발지역인 black zone을 대상으로 기반시설과 지역 환경이 도로 안전에 미치는 영향을 분석하였는데, 공간자기상관을 고려한 로지스틱 회귀분석을 시도하였다. Ha & Thill(2011)의 연구는 뉴욕주 버팔로(Buffalo)에서 발생한 보행자 교통사고를 분석함에 있어 공간회귀모형을 사용하였다. 연령대, 교차로 여부, 물리적 도로 환경 등의 독립변수를 사용하였으며, 교차로 주변과 블록과 블록 사이에서 발생하는 사고의 원인이 다름을 밝혀냈다. 이와 동일하게 공간회귀모형을 사용한 LaScala et al.(2000)은 캘리포니아주 샌프란시스코에서 발생한 교통사고를 센서스 트랙 단위로 분석하였다. 사고 유발요인으로서는 많은 유동인구, 많은 교통량, 복잡한 도로체계가 있음을 밝혀냈으며, 주류 판매시설 주변에서 음주로 인한 교통사고가 심각하다고 주장하였다.

2.2. 선행연구의 한계점과 연구의 차별성

보행자 교통사고 관련 선행연구를 살펴본 결과 기존 연구의 한계점은 다음과 같다. 첫째, 보행자 교통사고의 결과자료를 사고수와 구성비율 만으로 살펴본 연구가 있었으며, 이는 단순히 사고결과에 대한 해석이므로 명확한 개선책을 제시하는데 어려움이 있다. 둘째, 최근 시도된 통계모형을 활용한 보행자 교통사고 연구들은 통계적으로 유의한 요인들을 밝혀내는데 어려움이 있는데, 이는 보행자 교통사고에 있어 중요한 노출변수(exposure variable)인 차량 통행량과 유동인구 보행량을 반영하지 못했기 때문이라고 판단된다. 셋째, 교통사고는 사고가 일어나는 가로환경이 중요한 영향을 미치지만, 미시적인 단위로 교통사고를 분석한 연구는 많지 않으며, 분석에 사용한 표본의 수가 적어 분석의 결과를 일반화하는데 어려움이 있다. 넷째, 대부분의 선행연구에서 사용된 자료는 도로교통공단에서 제공하는 TAAS 자료인데, 해당 자료에는 사고의 시점과 유형, 당사자정보, 날씨, 부상정도, 사고지점 좌표로만 구성되어 있다. 때문에 사고의 원인을 분석함에 있어 추가적인 자료를 함께 사용하여 물리적인 환경이나 시설에 대한 개선책을 제시해야 하지만 그러한 연구는 드물다. 다섯째, 교통사고 발생장소인 도로는 행정경계로 나뉘는 경우가 많아 행정동과 같은 기존의 행정구역 단위의 분석으로는 사고 자료가 분산되어 정확한 분석이 어렵다고 볼 수 있다. 마지막으로 국내 선행연구의 경우 공간적 의존성이 강한 교통사고자료에 존재하는 공간자기상관을 고려해준 연구가 부족하였다.

따라서 본 연구의 차별성은 다음과 같다. 첫째, 보행자 교통사고에 있어 핵심적인 요인으로 지목되는 노출변수인 차량 통행량과 보행량 데이터를 분석에 사용하였다. SK Planet에서 제공하는 Tmap API를 활용하여 도로의 혼잡도와 속도를 반영함으로써 도로의 차량 통행량을 간접적으로 설명할 수 있다. 그리고 스마트폰 GPS를 기반으로 구축된 SK GeoVision의 유동인구 자료를 사용함으로써 도로의 유동인구 보행량을 반영하였다. 이는 보행자 교통사고 연구에 있어 중요한 통제변수로 사용될 수도 있으며, 다른 변수들의 영향을 더 명확하게 해줄 수 있다. 둘째, 가로 세그먼트 단위의 분석을 서울특별시 전 지역에 실시함으로써 일반화 할 수 있는 분석결과를 제시한다. 사고의 원인을 분석함에 있어 사고 지점뿐만 아니라 가로 세그먼트 분석단위의 가로버퍼를 사용하여 가로환경 특성을 반영하였다. 가로에 위치한 건축물과 도로에 설치된 시설물의 정보를 분석에 포함함으로써 사고지점 주변 환경에 대한 분석을 실시하였다. 마지막으로 공간회귀모형을 분석모형으로 사용함으로써 사고지점간 존재하는 공간자기상관을 통제해 주었다. 보행자 교통사고 지점은 공간적으로 인접한 지역과 공간적 의존성이 높기 때문에 공간적 자기상관을 제어해주어야 보다 정확한 분석이 이루어질 수 있다.

3. 연구방법론

3.1. 분석자료

보행자 교통사고 데이터는 도로교통공단에서 운영하는 TAAS에서 구득한 자료를 활용하였다. TAAS 데이터는 사고일시, 사고유형, 부상정도별 사상자수, 당사자 성별 및 나이, 위법내용, 도로포장상태, 날씨 등의 정보와 사고지점 좌표로 구성되어 있으며, 서울시 전 지역에서 발생한 교통사고 자료이다. 따라서 전체 교통사고 자료 중 2014년 1월 1일부터 2014년 12월 31일까지 발생한 ‘차대사람’인 사고 11,109건을 선정하여 분석에 사용하였다(그림1 참조).

분석에 사용되는 도로 데이터는 국토교통부에서 운영하는 국가공간정보유통시스템에서



〈그림 1〉 서울시 2014년 차대 보행자 교통사고 지점

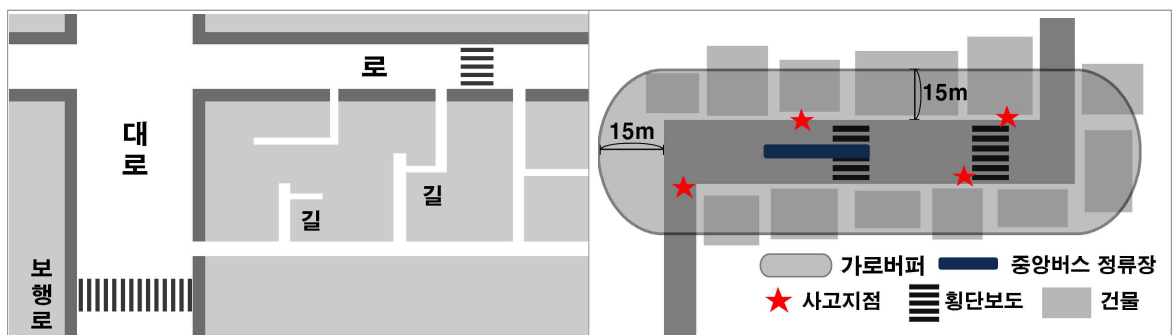
제공하는 도로명주소 전자지도DB를 통해 구축하였다. 2014년 서울특별시의 도로망 자료이며, 도로구간 일련번호, 도로명, 도로 폭, 도로 길이, 위계 등의 정보를 담고 있다. 도로 위계는 도로명 주소 사업에 따라 ‘고속도로’, ‘대로’, ‘로’, ‘길’ 4개로 구성되어 있는데, ‘고속도로’는 자동차 전용도로이며 ‘대로’는 8차선 이상, ‘로’는 2~7차선, ‘길’은 2차선 미만의 도로이다. 분석의 형평성을 고려하여 ‘대로’와 ‘로’ 위계의 도로만을 사용하여 세그먼트와 버퍼를 구성하였다.

도로명 주소 사업의 도로 위계에 대한 이해를 위해 법제도 상의 도로 위계를 살펴보면 다음과 같다. 먼저 ‘도시·군 계획시설의 결정·구조 및 설치기준에 관한 규칙’(시행 2012.10.31.)에 제시된 도로의 기능별 구분에 따르면, 도시지역의 도로는 ‘도시고속도로’, ‘주간선도로’, ‘보조간선도로’, ‘집산도로’, ‘국지도로’로 나뉘어 있다. 자세히 살펴보면 ‘도시고속도로’는 시·군 내 주요지역을 연결하거나 도시의 골격을 형성하는 도로이고, ‘주간선도로’는 도시지역 도로망의 주 골격을 형성하는 도로이며, ‘보조간선도로’는 주간선도로 보다 지역적이며 집산도로와 간선도로 사이의 유출입을 원활하게 하는 도로이다. 또한, ‘집산도로’는 지구내의 교통을 담당하며 국지도로와 간선도로의 교통을 연결시켜 주는 도로이고, ‘국지도로’는 지구내의 주거 단위에 직접 접근되는 도로로써 주거지역 내부를 형성하는 도로이다. 이에 따라 도로명 주소의 위계 중 ‘대로’는 도시 도로망의 주 골격을 형성하고 있어 ‘주간선도로’의 기능을 담당하고 있으며, ‘로’는 생활권 내부 교통을 간선도로와 연결해주고 있어 ‘보조간선도로’와 ‘집산도로’의 기능을 담당하고 있다고 볼 수 있다. 마지막으로 ‘길’은 주거지역에 직접 연결되는 생활권 도로로서 ‘국지도로’의 역할을 담당하고 있다고 볼 수 있다.

3.2. 분석 방법론

3.2.1. 가로위계와 가로 세그먼트 버퍼

분석에 사용된 도로망은 국토교통부 국가정보유통시스템에서 제공하는 2014년 도로명주소 DB를 활용하였다. 도로의 위계는 ‘고속도로’, ‘대로’, ‘로’, ‘길’로 구분되는데, 분석에 있어 ‘고속도로’는 보행자 접근이 불가능한 도로이며, ‘길’의 경우 대부분 보차분리가 되어 있지 않고 차량 통행량과 보행량이 상대적으로 매우 적으며 길이가 짧았다. 때문에 가로 세그먼트를 구성할 때는 ‘대로’와 ‘로’ 위계의 도로만을 사용하였으며, 선별된 도로망을 다시 교차점 기준으로 나누어 총 2,588개의 가로 세그먼트를 분석의 단위로 사용하였다(그림2 가로위계 참조).

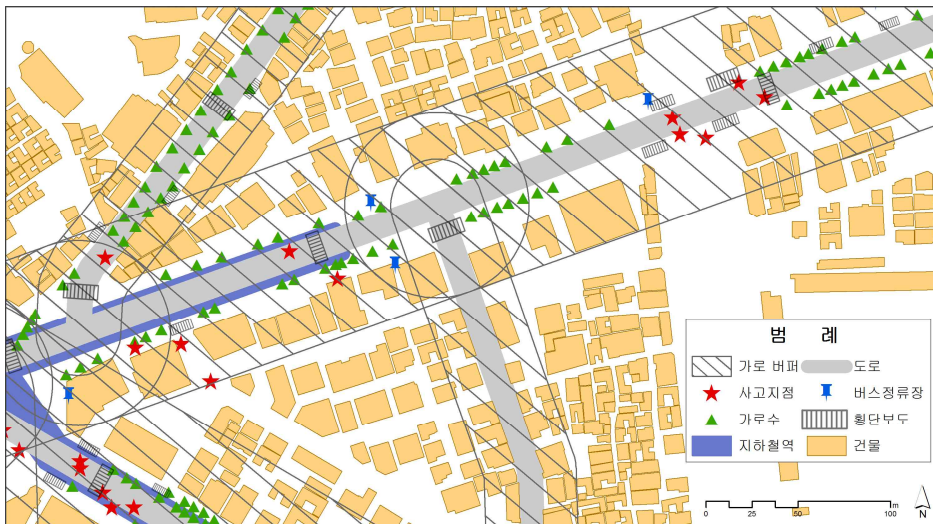


〈그림 2〉 가로위계와 가로 세그먼트 버퍼 설명 (예시)

교통사고 연구에 있어 교통사고 지점을 중심으로 가로의 특성을 반영할 수 있는 가로선형 버퍼의 사용은 거의 이루어지지 않았다. 교통분야에서 선형버퍼를 적용한 사례를 살펴보면, 먼저 한승훈(2007)이 도시 계획의 마스터 플랜에 지하철 노선을 포함한 미국의 개발사례를 분석한 연구가 있다. 보스턴 지하철 노선을 따라 0.5마일(0.8km)의 버퍼를 생성하여 노선 주변의 토지이용 및 시설배치에 대해 분석을 실시하였다. 가로버퍼를 활용한 다른 연구로는 이수기 외(2014)의 연구가 있는데, 보행만족도 조사지점을 대상으로 가로버퍼를 구축하여 보행만족도에 영향을 미치는 물리적 환경을 분석하였다. 도로에 면한 건축물을 분석하기 위해 도로의 경계에서 15m 버퍼를 사용하였다. 이는 도로와 접하고 있는 건축물의 중심점(centroid)이 대부분 포함되는 거리를 고려한 것이다. 본 연구에서는 이수기 외(2014)의 연구에서 사용한 가로버퍼 개념을 응용하여, 보행자 교통사고 지점을 중심으로 도로에 인접한 보행환경과 토지이용현황을 반영하기 위해 각 도로의 폭에 15m 더한 길이를 가로 버퍼의 폭으로 사용하였다(그림2 가로 세그먼트 버퍼 참조).

3.2.2. 가로 세그먼트를 활용한 변수 구축

가로별 보행자 교통사고 수 및 가로공간의 물리적 환경 변수를 구축하기 위해 ArcGIS를 활용하여 모든 자료를 공간데이터로 구축한 뒤, 가로 세그먼트 버퍼 단위별로 모든 변수를 수치화하였다. 변수 중 개수를 나타내는 값을 버퍼 면적으로 나누어 밀도 단위로 전환하여 사용하였다. 가로 세그먼트 버퍼의 면적이 다르기 때문에 변수의 개수 값이 같더라도 각 가로 세그먼트가 보행자 교통사고에 미치는 영향은 다를 수 있다(그림3 참조).



(그림 3) 가로환경과 가로 세그먼트 버퍼 (신설동역 부근 예시)

3.2.3. 변수의 설정

분석모형에 활용한 종속변수와 독립변수 그리고 자료의 출처는 표1에 제시하였다. 종속 변수인 보행자 교통사고 데이터는 도로교통공단 TAAS 데이터를 구독하여 활용하였고, 사고지점 좌표 값을 ArcGIS를 사용하여 지오코딩(geocoding)하였다. 2014년 보행자 교통사고 수는 총 11,109개이며, 본 연구의 분석단위인 ‘대로’와 ‘로’의 가로버퍼에 들어온 교통사고는 총 7,166개로 65%의 보행자 교통사고가 분석에 활용되었다. 또한, 종속변수의 단위설정에서, 가로 세그먼트별 버퍼의 면적이 다르기 때문에 버퍼에 포함된 사고의 수를 버퍼의 면적으로 나누어 비교 가능하도록 보정하였다.

차량 통행량과 보행량은 보행자 교통사고연구에서 노출변수(exposure variable)로서 매우 중요하다. 자동차 통행량은 SK Planet에서 제공하는 Tmap API를 활용하여 교통량 지표를 사용하였고, 유동인구는 SK GeoVision에서 스마트폰을 기반으로 구축한 유동인구자료를 활용하였다. 차량 통행량에 관한 변수로는 도로 혼잡도와 차량 평균속도를 사용하였다. 두 자료는 SK Tmap API를 활용하여 데이터를 구축하였는데, API를 통해 얻는 자료는 실시간 기준으로만 활용이 가능하기 때문에 연구시점인 2016년 3월 평일 중 오전, 오후, 저녁 시간대의 평균값을 사용하였다. SK Tmap API에서 제공하는 도로 혼잡도는 도로의 위계와 차선 수를 고려하여 산출되는데, 1부터 4까지의 값으로 나타내며 수치가 높을수록 도로가 혼잡함을 나타낸다. 도로가 혼잡하면 운전자가 도로 상황에 집중하게 되고, 도로를 횡단하는 보행자에 대한 주의력이 떨어져 사고가 발생할 위험이 높아질 수 있다. 차량 평균속도는 실제 차량속도의 평균값을 사용하였다. 유동인구 보행량으로는 SK GeoVision에서 스마트폰 기반으로 구축한 2012년 유동인구자료를 사용하였다. 2012년 시점만 구축되어 있는 자료이며, 서울특별시 전 지역의 유동인구를 집계구 수준의 격자형으로 활용 가능하다. 분석에 사용하기 위해서 각 블록별 유동인구를 면적으로 나누어 밀도 값을 구하였고, 가로버퍼와 중첩되는 블록들의 유동인구 밀도 평균값을 가로버퍼의 유동인구로 사용하였다.

노인 보호구역은 서울시 도시교통본부에서 구독한 73개의 노인 보호구역 지정 시설의 행정주소를 기반으로 지오코딩(geocoding)을 실시하여 직접 구축하였다. 보호구역 시설로부터 반경 50m의 원형 버퍼를 생성하여 가로 세그먼트 버퍼와 중복되는 부분이 있을 때 개수로 측정하였다. 동일한 방법으로 어린이 보호구역도 반경 150m의 원형 버퍼를 생성

하여 가로 세그먼트 버퍼와 중첩되는 개수를 측정하였다. 보호구역의 경우 모두 ‘어린이·노인 및 장애인보호구역의 지정 및 관리에 관한 규칙’(시행 2016.5.2.)에 따라 보호구역 시설의 주 출입구로부터 300m 내의 도로 중에서 일부 구간이 지정되고 있으며, 실제 지정현황을 나타내기 위해 지도를 통해 살펴본 결과 각 보호구역의 반경을 위와 같이 선정하였다. 어린이 보호구역 시설의 경우 대부분 초등학교이므로 지점좌표로부터 보호구역이 지정된 도로까지의 거리가 멀어 반경을 150m로 설정해야만 실제 어린이보호구역을 분석에 반영할 수 있었다.

대중교통시설은 대중교통을 이용하려는 보행자가 모이는 장소이며, 자동차의 사용이 어려운 청소년과 노인이 주로 사용한다는 점에서 분석이 필요하다. 버스 정류장과, 중앙버스 전용차로 정류장, 지하철역에 대한 자료를 구축하였으며, 선행연구에서 보행자 교통사고를 유발하는 요인으로 밝혀진 중앙버스 전용차로 정류장을 독립적으로 사용하였다(최재성 외, 2015; 서지민·이수기, 2015).

가로환경을 구성하는 시설물로는 횡단보도, 과속방지턱, 육교, 가로수를 사용하였다. 횡단보도는 보행자 교통사고 분야 다수의 선행연구에서 사용된 변수이다. 횡단보도는 차량과 보행자가 모두 사용하는 공간으로, 국토교통부의 교통안전연차보고서(2015)에 따르면 교통사고 발생지점 중 가장 높은 비율을 차지하고 있다. 이와 반대로 육교는 보행자와 차량의 동선을 분리시키는 역할을 하여 사고를 감소시킬 수 있다. 한편 과속방지턱의 경우 차량의 속도를 낮추고 운전자에게 주의를 주는 역할을 하며 교통 사고량과 음(-)의 관계를 보일 것으로 예상하였다. 가로수의 경우 운전자와 보행자의 시야를 가려 사고를 유발할 수 있는 가능성을 고려하여 포함하였다.

〈표 1〉 변수 및 자료 출처

자료	변수의 구조	기준년도	출처
종속변수	보행자 교통사고	보행자 교통사고 수 / 가로 버퍼의 면적(km ²)	2014 도로교통공단 교통사고분석시스템(TAAS)
차량 통행량	도로 혼잡도	1(원활), 2(서행), 3(지체), 4(정체)	2016 SK Planet Tmap API
	차량 평균속도	차량통행 평균 속도(km/h)	
	도로 폭	도로 폭(m)	2014 국토교통부 국가공간정보유통시스템
보행량	유동인구	면적별 유동인구(명/m ²)	2012 SK GeoVision
보호구역	노인 보호구역	노인 보호구역 포함여부: 포함(1), 미포함(0)	2014 서울특별시 도시교통본부
	어린이 보호구역	어린이 보호구역 포함여부: 포함(1), 미포함(0)	2015 서울특별시 정책지도
대중교통	버스 정류장	버스 정류장 수 / 가로 버퍼의 면적(km ²)	2015 서울특별시 교통정보센터
	중앙버스 전용차로 정류장	중앙버스 전용차로 정류장 수 / 가로 버퍼의 면적(km ²)	2015 서울특별시 교통정보센터
	지하철역	지하철역 수 / 가로 버퍼의 면적(km ²)	2014 국토교통부 국가공간정보유통시스템
가로 시설물	횡단보도	횡단보도 수 / 가로 버퍼의 면적(km ²)	2014 서울 열린데이터 광장
	육교	육교 수 / 가로 버퍼의 면적(km ²)	
	과속방지턱	과속방지턱 수 / 가로 버퍼의 면적(km ²)	
	가로수	가로수 수 / 가로 버퍼의 면적(km ²)	
교차로	생활권 3지 교차로	3지 교차로 수 / 가로 버퍼의 면적(km ²)	2014 국토교통부 국가공간정보유통시스템
	4지 교차로	4지 교차로 수 / 가로 버퍼의 면적(km ²)	
	5지 이상 교차로	5지 이상 교차로 수 / 가로 버퍼의 면적(km ²)	
토지이용	주거면적	주거용도 연면적(km ²) / 가로 버퍼의 면적(km ²)	2015 국토교통부 건축데이터 민간개방 시스템
	상업면적	상업용도 연면적(km ²) / 가로 버퍼의 면적(km ²)	
	기타용도 면적	기타용도 연면적(km ²) / 가로 버퍼의 면적(km ²)	

교차로는 선행연구에서 교통사고 집중지역으로 밝혀졌으나, 이는 교차로가 차량과 차량의 동선이 겹치는 공간이기 때문에 ‘차대차’사고의 발생이 많았다고 볼 수 있다. 또한, 교차로는 ‘차대차’ 뿐만 아니라 ‘차대보행자’ 사고에도 큰 영향을 미칠 수 있는 요소로 보았다. 교차로 데이터도 마찬가지로 도로망 데이터를 기반으로 구축해야하기 때문에, 가로 세그먼트 구축 시 사용한 국가공간정보유통시스템의 자료를 활용하였다. 그러나 가로 세그먼트 구축시 사용한 ‘대로’와 ‘로’ 뿐만 아니라 가장 작은 위계의 ‘길’을 포함하여 교차지점을 찾고 교차하는 도로의 수를 구하여 교차로의 특성을 분류하였다. 가로 세그먼트 구축에서 제외하였던 ‘길’을 포함한 이유는 ‘길’의 경우 근린의 생활권 도로로서 주민이나 방문객들이 이용하기 때문이다. 예를 들자면 ‘대로’ 또는 ‘로’에 생활권 도로인 ‘길’이 연결되어 생성된 T자형 3지 교차로의 경우, 보행자가 생활권의 ‘길’을 통해 ‘대로’나 ‘로’로 진입한다는 것이다. 연구의 변수로는 연결된 도로의 개수에 따라 3지 교차로, 4지 교차로, 5지 이상 교차로로 분류하였는데, 각각 15,080개, 3,163개, 1,080개 이다. 주목할 점은, ‘대로’ 또는 ‘로’가 만나 생성된 교차로의 경우 대부분 4차선이거나 간혹 5차선 이상인 경우였으나, 3지 교차로의 경우는 생활권 도로가 주요 도로에 연결되어 생성된 교차로이다. 따라서 3지 교차로는 보편적으로 생각하는 자동차 중심의 4지 교차로와는 특성이 다르다. 따라서 다른 교차로와의 차별성을 위해 3지 교차로의 표기를 ‘생활권 3지 교차로’로 구분하였다.

가로변 건축물에 관한 정보는 국토교통부에서 제공하는 건축물대장 자료를 활용하여 구축하였다. 2015년 서울특별시 ‘건축물대장 층별개요’ 자료는 총 18,784,871개이며, 건축물의 주소, 층별 용도, 면적 등을 알 수 있다. 텍스트 형태의 자료로 제공되었기 때문에, SK Planet에서 제공하는 Geocoding API를 활용하여 건축물의 좌표를 생성하여 ArcGIS에서 공간 데이터로 구축하였다. 토지이용 현황과 보행자 교통사고와의 관계를 확인하기 위해 주거, 상업, 그 외의 기타용도로 분류하였으며, 각 용도의 연면적 합을 가로세그먼트 버퍼의 면적으로 나눈 후 분석에 사용하였다.

3.2.4. 분석 모형

교통사고 관련 선행연구에서 사용된 가장 보편적인 분석 방법론으로는 포아송 모형(poisson model)과 음이항 회귀모형(negative binomial regression)이 있다. 이는 분석단위별로 보행자 교통사고 건수가 0인 자료가 많이 분포하고 자료의 분포가 전체적으로 이산확률분포를 보이기 때문이다. 포아송 모형의 경우 분산과 평균이 같은 경우에 사용이 가능하며, 분산이 평균보다 큰 과대산포가 존재할 때에는 포아송 모형보다 음이항 회귀모형을 사용한다(정재풍 외, 2014). 두 모형 모두 음의 값이 없는 가산자료(count data)에 주로 사용하는 분석 방법론이다.

본 연구에서는 가로세그먼트 버퍼의 분석단위로 보행자 교통사고 건수를 합산하여 전체의 버퍼면적으로 나누어준 보행자교통사고 밀도 변수를 종속변수로 활용하였다. 따라서 가산자료가 아닌 연속변수의 형태를 가지고 있기 때문에 다중회귀분석 모형을 적용하였다. 그리고 보행자 교통사고밀도 변수의 공간적 의존성(spatial dependence)이 존재하기 때문에 공간통계분석 방법론을 활용하였다. 실제로 보행자 교통사고 지점의 공간적 분포를 살펴보면 사고지점이 공간적으로 무작위하게 분포하지 않고 집중된 곳이 많이 분포한다. 이 경우 공간적인 자기상관(spatial autocorrelation)이 발생하며, 공간적 자기상관을 제어하지 않을 때 전통적인 회귀분석모형의 결과는 편이(bias)될 수 있어 문제가 있다. 따라서 본 연구는 공간적 자기상관을 제어할 수 있는 통계모형을 포함하고 있는 GeoDa software를 활용하였다. GeoDa는 Anselin(2005)의해 개발되어, 현재 미국 아리조나 주립

대학교 GeoDa 센터에서 제공하고 있으며 공간시차모형(spatial lag model: SLM)과 공간오차모형(spatial error model: SEM) 분석 모듈을 포함하고 있다

Anselin (2005)은 공간적 자기상관을 테스트할 수 있는 방법론으로 Moran's I 값을 제시하였다. 모란 I 값은 -1~1의 범위를 가지는데, 절대 값이 클수록 공간적 자기상관이 높으며 0은 공간자기상관이 없는 상태를 의미한다. 따라서 모란 I 값에 대한 통계적 유의도 검증을 통해 공간적 자기상관의 유무를 판단한다.

$$Moran's I = \frac{n \sum \sum w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{W \sum (x_i - \bar{x})^2}$$

W : 공간가중행렬; x_i : 공간 i 의 값; \bar{x} : x 의 평균값; n : 개체수

공간시차모형은 종속변수가 공간적으로 서로 의존하는 관계성을 가질 경우 종속변수의 공간적 자기상관을 독립변수에 공간 가중치 매트릭스 변수를 포함하여 제어해주는 방법이다. 공간시차모형에서 Rho(ρ)의 값이 통계적으로 유의한 경우 종속변수의 공간적 자기상관을 제어하는 것을 의미한다.

$$y = \rho W_y + x\beta + \epsilon$$

W : 공간가중행렬; x : 설명변수; ρ, β : 계수; ϵ : 오차항

공간오차모형은 종속변수의 공간적 종속성보다 오차항의 공간적 종속성에 초점을 두고, 오차항에서 공간적으로 의존되어 있는 오차부분을 제어해주는 방법이다. 공간오차모형에서 람다(λ) 값이 통계적으로 유의한 경우 오차항의 공간적 자기상관을 제어하는 것을 의미한다.

$$y = x\beta + \epsilon, \epsilon = \lambda W_\epsilon + \mu$$

W : 공간가중행렬; x : 설명변수; λ, β : 계수; ϵ : 공간의존된 오차항; μ : 오차항

분석모형에서 공간적 자기상관이 존재할 때 공간시차모형과 공간오차모형의 선택은 Anselin(2005)이 제시한 방법대로 Lagrange Multiplier 테스트인 LM-Lag와 LM-Error 테스트 통계치의 통계적 유의도와 모형의 상대적 적합도를 판별해주는 Akaike Info Criterion(AIC)값과 Schwarz Criterion(SC) 값을 활용하였다. AIC와 SC의 경우 값이 상대적으로 작을때 모형의 적합도가 높은 것을 의미한다.

4. 분석결과

4.1. 기술통계 분석

서울시 TAAS 2014년 자료를 분석한 결과, 2014년 한 해 동안 발생한 전체 교통사고는 40,714건이며, 분석에 사용된 보행자 교통사고는 총 11,109건 이다. 보행자 교통사고 중에서 연령대별 사상자는 40대와 50대가 각각 23.8%, 24.5%로 두드러지게 많았다. 65세 이상인 고령자는 전체 사상자 중 10%인 반면, 전체 사망자의 43%가 65세 이상인 것으로 나타나 사고의 심각도 측면에서 심각한 것으로 나타났다. 보행자 교통사고의 금요일에 가장

빈번하게 일어났으며, 시간대별로 18~19시에 가장 사고의 빈도가 높게 나타났다. 보행자 교통사고의 유형은 횡단 중 사고가 가장 높고, 도로의 유형 중에서는 단일로에서 73% 그리고 교차로에서 27% 발생하였다.

본 연구의 분석모형에 사용된 변수의 기술통계량은 표2와 같다. 연구방법론에서 전술하였듯이 고속도로를 제외한 대로와 생활권 도로를 중심으로 가로세그먼트 분석단위를 활용하였다. 서울시 전체 가로 세그먼트 분석단위에서 사고가 없는 가로는 전체의 18%인 459개 존재하여 종속변수인 보행자 교통사고가 0 값을 가진다. 그리고 종속변수의 분포가 전체적으로 0에 치우친 이산확률 분포를 형성하므로 분석모형에서 로그값을 취해 정규분포의 형태로 변환시켜주었다. 여기서 보행자 교통사고가 일어나지 않은 가로의 경우 로그값을 취할 수 없는 문제가 발생하여 모든 종속변수에 1을 더해주어 로그값으로 전환하였다. 이와 같은 방법은 본 연구가 보행자 교통사고의 발생과 비발생을 비교하는 연구가 아니라 가로 세그먼트 버퍼 단위로 보행자 교통사고의 밀도에 초점을 두고 있기 때문에 분석상의 문제가 없다고 판단하였다.

도로 혼잡도는 서행에 가까운 평균을 보였고, 도로 폭은 6~100m범위에 평균 28.07m이며, 차량 평균속도는 0~101km/h범위에 평균 38.87km/h이고, 유동인구는 0~2.13인/m² 범위에 평균 0.3인/m²의 값을 보였다. 어린이 보호구역의 경우 0.47의 평균값을 보였는데 이러한 결과는 대부분의 초등학교가 2차선 이상의 도로로 접근이 가능하기 때문이다. 반면 노인 보호구역은 주로 생활권 단지 내에 위치하며 시설물에 인접한 도로가 '길'의 위계

〈표 2〉 변수의 기술통계량

변수		평균	표준편차	최솟값	최댓값	VIF
종속변수	보행자 교통사고 (건수/천m ²)	0.093	0.099	0	0.853	-
차량 통행량	도로 혼잡도 (1 ~ 4)	1.89	0.95	1	4	2.56
	차량 평균속도 (km/h)	38.87	25.00	0	101	2.56
	도로 폭 (m)	28.07	11.42	6	100	1.54
보행량	유동인구 (인/m ²)	0.29	0.22	0	2.13	1.33
보호구역	노인 보호구역 (유무)	0.03	0.16	0	1	1.02
	어린이 보호구역 (유무)	0.47	0.50	0	1	1.11
대중교통	버스 정류장 (개수/km)	72.28	65.59	0	504.67	1.32
	중앙버스 전용차로 정류장 (개수/km)	2.92	11.51	0	201.24	1.12
	지하철역 (개수/km)	7.32	16.35	0	182.51	1.09
가로 시설물	횡단보도(개수/천m ²)	0.31	0.18	0	1.38	1.58
	육교 (개수/km)	1.45	7.80	0	151.18	1.02
	과속방지턱 (개수/km)	8.30	29.60	0	287.19	1.15
	가로수 (개수/천m ²)	1.86	1.21	0	7.45	1.15
교차로	생활권 3지 (개수/천m ²)	0.16	0.16	0	1.35	1.54
	4지 교차로 (개수/천m ²)	0.21	0.24	0.01	2.34	1.57
	5지 이상 교차로 (개수/천m ²)	0.03	0.09	0	1.05	1.34
토지이용	주거연면적/가로버퍼면적	0.20	0.39	0	8.95	1.05
	상업연면적/가로버퍼면적	0.53	0.70	0	7.33	1.35
	기타연면적/가로버퍼면적	0.08	0.57	0	27.67	1.01

*변수의 기술통계량에서 분모로 사용한 면적 단위는 너무 작은 평균값을 보정하기 위해 조정(scaling) 하였음.

여서 중첩되는 경우가 적었다. 교차로는 생활권 3지 교차로, 4지 교차로, 5지 이상 교차로로 구분하였다. 4지 교차로는 가로 세그먼트의 양 끝부분에 대부분 포함되기 때문에 최소값이 0보다 큰 값으로 나왔다. 토지이용은 주거, 상업, 기타 용도 연면적을 가로 세그먼트 버퍼의 면적으로 나누어준 비율(ratio) 값으로, 밀도가 높은 상업용도의 값이 가장 높은 것을 알 수 있다.

4.2. 공간회귀분석

표3은 보행자 교통사고 분석결과이며, 회귀분석모형(OLS)와 공간시차모형(SLM), 공간오차모형(SEM)에 따른 결과를 모두 나타내었다. OLS 분석결과와 공간적 자기상관성을 테스트한 모란 I (Moran's I) 계수 값이 통계적으로 유의하게 나타나, 보행자 교통사고에 공간적 자기상관이 존재함을 확인하였다. 이에 따라 SLM과 SEM 분석을 실시하였으며, 두 모형중에서 적합한 모형을 판단하기 위해 LM-Lag와 LM-Error 값의 통계적 유의도를 확인한 뒤, 모형의 상대적 적합도를 나타내는 AIC 값과 SC 값을 확인하였다. 모형의 상대적 적합도는 큰 차이는 없으나 공간오차모형보다는 공간시차모형이 조금 더 높은 것으로 나타났다. 그러나 공간시차모형의 경우 공간자기상관 제어 변수인 공간시차(Wy)를 고려하였음에도 불구하고 공간적 자기상관을 완전히 제거하지 못하는 것으로 나타났다. 따라서 공간적 자기상관을 제거한 공간오차모형을 최종 모형으로 선택하였다.

표3에서 공간오차모형(SEM)의 결과를 살펴보면 먼저, 도로가 혼잡하고 도로 폭이 넓을수록 보행자 교통사고의 밀도가 높은 것으로 나타났다. 도로가 혼잡 할 경우 운전자가 다른 차량에 많은 신경을 써야하기 때문에 보행자에 대한 주의를 소홀히 하게 될 가능성이 높기 때문으로 생각된다. 또한, 도로 폭이 넓으면 그만큼 통과 교통량이 많고, 속도가 높아질 수 있어 사고의 확률이 높다고 할 수 있다. 이러한 측면에서 대표적인 노출변수인 자동차 통행량이 많으면 교통사고가 많이 발생한다는 기존의 연구결과와 동일한 결과로 볼 수 있다. 자동차 통행량과 마찬가지로 대표적인 교통사고 노출변수인 유동인구 보행량의 경우에도 통계적으로 양(+)의 방향으로 매우 유의하게 나타났다. 이러한 결과는 보행자가 많을수록 보행자 교통사고 발생 빈도가 증가한다는 것을 의미한다.

보호구역의 경우 어린이 보호구역만 유의한 결과가 나왔는데, 보호구역에서 오히려 더 많은 사고가 발생하는 것으로 드러났다. 어린이는 절대적인 보행약자이며 규제를 통해 사고가 일어날 확률이 높은 지역의 사고를 예방하기 위한 어린이 보호구역의 지정목적에 고려할 때, 아직은 어린이 보호구역의 지정이 사고 예방에 있어 미흡하다고 볼 수 있다.

대중교통 변수인 버스정류장, 중앙버스정류장, 지하철역 등은 모두 통계적으로 유의하며 보행자 교통사고 밀도와 양(+)의 관계를 가지고 있는 것으로 나타났다. 이는 버스정류장과 지하철역 주변에서 보행자 교통사고의 밀도가 높은 것을 의미한다. 이러한 결과는 최근 보행자 교통사고에 대한 교통안전공단의 발표와도 일치하는 부분이다. 교통안전공단은 2012년~2014년 3년 동안 서울에서 발생한 교통사고를 분석한 결과 버스 정류장 부근과 지하철 역 부근에서 잦은 보행자 교통사고가 발생하였음을 보고하였다(교통안전공단, 2015). 이러한 결과는 버스와 같은 대중교통 이용객들이 버스를 타거나 환승 시 무리하게 무단횡단을 하는 경우가 많고, 지하철역의 경우 택시를 잡으려 차도로 내려오는 보행자가 많아 사고의 위험이 높기 때문으로 볼 수 있다. 더욱이 대중교통시설 주변에는 차량 통행량과 보행량이 많으며, 보행자 중에는 대중교통이 주 이동수단인 청소년과 노인이 많아 보행안전에 더욱 주의를 기울여야하는 지역이다. 특히 중앙버스전용차로가 대중교통 활성화에는 좋은 영향을 미치지만, 도로 중앙에 위치한 보행섬까지의 거리가 짧아서 보행자들이 무단횡단을 하는 경우가 많아 보행안전에 있어서는 매우 위험한 요소임을 알 수 있다.

가로시설물은 가로수를 제외하고 모두 유의한 결과를 보였다. 먼저 횡단보도는 보행자로 하여금 도로를 안전하게 건너게 해주는 시설이지만 보행자 교통사고의 위험이 높은 장소로 나타났다. 반면에 육교는 보행자 교통사고의 밀도와 음(-)의 관계를 가지고 있는 것으로 확인하였다. 육교는 횡단보도와는 달리 사람과 자동차를 완전히 분리하기 때문에 보행자 교통사고 위험을 감소시킬 수 있음을 의미한다. 또한, 과속방지턱도 사고의 발생을 낮추는 것으로 나타났는데, 차량의 속도를 줄이는 효과뿐만 아니라 운전자로 하여금 주의

〈표 3〉 보행자 교통사고 분석결과

구분		OLS Model		공간시차모형(SLM)		공간오차모형(SEM)	
		Coef.	t	Coef.	z	Coef.	z
(상수)		0.606 ***	6,796	-0,015	-0,155	0.675 ***	6,804
차량 통행량	도로 혼잡도	0,048 **	2,278	0,058 ***	2,846	0,049 **	2,298
	차량 평균속도	-0,001 *	-1,685	0,000	0,417	-0,001	-1,060
	도로 폭	0,004 ***	2,665	0,003 ***	2,621	0,004 ***	2,919
보행량	유동인구	0,538 ***	8,100	0,383 ***	5,849	0,460 ***	6,412
보호구역	노인 보호구역	0,125	1,573	0,101	1,324	0,079	0,999
	어린이 보호구역	0,169 ***	6,421	0,141 ***	5,534	0,129 ***	4,890
대중교통	버스정류장	0,002 ***	10,115	0,002 ***	9,876	0,002 ***	9,727
	중앙버스 전용차로 정류장	0,004 ***	3,700	0,004 ***	3,583	0,004 ***	3,869
	지하철역	0,004 ***	4,657	0,003 ***	4,377	0,004 ***	4,604
가로 시설물	횡단보도	0,001 ***	12,679	0,001 ***	11,175	0,001 ***	11,214
	육교	-0,003 *	-1,779	-0,003 **	-2,108	-0,004 **	-2,324
	과속방지턱	-0,001 ***	-2,887	-0,001 ***	-2,617	-0,001 **	-2,230
	가로수	0,000	1,270	0,000	0,351	0,000	0,094
교차로	생활권 3지 교차로	0,001 ***	7,414	0,001 ***	5,333	0,001 ***	6,100
	4지 교차로	-0,001 ***	-11,439	-0,001 ***	-10,436	-0,001 ***	-10,481
	5지 이상 교차로	0,000 *	1,864	0,000	0,718	0,000 *	1,677
토지이용	주거연면적	0,021	0,633	0,015	0,472	0,015	0,454
	상업연면적	0,133 ***	6,399	0,120 ***	5,937	0,152 ***	7,172
	기타연면적	-0,036	-1,616	-0,030	-1,407	-0,033	-1,567
공간시차(Wy)				0,445 ***	12,528		
Lambda(λ)						0,603 ***	13,655
Moran's I		0,078 ***		0,011 ***		-0,003	
J. B. Test		385,144 ***					
B. P. Test		323,874 ***		341,939 ***		338,982 ***	
LM lag(error)				223,630 ***		256,335 ***	
L. R. Test				141,024 ***		136,573 ***	
N		2588		2588		2588	
R ²		0,379					
Akaike Info Criterion(AIC)		5017,68		4878,66		4881,11	
Schwarz Criterion(SC)		5134,85		5001,69		4998,28	

*p<0,1; **p<0,05; ***p<0,01

를 주어 안전한 운전을 유도한다고 볼 수 있다.

교차로의 경우 모두 통계적으로 유의한 결과를 보였는데, 생활권 3지 교차로와 5지 이상 교차로의 밀도는 보행자 교통사고와 연관이 있는 것으로 나타났다. 결과 해석을 위해 지리정보 시스템을 활용하여 3지 교차로의 공간적 위치와 보행자 교통사고 위치를 살펴본 결과, 중심도로와 생활권 도로인 ‘길’이 연결된 부분에서 사고가 많이 발생하였으며 횡단 보도와 그 인근에서 많은 사고가 발생하는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 생활권 3지 교차로 주변에서 거주민들의 출입이 많고 도로의 폭이 넓지 않아 무단횡단이 많이 일어나기 때문으로 판단된다. 반면에 4지 교차로의 밀도는 보행자 교통사고 밀도와 부(-)의 관계를 보였다. 그러나 4지 교차로의 경우 대부분의 가로 세그먼트의 양 끝에 속하기 때문에 해석에 유의할 필요가 있다. 다시 말하면 거의 모든 가로 세그먼트가 최소 2개의 4지 교차로를 포함하고 있으며 이를 가로 버퍼의 면적으로 나눈 값이 사고와 음의 관계를 보이는 것이다. 이러한 경우 4지 교차로 개수의 변이(variation)보다 가로 세그먼트 버퍼 면적의 변이가 더 큰 영향을 미치게 된다. 이는 4지 교차로 개수가 일정하다고 가정할 때, 가로 세그먼트 버퍼의 면적이 클수록 보행자 교통사고 밀도와 양(+)의 관계를 가지고 있음을 의미한다.

마지막으로 토지이용 변수 중 유일하게 버퍼면적 대비 상업연면적 비율만이 양(+)의 관계로 통계적으로 유의한 결과를 가지고 있는 것으로 나타났다. 상업시설의 연면적이 높은 지역일수록 유동인구와 자동차 통행량이 많아 보행자 교통사고의 위험이 높다고 할 수 있다. 특히, 야간에 유흥주점과 같은 상업시설이 많은 곳에서는 취객이나 무단횡단 등으로 보행자 교통사고의 위험이 높기 때문으로 볼 수 있다.

5. 결론

본 연구는 2014년 서울시 TAAS 자료를 활용하여 보행자 교통사고에 영향을 미치는 가로환경의 특성을 분석하기 위해 고속도로를 제외한 대로와 생활권 도로를 대상으로 가로 세그먼트 분석단위와 공간통계모형을 적용하였다. 보행자 교통사고에 영향을 미치는 가장 중요한 노출변수인 차량 통행량과 유동인구를 모형에 포함하였으며, 가로환경 특성을 반영하기 위해 대중교통시설, 가로 시설물, 교차로 유형, 어린이 및 노인보호구역 유무, 그리고 토지이용 자료 등을 구축하여 분석에 사용하였다. 공간통계모형을 적용한 결과 서울시 보행자 교통사고 지점은 공간적 자기상관이 유의하게 나타나는 것을 확인하였으며, 공간시차모형과 공간오차모형을 비교할 때 큰 차이는 없었지만 공간오차 모형이 공간적 자기상관을 완전히 제거하는 것으로 나타났다. 분석 결과와 정책적 시사점은 다음과 같다.

첫째, 보행자 교통사고에 가장 큰 영향력을 가질 수 있는 차량 통행량과 유동인구 보행량은 보행자 교통사고에 통계적으로 매우 유의한 변수로 나타났다. 유동인구 보행량은 보행자 교통사고의 매우 중요한 요인으로 나타났으며, 유동인구의 이동이 많은 도심이나 인구집중 유발시설 주변의 보행안전을 더욱 강화해야 함을 알 수 있었다. 그리고 도로의 폭이 넓고 혼잡할수록 사고가 많이 발생하므로 보행자 안전시설을 확보하고 차량 통행량이 많은 시간대에 보행자 안전에 대한 주의가 필요한 것으로 나타났다. 이러한 맥락에서 유동인구가 많은 대중교통 시설 부근과 상업시설 밀집지역에서는 보행자를 위한 보행 안전 시설의 확보 및 관리가 더욱 요구된다.

둘째, 어린이 보호구역이 지정되어 있는 가로에서 보행자 교통사고의 발생률이 더 높은 것으로 나타났다. 이는 초등학교 주변의 유동인구가 많고 사고의 위험이 높은 곳을 대상

으로 지정되어 있기 때문에 나타나는 현상으로 볼 수 있다. 그러나 어린이 보호구역의 지정이 교통사고의 위험이 높은 장소에 사고를 예방하기 위함을 고려한다면 본 연구의 결과는 어린이보호구역에서 보행자 교통사고를 저감하기 위한 추가적인 개선책이 필요함을 시사한다.

셋째, 대중교통 수단인 일반 버스정류장, 중앙버스전용차선 정류장, 지하철역 주변에서 보행자 교통사고가 매우 높고 통계적으로 유의한 것을 볼 수 있다. 이러한 결과는 대중교통시설 주변에 유동인구가 매우 많고 도로가 혼잡하기 때문에 보행자 교통사고의 위험이 높음을 의미한다. 따라서 보행자 교통사고의 저감을 위해서는 대중교통시설 주변의 보행자 안전에 대한 구체적인 가로환경 디자인인 전략과 정책적 방안이 필요함을 시사한다.

넷째, 가로시설물에서 가로수를 제외한 횡단보도, 육교, 과속방지턱은 모두 보행자 교통사고와 밀접한 관련이 있는 것으로 나타났다. 특히 가로에서 횡단보도가 많을수록 보행자 교통사고가 높은 것으로 나타났다. 횡단보도는 보행자가 안전하게 차도를 가로질러 가기 위한 시설임에도 불구하고 횡단보도 주변에서 사고가 많이 발생하는 것은 보행자의 무단 횡단이나 운전자의 교통신호위반이 주된 원인으로 판단된다. 따라서 보행자의 안전한 횡단을 우선시하는 신호체계의 도입과 더불어 무단횡단의 위험에 대한 교육이 지속적으로 이루어져야 할 것이다. 반면에 육교는 보행자 안전에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 나타났다. 보행친화적인 도시조성정책에 있어 육교는 보행자나 보행약자에게 불편한 시설인 것은 사실이지만, 보행자의 보행안전에는 긍정적인 효과를 가지는 것으로 나타나 보행자 안전에 대한 구체적인 대안 없이 무분별하게 육교를 철거하고 횡단보도를 도입하는 것은 지양되어야 할 것으로 판단된다. 보행자와 자동차를 완전히 분리하는 육교의 개념은 횡단보도에서 보행자 교통사고를 원천적으로 방지할 수 있는 방안이나 전통적인 육교 디자인은 보행자에게 매우 불편하게 디자인 되어 있는 것이 사실이다. 그러나 횡단거리가 과도하게 길거나 통행하는 차량의 속도가 빠른 도로의 경우에는 육교를 설치하여 차량으로부터의 교통사고 노출을 피하는 것이 보행 안전에 효과적일 수 있으며, 승강기 설치를 의무화함으로써 보행약자의 이용을 편리하게 할 수 있다. 또한, 교통의 흐름과 보행자의 안전을 동시에 고려할 수 있는 보행자 친화적이고 주변경관과 조화를 이룰 수 있는 육교는 보행자 안전에 긍정적인 역할을 할 수 있을 것으로 본다.

마지막으로, 교차로의 유형에서 생활권 3지 교차로가 보행자 교통사고에 부정적인 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이는 주요 생활권 도로에 접한 T-자형 생활권 3지 교차로의 경우 신호가 없는 곳이 많아 보행자가 무단횡단을 많이 시도할 수 있고, 운전자의 경우 생활권 도로에서 신호등이 없는 경우가 많은 생활권 3지 교차로의 좁은 골목길에서 도로 쪽으로 갑자기 나오는 보행자를 인지하기 어렵기 때문인 것으로 판단된다. 따라서 생활권 도로에서 주거지 쪽으로 도로가 교차하는 3지 교차로 주변에 보행자의 무단횡단을 예방하는 보행자 펜스나 무단횡단 경고판이나 운전자의 주의를 높일 수 있는 과속방지턱을 설치하여 보행자 안전을 향상시키는 방안이 필요하다.

결론적으로 본 연구에서는 차량 통행량과 유동인구 보행량이 보행자 교통사고에 영향을 미치는 가장 중요한 요인으로 나타났으며, 버스와 중앙버스차선 정류장과 같은 대중교통 시설이나 학교주변, 상업가로부터 보행자 교통사고의 밀도가 높은 것을 확인하였다. 그리고 횡단보도와 생활권에 3지 교차로에서 보행자 교통사고 밀도가 높은 것으로 나타나 보행자 교통사고를 저감할 수 있는 정책적 방안이 필요함을 제시하였다.

본 연구에서 사용한 가로 세그먼트 버퍼 분석방법은 보행자 교통사고 지점 주변의 연속적인 물리적 환경을 분석할 수 있는 장점이 있지만 개별 사고지점의 구체적인 정보를 반영하기에는 한계를 가지고 있다. 또한, 가로세그먼트 분석단위의 사용으로 가로세그먼트의

양 끝에 대부분 위치하는 4지 교차로와 보행자 교통사고의 관계를 분석하는데 한계가 있었다. 이는 4지 교차로를 포함한 다양한 교차로 유형과 보행자 교통사고와의 관계는 근린이나 행정단위에서 종합적으로 분석할 필요가 있음을 의미한다. 마지막으로 보행자 교통사고의 세부적인 내용인 사고 당사자의 인적사항, 사고 시간, 기상상태, 부상 심각도, 도로 디자인, 신호체계를 포함한 교통 공학적 측면 등을 고려하지 못하였다. 향후 연구에서 이러한 세부적인 요인을 고려하여 다양한 측면에서 보행자 교통사고 저감을 위한 정책적 시사점을 도출할 필요가 있다.

참고문헌

1. 경찰청 · 보건복지부 · 국토교통부 · 교육부 2016, “어린이·노인 및 장애인 보호구역 지정 및 관리에 관한 규칙”.
2. 교통안전공단 2015, “서울시 버스·택시 교통사고 사망자 76%가 보행자”, 교통안전공단, 미래교통전략처 (2015. 11. 17, 보도자료).
3. 국토교통부 2015, 『교통안전연차보고서』, 국토교통부, 세종특별자치시.
4. 국토해양부 2012, “도시·군 계획시설의 결정·구조 및 설치기준에 관한 규칙”.
5. 김용길 · 이상하 · 하태준 2002, “보행자 교통사고 특성과 감소방안에 관한 연구”, 2002 대한교통학회 학술대회 발표논문, 대한교통학회, pp.1-6.
6. 박진경 · 한명주 2014, “지방자치단체의 유형별 보행자사고 특성분석 및 보행환경조성사업 개선방안 연구”, 『대한교통학회지』, 제32권, 제6호, pp.615-627.
7. 백태현 · 박민규 · 박병호 2014, “간선도로 기능별 보행사고 심각도 분석과 모형 개발”, 『한국도로학회논문집』, 제16권, 제4호, pp.111-118.
8. 서지민 · 이수기 2015, “보행자 교통사고에 영향을 미치는 가로환경 및 토지이용 요인에 관한 연구”, 2015 한국도시설계학회 추계학술대회 발표논문, 한국도시설계학회, pp.331-339.
9. 유기열 외 3인 2010, “보행자 교통사고 특성분석에 관한 연구”, 대한교통학회 학술대회 발표논문, 대한교통학회, pp.689-694.
10. 이세영 · 이제승 2014, “어린이·노인 보행자 교통안전을 위한 근린환경요인”, 『도시설계』, 제15권, 제6호, pp.5-15.
11. 이수기 · 이윤성 · 이창관 2014, “보행자 연령대별 보행만족도에 영향을 미치는 가로환경의 특성분석”, 『국토계획』, 제29권, 제8호, pp.91-105.
12. 이용근 · 양시관 · 이수빈 역 2013, 『패턴랭귀지』 (Alexander, C., Ishikawa, S., & Silverstein, M. 1997, *A pattern language: towns, buildings, construction*(Vol. 2), Oxford University Press, Oxford.), 인사이트, 서울, p.1158.
13. 지우석 2010, “노인 보행자 교통사고원인 분석 및 대책”, 『한국노년학』, 제30권, 제3호, pp.843-853.
14. 정재풍 · 최중후 2014, “교통사고건수에 대한 포아송 회귀와 음이항 회귀모형 적합”, 『Journal of the Korean Data Analysis Society』, 제16권, 1호, pp.165-172.
15. 최재성 외 4인 2015, “무단횡단 교통사고 요인에 관한 연구: 서울시 사례를 중심으로”, 『한국ITS학회논문지』, 제14권, 제3호, pp.38-49.
16. 한승훈 2007, “지하철 구역의 지리정보 분석 방법에 관한 연구: 미국 보스턴의 지하철 시스템을 사례 대상으로”, 『대한건축학회논문집-계획계』, 제23권, 제2호, pp.111-118.

17. Anselin, L. 2005, *Exploring spatial data with GeoDa TM: A workbook*, Urbana-Champaign, IL, USA.
18. Anselin, L., Syabri, I., & Kho, Y. 2006, 'GeoDa: An introduction to spatial data analysis', *Geographical Analysis*, vol. 38, no. 1, pp.5-22.
19. Flahaut, B. 2004, 'Impact of infrastructure and local environment on road unsafety: Logistic modeling with spatial autocorrelation', *Accident Analysis & Prevention*, vol. 36, no. 6, pp.1055-1066.
20. Ha, H. H., & Thill, J. C. 2011, 'Analysis of traffic hazard intensity: A spatial epidemiology case study of urban pedestrians', *Computers, Environment and Urban Systems*, vol. 35, no. 3, pp.230-240.
21. LaScala, E. A., Gerber, D., & Gruenewald, P. J. 2000, 'Demographic and environmental correlates of pedestrian injury collisions: A spatial analysis', *Accident Analysis & Prevention*, vol. 32, no. 5, pp.651-658.
22. Loukaitou-Sideris, A., Liggett, R., & Sung, H. G. 2007, 'Death on the crosswalk: A study of pedestrian-automobile collisions in los angeles', *Journal of Planning Education and Research*, vol. 26, no. 3, pp.338-351.
23. Ukkusuri, S., Miranda-Moreno, L. F., Ramadurai, G., & Isa-Tavarez, J. 2012, 'The role of built environment on pedestrian crash frequency', *Safety Science*, vol. 50, no. 4, pp.1141-1151.
24. 건축데이터 민간개방 시스템, <https://open.eais.go.kr/> (2015.09.15).
25. 국가공간정보유통시스템, <https://www.nsic.go.kr/ndsi/> (2016.02.23).
26. 서울 열린데이터 광장, <http://data.seoul.go.kr/> (2016.02.23).
27. 서울시 정책지도, <http://115.84.164.26:9978/spm/gly/main.do/> (2016.03.14).
28. OECD Statistics, <http://stats.oecd.org/> (2016.05.30).
29. SK Planet 개발자 센터, <https://developers.skplanetx.com/> (2016.02.23).
30. SK Telecom Geovision, <http://www.geovision.co.kr/> (2016.03.26).
31. TAAS 교통사고 분석시스템, <http://taas.koroad.or.kr/> (2016.02.23).
32. Topis 서울교통정보과, <http://topis.seoul.go.kr/> (2016.03.21.).

투고 2016.05.18

1차심사완료일 2016.06.07

게재확정일자 2016.06.15

최종수정본접수 2016.06.23