

서울시 보행자 교통사고에 영향을 미치는 물리적 환경 요인에 관한 연구 : 2014 TAAS 자료를 중심으로*

A Study on the Physical Environmental Factors Influencing Pedestrian Traffic Accidents in Seoul, Korea : Focused on the 2014 TAAS Data

서지민** · 이수기***
Seo, Jeemin · Lee, Sugie

Abstract

During the past decades, the paradigm of transportation planning has shifted from automobile-centered to pedestrian-oriented perspectives in Korea. In the context of this paradigm shift, this study examines the relationships between physical environmental factors and the pedestrian traffic accidents. Using the 2014 Traffic Accident Analysis System (TAAS) data, including traffic accidents of pedestrians in Seoul, Korea, we identify important physical environmental variables that influence pedestrian traffic accidents. With negative binomial regression models by the level of injury, we analyze demographic and socioeconomic factors, road physical environments, and land-use factors. Key findings and implications can be organized into following four parts. First, the number of lanes shows negative associations with pedestrian safety. Road diet projects such as lane reduction and narrow road may improve pedestrian safety. Second, although the median exclusive bus lane is convenient and beneficial to citizens, it has negative impacts to pedestrian's safety. Public policies should be considered to improve pedestrian's safety near the median exclusive bus station. Third, high density and mixed land use have negative impacts on pedestrian safety. The compact development strategies with transit-oriented development should consider pedestrian's safety and walking-friendly environment. Finally, we suggest the policy implications for safer walking environments.

키 워 드 ■ 보행자 교통사고, 보행 안전, 음이항 회귀모형, 물리적 환경, TAAS
Keywords ■ Pedestrian Traffic Accidents, Pedestrian safety, Negative Binomial Regression, TAAS

I. 서 론

1. 연구의 배경 및 목적

최근 도시 설계 및 교통 계획 분야 패러다임이 자동차 중심에서 보행자 중심으로 변화하고 있다.

1960~80년대까지는 급속도의 경제 발전을 이룩하는 것을 범국가적 목표로 삼고 성장 위주의 교통 시스템 연구에 매진하였다. 따라서 정부에서는 간선 도로 중심의 도로 체계를 구축하였고 자동차 보급률도 빠른 속도로 증가하였다. 하지만 자동차 중심 도시는 보행자의 안전을 위협하며 심각한 수준의

* 이 논문은 2015년 대한민국 교육부와 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구 (NRF-2015R1A2A2A01006865)이며, 2015년 11월 한국도시계획학회 추계학술대회에서 우수 논문상을 수상한 논문을 수정·보완한 것임.

** Dept. of Urban Planning & Engineering, Hanyang University (jimni0508@naver.com)

*** Dept. of Urban Planning & Engineering, Hanyang University (Corresponding author: sugielee@hanyang.ac.kr)

교통사고 발생으로 이어졌다. 2014년 도로교통공단 자료에 따르면 우리나라의 자동차 1만 대 당 교통사고 발생 건수는 99건으로 OECD 회원국 평균인 52.5건에 비해 두 배 정도 높은 수준이다(장영채 외 8인, 2014). 특히 교통사고 중에서도 보행자 교통사고로 인한 사망자 수 비율은 37.6%로 OECD 회원국 중 가장 높은 수치를 보이고 있다. 자동차 중심의 도시 시스템은 이와 같은 교통사고 문제뿐만 아니라 교통체증, 에너지 소비, 신체활동 부족 등 다양한 사회적 문제의 원인이 되고 있다. 따라서 최근 들어서는 보행자의 안전과 편의를 우선시하는 보행 중심의 패러다임으로 변화하고 있다. 여기서 가장 중요한 요소 중 하나가 바로 보행자의 안전이다.

이에 본 연구에서는 도로교통공단 교통사고분석 시스템(TAAS)에서 제공하는 2014년 서울시 교통사고 전수 자료를 이용하여 보행자 교통사고 발생에 영향을 미치는 물리적 환경 요인을 분석한다. 나아가 분석 결과를 활용하여 보행자가 안전하게 다닐 수 있는 가로환경 조성을 위한 정책적 시사점을 도출한다.

2. 연구의 범위

본 연구의 공간적 범위는 서울특별시로 선정하였다. 서울특별시는 우리나라의 수도로서 전국에서 인구¹⁾ 및 차량 등록대수²⁾가 가장 많고 보행자 교통사고³⁾가 가장 빈번하게 발생하는 도시이다. 따라서 보행자 교통사고 연구를 진행하기에 적합한 지역이라고 볼 수 있으며 공간적 분석 단위는 서울시의 16,227개의 집계구로 설정하였다.

한편 1년 단위로 구축되어 있는 TAAS 데이터 중 가장 최근인 2014년 데이터를 연구에 이용하였다. 그 중에서도 교통사고 발생에 민감하게 작용할

수 있는 사건 당시의 주간·야간 여부와 기상 상태를 고려하여 낮 시간으로 한정하였으며, 맑은 날에 발생한 교통사고를 추출하여 사용하였다. 따라서 본 연구의 구체적인 시간적 범위는 2014년, 시민 박명 시간⁴⁾ 기준 낮이며 맑은 날을 기준으로 한다.

내용적 범위는 다양한 교통사고 중 보행자의 안전과 직접적인 관련이 있는 자동차와 보행자간의 교통사고로 한정하였다. 또한, 사고자의 부상 정도(중상 이상/경상 이하)를 연구 내용에 포함시켜 보행자 교통사고에 대한 심층적인 이해가 가능하도록 하였다.

II. 선행연구 검토

1. 보행자 교통사고 원인

보행자 교통사고에 관련된 선행연구를 분석한 결과 사고가 발생하는 원인은 크게 개인적 요인, 자연 환경적 요인, 물리적 환경 요인 세 가지로 분류하여 정리할 수 있었다.

먼저 보행자 교통사고 발생에 영향을 미치는 요인 중 하나로 개인적인 요인을 들 수 있다. 음주 및 졸음 운전을 한 경우, 보행자가 이어폰을 착용한 경우, 스마트 폰 사용으로 인해 시야 확보가 되지 않은 경우 등이 대표적인 예이다. 또한, 청주시 4지 신호교차로를 대상으로 횡단 보행자 교통사고를 분석한 박정순(2011)의 연구에서는 보행자 성별이 여자일 때 남자에 비해 교차로 내 보행자 교통사고 발생 확률이 높아지는 것으로 나타났고 보행자 연령 또한 양(+의 영향을 미치는 것으로 밝혀졌다. 이와 비슷한 맥락에서 임유진 외 2인(2014)의 연구에서는 운전자 또는 보행자의 성별이 여자일 때 교통사고 발생 확률이 높아지는 것을 밝혔으며, Haleem et al.(2015)의 연구에서는 연령이 보행

자 교통사고와 양(+의) 관계를 가지고 있음을 도출하였다.

선행연구 분석 결과 자연 환경적 요인 또한 보행자 교통사고 발생에 크게 영향을 미치는 요인으로 나타났다. 이지선 외 2인(2012)의 연구에서는 시계 불량 요인이 보행자 교통사고를 유발하는 중요한 요인이라고 강조하며 사고 당시의 기상 상태와 주간·야간 여부 등이 사고 발생에 크게 작용한다고 밝혔다. 실제로 폭우나 폭설 등의 기상조건 악화나 야간의 조명 부족으로 인해 발생하는 운전자와 보행자의 시계불량은 보행자 교통사고로 이어질 확률이 높다. 비슷한 내용으로 박정순(2011)은 시간대가 야간일 경우 주간에 비해 교통사고 발생 위험이 높아지는 것을 실증하였고, 임유진 외 2인(2014), Haleem et al.(2015)의 연구에서도 주간·야간 여부와 날씨가 보행자 교통사고에 유의한 변수임을 증명하였다.

개인적 요인과 자연 환경적 요인에 이어 물리적 환경 요인이 보행자 교통사고에 영향력이 있는 것으로 나타났다. 선행연구에서는 물리적 환경 요인으로 도로 전체의 시스템에 관한 변수와 가로 시설물 변수, 토지이용 변수를 활용하고 있었다. 먼저 도로 전체시스템에 관련된 변수로는 차로 수나 자동차 제한속도, 교통량 등을 들 수 있다. 차로 수는 이수범 외 3인(2009), 이지선 외 2인(2012), Hess et al.(2004)의 연구, 제한속도는 이지선 외 2인(2012), Hess et al.(2004)의 연구에서 보행자 교통사고 유발과 밀접한 관련이 있는 변수임이 밝혀졌다. 또한 교통량의 경우 이수범 외 3인(2009), 이승주 외 2인(2014), LaScala et al.(2000), Hallem et al.(2015)의 연구에서 보행자 교통사고 발생에 유의한 양(+의) 영향을 미치는 것으로 나타났다. 한편 가로 시설물의 변수로는 과속방지턱, 보행자 펜스, 어린이 보호구역, 신호등, 횡단보도, 버스 정류장 등이 있었다. 과속방지턱, 보행자 펜스, 어린이 보호구

역은 보행자의 안전에 일조하는 요인으로, 신호등과 횡단보도, 버스 정류장은 부정적인 요인으로 연구 결과가 수렴하는 것을 확인할 수 있다(이지선 외 2인, 2012; 박승훈, 2014b; 이승주 외 2인, 2014; LaScala et al., 2000; Hallem et al., 2015).

마지막으로 토지이용의 경우에는 주거지 비율, 상업지 비율, 평균 용적률 등으로 세분화 되어 분석에 적용되는 경우가 대부분이었다. 박승훈(2014a)의 연구에서는 단독주택지 비율이 높을수록 교통사고는 감소하는 것으로 나타난 반면 상업지의 비율은 양의 영향을 미치는 것으로 도출되었다. 그리고 박정순(2011), 이지선 외 2인(2012)의 연구에서는 토지이용 혼합도가 높을수록 교통사고 발생이 증가하는 것으로 나타났다. 한편, 성현곤·모창환(2014)의 연구에서는 주거·비주거 용도 복합의 경우 교통사고 발생 가능성을 낮추는 것으로 나타났지만, 6가지 토지이용 용도의 복합은 교통사고 발생 가능성을 증가시키는 것으로 나타났다.

2. 교통사고 예측모형

보행자 교통사고 분석에 활용하는 통계 모형으로는 크게 포아송(Poisson) 회귀모형과 음이항(Negative Binomial) 회귀모형 두 가지로 정리할 수 있다. 이들 모형 모두 종속변수가 가산 자료일 때 이용한다는 공통점이 있지만 분산과 평균값이 동일한 동등산포를 보이는지 분산이 평균보다 큰 과대산포를 보이는지에 따라 그 활용이 달라진다.

먼저 포아송 회귀모형의 경우 가산 자료인 종속변수가 포아송 확률분포를 따르며 평균과 분산의 값이 같은 동등산포를 보일 때 이용할 수 있다. 하지만 현실에서 관측되는 변수의 분포를 살펴보면 분산이 평균값보다 큰 과대산포를 띄는 경우가 대부분이다. 따라서 기존의 선행연구에서도 교통사고 예측 모형으로 포아송 회귀모형을 사용한 경우는

드물게 나타났다. 대표적인 예로 문승라 외(2012)의 연구에서는 종속변수로 이용한 사상자 발생 사고의 분포가 0~5까지의 6가지 확률 분포를 가져 과대분산포(과분산) 문제가 발생하지 않으므로 포아송 회귀 모형을 사용하는 것이 문제가 없음을 밝혔다. 한편 이승주 외 2인(2014)의 연구에서는 청주시 교통사고 자료를 대상으로 보행자 교통사고에 가장 적합한 모형을 개발하기 위해 포아송 모형과 절단된 포아송 모형을 포함한 5가지 모형을 구축하였으며, Hadateghi et al.(2009)의 연구에서는 일반적인 포아송 회귀분석이 아닌 공간 가중 포아송 회귀분석(Geographically Weighted Poisson Regression) 모형을 제안하며 공간보정을 통해 포아송 회귀분석 모형을 교통사고 연구에 적용할 수 있음을 주장하였다.

하지만 음이항 회귀모형은 가산 자료를 분석할 수 있는 모형 중 하나로 포아송 회귀모형과 달리 분산이 평균보다 큰 과대산포 형태의 데이터에도 적용이 가능하다. 박승훈(2014)의 연구에서는 북미 워싱턴주 시애틀을 대상으로 city route-level 도로에서 발생한 보행자 교통사고 분석하기 위해 음이항 회귀분석 모형을 활용하였다. 이외에도 이승주 외 2인(2014), 박민호(2013), 한수산 외 2인(2011), Dumbaugh and Li(2010), Marshall and Garrick(2011) 등의 다양한 연구에서 교통사고 분석 모형으로 음이항 회귀모형이 사용된 것을 확인할 수 있었다.

3. 선행연구의 한계점 및 연구의 차별성

선행 연구 고찰 결과 기존의 연구는 보행자 교통사고에 관한 종합적인 분석이 아닌 신호교차로나 폭원 9m 미만 도로, 교통섬과 같은 부분적인 유형에 집중하고 있고, 자료의 규모가 작아서 일반화시

키는 데 어려움이 있었다. 또한, 선행연구 중 보행자 교통사고에 영향을 미치는 변수로 인구요인, 가로 환경 및 구조 요인, 토지이용 요인을 모두 포함하는 연구는 드문 것으로 나타났다. 몇 가지 해외 연구에서는 공간적 배경이 우리나라 도로의 실정과 는 맞지 않아 연구 결과를 우리나라의 교통 정책에 적용하는 데 어려움이 있었으며, 같은 이유로 사고 발생 요인으로 활용된 변수들 또한 우리나라에서 동일한 의미를 갖는다고 보기는 어려운 실정이다.

선행 연구의 한계를 바탕으로 한 본 연구의 차별성은 다음과 같다. 첫째, 본 연구에서는 2014년 서울시에서 발생한 교통사고 전수 자료를 활용하였다. TAAS 데이터의 경우 사고발생 시간, 날씨, 사고자 성별, 나이, 음주 여부 등 자연적, 개인적 특성을 모두 포함하고 있어 교통사고 발생에 영향을 미치는 다양한 요소들을 고려할 수 있다는 장점이 있다. 둘째, 음이항 회귀분석에 이용한 종합 자료 구축 시 서울시 도로망 전체에 분포하는 교통사고 데이터와 집계구(Census block groups) 단위 공간 데이터베이스를 ArcGIS의 공간조인(spatial join) 기법을 통해 결합하여 이용하였다. 집계구란 통계청에서 통계정보를 제공하는 최소의 통계구역 단위경계인 “기초단위구”(블럭)를 몇 개씩 묶어 약 500명 정도의 일정한 인구규모를 유지하면서 사회·경제적으로 비슷한 사람들이 모일 수 있도록 확정한 공간 단위이다 (통계청, 2008). 따라서 본 연구에서는 서울시 전체에 대한 다양한 유형의 물리적 환경을 분석 할 수 있다는 강점이 있다. 셋째, 분석 단위의 차별성을 제시할 수 있다. 기존의 서울시를 대상으로 한 연구들을 살펴보면 분석 단위를 자치구 또는 행정동으로 설정한 경우가 대부분이다. 하지만 본 연구에서는 보다 세부적인 집계구 단위를 활용하여 분석의 정밀도를 높였다.

Ⅲ. 분석의 틀

1. 분석 자료 구축

본 연구에서는 보행자 교통사고에 영향을 미치는 요인을 분석하기 위해 도로교통공단에서 제공하는 2014년 보행자 교통사고 자료를 이용하였다. 분석 단위는 그림1의 16,227개의 집계구로 설정하였다. 보행자 교통사고의 경우 물리적인 환경 이외에도 운전자와 보행자의 시계 불량을 초래하는 주간야간 여부와 기상상태 영향을 크게 받는다(이지선 외, 2012). 따라서 본 연구에서는 시민박명시간 기준 낮이고 날씨가 맑은 날에 발생한 사고만을 추출하여 이용하였다. 위의 조건을 만족하는 보행자 교통사고는 총 6,174건으로 나타났고 자세한 지점은 그림2와 같다. 추가적으로, 교통사고 피해 정도에 따라 영향을 받는 변수들을 구분하여 분석하기 위하여 2014년에 발생한 보행자 교통사고 발생횟수뿐만 아니라 중상 이상 보행자 교통사고 발생횟수, 경상 이하 보행자 교통사고 발생횟수를 종속변수로 활용하여 총 3개의 모델을 구축하였다.

독립변수의 경우 인구요인, 가로환경 요인, 가로구조 요인, 용도지역 요인, 토지이용 요인 크게 다섯 가지로 구분하여 구축하였다. 용도지역 요인과 토지이용 요인을 따로 포함시킨 이유는 법적으로 지정한 용도와 실제 이용되는 토지이용이 다를 수 있다고 판단하였음에 기인한다. 본 연구에 이용된 모든 변수의 정의 및 자료 출처는 표1과 같다.

먼저 인구요인으로는 통계청 통계지리정보시스템(SGIS)에서 제공하는 2010년 기준 인구, 노령화 지수를 사용하였다. 본 연구에서는 분석 단위를 서울시 집계구로 설정하였기 때문에 단순히 인구가 많아 보행자 교통사고 발생빈도가 높아지는 경우가 발생한다. 인구 변수는 이러한 경우를 제어해 주기 위한 제어 변수의 역할을 한다고 볼 수 있다. 한편 노령화 지수의 경우 노령화가 급속하게 이루어지고 있는 우리나라의 현대 사회를 대변할 수 있는 중요한 지표이다. 노령화 지수는 15세 미만의 인구에 대한 65세 이상 인구의 비율로 노령화 지수가 높으면 높을수록 그 사회의 노령인구가 많다는 것을 의미한다. 따라서 집계구별 노령화 지수를 인구 요인 변수로 이용하였다.

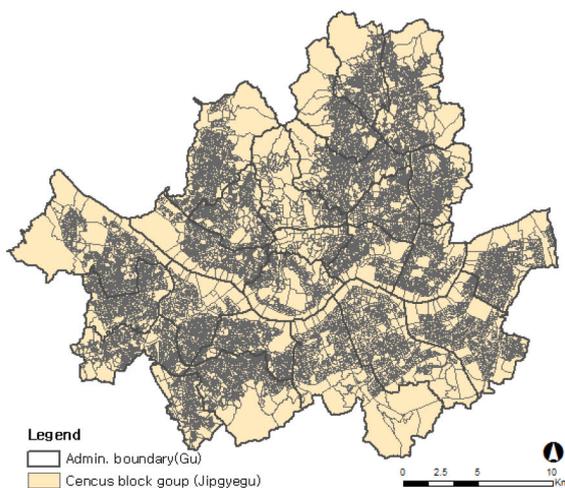


그림 1. 서울특별시 16,227개 집계구
Figure 1. 16,227 Jipgyegu of Seoul

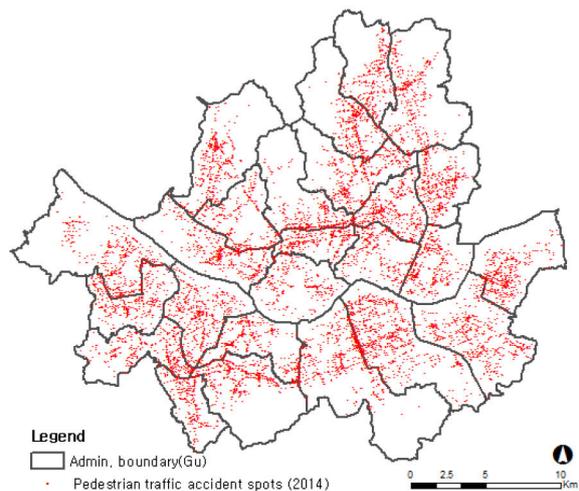


그림 2. 보행자 교통사고 발생지점(2014)
Figure 2. pedestrian traffic accident spots (2014)

표 1. 최종 선정 변수 정의 및 자료 출처
Table 1. Definitions of final selected variable and data sources

Class	Variable	Definition	Data sources
Depend. variable	No. of total pedestrian accidents	No. of total pedestrian accidents occurred in Seoul, 2014	Road Traffic Authority 'Traffic Accident Analysis System' (TAAS)
	No. of pedestrian accidents above serious injury	No. of pedestrian accidents above serious injury occurred in Seoul, 2014	
	No. of pedestrian accidents below slight injury	No. of pedestrian accidents below slight injury occurred in Seoul, 2014	
Pop. factor	Population	Population of Jipgyegu (person)	National Statistics Office, 'Statistic Geographic Information System'(SGIS)
	Aging index	Ratio of the population over age 65 to the pop. under age 15 according to Jipgyegu (%)	
Road environ. factor	No. of lanes	Average no. of lanes of Jipgyegu (unit)	The Korea Transport Institute 'transportation digital map'
	Car speed limit	Average car speed limit of Jipgyegu (km/h)	
	Crosswalk density	No. of crosswalks in the Jipgyegu / Jipgyegu area (unit/km ²)	Seoul open data plaza
	Speed bump density	No. of speed bumps in the Jipgyegu / Jipgyegu area (unit/km ²)	
	Subway entrance density	No. of subway entrance in the Jipgyegu / Jipgyegu area (unit/km ²)	
	Median exclusive bus lane station density	No. of median exclusive bus lane stations in the Jipgyegu / Jipgyegu area (unit/km ²)	
	School zone density	No. of school zone in the Jipgyegu / Jipgyegu area (unit/km ²)	
Senior zone density	No. of senior zones in the Jipgyegu / Jipgyegu area (unit/km ²)		
Road structure factor	Dead-end road density	No. of dead-end roads in the Jipgyegu / Jipgyegu area (unit/km ²)	The Korea Transport Institute 'transportation digital map'
	Three-way intersection density	No. of three-way intersections in the Jipgyegu / Jipgyegu area (unit/km ²)	
	Four-way intersection density	No. of four-way intersections in the Jipgyegu / Jipgyegu area (unit/km ²)	
	Above five-way intersection density	No. of above five-way intersections in the Jipgyegu / Jipgyegu area (unit/km ²)	
Zoning factor	Residential area ratio	Residential zone area in the Jipgyegu / Jipgyegu area	Urban Planning Information System (UPIS)
	Commercial area ratio	Commercial zone area in the Jipgyegu / Jipgyegu area	
Landuse factor	Building density	Sum of building's total floor area in the Jipgyegu / Jipgyegu area	Property tax ledger
	Residential build. den.	Sum of residential building's total floor area in the Jipgyegu / Jipgyegu area	
	Commercial building density	Sum of commercial building's total floor area in the Jipgyegu / Jipgyegu area	
	Official building den.	Sum of official building's total floor area in the Jipgyegu / Jipgyegu area	
	Land use mix	Entropy index of res:com:off uses	

둘째, 가로환경 요인으로는 차선수, 자동차제한속도, 횡단보도 밀도, 과속방지턱 밀도, 지하철입구 밀도, 중앙버스전용차선 정류장 밀도, 어린이보호구역 밀도, 노인보호구역 밀도를 포함시켰다. 차선수와 자동차 제한 속도는 교통량을 대변할 수 있을 뿐만 아니라 보행자 안전에 영향을 미칠 것이라 판단하였다. 차선수가 많은 곳에서는 보행자가 횡단할 때 차량에 노출되는 시간이 상대적으로 길어지고, 제한속도가 높은 곳에서는 차량이 빠른 속도로 이동하므로 사고가 발생하였을 경우 부상정도가 심해질 수 있기 때문이다. 한국 교통연구원(2010)에서 제공하는 도로망 자료에는 각 도로 segment별 차로수와 자동차 제한속도 정보가 포함되어 있었고 이를 통해 각 서울시 집계구별 평균 차로수 값과 제한속도 값을 도출하여 분석 자료로 구축하였다.

횡단보도와 과속방지턱과 같은 도로 시설물의 경우에는 일부 기존 연구에서 활용되긴 하였지만 그 결과가 연구 내용에 따라 달라 변수 구축 과정 및 해석에 유의해야 하는 변수라고 할 수 있다. 본 연구에서는 서울시 도시교통본부 교통운영과에서 제공하는 자료(2014)를 활용하였다. 먼저 횡단보도 및 과속방지턱 shape file 자료를 각각 점자료로 전환시켜준 뒤 집계구별 개수를 정리하였다. 이와 같은 과정을 통해 정리된 집계구별 횡단보도와 과속방지턱 개수를 집계구 면적으로 나누어 집계구별 비교가 가능하도록 표준화 시켜주었다.

한편 지하철 입구 밀도는 유동인구를 대변할 수 있다고 판단하여 독립변수로 활용하였다. 통상적으로 지하철 입구가 많은 곳은 유동인구가 많다고 볼 수 있기 때문이다. 지하철 입구 밀도 또한 지하철 입구 개수를 집계구별로 계산한 뒤 집계구 면적으로 나눠주는 방법을 이용하였다.

중앙버스전용차선 정류장 밀도와 보행자 교통사고와의 관계는 기존에 연구가 부족했던 부분 중 하나로 보행자 교통사고에 영향을 미치는 변수로 판

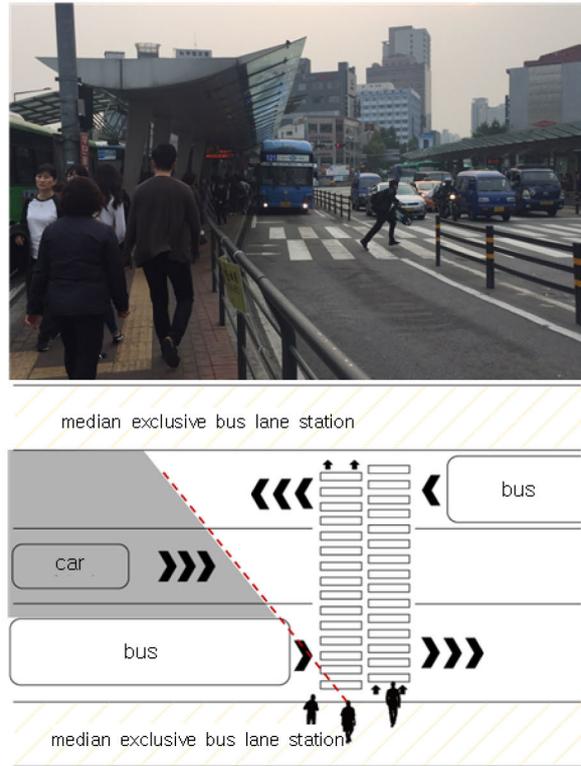


그림 3. 중앙버스전용차선 정류장에서 버스 환승을 위한 무단횡단 및 보행자 시야가림
Figure 3. Jaywalking for bus transfer and the obstruction of pedestrian's view at the median exclusive bus lane station

단하였다. 중앙버스전용차선이 대중교통 서비스율을 증진시켜 현재 긍정적으로 평가받고 있지만 실제 이용 시에는 그림3과 같이 빠른 버스 환승을 위해 무단횡단을 유발하고, 중앙의 차선에 정차한 버스가 보행자의 시야를 가리는 등 다양한 측면에서 보행자의 안전에 부정적인 영향을 미칠 수 있다. 따라서 본 연구에서는 중앙버스 정류장 ID 정보를 구독한 후 각종 포털사이트(네이버, 다음 등)에서 제공하는 지도 서비스를 활용하여 정류장 ID를 주소 정보로 변환해 주었다. 그 다음 주소 자료를 활용하여 지오코딩을 해주어 직접 shape file로 구축하였다. 이와 같은 과정을 통해 구축한 중앙버스전용차선 정류장 shape file에 서울시 집계구를 공간조인

(spatial join) 해주어 집계구별 정류장 개수를 파악하였고 각각을 집계구 면적으로 나누어 표준화시켜 주었다.

마지막으로 교통약자에 포함되는 어린이와 노인을 교통사고의 위험으로부터 보호하기 위하여 지정된 어린이보호구역과 노인보호구역의 경우, 보행자 교통사고 발생에 음의 영향을 미칠 것이라고 보고 분석 변수로 포함시켰다. 어린이보호구역이나 노인보호구역에서는 차의 통행 속도를 제한할 수 있으므로 지정되어있지 않은 도로에 비해 상대적으로 보행 안전을 우선시하는 공간이라고 볼 수 있다.

셋째, 가로구조 요인으로는 막다른 골목 밀도, 삼거리 밀도, 사거리 밀도, 오거리 이상 밀도를 이용하였다. 이는 한국 교통연구원(2014)에서 제공하는 도로망 shape file을 기준으로 각 결절점이 몇 개의 차선과 연결되어 있는지를 확인하여 자료를 구축하였다. 이를 바탕으로 집계구별 삼거리 개수, 사거리 개수를 파악하였고 오거리 이상의 교차로는 비정형교차로로써 한 그룹으로 묶어 집계구별 오거리 이상의 개수를 정리하였다. 마찬가지로 한국 교통연구원(2014)자료를 바탕으로 집계구별 막다른 골목의 개수를 파악하였다. 이와 같이 개수로 파악한 모든 변수를 집계구 면적으로 나눠주어 집계구별 비교가 가능하도록 하였다.

넷째, 용도지역 요인으로는 서울시 정보기획단에서 제공하는 2010년 용도지역 자료를 바탕으로 전체 집계구 면적 대비 주거지역, 상업지역, 공업지역 면적의 비율을 계산하여 구축하였다. 용도지역의 경우 관련 선행연구 변수 검토 결과 교통사고 발생에 매우 유의하게 도출되는 변수 중 하나였고 주거, 상업, 공업 지역의 차량 통행 특성이 각각 다를 수 있다고 판단하여 분석 변수에 포함시켰다.

마지막으로 토지이용 요인으로는 전체 건물 밀도, 주거용 건물 밀도, 상업용 건물 밀도, 업무용

건물 밀도, 토지이용 혼합도를 활용하였다. 토지이용 요인으로 사용한 변수는 모두 2013년 기준 과세대장 자료를 활용하였다. 전체 건물 밀도의 경우 과세대장 자료에서 제공하는 모든 용도의 건물 연면적을 합산하고 전체 집계구 면적으로 나누어 구축하였다. 주거용, 상업용, 업무용 건물 밀도도 이와 같이 각 용도에 따른 건물 연면적의 합을 집계구 면적으로 나눠주는 방법을 활용하였다. 용도지역을 통해 구축한 자료에서는 법적으로 지정된 용도를 기준으로 살펴볼 수 있다는 장점이 있지만 평면적인 부분만을 고려한다는 한계가 있다. 하지만 토지이용 요인의 변수들은 연면적 자료를 활용하여 입체적인 부분을 고려 가능하며 실제로 이용되고 있는 정보를 확인할 수 있다는 장점이 있다. 토지이용 혼합도는 위에서 구축한 주거, 상업, 업무용 건물 연면적 자료를 바탕으로 엔트로피 지수를 계산하여 구축하였다. 본 연구에서는 엔트로피 지수를 계산하는 방법으로 Frank and Pivo(1994)의 연구에서 사용한 계산식⁵⁾을 활용하였다. 본 연구에서 엔트로피 지수는 1에 가까울수록 주거, 상업, 업무의 토지이용 복합도가 높은 것을 의미하며, 0에 가까울수록 토지이용 복합도가 낮은 것을 의미한다.

2. 최종 변수 선정

본 연구에서는 전체 보행자 교통사고 발생 건수 뿐만 아니라 부상 정도에 따른 사고 발생의 차이 또한 확인하고자 하였다. 따라서 자료 구축 과정에서 집계구별 전체 보행자 교통사고, 사망, 중상, 경상, 부상신고 보행자 교통사고 건수를 각각 집계하였다. 하지만 집계구별 자료를 살펴본 결과 사망 사고와 부상신고 사고의 경우 2014년 동안 매우 드물게 발생하여 독립적인 모델로 구분하여 분석하는데 한계가 있었다. 따라서 본 연구에서는 부상의

정도를 크게 두 가지로 분류하여 중상 이상의 보행자 교통사고 건수, 경상 이하의 보행자 교통사고 건수 자료로 재구축하였다. 그러므로 최종적으로는 표 1에 정리된 것과 같이 전체 보행자 교통사고 발생 건수, 중상 이상의 보행자 교통사고 발생 건수(사망, 중상 교통사고 포함), 경상 이하의 보행자 교통사고 발생 건수(경상, 부상신고 교통사고 포함) 세 가지 변수를 종속변수로 선정하였다.

또한, 본 연구에서는 교통사고에 영향을 미칠 수 있는 가로환경 및 토지이용 변수를 구축 하였다. 변수 구축 과정에서 본 연구에 사용된 설명변수 이외에도 집계구별 육교 개수, 경사도, 자전거 도로 segment개수 등 다양한 자료를 구축하였지만 이 변수들을 보행자 교통사고 건수와 각각 상관분석을 실시한 결과 상관계수가 0에 가까운 값이 도출되어 최종분석 모형에서 제외하였다. 그리고 토지이용 용도지역의 경우 주거지역, 상업지역, 공업지역 비율 변수를 모두 분석 변수로 활용하면 다중공선성이 높게 나오는 문제가 발생하여 공업지역 비율을 제외하고 주거지역과 상업지역 비율 변수를 최종모형에 포함하였다.

3. 연구 방법론

본 연구에서 분석한 보행자 교통사고의 경우에는 사고가 발생 했느냐 하지 않았느냐의 1 또는 0값으로 도출된다. 이는 이항 분포의 특징과 유사하지만 이항 분포는 사건이 발생 했는지(1) 하지 않았는지(0)의 확률이 거의 같게 나타나는 경우를 말한다. 하지만 교통사고는 주어진 시간이나 공간적 범위에서 사고가 발생할 확률이 매우 희박하다는 특징을 가지므로 이산확률 분포 중 포아송 분포 자료에 해당된다고 볼 수 있다.

이와 같은 포아송 분포 자료를 분석하는 방법으로는 주로 포아송 회귀모형과 음이항 회귀모형이 이용된다. 하지만 포아송 회귀모형의 경우에는 평균값과 분산값이 같다는 가정을 기반으로 하여 이 값이 서로 다른 경우에는 분석에 한계를 가진다. 실제 본 연구에서 사용한 전체 보행자 교통사고, 중상이상 보행자 교통사고, 경상이하 보행자 교통사고의 분포도를 확인해 본 결과 그림4와 같이 0값이 상당히 많이 도출되는 것을 확인할 수 있다. 또한, 과분산 계수(α)를 확인한 결과 모두 과분산 된 데

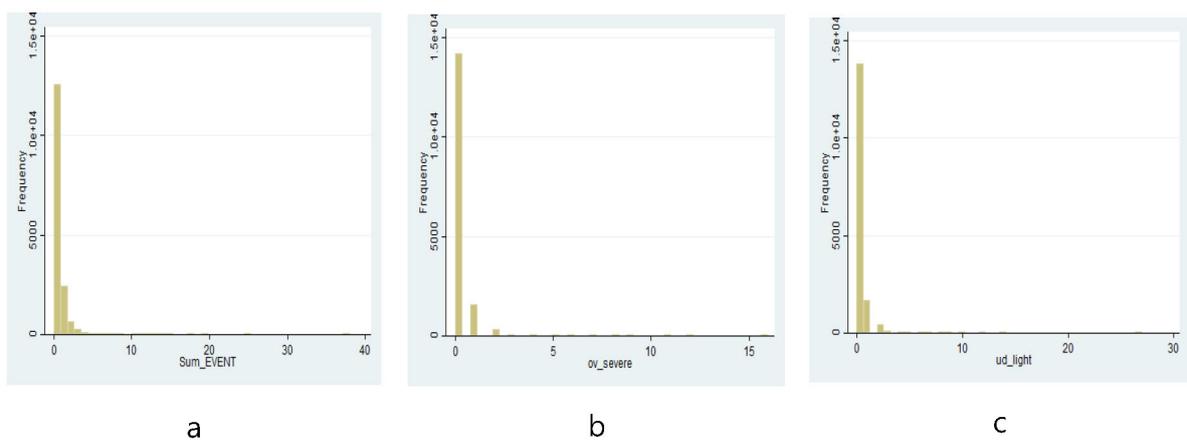


그림 4. 보행자 교통사고 자료 분포 (a=전체, b=중상이상, c=경상이하)
 Figure 4. Data distribution of pedestrian accidents
 (a=total, b=above serious injury, c=below slight injury)

표 2. 기초 통계 분석 및 다중공선성 검증
Table 2. Descriptive analysis and multicollinearity diagnosis

구분 Classification	변수 Variable	평균 Mean	표준편차 Std. Dev.	최솟값 Minimum	최댓값 Maximum	VIF	
종속변수 Dependent variable	전체 보행자 교통사고 발생건수 No. of total pedestrian accidents	0.38	1.03	0.00	38.00	·	
	중상 이상 보행자 교통사고 발생건수 No. of ped. accident above serious injury	0.18	0.57	0.00	16.00	·	
	경상 이하 보행자 교통사고 발생건수 No. of ped. accidents below slight injury	0.23	0.72	0.00	27.00	·	
독립 변수 Ind. var.	인구요인 Pop. factor	인구 Population	586.20	211.69	0.00	4125.00	1.06
		노령화지수 Aging index	84.16	84.15	0.00	3675.00	1.06
	가로환경 요인 Road environ. factor	차선수 No. of lanes	2.04	2.04	0.00	13.00	4.71
		자동차 제한속도 Car speed limit	26.41	22.90	0.00	80.00	4.76
		횡단보도 밀도 Crosswalk density	75.35	112.29	0.00	1794.43	1.29
		과속방지턱 밀도 Speed bump density	48.21	103.86	0.00	2056.35	1.07
		지하철역 입구 밀도 Subway entrance density	0.61	6.82	0.00	248.39	1.02
		중앙버스전용차선정류장 밀도 Median exclusive bus lane station den.	0.47	5.72	0.00	395.98	1.03
		어린이보호구역 밀도 School zone density	12.35	46.20	0.00	1143.37	1.15
	노인보호구역 밀도 Senior zone density	0.19	3.88	0.00	210.59	1.00	
	가로구조 요인 Road structure factor	막다른 골목 밀도 Dead-end road density	1.96	14.97	0.00	560.44	1.01
		삼거리 밀도 Three-way intersection density	10.78	35.51	0.00	1054.52	1.13
		사거리 밀도 Four-way intersection density	3.70	17.02	0.00	404.07	1.06
		오거리 이상 밀도 Above five-way intersection density	0.16	2.96	0.00	179.17	1.01
	용도 지역 요인 Zoning factor	주거지역 비율 Residential area ratio	0.92	0.24	0.00	1.00	1.38
		상업지역 비율 Commercial area ratio	0.03	0.13	0.00	1.00	1.52
	토지이용 요인 Land-use factor	건물 밀도 Building density	1.26	6.20	0.00	655.62	1.40
		주거용 건물 밀도 Residential building density	1.08	3.42	0.00	201.71	1.25
		상업용 건물 밀도 Commercial building density	0.18	5.15	0.00	655.16	1.00
		업무용 건물 밀도 Office building density	0.00	0.00	0.00	0.11	1.02
토지이용혼합도 Land use mix		0.23	0.23	0.00	0.86	1.23	

이터로 나타났다. 이와 같은 경우에는 음이항 회귀 분석 모형을 이용하여 분석하는 것이 합당하므로 본 연구에서는 음이항 회귀분석 모형을 최종 통계 모형으로 활용하였다.

IV. 실증 분석

1. 모형의 진단 및 다중공선성 검증

본 연구에 사용된 음이항 회귀모형의 경우 포아송 회귀모형에 오차항(ϵ_i)을 추가하여 보행자 교통사고 건수의 특성이라 할 수 있는 평균보다 분산이 큰 데이터의 분석이 가능하다. 하지만 분석에 앞서, 본 연구에서 활용한 보행자 교통사고 자료가 음이항 회귀모형을 사용하기 위한 조건을 만족하는지 검증하는 과정이 필요한데, 이는 과분산 계수(α)를 통해 확인할 수 있다. 만약 과분산 계수(α)가 0으로 나온다면 평균과 분산값이 같다는 것을 의미하므로 포아송 회귀모형을 사용하는 것이 합당하다. 반대로 과분산 계수(α)가 0이 아닌 값이 도출되면 음이항 회귀모형이 분석 모형으로 보다 적합함을 증명할 수 있는 것이다.

본 연구의 최종 분석을 통해 도출된 세 개의 모형에서 과분산 계수(α)는 각각 0.932(전체 보행자 교통사고 모형), 1.190(중상 이상 보행자 교통사고 모형), 1.312(경상 이하 보행자 교통사고 모형)로 0보다 크게 도출되었다. 과분산 계수가 유의한 값인지는 우도비 검정 결과를 통해 진단하였고 $Prob > \chi^2$ 값이 세 가지 모형 모두 0.000으로 도출되어 각 과분산 계수가 모두 유의하게 0값이 아님을 증명하였다. 따라서 본 연구에서 도출한 세 가지 모형 모두 분석 모형으로 음이항 회귀 모형을 사용하는 것이 적합하다고 말할 수 있다.

또한, 본 연구에서는 독립변수들의 VIF(Variance

Inflation Factor)값을 확인함으로써 다중공선성 문제를 진단하였다. 통상적으로 VIF값이 10 이상이 나오는 경우 다중공선성의 문제가 발생하였다고 보는데, 본 연구의 최종 분석에 활용된 독립변수들의 VIF값은 표2와 같이 모두 5이하로 도출되어 다중공선성 문제는 없는 것으로 나타났다.

2. 기초 통계 분석

본 연구에서는 종속변수로 전체 보행자 교통사고 발생 건수, 중상 이상 보행자 교통사고 발생 건수, 경상 이하 보행자 교통사고 발생 건수를 구축하여 이용하였다. 모든 변수는 집계구 단위로 구축하였으므로 관측치는 각각 16,227개로 도출되었다. 모든 변수의 기초 통계 분석 결과는 표2와 같다.

독립변수의 경우 인구 요인 및 물리적 환경 요인을 활용하였다. 물리적 환경 요인은 가로환경, 가로구조, 용도지역, 토지이용 요인으로 세분하였고 이에 포함되는 모든 변수들 또한 집계구별로 구축하여 사용하였다.

3. 음이항 회귀 분석

앞선 기초통계분석에 이어 최종 실증분석 단계에서는 음이항 회귀분석 모형을 구축하였다. 보행자 교통사고에 영향을 미치는 물리적 환경 요인 분석 내용은 표 3과 같이 정리할 수 있다.

먼저 인구요인에서는 노령화 지수가 주목할 만한 보행자 교통사고 영향 요인으로 도출되었다. 노령화 지수의 경우 전체 보행자 교통사고, 중상 이상의 보행자 교통사고, 경상 이하의 보행자 교통사고 세 가지 모형에서 모두 유의한 양의 영향을 미치는 것으로 나타났는데 이는 노령화 지수가 보행자 교통사고와 아주 밀접한 관련이 있다는 것을 보여준다. 노령화 지수란 15세 미만 인구 대비 65세 이상의

표 3. 음이항 회귀분석 결과
Table 3. Results of negative binomial regression analysis

독립변수 Independent variable		전체 보행자 교통사고 Total pedestrian accidents		중상 이상 Pedestrian accidents above serious injury		경상 이하 Pedestrian accidents below slight injury	
		coef.	z	coef.	z	coef.	z
인구 요인 Pop. factor	인구 Population	0.001***	11.43	0.001***	7.31	0.001***	9.89
	노령화지수 Aging index	0.002***	9.26	0.002***	7.21	0.001***	6.91
가로 환경 요인 Road environ. factor	차선수 No. of lanes	0.067***	4.43	0.068***	3.40	0.057***	3.01
	자동차 제한속도 Car speed limit	0.010***	6.34	0.012***	5.65	0.009***	4.53
	횡단보도 밀도 Crosswalk density	0.001***	8.45	0.001***	6.02	0.001***	6.31
	과속방지턱 밀도 Speed bump density	-0.000	-1.55	-0.001**	-1.99	-0.000	-0.64
	지하철역 입구 밀도 Subway entrance density	0.004*	1.87	0.004	1.60	0.002	1.04
	중앙버스전용차선정류장 밀도 Median exclusive bus stat. den.	0.008***	3.44	0.009***	3.19	0.007***	2.63
	어린이보호구역 밀도 School zone density	-0.002***	-3.29	-0.002**	-2.54	-0.001**	-2.12
	노인보호구역 밀도 Senior zone density	-0.005	-0.85	-0.007	-0.90	0.001	0.14
가로 구조 요인 Road struct. factor	막다른 골목 밀도 Dead-end road density	-0.003*	-1.79	-0.004	-1.62	-0.002	-1.15
	삼거리 밀도 Three-way intersection density	0.001***	3.11	0.002**	2.52	0.001**	2.03
	사거리 밀도 Four-way intersection density	0.003***	3.51	0.004***	3.06	0.002**	2.14
	오거리 이상 밀도 Above five-way intersection density	0.001	0.10	0.003	0.46	-0.003	-0.42
용도 지역 요인 Zoning factor	주거지역 비율 Residential area ratio	-0.139*	-1.73	-0.201*	-1.89	-0.033	-0.31
	상업지역 비율 Commercial area ratio	1.088***	9.04	0.906***	5.76	1.221***	8.03
토지 이용 요인 Landuse factor	건물 밀도 Building density	0.039***	7.64	0.034***	5.19	0.048***	7.43
	주거용 건물 밀도 Residential building density	-0.308***	-11.33	-0.287***	-7.83	-0.405***	-10.53
	상업용 건물 밀도 Commercial building density	0.001	0.29	0.000	0.11	0.001	0.35
	업무용 건물 밀도 Office building density	6.121	1.38	3.558	0.62	7.744	1.40
	토지이용혼합도 Land use mix	2.100***	27.73	2.008***	19.57	2.159***	22.45
cons		-2.927***	-29.40	-3.561***	-26.61	-3.527***	-27.45
No. of observation		16,227		16,227		16,227	
alpha(α)		0.932		1.190		1.312	
chibar2		3707.51***		2064.76***		2453.59***	
Log likelihood		-10921.62		-6805.30		-7920.16	
AIC		21889.25		13656.60		15886.32	
BIC		22066.22		13833.57		16063.29	

* p<0.1, ** p<0.05, *** p<0.01

인구 비율로 그 값이 높으면 높을수록 노령화 된 사회임을 의미한다. 우리나라는 2000년에 이미 고령화 사회로 진입하였고 현재 급속한 노령화가 진행되고 있다. 따라서 위의 결과는 향후 보행자 교통사고 발생 건수가 지속적으로 증가할 것임을 시사한다. 그러므로 우리나라는 고령사회에 대비하여 보행자 교통사고에 관한 심도 깊은 연구가 시급한 실정이라 할 수 있다.

가로환경 요인으로는 노인보호구역밀도를 제외한 모든 변수가 적어도 한 가지 모형에서는 유의한 것으로 나타났다. 차선 수의 경우 세 가지 모형에서 유의한 양(+의 영향을 미치는 것으로 나타났는데, 실제 차선 수가 많은 도로에서는 차선 횡단 시 보행자가 자동차에 노출되는 시간이 길어지고 차선 수가 많은 곳은 교통량이 많을 확률이 높기 때문이다. 따라서 부상 수준에 관계없이 모든 보행자 교통사고에 양(+의 영향을 미쳤다고 볼 수 있다.

비슷한 관점으로 자동차 제한속도에 대한 결과를 해석할 수 있는데, 자동차 제한 속도가 높은 도로 일 경우 자동차의 주행 속도가 상대적으로 빠를 확률이 높다. 그렇다면 보행자의 안전에는 부정적인 영향을 미칠 수밖에 없고 이는 보행자 교통사고 발생으로 이어질 가능성이 농후하다. 따라서 자동차 제한속도 또한 세 가지 모형에서 모두 유의한 양(+의 영향을 미치는 요인으로 도출되었다고 볼 수 있다.

횡단보도 밀도는 보행자 교통사고에 상당히 유의미한 양(+의 영향력을 보이는 것으로 나타났다. 이는 횡단보도가 보행자의 편의를 위한 보조 수단일 뿐 보행자의 안전성을 높여주는 시설물은 아니라는 기존의 연구 내용과 일맥상통하는 결과이다(박승훈, 2014). 그러나 횡단보도의 경우 보행 친화적인 도시환경 조성에 있어 매우 중요한 요소이다. 따라서 횡단보도를 배제하는 것 보다는 보행자의 안전을 고려한 횡단보도를 설치하는 것이 필요하다고 볼

수 있다. 이를 위해 차량의 속도를 줄일 수 있는 과속 방지턱, 횡단보도 주변의 보행자 보호 펜스 등과 같은 보행자 안전 시설물 설치를 동반하여 보행자 교통사고를 예방할 수 있는 방안을 모색하는 것이 필요하다. 또한, 횡단보도 교통사고는 보행자의 부주나 무모한 보행통행이 원인이 될 수도 있기 때문에 안전보행에 대한 시민의식 함양을 높일 수 있는 방안이 필요하다.

다음으로 과속방지턱의 경우에는 세 가지 모형에서 음(-)의 상관관계를 보였지만 중상 이상의 보행자 교통사고 모형에서만 유의한 것으로 나타났다. 과속방지턱은 자동차의 주행 속도와 연관지어 설명할 수 있다. 실제 과속방지턱이 많이 설치되어 있는 도로에서는 운전자가 속력을 내기는 쉽지 않다. 따라서 평균적인 자동차 주행 속도가 줄어들었을 것이고 이런 경우라면 보행자 교통사고가 나타나도 부상 수준이 심각한 사망 및 중상의 교통사고 발생 확률은 줄어들게 되는 것이다. 그러므로 보행자의 안전을 우선시 하는 도로에서는 운전자의 불편을 감수하더라도 과속방지턱을 추가적으로 설치한다면 치명적인 부상 수준의 보행자 교통사고를 줄이는데 효과가 있을 것이라 예측할 수 있다.

한편 지하철입구 밀도의 경우 전체 보행자 교통사고 모형에서만 유의한 양의 영향을 미치는 변수로 나타났다. 지하철입구 밀도는 보행자 교통사고 발생에 중요한 요인이라 볼 수 있는 유동인구를 대변하기 위해 분석 변수에 포함시켰다. 지하철입구의 밀도가 높은 지역인 곳은 유동인구가 많을 확률이 높기 때문이다. 본 연구에서는 기존의 선행 연구 결과와 같이 유동인구가 많을수록 보행자가 차량에 노출되는 시간이 길어져 보행자 교통사고가 자주 발생할 것이라고 예상하였고 분석 결과를 통해 미약하지만 유의한 양(+의 영향력을 미치는 것을 실증하였다.

중앙버스전용차선 정류장 밀도는 전체 보행자 교

통사고, 중상 이상 보행자 교통사고, 경상 이하 보행자 교통사고 세 가지 모형에서 모두 99% 수준의 유의한 양(+)의 상관관계를 보이는 것으로 나타났다. 실제 그림5와 같이 중앙버스전용차선 정류장 반경 100m 이내를 확인해 보았을 때 다른 곳에 비해 보행자 교통사고 지점이 밀집되어 있는 것을 확인할 수 있었다. 이는 중앙버스전용차선이 대중교통 이용을 편리하게는 하였지만 보행 안전에 있어서는 부정적인 요소임을 증명하는 결과라 할 수 있다.

마지막으로 어린이 보호구역과 노인 보호구역은 모두 교통 약자의 안전을 우선시하여 자동차 주행 속도를 제한할 수 있는 구역이므로 보행자 교통사고에 음(-)의 영향력을 보일 것이라 예측하였다. 하지만 실증 분석 결과 어린이 보호구역 밀도는 세 가지 모형에서 모두 유의한 음(-)의 영향력을 보인 반면, 노인 보호구역 밀도의 경우에는 세 가지 모형에서 모두 유의하지 않은 것으로 나타났다. 이와 같이 두 가지가 상이한 결과가 나온 이유는 제도의 정착 여부를 바탕으로 설명할 수 있다. 어린이보호구역의 경우 1995년 도로교통법에 의해 도입된 이후 약 20년 정도 지속적으로 시행되었으며 운전자들에게 ‘속도를 줄이고 조심히 운행해야하는 곳’이

라는 인식이 정착되었다고 할 수 있다. 하지만 노인보호구역의 경우 2008년도에 처음 도입되어 시행 중에 있지만 여전히 운전자들이 잘 모르고 있는 실정이다. 따라서 세 가지 모형에서 모두 유의하지 않게 도출되었다고 볼 수 있으며 이는 노인보호구역 제도 정착을 위한 적극적인 홍보가 필요함을 시사한다.

가로구조 요인으로는 삼거리 밀도, 사거리 밀도가 세 가지 모형에서 모두 유의한 양(+)의 영향을 미치는 변수로 나타난 반면 막다른 골목 밀도는 전체 보행자 교통사고 모형에서만 유의한 음(-)의 영향력이 있는 것으로 나타났다. 이는 우리가 일상생활에서 자주 접하는 교차로가 보행자의 안전에 있어서 취약지임을 보여준다. 비록 비정형 교차로라 할 수 있는 오거리 이상의 교차로는 보행자 교통사고에 유의하지 않은 변수로 도출되었지만 이는 특수한 경우로 일반적인 교차로에 해당된다고 보기 어렵다. 특히 중상 이상 보행자 교통사고 모형을 살펴보면 교차로 중에서도 사거리가 삼거리보다 더 유의한 영향력을 미침을 확인할 수 있다. 성현곤·모창환(2014)의 연구에서도 교차로 중 4지 교차로의 비율이 높은 경우, 도시와 시골에 관계없이 교통사고 사망위험이 증가한다고 밝힌바 있다. 이는 사거리의 경우 삼거리에 비해 차선의 연결성이 좋아 차량의 과속으로 이어질 확률이 높기 때문이라고 해석할 수 있다.

반면 막다른 골목 밀도의 경우 전체 보행자 교통사고의 모형에서만 유의한 음(-)의 영향을 미치는 것으로 나타났다. 막다른 골목은 도로의 연결이 끊기는 곳으로 교통량이 작고 주행 속도가 낮을 확률이 매우 높기 때문에 이와 같은 결과가 나왔다고 볼 수 있다. 다만 중상 이상 보행자 교통사고나 경상 이하 보행자 교통사고 모형에서는 유의하지 않게 도출되었는데, 이는 막다른 골목이 보행자 교통사고에 있어 전체적으로 음(-)의 영향을 미치긴 하

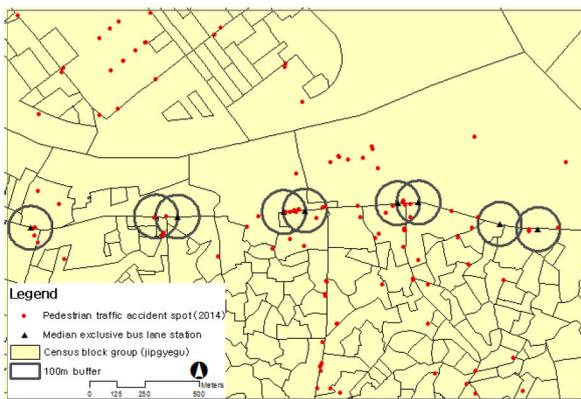


그림 5. 중앙버스전용차선 정류장 반경 100m 버퍼와 보행자 교통사고 지점
Figure 5. 100m buffer of median exclusive bus lane station and pedestrian traffic accident spots

지만 영향력이 큰 요인은 아니라고 해석 가능하다.

용도지역 요인으로 주거지역의 비율은 전체와 중상 이상 보행자 교통사고 모형에서 유의한 음(-)의 영향력 미치는 반면 상업지역의 비율은 세 가지 모형 모두에서 유의한 양(+)의 영향력을 보이는 것으로 나타났다. 주거지역 비율이 높은 곳은 집계구 내 아파트, 단독주택, 다세대 주택 등의 주거용도 건물이 즐비한 곳을 말한다. 이와 같은 공간은 대부분 상업지역 비율이 높은 곳에 비해 차량 주행속도가 느리므로 중상 이상의 보행자 교통사고가 발생하기는 어렵다고 볼 수 있다. 하지만 본 연구 결과를 바탕으로 주거지역이 보행자 교통사고로부터 안전하다고 판단하는 것은 금물이다. 본 연구에서 분석에 활용한 TAAS 데이터의 경우 도로교통법 제 2조 규정을 통해 지정된 도로(도로법 상의 도로, 유료도로법 상의 유료도로 등)에서 발생한 교통사고만을 포함한다고 밝히바 있다. 이는 주거지역내에서 자주 발생하는 주차장 내 보행자 교통사고나 아파트 단지 도로에서 발생한 보행자 교통사고의 경우 분석 자료로 포함되지 않았음을 의미한다. 따라서 주거지역의 경우 주거지역 특성에 맞는 교통사고 자료를 바탕으로 새로운 모형을 구축할 필요가 있다고 본다.

한편 상업지역의 비율이 높은 집계구의 경우 상업, 업무의 기능을 위해 고밀도로 개발되어 유동인구가 많고 이에 따라 보행자가 차량에 노출되는 시간이 상대적으로 많아져 모든 보행자 교통사고 모형에서 양(+)의 영향을 미쳤다고 볼 수 있다. 이는 설득력 있는 결과라고 생각되며 용도지역상 상업지역인 지역에 대한 추가적인 보행 안전 정책이 필요하다고 판단된다.

토지이용요인의 경우 총 건물 밀도와 주거용 건물밀도, 토지이용 혼합도가 유의한 변수로 도출되었다. 총 건물 밀도는 과세대장 자료를 활용하였으므로 집계구 총 면적 대비 집계구 내 과세 대상인 건

물 연면적의 합을 의미한다. 한편 토지이용 혼합도는 주거용, 상업용, 업무용 건물 밀도를 이용하여 도출한 엔트로피 지수로 세 가지 토지이용이 잘 혼합되어 있는지를 나타낸다. 건물 밀도와 토지이용 혼합은 대중교통 중심 계획, 녹지 공간 확충과 더불어 뉴어바니즘에서 중요한 계획 원리로 여기는 요소이다. 뿐만 아니라 스마트 성장, 압축개발, TOD 등 보행자의 편의를 우선시 하는 도시계획 이론에서도 강조하는 개념에 포함된다. 하지만 본 연구에서는 건물 밀도와 토지이용 혼합 모두 보행자 교통사고와 양(+)의 영향관계가 있는 것으로 나타났다. 이는 높은 건물 밀도와 토지이용 혼합이 보행을 유발하고 보행자의 편의를 증진시킬 순 있지만, 보행 안전에 있어서는 부정적인 영향을 미칠 수 있음을 의미한다.

V. 결 론

1. 연구의 종합

본 연구에서는 보행자 교통사고 발생에 영향을 미치는 요인을 밝히고자 2014년 서울특별시에 발생한 교통사고 자료를 이용하여 보행자 교통사고에 영향을 미치는 가로환경 및 토지이용 요인을 분석한 음이항 회귀분석 모형을 도출하였다.

연구 결과를 바탕으로 이끌어낸 정책적 시사점은 다음과 같이 크게 일곱 가지로 요약할 수 있다. 첫째, 차선수가 많은 곳일수록 보행자 교통사고 발생 확률이 높아지므로 보행자의 안전을 우선시하는 가로에서는 차선수나 차로폭을 줄이는 정책을 고려해 볼 수 있다. 이와 같은 맥락에서 보았을 때 서울시에서 추진하는 ‘도로 다이어트’ 정책은 보행자의 안전을 향상시키는 효과를 기대할 수 있다고 본다. ‘도로 다이어트’란 차로 확장이나 도로 개설 없이 도로 전체의 폭은 그대로 두면서 전체 차선수를 줄

이거나 차로폭을 감소시켜 남은 공간을 자전거 이용자나 보행자를 위한 공간으로 활용하는 기법을 말한다.

둘째, 도로 시설물 설치 시 보행자의 안전에 대한 정확한 이해가 바탕 되어야 한다. 본 연구에서 횡단보도 밀도의 경우 세 가지 유형의 모형에서 모두 유의한 양(+)의 영향력이 있는 것으로 나타난 반면 과속방지턱 밀도의 경우에는 부상의 정도가 치명적인 중상 이상의 보행자 교통사고 모형에서 유의한 음(-)의 영향력을 보였다. 같은 도로 시설물 일지라 하더라도 보행 안전에 미치는 영향은 전혀 다른 양상을 보인 것이다. 횡단보도는 보행자의 편의 증진에 도움이 되지만 안전에 있어서는 부정적인 시설물로 주변에 보행 안전을 고려한 추가적인 물리적·소프트웨어적 지원이 필요한 것으로 나타났다. 반면 과속방지턱의 경우에는 운전자의 불편을 감수하더라도 가능한 많이 설치해 주었을 때 치명적인 수준의 보행자 교통사고를 막을 수 있다고 볼 수 있다. 그러므로 향후 도로 시설물을 설치할 때 보행자의 편의나 예산만을 생각할 것이 아니라 보행자의 안전에 미치는 영향까지 신중히 고려한 후 설치 여부를 결정해야 할 것이다.

셋째, 중앙버스전용차로 설치하는 보행자 교통사고 발생에 치명적인 영향을 미칠 수 있으므로 중앙버스전용차선 정류장 주변에 보행자 안전을 위한 물리적 지원이 필요하다. 본 연구에서는 중앙버스전용차선 정류장 주위에서 심각한 수준의 보행자 교통사고가 발생하는 것으로 나타났다. 실제 버스 이용 시, 중앙버스전용차로 정류장에 정차해 있는 버스 탑승을 위해 보행자가 무단횡단을 감행하는 경우가 빈번하다. 또한, 차로 중앙에서 버스가 보행자의 시야를 가리기 때문에 차로 횡단 시 달려오는 차량을 보지 못하여 보행자 교통사고가 발생할 확률이 높아진다. 중앙버스전용차선의 경우 대중교통 이용을 편리하게 하여 서울시 정책 중 높은 성과를 인정받

고 있지만 보행자의 안전에 있어서는 위협적인 요인이라는 점이 중요한 시사점이라고 볼 수 있다.

넷째, 노인 보호구역제도 정착을 위한 추가적인 노력이 필요하다. 본 연구에서는 어린이 보호구역 밀도와 노인 보호구역 밀도를 모두 분석 변수로 활용하였지만 어린이 보호구역만이 보행자 교통사고에 유의한 영향력이 있는 것으로 나타났다. 이는 아직 노인 보호구역의 설정자체에 문제가 있을 수 있고, 제도가 정착되지 않아 운전자들이 잘 인지하지 못하는데 원인이 있을 수 있다. 따라서 노인 보호구역을 포함하는 노인 보행자 교통사고에 대한 종합적이고 체계적인 연구가 필요하다고 판단된다.

다섯째, 보행 안전 취약지라 볼 수 있는 교차로에 대한 보행자 안전 교육이 필요하다. 본 연구에서는 삼거리 및 사거리 밀도가 보행자 교통사고 발생과 밀접한 관련이 있는 것으로 나타났다. 이는 교차로에서 보행자가 교통사고에 쉽게 노출될 수 있음을 의미하여 시민들이 이를 인지할 수 있도록 해당 내용이 강조된 안전 교육이 요구된다. 특히 사거리의 경우 심각한 부상 수준의 보행자 교통사고가 빈번하게 발생하는 것으로 나타났는데 이는 차선의 연결성이 좋아 과속의 확률이 높아지기 때문이라 볼 수 있다. 따라서 사거리 내에서의 과속, 신호위반, 무단횡단 등의 교통법규 위반에 대해 단속과 처벌을 강화시켜 경각심을 높이는 것이 필요하다.

여섯째, 용도지역 기준 상업지역인 곳에 대한 보행자 안전 증진 정책이 요구된다. 본 연구에서는 용도지역 기준 상업지역의 비율이 높을수록 보행자 교통사고 발생 건수가 늘어나는 것으로 나타났다. 상업지역의 경우 잦은 동선 변경으로 인해 무단횡단을 하거나 술에 취해 보행자가 차선으로 넘어오는 경우가 빈번하다. 따라서 상업지역이 밀집된 공간에는 교통 정온화 기법⁶⁾을 활용하여 보행자 교통사고를 예방할 수 있는 물리적, 소프트웨어적 지원

이 필요하다고 판단된다.

일곱째, 도시개발밀도와 토지이용혼합도에 대한 재고가 필요하다. 지금까지의 뉴어바니즘, 스마트 성장, TOD, 압축개발 등은 보행자 이동의 효율성을 강조하며 높은 밀도와 토지이용 혼합을 추구한 경향이 있다. 하지만 보행자 안전에 있어서는 이와 같은 요소가 부정적인 영향을 미치는 것으로 나타나 고밀복합용도 개발 지역에는 보행자의 편의와 안전을 모두 고려할 수 있는 방안이 필요하다.

2. 연구의 의의 및 한계

본 연구는 서울시에서 2014년 동안 발생한 보행자 교통사고 전수데이터를 대상으로 보행자 교통사고 유발 요인을 분석하였으며, 교통사고 부상 정도 별로 영향을 미치는 요인의 차이를 설명했다는 데 있어 연구의 의의를 찾을 수 있다. 이와 같이 본 연구에서 몇 가지 의미 있는 결과를 도출하였음에도 불구하고 연구의 한계점이 나타났으며 그 내용은 다음과 같다.

첫째, 본 연구에서는 2014년 한 해의 보행자 교통사고만을 고려하여 인과관계를 설명하는 데는 한계가 있었다. 따라서 향후 다양한 시점의 자료를 구축하여 인과관계를 설명할 수 있는 종단면적 분석을 실시해볼 필요가 있다. 둘째, 본 연구에서는 스마트폰 사용이나 이어폰 착용, 졸음운전과 같은 개인적인 요인은 제어하지 못했다. 이는 사고발생 후 사고당사자의 인터뷰에 의해 축적되는 TAAS 데이터의 근본적 한계라 볼 수 있다. 개인적인 요인을 반영하기 위해서는 블랙박스 영상 분석과 같이 운전자나 보행자의 의지에 관계없이 사고 상황이 모두 기록되는 자료를 활용하는 방법이 있다. 셋째, 본 연구에서 분석한 TAAS 데이터의 경우 도로교통법으로 지정된 도로에서 발생한 교통사고 내용만을

포함하여 아파트 단지 내 도로나 주차장에서 발생한 보행자 교통사고는 집계되지 않았다. 하지만 이와 같은 특수한 공간 내 사고는 자주 발생할 수 있다고 보여진다. 따라서 실제 이용할 수 있는 모든 도로 상에 발생한 교통사고 자료를 구득할 수 있다면 보다 다양한 측면의 연구가 가능할 것으로 생각된다. 넷째, 본 연구에서는 보행자 교통사고의 근본적인 주체로 볼 수 있는 유동인구와 교통량을 지하철 역 개수나 도로 폭, 차선수 등과 같은 대리변수를 통해 측정했다는 한계가 있다. 이 변수들은 보행자 교통사고 발생에 있어 핵심적인 변수인 만큼 정확한 데이터를 바탕으로 분석을 진행할 필요가 있다. 위의 데이터를 직접 연구에 반영하기 위해서는 유동인구와 교통량이 측정된 특정 지점들을 중심으로 반경을 설정하여 분석을 진행하는 방법을 생각해 볼 수 있다.

향후 위에서 밝힌 본 연구의 한계점과 이에 따른 극복 방안을 고려하여 추가적인 연구를 진행한다면 보행자 교통사고에 대한 보다 심도 있고 다양한 결과를 확인할 수 있을 것으로 기대된다.

- 주1. 서울특별시에서 제공하는 통계자료에 따르면 서울특별시 인구는 10,369,593명으로 우리나라 시도 중 가장 높은 수치를 보임.
- 주2. 국토교통부에서 제공하는 자동차등록현황보고 자료에 따르면 2014년 12월 기준, 서울특별시 자동차 등록대수는 3,013,541대로 우리나라 시도 중 가장 높은 수치를 보임.
- 주3. 도로교통공단에서 제공하는 보행자 교통사고 통계 자료에 따르면 2014년 서울특별시에서 발생한 보행자 교통사고 발생 건수는 11,257건으로 전국에서 발생한 보행자 교통사고 발생건수(51,145건)의 20% 이상을 차지함.
- 주4. 박명의 종류는 크게 세 가지로 구분할 수 있으며 그 내용은 아래와 같음.
 - ①시민박명
: 일출 전 또는 일출 후 태양의 중심이 지평선 기준 0°~ 6°아래에 위치할 때를 말함. 이 시기에는 육안으로 사물을 구분할 수 있고 조명 없이 일상적인 야외활동이 가능함.
 - ②항해박명

: 일출 전 또는 일출 후 태양의 중심이 지평선 기준 6°~ 12°아래에 위치할 때를 말함. 이 시기에는 사물의 윤곽은 식별 가능하나 정상적인 야외 활동은 불가능함.

③천문박명

: 일출 전 또는 일출 후 태양의 중심이 지평선 기준 12°~ 18°아래에 위치할 때를 말함. 이 시기의 태양빛은 희미하여 실질적인 인식은 거의 불가능함.

주5. 토지이용혼합도(LUM)

$$= (-1) \times [(b_1/a) \ln(b_1/a) + (b_2/a) \ln(b_2/a) + (b_3/a) \ln(b_3/a)] / \ln(n_3)$$

a = 집계구 내 주거, 상업, 업무용 건물 연면적 합

b₁ = 주거용 건물 연면적

b₂ = 상업용 건물 연면적

b₃ = 업무용 건물 연면적

n₃ = 총 토지이용 개수

주6. 교통 정온화 기법이란 교통량과 차량의 속도를 줄여 보행자와 자전거 이용자의 도로 이용을 안전하고 편리하게 만드는 설계 기법을 의미함. 교통 평온화, 교통 진정화 기법으로도 불리며 세부 내용은 아래와 같이 요약할 수 있음.

① 물리적 접근

: 지그재그 도로, 차로폭 좁힘, 차선 감소, 고원식 횡단보도, 보차분리 펜스 등

② 소프트웨어적 접근

: 보행자우선도로 지정, 일방통행제 시행, 신호주기 변경, 자동차제한속도 저감 등

Park, S. H., 2014a. "The Effect of the Neighborhood Built Environment on Pedestrian-Vehicle Collisions - Focused on the Case of the City of Seattle, Washington, U.S.-", *Journal of Korea Planning Association*, 49(3): 143-157.

3. 박민호, 2013. "확률적 모수를 고려한 음이항모형에 의한 교통사고와 기하구조와의 관계 - 미국 워싱턴 주(州)고속도로를 중심으로-", 「대한토목학회논문집」, 33(6): 2437-2445.

Park, M. H., 2013. "Relationship between Interstate Highway Accidents and Heterogeneous Geometrics by Random Parameter Negative Binomial Model - A case of Interstate Highway in Washington State, USA-", *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, 33(6): 2437-2445.

4. 박정순, 2011. "신호교차로의 횡단보행자 사고심각도 분석", 「지역정책연구」, 22(1): 1-12.

Park, J. S., 2011. "Severity Analysis of the Vehicle-Pedestrian crashes at Signalized Intersection", *Regional Policy Research*, 22(1): 1-12.

5. 성현곤·모창환, 2014. 「도시디자인과 교통안전과의 연관성 평가 및 제도개선 방안」, 경기: 한국교통연구원.

Sung, H. G. and Mo, C. H., 2014. *Evaluation on the Association of Urban Design with Traffic Safety and institutional Improvements*, Gyeonggi: The Korea Transport Institute Frequent Study.

6. 엄대룡·정도영·박상우, 2015. "무단횡단 사고 특성 분석 및 진단 -경기도 지역을 중심으로-", 「교통연구」, 22(1): 85-97.

Eom, D. L., Jung, D. Y. and Park, S. W., 2015. "Jaywalking Accident Characterization and Diagnosis", *Journal of Transport Research*, 22(1): 85-97.

7. 이세영·이제승, 2014. "어린이·노인 보행자 교통안전을 위한 근린환경요인", 「한국도시설계학회지」, 15(6): 5-15.

Lee, S. Y. and Lee, J. S., 2014. "Neighborhood

인용문헌

References

1. 박경훈·변지혜, 2012. "초등학교 주변 물리적 환경이 보행안전에 미치는 영향-창원시 초등학교를 대상으로-", 「한국지리정보학회지」, 15(2): 150-160.
Park, K. H. and Byeon, J. H., 2012. "Effects of the Physical Environment around Elementary Schools on Children's Walking Safety -A Case Study of the Elementary Schools in Changwon-", *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies*, 15(2): 150-160.

2. 박승훈, 2014. "근린환경이 보행자-차량 충돌사고에 미치는 영향 -북미 워싱턴주 시애틀 도시를 대상으로-", 「국토계획」, 49(3): 143-157.

- Environmental Factors Affecting Child and Old Adult Pedestrian Accident”, *Journal of Urban Design Institute of Korea*, 15(6): 5-15.
8. 이수범·김명숙·장일준·김장욱, 2009. “교통섬 설치가 보행자 교통사고에 미치는 영향 연구”, 「대한교통학회지」, 27(2): 107-115.
Lee, S. B., Kim, M. S., Jang, I. J. and Kim, J. W., 2009. “The Influence of Traffic Islands on Pedestrian Safety”, *Journal of Korean Society of Transportation*, 27(2): 107-115.
 9. 이승주·김윤환·박병호, 2014. “토빗모형을 이용한 가로구간 보행자 사고모형 개발”, 「한국도로학회논문집」, 16(3): 101-107.
Lee, S. J., Kim, Y. H. and Park, B. H., 2014. “Developing the Pedestrian Accident Models Using Tobit Model”, *Journal of Korean Society of Road Engineers*, 16(3): 101-107.
 10. 이지선·설재훈·정재훈, 2012. 「차량용 블랙박스 자료 분석을 통한 보행자 교통사고 특성 분석 및 정책방안」, 경기: 한국교통연구원
Lee, J. S., Sul, J. H. and Chung, J. H., 2012. *A Study of Improvement Plans to Reduce Pedestrian Accident Using Vehicle Black Box Data*, Gyeonggi: The Korea Transport Institute Report.
 11. 임유진·문학룡·강원평, 2014. “폭원 9m 미만 도로 내 교통사고 영향 요인 분석”, 「한국ITS학회논문지」, 13(3): 96-106.
Lim, Y. J., Moon, H. R. and Kang, W. P., 2014. “Analysis on Factors of Traffic Accident on Roads having Width of Less than 9 Meters”, *Journal of The Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, 13(3): 96-106.
 12. 장영채·김태정·이의용·장성철·조형은·유기열·김용환·황대곤·박성익, 2014. 「OECD 회원국 교통사고 비교」, 경기: 도로교통공단 연구보고서.
Jang, Y. C., Kim, T. J., Lee, U. Y., Jang, S. C., Jo, H. E., Yu, G. Y., Kim, Y. H., Hwang, T. G. and Park, S. E., 2014. *The Comparison of OECD member country's Traffic Accidents, 2014*. Gyeonggi: Research Report, Road Traffic Authority.
 13. 한수산·김경환·박병호, 2011. “사고유형에 따른 원형교차로 사고모형”, 「한국도로학회논문집」, 13(3): 103-110.
Han, S. S., Kim, K. H. and Park, B. H., 2011. “Accident Models of Circular Intersections by Type in Korea”, *Journal of the Korean Society of Road Engineers*, 13(3): 103-110.
 14. 통계청, 2008. U 행정정보 (집계구 확정 개요, 보도자료, 2008.1.28), http://kostat.go.kr/smart/news/file_dn.jsp?aSeq=56336&ord=1
Statistics Korea, 2008. U Administration Information (Designation of Census Block, 2008. 1.28)
 15. Abdel-Aty, M., Chundi, S. S. and Lee, C., 2007. “Geo-spatial and Log-linear Analysis of pedestrian and Bicyclist Crashes Involving School-aged Children”, *Journal of Safety Research*, 38(5): 571-579.
 16. Dumbaugh, E. and Li, W., 2011. “Designing for the Safety of Pedestrians, Cyclists, and Motorists in Urban Environments”, *Journal of the American Planning Association*, 77(1): 69-88.
 17. Ewing, R. and Dumbaugh, E., 2009. “The Built Environment and Traffic Safety - A Review of Empirical Evidence”, *Journal of Planning Literature*, 23(4): 347-367.
 18. Hadayeghi, A., Shalabu, A. S. and Persaud, B. N., 2010. “Development of planning level transportation safety tools using Geographically Weighted Poisson Regression”, *Accident Analysis and Prevention*, 42(2): 676-688.
 19. Haleem, K., Alluri, P. and Gan, A., 2015. “Analyzing Pedestrian Crash Injury Severity at Signalized and Non-signalized Locations”, *Accident Analysis and Prevention*, 81:14-23.
 20. Hess, P. M., Moudon, A. V. and Matlick, J. M., 2015. “Pedestrian Safety and Transit Corridors”, *Journal of Public Transportation*, 7(2): 73-93.

21. Lascaia, E. A., Gerber, D. and Gruenewald, P. J., 2000. "Demographic and Environmental Correlates of Pedestrian Injury Collisions : A Spatial Analysis", *Accident Analysis and Prevention*, 32(5): 651-658.
22. Marshall, W. E. and Garrick, N. W., 2011. "Does Street Network Design Affect Traffic Safety?", *Accident Analysis and prevention*, 43(3):769-781.

Date Received 2015-12-18

Date Reviewed 2016-02-29

Date Accepted 2016-02-29

Date Revised 2016-04-28

Final Received 2016-04-28