

근린환경이 보행자-차량 충돌사고에 미치는 영향

- 북미 워싱턴 주 시애틀 도시를 대상으로 -

The Effect of the Neighborhood Built Environment on Pedestrian-Vehicle Collisions

- Focused on the Case of the City of Seattle, Washington, U.S. -

박승훈*
Park, Seung-Hoon

Abstract

The purpose of this study is to identify the physical environmental characteristics of neighborhoods which affect pedestrian-vehicle collisions through investigating spatial patterns of pedestrian-vehicle collisions with GIS and quantitative analysis. This study used the data of pedestrian-vehicle collisions which occurred in Seattle, U.S., for 2000 through 2004. This research employed negative binomial regression models to study the association between the physical environment and pedestrian-vehicle collisions. The final spatial modeling, which included all physical environmental characteristics which are found significant through one-by-one test, showed that pedestrian-vehicle collisions were associated with the following physical characteristics; 1) traffic circle density and traffic signal density among street design characteristics, 2) the percentage of single-family housing areas, the percentage of commercial areas, the percentage of mixed-use areas among land use characteristics, 3) the number of bus stops among residents' routine activity places in the neighborhood. From the perspective of urban planning and design, these findings can contribute to improving the safe walking environment for pedestrians against vehicles.

키 워 드 ▪ 지리정보시스템, 근린환경, 보행자-차량 충돌사고,
Keywords ▪ GIS, Neighborhood Built Environment, Pedestrian-Vehicle Collision

I. 서 론

1. 연구의 배경 및 목적

인간의 다양한 행동 중 보행은 인간이 태어나서 자연스럽게 행하는 가장 기본적인 행동이자 일상생활의 가장 기초적인 이동수단이다. 그러나 산업화와 더불어 급격한 경제성장은 차량을 이용하여 빠르고 편안하게 이동할 수 있는 긍정적인 효과를 가져온

반면 환경오염 및 교통체증과 같은 사회적 부작용 또한 야기했다. 2009년에 발표된 도로교통공단의 교통사고 분석 자료집을 살펴보면 최근 10년간 보행자 교통사고는 조금씩 감소하는 경향을 보이고 있다. 그러나 전체 교통사고로 인한 사망사고 중 약 42%가 보행자와 차량 간의 사고로 이는 인적 및 경제적 손실이 매우 큰 사회문제이다. 따라서 근린 내 보행자의 안전을 확보하고 보행자와 차량 간 교통사고를 예방하기 위한 효율적인 대책마련이

* 계명대학교 도시계획학과 조교수(parksh1541@kmu.ac.kr)

시급하다. 특히 차량통행위주의 정책이 우선시 되는 교통 분야와 달리 도시민의 안전한 보행환경조성을 위한 방안제시를 위해 도시계획 및 설계적 관점에서 연구가 필요하다고 하겠다.

보행과 관련된 기존의 연구들을 살펴보면 보행을 증진시키기 위한 방안을 제안하기 위해 근린의 물리적 환경요인을 살펴본 연구는 많이 진행되어 왔다. 이에 반해 보행안전성에 관한 연구는 상대적으로 미흡하다. 보행자와 차량간 발생한 교통사고예방과 관리를 위해 진행된 선행연구를 살펴보면, 많은 연구들이 보행자 교통사고에 관한 실증적 연구가 아닌 단순한 실태조사 수준으로 실효적인 해결책을 제시하는데 무리가 있다. 사고 요인을 도출한 연구 또한 나이, 성별, 및 음주운전 여부와 같은 인적요인 및 차량 유형 및 차량운행방식과 같은 차량영향요인의 분석에 한정되거나 또는 도로환경의 일부 요인에 국한을 둠으로써 보행자 및 운전자의 행위에 영향을 미칠 수 있는 토지이용 및 가로환경과 같은 근린의 물리적 환경요인을 복합적으로 고려하지 못하고 한계점을 지니고 있다(이건학 외, 2004; 고명수 외, 2011). 이에 본 연구의 목적은 근린의 물리적 환경요인과 보행자-차량간 충돌사고와의 연관성을 계량분석을 통해 실증적으로 파악함으로써 도시계획 및 설계적 관점에서 근린의 안전한 보행환경조성을 위한 방안 및 정책을 제안할 수 있는 연구기반을 제시하는데 두고 있다.

2. 연구의 공간적 및 내용적 범위

본 연구는 보행자-차량 충돌사고에 영향을 미치는 근린의 물리적 환경특성을 실증적 연구를 통해 도출하는 것을 목적으로 연구의 공간적 범위는 북미의 대표적 대도시인 워싱턴 주 시애틀을 배경으로 연구하였다. 연구의 공간적 단위는 보행자안전사고와 관련된 연구에서 마을 또는 근린(neighborhood)

의 공간적 단위로 주로 사용되는 센서스 트랙(census tract)으로 설정하였다). 연구의 내용적 범위는 2000년부터 2004년까지 5년 동안 시애틀 전역 124개의 센서스 트랙에서 발생한 보행자와 차량과의 충돌사고 중 고속도로와 같은 state route-level에서 발생한 사고를 제외한 city route-level의 도로에서 발생한 보행자-차량간 충돌사고를 중심으로 살펴보았다.

II. 선행연구 검토

보행자와 차량간 충돌사고에 영향을 미치는 다양한 사고요인을 분석한 연구 중에서 본 연구의 목적과 부합되는 연구들을 중심으로 살펴보았다. 즉 가로환경 또는 토지이용과 같은 근린의 물리적 환경과 보행자 교통사고와의 연관성을 살펴본 문헌을 중심으로 고찰하였다.

Knoblauch et al.(1988)은 보행자를 위한 가로환경인 인도가 설치되어 있는 도로보다 인도가 없는 도로에서 보행자 교통사고가 2.5배나 더 많이 발생한다는 사실을 밝혀냈다. Knoblauch and Raymond(2000)는 횡단보도 표시가 있을 경우 운전자가 보행자를 미리 대비하여 차량속도를 줄이는 경향이 있다고 설명하고 있다. 반면 Zegeer et al.(2002)는 1차선 도로에서의 횡단보도 표시는 횡단보도 표시가 없는 경우와 비교하여 보행자 교통사고를 감소시키는 결과를 가져오나 2차선 도로에서는 아무런 영향을 미치지 못하는 결과를 보여줬다. 신호등과 관련하여 Campbell et al.(2004)은 보행자 교통사고의 약 74%가 신호등과 같은 교통통제시스템이 없는 곳에서 발생하는 반면 약 17%만이 신호등이 있는 곳에서 사고가 발생하였음을 보여주고 있다. 또한 도시에서 발생하는 보행자 교통사고의 약 40%가 교차로에서 발생하였음을 보여줬다. 이와 비슷하게 Van Houten et al.(2000)은 신호등이 설치된 교차로의 경우 보행자 교통사고가

적게 발생한다는 사실을 보여줬다. 특히, Schoon and Van Minnen(1994)는 신호등 또는 정지신호가 있는 교차로를 회전차로로 변경 후 약 73%의 보행자 교통사고가 줄어든다는 사실을 보여줬다. 도로의 유형에 관하여, Zegeer et al.(2002)는 도로 차선수가 많을수록 보행자 교통사고율이 높아지는 경향이 있음을 입증하였다. 도로의 버스정거장 역시 보행자의 교통사고와 연관성이 있음이 입증되었다(Hess et al., 2004). 거주민을 기반으로 하는 인구밀도와 고용자밀도도 보행자 교통사고와 양의 상관성이 있음이 증명되었다(LaScale et al., 2000). 음주와 보행자 교통사고와 관련하여 LeScale et al.(2000)은 근린 내 술집이 많은 지역이 보행자와 차량간 발생하는 교통사고율이 높아진다는 사실을 보여줬다. 이외에 많은 연구들이 운전자 및 보행자의 나이, 성별, 사고발생 시간, 계절, 평균일교통량, 차량제한속도, 차량속도, 및 차량유형이 보행자와 차량간 교통사고에 영향을 미치는 요인으로 분석하였다(Garder, 2004; Lee and Abdel-Aty, 2005; Starnes and Longthorne, 2003). 이러한 대부분의 선행연구들이 실제 사고 자료를 분석한 반면 Cho et al.(2009)와 Schneider et al.(2004)는 실제 차량과 보행자의 사고가 많이 발생하는 hotspot 지역과 사람들이 위험하다고 인식하는 지역이 다르다는 흥미로운 분석결과를 내놓았다.

본 연구와 관련하여 선행연구들을 살펴본 결과, 대부분의 선행연구들이 근린의 다양한 물리적 환경요인을 복합적으로 고려하기 보다는 일부 요인만을 중심으로 살펴보았다. 특히 도시공간구조에서 가로환경은 도시 내 토지이용과 유기적으로 상호 밀접한 연관성을 가지기 때문에 보행자 교통사고에 영향을 미치는 요인을 분석하기 위해서는 가로환경과 토지이용을 포함한 전반적인 근린의 물리적 환경특성을 맥락적으로 고려해야 할 필요성이 있다.

III. 분석의 틀

1. 연구 방법

그림 1은 본 연구의 전반적인 연구 흐름도를 보여주고 있다. 먼저 근린의 안전한 보행환경조성을 위한 방안을 제안하기 위해 선행연구 고찰을 기반으로 하여 보행자 교통사고와 연관성이 있을 것으로 예상되는 토지이용 및 가로환경과 같은 근린의 물리적 환경요인을 선정하였다. 그 후 ArcGIS 9.3를 이용하여 센서스 트랙별로 공간자료를 구축하였다. 구축된 공간자료를 바탕으로 합리적이고 객관적인 분석을 위해 통계 프로그램 R 2.9를 사용하여 음이항 회귀분석모형을 실시하였다. 베이스(base)모형을 기반으로 하여 각각의 물리적 환경요인이 보행자-차량간 충돌사고에 미치는 영향을 통계적으로 검정한 후, 유의한 변수만을 선별하여 최종 분석모형에서 함께 분석하였다.

2. 분석항목 설정

보행자와 차량간 교통사고에 영향을 미치는 요인을 분석한 본 연구의 회귀모형에서는 북미 시애틀 센서스 트랙을 대상으로 2000년부터 2004년까지 발생한 보행자-차량 충돌사고수를 종속변수로 사용하였다²⁾. 이러한 보행자와 차량간 사고발생 빈도는 도로의 보행자수에 따라 사고발생 가능성이 영향을 받을 수 있다. 그러나 근린의 보행자수를 직접적으로 측정하는 것은 불가능하므로 근린의 보행자수를 대안하기 위해 근린의 인구수를 고려하였다³⁾. 또한 근린의 인구수는 센서스 트랙의 면적에 의해 영향을 받을 수 있으므로 센서스 트랙의 인구수와 면적을 함께 보정하기 위해 인구밀도를 주요 외생요인으로 함께 고려하였다.

근린의 물리적 환경특성과 관련된 변수로는 위의 선행연구 고찰을 기반으로 하여 가로환경, 토지이용, 그리고 보행자와 차량에 영향을 미칠 것으로 기대되는 근린 내 주요 장소들을 살펴보았다. 표 1은 근린의 물리적 환경특성을 나타내는 변인들을 보여주고 있다.

우선 가로환경과 관련하여서는 차량통행위주의 도로형태인 콜데삭(cul-de-sac)와 회전교차로(traffic circle), 보행친화적인 인도, 블록의 크기 및 가로연결성과 관련 있는 교차로, 보행자 및 차량의 흐름과 관련 있는 신호등 및 횡단보도, 그리고 차량의 이동속도 및 도로밀도와 관련하여 간선도로(arterial street)와 근린가로(neighborhood street)

를 고려하였다. 위의 가로환경과 관련된 요인들은 모두 근린의 총 면적 대비 개별 변수들의 총량 또는 총 개수로 측정되었다.

토지이용과 관련된 변인으로는 근린 내 단독주택지 비율, 다세대주택지 비율, 상업지 비율, 그리고 혼합적 토지이용지 비율이 고려되었다. 또한 토지이용과 관련하여 주택지 개발 정도를 나타내는 주거밀도와 상업지 개발 정도를 나타내는 상업지 내 평균 용적률을 살펴보았다.

마지막으로 근린 내 주민의 일상생활과 관련하여 보행자와 차량운행에 영향을 미칠 것으로 고려되는 근린 내 주요 장소들을 살펴보았다. 먼저 근린 내 차량통행량을 상대적으로 많이 증가시킬 것으로 고려되는 쇼핑몰과 주차장 개수를 독립변수에 포함하였다. 또한 음주운전과 관련하여 술집, 어린이 보호구역과 같은 방안을 통해 근린 내 안전한 보행환경을 조성해 주는 학교, 근린 내 거주민들의 대중교통 이용률을 대안적으로 보여주는 버스정거장⁴⁾, 그리고 근린 내 거주민들의 자주 방문하는 주요 커뮤니티 공간인 오피스페이스를 독립변수로 고려하였다. 마지막으로 각각의 독립변수들은 분석에 이용하기에 앞서 scatter plot를 통해 필요한 경우 루트(square root) 또는 로그(log)변형을 취하였다.

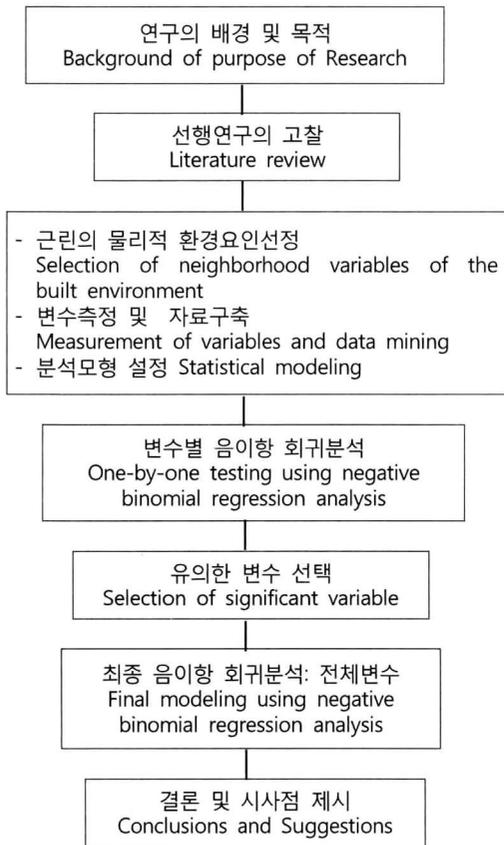


그림 1. 연구의 흐름도
Fig. 1. Research process

3. 분석모형

일반적으로 교통사고 빈도처럼 어떤 일정기간 동안 발생한 사건수가 연속적이지 않고 이산적인 형태의 분포를 나타내는 경우, 이러한 자료를 분석하기 위해 포아송(poisson) 회귀모형이나 음이항(negative binomial) 회귀모형을 사용한다(Gelman and Hill, 2007). 그러나 포아송 회귀모형의 경우 어떤 사건의 발생횟수의 평균과 분산이 동일하다고 가정하기 때문에 실제 분석자료가 과분산(over-dispersed)되어 있는 경우 분석에 한계를

표 1. 공간분석에 사용된 변인별 측정항목
Table 1. Description of variables

구분 Classification	변수 Variables	변수정의 Definition of variable	단위 Unit	
종속변수 Dependent variable	Y1	2000년부터 2004년까지 센서스 트랙별 발생한 보행자-차량 충돌사고수 Number of pedestrian-vehicle collisions in a census tract for 2000 to 2004	사고발생건수 Number of events	
통제변수 Controlling variable	X100	인구밀도 Population density	인/km** person/km ²	
독립변수 Explanatory variables	가로환경관련변인 Characteristics of Street environment	X1	쿨데삭밀도 Cul-de-sac density	개/km*** number/km ²
		X2	회전교차로밀도 Roundabout density	개/km*** number/km ²
		X3	신호등밀도 Traffic signal density	개/km** number/km ²
		X4	교차로밀도 Intersection density	개/km** number/km ²
		X5	횡단보도밀도 Crosswalk density	개/km** number/km ²
		X6	인도밀도 Sidewalk density	km/km***
		X7	근린가로밀도 Neighborhood street density	km/km**
		X8	간선도로밀도 Arterial density	km/km**
	토지이용관련변인 Characteristics of Land use	X9	단독주택지 비율 Percentage of single-family housing	%**
		X10	다세대주택지 비율 Percentage of multi-family housing	%**
		X11	상업지 비율 Percentage of commercial areas	%**
		X12	혼합적 토지이용지 비율 ⁵⁾ Percentage of mixed-use areas	%**
		X13	주거밀도 Residential density	호수/km** households/km ²
		X14	상업지의 평균 용적률 Average FAR of commercial areas	%**
	일상활동장소 관련변인 Characteristics of Routine activity	X15	학교 개수 Number of schools	개 number
		X16	오픈스페이스 개수 Number of open spaces	개 number
		X17	술집 개수 Number of bars	개 number
		X18	버스정거장 개수 Number of bus stops	개 number
		X19	주차장 개수 Number of parking lots	개 number
		X20	쇼핑몰 개수 Number of shopping malls	개 number

* 루트(square root) 적용, **로그(log) 적용
* Square root transformation, ** Logarithm transformation

가지고 있다. 따라서 과분산되어 있는 자료의 경우 분산이 평균보다 크다고 가정하는 음이항 회귀모형을 사용하는 것이 더욱 적합하다(Gelman and Hill, 2007). 따라서 본 연구에서는 근린의 보행자-차량 충돌사고의 분포가 과분산되는 경향을 보이므로 음이항 회귀모형을 사용하여 분석하였다⁶⁾. 본 연구에 사용된 음이항 회귀분석모형의 식(1)과 같다.

$$Y_i = \exp(\beta_0 X_0 + \dots + \beta_m X_m + \varepsilon_i) \dots \dots \dots \text{식(1)}$$

여기서

- Y_i : 종속변수(보행자 교통사고 발생건수)
- β_0, \dots, β_m : 최대우도추정법(maximum likelihood)을 이용하여 추정된 회귀계수
- X_0, \dots, X_m : 통제변수(인구밀도) 및 설명변수(근린의 물리적 환경요인들)
- ε_i : 평균이 1이고 분산이 감마(gamma) 분포를 가정한 오차항

IV. 분석결과 및 해석

1. 기술통계량 분석

북미 워싱턴 주 시애틀에서 2000년부터 2004년까지 발생한 근린 내 평균 보행자-차량간 충돌사고는 약 23건이며, 5년간 단지 한 건의 사고만 발생한 센서스 트랙이 있는 반면, 가장 많이 발생한 사고수는 242건이다. 그 외 본 연구에서 고려한 변인들의 기초통계량을 살펴보면 표 2와 같다.

2. 차량대비 보행자 안전사고의 특성

그림 2는 보행자-차량 충돌사고의 공간적 분포

현황을 보여주고 있다. 주로 시애틀의 중심부인 다운타운 지역을 중심으로 보행자와 차량간 충돌사고가 많이 발생하는 것을 알 수 있다. 그 외 지역은 지역적으로 다양한 발생빈도 분포를 보여주고 있다. 이와 같이 보행자-차량간 충돌사고의 발생빈도가 지역적으로 다르게 나타나는 것은 근린의 지역적 환경특성이 보행자-차량 충돌사고와 연관성을 가지고 있음을 짐작할 수 있다. 따라서 차량으로부터 안전한 보행환경을 조성하기 위해서는 근린의 물리적 환경특성에 관한 연구가 필요하다고 하겠다.

3. One-by-one test를 통한 근린의 물리적 환경요인의 개별 음이항 회귀분석

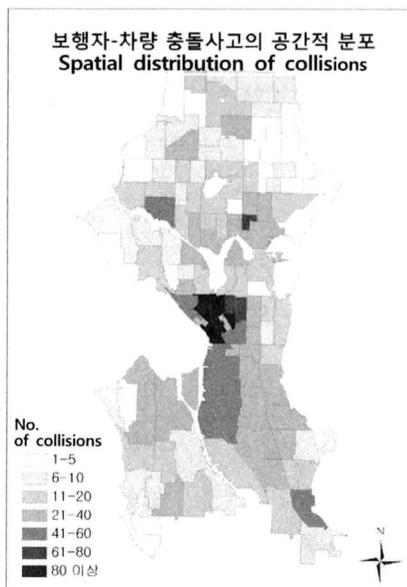


그림 2. 보행자-차량간 교통사고 공간적 분포 현황

Fig. 2. Spatial distribution of pedestrian-vehicle collisions

근린환경이 보행자-차량 충돌사고에 미치는 영향

표 2. 변인별 기술통계량
Table 2. Descriptive analysis of variables

구분 Classification	변수 Variables	평균 Mean	표준편차 STD	최소값 Min	최대값 Max	
종속변수 Dependent variable	보행자-차량 충돌사고수(Y1) Number of pedestrian-vehicle collisions	23.798	28.059	1.000	242.000	
통제변수 Controlling variable	인구밀도(X100) Population density	338.281	246.254	23.665	1582.676	
독립변수 Explanatory variables	가로환경 관련변인 Characteristics of Street environment	콜데삭밀도(X1) Cul-de-sac density	9.661	9.942	0.000	56.000
		회전교차로밀도(X2) Roundabout density	5.624	6.164	0.000	28.311
		신호등밀도(X3) Traffic signal density	8.423	15.120	0.000	92.313
		교차로밀도(X4) Intersection density	72.339	27.840	18.445	177.238
		횡단보도밀도(X5) Crosswalk density	44.604	68.720	1.182	402.483
		인도밀도(X6) Sidewalk density	8,055.66	4,285.88	325.51	16,536.27
		근린가로밀도(X7) Neighborhood street density	7,947.22	1,910.27	2,913.51	12,738.74
		간선도로밀도(X8) Arterial density	4,117.64	3,940.54	214.37	21,058.63
	토지이용 관련변인 Characteristics of Land use	단독주택지 비율(X9) Percentage of single-family housing	34.880	19.571	0.000	66.353
		다세대주택지 비율(X10) Percentage of multi-family housing	7.939	7.044	0.034	42.872
		상업지 비율(X11) Percentage of commercial areas	5.278	6.709	0.000	30.605
		혼합적 토지이용지 비율(X12) ⁷⁾ Percentage of mixed-use areas	0.028	0.123	0.000	1.007
		주거밀도(X13) Residential density	165.878	153.373	2.966	1,100.18
		상업지의 평균 용적률(X14) Average FAR of commercial areas	0.458	0.427	0.000	3.157
	일상활동장소 관련변인 Characteristics of Routine activity	학교 개수(X15) Number of schools	0.702	0.754	0.000	3.000
		오픈스페이스 개수(X16) Number of open spaces	2.185	2.608	0.000	21.000
		술집 개수(X17) Number of bars	0.339	0.709	0.000	4.000
		버스정거장 개수(X18) Number of bus stops	32.573	18.364	1.000	135.000
		주차장 개수(X19) Number of parking lots	9.355	15.197	0.000	96.000
		쇼핑몰 개수(X20) Number of shopping malls	0.226	0.720	0.000	5.000

표 3은 인구밀도(X100)를 통제한 상태에서 보행자-차량 충돌사고와 근린의 물리적 환경요인과의 개별적인 연관성을 one-by-one test를 통해서 분석한 결과를 보여주고 있다. 우선 가로환경과 관련된 변인들을 살펴보면 차량통행위주의 도로형태인 폴데삭밀도는 통계적으로 유의한 상관성을 보여주지 못하고 있다. 반면, 차량의 원활한 흐름을 위한 회전교차로밀도는 예상과 달리 차량의 원활한 흐름을 위한 회전교차로밀도는 예상과 달리 유의한 음의 상관성이 있는 것으로 측정되었다. 이는 신호등이 설치된 교차로를 회전교차로로 변경한 후 차량과 보행자간의 충돌사고가 감소하였다는 것을 보여준 기존 연구와 맥락을 같이하는 결과라 할 수 있다(Brude and Larsson, 2000).

신호등밀도와 횡단보도밀도는 보행자-차량 충돌사고에 통계적으로 유의한 영향을 미치고 있음을 보여주고 있다. 두 변수 모두 각각의 밀도가 높은 근린에서 보행자-차량 충돌사고도 높게 나타나는 경향을 보여주고 있다. 이러한 결과는 신호등과 횡단보도의 설치가 반드시 보행자안전에 긍정적인 영향을 미치지 못하고 있음을 짐작할 수 있다. 즉, 보행자안전을 위해 신호등과 횡단보도를 지나치게 공급할 경우 오히려 보행자에게 취약한 환경이 될 수도 있음을 짐작할 수 있다. 특히 다른 물리적 환경요인과 달리 신호등밀도의 경우 신호등밀도가 통계적 유의성을 가지는 반면 외생변인으로 고려된 인구밀도는 통계적 유의성이 발견되지 않았다. 이는 보행자와 차량간 충돌사고의 가능성이 보행자량에 의해 영향을 받기보다는 오히려 신호등밀도에 의해 더 크게 영향을 받고 있음을 보여주는 결과이다.

교차로밀도는 통계적으로 유의하지 않은 것으로 나타났다. 이는 단위면적당 교차로수가 많은 근린일수록 블록의 크기가 작고 가로연결성이 좋아져서 보행친화적인 가로환경이 조성됨으로 인해 보행자

와 차량간 충돌사고가 적게 발생할 것이라는 기대와 달리 아무런 영향을 주지 못하고 있다. 보행친화적 가로환경인 인도밀도의 경우 통계적으로 유의한 상관관계가 발견되지 않았다. 이러한 결과들은 보행친화적 가로환경이 보행자와 차량간 충돌사고를 줄이는데 기여할 수 있을 것이라는 기대와 달리 실증적으로 유의한 영향을 미치지 않음을 보여주는 결과이다. 이러한 결과는 보행친화적인 환경이 차량으로부터 보행자의 안전을 보장할 수 있다고 확대 해석하는데 주의해야 함을 입증하는 결과라 하겠다. 따라서 보행친화적인 환경이 근린 내 보행자량을 증가시키는 것 외에 보행자안전까지도 보장할 수 있는 방안을 제시하기 위해 좀 더 심도있고 합리적인 연구가 필요하다.

근린 내 가로밀도의 경우 보행자-차량 충돌사고에 유의한 영향을 미치지 않는 것으로 판단되는 한편, 간선도로밀도는 양의 상관성을 보여준다. 보행자-차량 충돌사고에 대한 간선도로의 양의 상관관계는 간선도로밀도가 높은 근린일수록 충돌사고가 높게 나타나는 경향을 보이고 있다. 즉 보행자와 차량간 충돌사고는 근린 내 가로밀도보다는 간선도로밀도에 더 영향을 받는다. 또한 일반적으로 근린 가로보다 간선도로에서 차량의 속도가 높은 것을 고려하면 차량의 허용속도가 높은 지역일수록 보행자-차량 충돌사고의 빈도가 높게 나타날 수 있음을 짐작할 수 있다⁸⁾.

토지이용과 관련된 변인을 살펴보면 단독주택지 비율이 높은 근린일수록 보행자와 차량간 충돌사고가 적게 발생하나 상업지 비율이 높은 근린일수록 보행자와 차량간 충돌사고가 많이 발생한다. 이러한 결과는 본 연구에서 자료수집의 한계로 고려하지 못한 차량통행량이 보행자-차량 충돌사고에 영향을 미치는 것을 보여주는 결과로 해석할 수 있다. 즉 일반적으로 차량통행량이 많은 상업지역이 단독주택지역에 비해 보행자와 차량간 충돌사고

표 3. One-by-one test를 통한 근린의 물리적 환경요인의 개별 음이항 회귀분석 결과
Table 3. Results of negative binomial regression by one-by-one test

음이항 회귀분석모형 Negative binomial regression					
구분 Classification		변수 Variables	Estimate	t-Value	유의수준 Sig.
가로환경 관련변인 Characteristics of Street environment	콜데삭밀도(X1) Cul-de-sac density	X1	-0.02	-0.351	0.726
		X100	0.715	8.946	0.000**
	회전교차로밀도(X2) Roundabout density	X2	-0.098	-2.211	0.027*
		X100	0.720	9.819	0.000**
	신호등밀도(X3) Traffic signal density	X3	0.514	7.103	0.000**
		X100	0.179	1.742	0.082
	교차로밀도(X4) Intersection density	X4	-0.043	-0.216	0.829
		X100	0.738	7.582	0.000**
	횡단보도밀도(X5) Crosswalk density	X5	0.457	4.310	0.000**
		X100	0.266	2.016	0.043*
	인도밀도(X6) Sidewalk density	X6	0.001	0.376	0.707
		X100	0.702	7.218	0.000**
	근린가로밀도(X7) Neighborhood street density	X7	-0.327	-1.428	0.153
		X100	0.722	9.719	0.000**
토지이용 관련변인 Characteristics of Land use	간선도로밀도(X8) Arterial density	X8	0.560	4.779	0.000**
		X100	0.385	3.679	0.000**
	단독주택지 비율(X9) Percentage of single-family housing	X9	-0.197	-6.024	0.000**
		X100	0.377	4.097	0.000**
	다세대주택지 비율(X10) Percentage of multi-family housing	X10	-0.036	-0.555	0.579
		X100	0.757	7.947	0.000**
	상업지 비율(X11) Percentage of commercial areas	X11	0.304	4.209	0.000**
		X100	0.355	3.121	0.002**
일상활동장소 관련변인 Characteristics of Routine activity	혼합적 토지이용지 비율(X12) ⁹⁾ Percentage of mixed-use areas	X12	-0.805	-1.984	0.047*
		X100	0.708	9.505	0.000**
	주거밀도(X13) Residential density	X13	0.319	2.694	0.007**
		X100	0.468	3.518	0.000**
	상업지의 평균 용적률(X14) Average FAR of commercial areas	X14	-0.209	-0.660	0.509
		X100	0.777	7.511	0.000**
	학교 개수(X15) Number of schools	X15	0.115	1.373	0.170
		X100	0.748	9.801	0.000**
일상활동장소 관련변인 Characteristics of Routine activity	오픈스페이스 개수(X16) Number of open spaces	X16	0.063	2.783	0.005**
		X100	0.735	10.103	0.000**
	술집 개수(X17) Number of bars	X17	0.081	0.936	0.349
		X100	0.726	9.729	0.000**
	버스정거장 개수(X18) Number of bus stops	X18	0.018	6.330	0.000**
		X100	0.725	11.050	0.000**
일상활동장소 관련변인 Characteristics of Routine activity	주차장 개수(X19) Number of parking lots	X19	0.022	4.906	0.000**
		X100	0.450	5.093	0.000**
	쇼핑몰 개수(X20) Number of shopping malls	X20	0.151	1.823	0.068
		X100	0.721	9.748	0.000**

Note: * p-value < 0.05, ** p-value < 0.01

발생가능성이 높다는 것을 짐작할 수 있다. 반면 단독주택지에 비해 상대적으로 많은 차량통행량을 유발시키는 다세대주택지 비율의 경우 통계적 유의성을 가지지 못하고 있다. 그러나 혼합적 토지이용의 경우 혼합적 토지이용지 비율이 높은 근린일수록 보행자와 차량간 충돌사고가 낮다. 토지이용특성에 따라 보행자-차량 충돌사고에 미치는 상관관계의 방향성이 다르다는 결과는 보행자안전을 위한 정책제안을 위해 도시계획적 관점에서 토지이용을 심도있게 고려할 필요가 있다는 결과라 하겠다. 마지막으로 토지이용에 따른 개발밀도와 관련하여 상업지의 평균 용적률의 경우 통계적 유의성을 가지는 못하는 반면 주택지의 주거밀도가 높은 지역일수록 보행자-차량 충돌사고가 높다. 이는 토지이용과 더불어 실질적으로 토지유형에 따른 개발정도가 보행자의 보행안전에 영향을 미치고 있음을 입증하는 결과이다. 즉 근린의 안전한 보행환경조성을 위해 토지이용과 함께 각 토지유형에 따른 개발밀도도 맥락적으로 함께 주목해야 할 필요가 있다.

근린 내 주민들의 일상활동과 관련 있는 장소변인을 살펴보면, 먼저 학교의 경우 통계적 유의성이 발견되지 않았다. 이는 학교가 있는 근린일수록 어린이 보호구역과 같은 정책을 통해 근린 내 보행안전성에 긍정적 영향을 미칠 것이라는 예상과 달리 보행자-차량 충돌사고에 영향을 미치지 않음을 보여준다. 술집의 경우도 보행자-차량간 충돌사고와의 연관성을 보여주지 못하고 있다. 그러나 본 결과만으로 음주와 보행자-차량 충돌사고간의 연관성이 없다고 확대해석하는 것은 문제가 될 수 있으므로 향후 운전자 및 보행자의 음주와 관련하여 좀 더 심도있는 연구가 필요하다¹⁰⁾.

토지이용유형에서 상업지의 비율이 보행자-차량 충돌사고와 양의 상관성을 가지는 것과 달리 쇼핑

몰의 경우 통계적 유의성이 발견되지 않았다. 이는 총계적(aggregate) 자료인 근린의 토지이용유형과 달리 개별 필지단위의 토지이용에 따라 보행안전에 미치는 영향이 다름을 보여준다¹¹⁾. 이는 차량으로부터 안전한 보행환경개선을 위해서는 도시계획 및 설계적 관점에서 근린의 총체적인 토지이용에 대한 고려뿐만 아니라 필지단위의 상세한 토지이용에 대한 관심도 필요함을 보여주는 결과이다.

주차장이 많은 근린일수록 보행자와 차량간 충돌사고가 높게 나타나는 경향을 보여주고 있다. 반면 예상과 달리 근린 내 대표적인 커뮤니티 공간인 오픈스페이스가 많을수록 보행자-차량 충돌사고도 높게 나타나는 경향을 보여주고 있다. 이러한 결과는 본 연구에서 자료수집의 한계로 보행자-차량 충돌사고에 영향을 미칠 수 있는 보행자량 및 차량통행량을 고려하지 못한 결과라 하겠다¹²⁾.

마지막으로 버스정거장의 경우 보행자-차량 충돌사고와 통계적으로 유의한 양의 상관관계를 보여주고 있다. 이는 대중교통 이용률이 상대적으로 높은 근린일수록 보행자-차량 충돌사고가 높다는 것을 보여주고 있다. 따라서 대중교통시설 주변의 보행안전성에 관한 관심이 필요하다¹³⁾.

위에서 One-by-one test를 통해 보행자-차량 충돌사고와 근린의 물리적 환경요인과의 개별적 연관성을 외생변인인 인구밀도를 통제한 상태에서 살펴보았다. 그러나 보행자와 차량간 발생하는 충돌사고는 보행자, 차량, 그리고 근린의 물리적 환경이 서로 복잡하게 얽혀있는 하나의 매커니즘으로 볼 수 있다. 즉 도시공간은 근린 내 물리적 환경요인들이 서로 복잡하게 얽혀 성장·발전하는 유기적 존재(organic unit)로서, 개별 환경요인으로만 보행자-차량간 충돌사고를 설명하기는 어렵다. 이러한 생태학적(ecological) 관점에서 볼 때 보행자-차량 충돌사고에 영향을 미칠 수 있는 여러 요인들을 하나의 분석모형에서 동시에 그 관계성을 살펴봄

표 4. 근린의 물리적 환경요인의 다변량 음이항 회귀분석 결과
Table 4. Results of multivariate negative binomial regression

음이항 회귀분석모형 Negative binomial regression model				
변수 Variables		Estimate	t-Value	유의수준 Sig.
Intercept		1.684	1.704	0.088*
통제변인 Controlling variable	인구밀도(X100) Population density	0.025	1.704	0.088*
가로환경 관련변인 Characteristics of Street environment	회전교차로밀도(X2) Roundabout density	0.103	2.510	0.012**
	신호등밀도(X3) Traffic signal density	0.278	3.440	0.000***
	간선도로밀도(X8) Arterial density	0.006	0.060	0.952
토지이용 관련변인 Characteristics of Land use	단독주택지 비율(X9) Percentage of single-family housing	-0.110	-2.915	0.003***
	상업지 비율(X11) Percentage of commercial areas	0.164	2.774	0.005***
	혼합적 토지이용지비율(X12) Percentage of mixed-use areas	-0.727	-2.272	0.023**
일상활동장소 관련변인 Characteristics of Routine activity	오픈스페이스 개수(X16) Number of open spaces	0.030	1.890	0.058
	버스정거장 개수(X18) Number of bus stops	0.013	5.274	0.000***
	주차장 개수(X19) Number of parking lots	-0.000	-0.171	0.864
Null deviance		587.79		
Residual deviance		128.04		
AIC		851.5		
2*Log likelihood		-827.492		

Note: * p-value < 0.1, ** p-value < 0.05, *** p-value < 0.01

으로써, 근린환경요인의 개별적 영향력을 좀 더 객관적이고 심도 있게 분석할 필요가 있다. 표 4는 위의 one-by-one test 결과를 통해 통계적으로 유의한 변수들만을 최종 선택 한 후 음이항 회귀분석 모형에서 함께 분석한 결과를 보여주고 있다¹⁴⁾.

4. 근린의 물리적 환경요인들의 다변량 음이항 회귀분석

표 4의 최종 모형의 결과를 살펴보면 먼저 가로환경 관련 변인에서 간선도로밀도는 통계적 유의성을 가지는 못하는 반면 신호등밀도와 회전교차로밀도는 보행자-차량 충돌사고에 통계적으로 유의한

영향을 미치고 있다. 토지이용과 관련하여 단독주택지 비율, 상업지 비율, 혼합적 토지이용지 비율, 세 변수 모두 다른 변수들의 영향을 보정한 최종 모형에서 여전히 통계적 유의성을 가지고 있다. 근린 내 거주민의 일상생활과 관련된 장소변인 중에서 버스정거장수는 보행자와 차량간 충돌사고에 통계적 유의성을 보여주는 반면, 근린 내 오픈스페이스와 주차장수는 다른 변수들을 함께 고려한 모형에서 통계적 유의성을 가지지 못하고 있다.

마지막으로 통제변인으로 고려되었던 인구밀도는 전체모형에서 보행자와 차량간 충돌사고에 영향을 미치지 못하는 것으로 밝혀졌다. 이는 잠재적인 보행자량을 대체하는 인구밀도가 높은 근린일수록 보

행자-차량 충돌사고 발생 가능성이 높을 것이라는 예상과 달리 인구밀도에 비해 근린의 물리적 환경요인이 보행자-차량 충돌사고에 더 민감하게 영향을 미치고 있음을 보여주고 있다¹⁵⁾. 이러한 최종 모형의 결과는 도시계획 및 설계적 관점에서 차량으로부터 안전한 보행환경을 조성하기 위해 근린의 물리적 환경요인 하나하나를 고려하는 접근보다는 다양한 물리적 환경요인들의 상호 유기적 연관성을 맥락적으로 함께 고려한 신중하고 체계적인 접근이 필요하다.

IV. 결론

본 연구는 사람들이 차량으로부터 안전하게 보행할 수 있도록 근린의 안전한 보행환경조성을 위한 도시계획 및 설계적 방안을 제안하기 위해 북미 워싱턴 주 시애틀을 사례로 하여 보행자-차량 충돌사고에 영향을 미치는 근린의 물리적 환경요인을 살펴보았다. 보행자-차량 충돌사고는 근린의 물리적 환경요인뿐만 아니라 충돌사고에 직접적으로 관련 있는 보행자 및 운전자의 개인적 특성, 사고 발생 시간, 날씨, 차량유형, 사고 발생 주변의 시야성 등 다양한 요인들이 복합적으로 얽혀있는 하나의 사건이므로 근린의 물리적 환경요인만으로 보행자와 차량과의 충돌사고를 설명하는데 분명 한계가 있다. 특히 자료수집의 한계로 인해 보행자와 차량 간 충돌사고 가능성에 크게 영향을 미칠 수 있는 보행밀도 및 차량통행량을 고려하지 못한 것은 본 연구의 한계라고 할 수 있다. 그러나 본 연구의 실증적 분석결과는 근린의 물리적 환경요인이 보행자와 차량 간 충돌사고에 영향을 미치고 있음을 입증하고 있다. 따라서 향후 안전한 보행환경조성을 위해 다음과 같은 도시계획 및 설계적 시사점을 제안하고자 한다.

첫째, 근린 내 보행안전성 확보하기 위한 정책개

발을 위해서는 도시계획 및 설계적 접근이 필요하다. 본 연구에서 가로환경 및 토지이용과 같은 근린의 물리적 환경요인들이 보행자-차량 충돌사고와 연관성을 가지고 있음을 실증적 연구를 통해 보여주었다. 따라서 보행자안전을 위한 실효적인 방안 및 프로그램 제안을 위해서는 보행자와 차량 간 충돌사고에 영향을 미칠 것으로 예상되는 다양한 도시환경요인을 실증적인 분석을 통해 객관적이고 명확하게 도출할 필요가 있다.

둘째, 근린의 물리적 환경개선을 통해 보행자-차량 충돌사고를 예방하기 위해서는 다양한 물리적 환경요인들의 상호 유기적 연관성을 살펴볼 필요가 있다. 특히 상업지 비율과 달리 혼합적 토지이용지 비율이 보행자-차량 간 충돌사고와 음의 상관관계를 갖는 것은 보행의 중요성을 강조하는 Smart Growth 및 New Urbanism의 주장과 일치한다¹⁶⁾. 반면 대중교통이용을 대표하는 버스정거장과 보행자-차량 간 충돌사고와의 양의 상관관계는 대중교통의 중요성을 강조하는 Smart Growth 및 New Urbanism의 주장과 상반되는 결과이다. 따라서 향후 차량으로부터 보행자안전을 효율적으로 개선하기 위해서는 물리적 환경요인의 개별적이고 독립적인 개선보다는 다른 환경요인의 상반되는 영향력도 함께 전반적으로 고려하는 복합적인 접근이 필요하다고 하겠다.

마지막으로 보행친화적인 환경요인들이 반드시 보행안전성에 긍정적인 영향을 미치는 것은 아니다. 예를 들면, 보행친화적인 가로환경요인으로 인식되는 인도의 경우 분석결과 개별모형에서조차 실증적으로 통계적 유의성을 가지지 못하고 있음을 보여주고 있다. 또한 보행자와 차량 간 충돌사고에 대한 신호등과 횡단보도의 양의 상관성은 신호등과 횡단보도가 보행자의 보행안전을 보장하는 직접적이고 실효적인 방안으로 보기 어렵다는 것을 보여주고 있다. 따라서 근린 내 보행자의 보행안전을 위해서

는 교통시설물 설치뿐만 아니라 보행안전에 대한 보행자 및 차량운전자의 교통교육 등 다양한 프로그램적 접근이 함께 심도있게 고려될 필요가 있다.

본 연구의 의의는 향후 근린의 안전한 보행환경 조성을 위해 토지이용 및 가로환경과 같은 근린의 물리적 환경특성의 계획적 요인을 도출함으로써 도시계획 및 설계적 방향설정과 근거구축에 도움이 되는 연구기반을 제시하였다는 점에서 찾을 수 있다. 또한 본 연구의 결과를 바탕으로 향후 연구에서 보행자와 차량간 충돌사고에 대하여 좀 더 체계적인 자료 구축이 이루어진다면 세밀하고 심도있는 분석을 통해 차량으로부터 안전한 근린환경을 조성할 수 있을 것으로 기대된다.

- 주1. 많은 선행연구와 동일하게 본 연구에서도 Census Tract를 공간단위로 사용하였다(LaScala et al, 2000; Loukaitou-Sideris et al, 2007; Wier et al, 2009).
- 주2. 본 논문에서 사용된 보행자와 차량간 충돌사고에 대한 자료는 Washington State Department of Transportation의 지원으로 University of Washington, Department of Urban Design and Planning의 Urban Form Lab에서 수행한 Managing Pedestrian Safety Project의 자료를 바탕으로 본 연구의 목적에 적합한 분석 모형 및 방법을 통해 연구하였다.
- 주3. 이러한 근린의 인구수는 근린 내 거주자수뿐만 아니라 근린 내 고용인구수까지 포함하여 좀 더 심도 있는 자료로 구축하였다.
- 주4. 본 연구에서의 혼합적 토지이용지는 주거와 상업이 공존하는 토지이용을 중심으로 한정하였다.
- 주5. 일상활동장소 관련변인 중 일부(학교, 오픈스페이스, 주차장, 쇼핑물)의 경우 개수와 달리 개별 변인의 면적(또는 연면적)이 보행자-차량간 충돌사고에 미치는 영향이 다를 수 있다. 그러나 본 연구에서는 보행자나 차량의 방문을 유발시킬 수 있는 장소의 개수(즉, 방문밀도)를 중심으로 분석하였다.
- 주6. 근린 내 거주민들의 대중교통 이용률이 높을수록 근린의 보행력(walkability)은 높고 상대적으로 차량교통량은 적을 것으로 기대된다.
- 주7. 표 2에서 보행자-차량간 충돌사고수의 기술통계량 참조
- 주8. 기존 연구에서 도로의 차량제한속도가 보행자-차량 충돌사고에 영향을 미친다고 밝혀졌다(Campbell et al., 2004). 그러나 본 연구에서 각 사고지점의 차량

제한속도를 측정하지 못한 자료수집의 한계가 있다. 따라서 본 연구에서는 차량제한속도를 대안할 수 있는 변수로써 도로의 유형을 근린가로와 간선도로로 나누어서 살펴보았다.

- 주9. 운전자 및 보행자의 음주여부와 보행자-차량간 충돌사고의 연관성을 분석하기 위해 운전자 및 보행자의 음주여부에 대한 자료가 필요하나 본 연구에서는 보행자-차량 충돌사고에 영향을 미치는 근린의 물리적 환경특성에 초점을 맞추고 있으므로 근린 내 술집수를 주요 변인으로 살펴보았다. 그러나 향후 연구에서는 좀 더 구체화된 자료수집을 통해 보행자 및 운전자의 음주여부 등 개인적 특성을 함께 고려할 필요가 있다고 사료된다.
- 주10. 공간분석에서 총계적(aggregate) 데이터를 사용할 때 생길 수 있는 문제점(Modified Areal Unit Problem; MAUP)으로 판단된다(Holt et al, 1996).
- 주11. 보행자량의 차이가 도시공간에 따라 크게 다르기 때문에 종속변수를 사고수/보행밀도 또는 사고수/차량통행밀도로 정의하는 것이 바람직하다. 그러나 본 연구 또한 선행연구와 마찬가지로 보행자량 및 차량통행량 자료를 수집하는 못한 한계점을 지니고 있다. 따라서 보행자안전을 위한 정책 연구를 위해서는 정부차원에서 지역별 보행자량 또는 차량통행량 DB 구축이 필요하다.
- 주12. 근린 내 주민들의 대중교통 이용률을 정확하게 측정하는 것은 불가능하므로 본 연구에서는 버스노선 및 버스정거장이 많은 지역이 일반적으로 대중교통 이용률이 높으므로 버스정거장수를 대중교통 이용률의 대안변수로써 고려하였다.
- 주13. 회귀분석모형에서 설명변수들간의 높은 상관관계는 다중공선성 문제를 야기할 수 있다. 그러나 음이항 회귀분석모형결과에서는 설명변수간의 다중공선성을 파악하기 어려우므로 본 연구에서는 대안적으로 변수간 상관관계분석 및 일반선행회귀분석의 VIF(Variance Inflation Factor) 결과값을 통해 설명변수간의 다중공선성 문제를 사전에 피하도록 노력하였다. 본 연구의 개별 음이항 회귀분석모형에서 통계적으로 유의한 것으로 나타난 변인 중 주거밀도와 횡단보도밀도는 다른 변수와 심각한 다중공선성 문제가 의심되어 최종모형에서 제외하였다.
- 주14. 위에서 설명한 바와 같이 보행자량(또는 보행밀도) 및 차량통행량이 보행자-차량 충돌사고에 영향을 미치는 주요 요인일 수 있다. 본 연구에서는 선행연구(Loukaitou-Sideris et al, 2007; Wier et al, 2009)와 마찬가지로 보행자량 및 차량통행량을 통제하기 위한 대체요인으로 인구밀도를 고려하였다. 일반적으로 사용되는 95% 유의수준에서 인구밀도가 통계적으로 유의하지 않았지만, 90% 유의수준에서는 유의한 결과를 보여준다. 따라서 본 연구결과만으로 인구밀도가 보행자-차량간 충돌사고에 영향을 미치지 못한다고 단정짓기는 어

렵다고 하겠다.

- 주15. www.newurbanism.org 와 www.smartgrowth.org
참조

인용문헌

References

1. 이건학, 2004. "GIS와 공간 데이터마이닝을 이용한 교통사고의 공간적 패턴 분석", 「대한지리학회지」 39(3): 457-472.
- Lee, G. H., 2004. "A Study on Spatial Patterns of Traffic Accidents using GIS and Spatial Data Mining Methods: A Case Study of Kangnam-gu, Seoul", *Journal of Korean Geographical Society*, 39(3): 457-472.
2. Brude, U. and Larsson, J., 2000. "What round-about design provides the highest possible safety?", *Nordic Road Transport Research*, 12: 17-21.
3. Campbell, B., Zegeer, C., Huang, H., and Cynecki, M., 2004. *A Review Pedestrian Safety Research in the United States and Abroad*. U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration, FHWA-RD-03-042.
4. Cho, G., Rodriguez, D. A., and Khattak, A. J., 2009. "The role of the built environment in explaining relationship between perceived and actual pedestrian and bicyclist safety", *Accident Analysis and Prevention*, 41: 692-702
5. Garder, P. E., 2004. "The impact of speed and other variables on pedestrian safety in Maine", *Accident Analysis and Prevention*, 36(4): 533-542.
6. Gelman, A. and Hill, J., 2007. *Data Analysis Using Regression and Multilevel/Hierarchical Models*. Cambridge University Press: U.K.
7. Hess, P., Moudon, A. V., and Matlick, J. M., 2004. "Pedestrian Safety and Transit Corridors", *Journal of Public Transportation*, 7(2): 73-93.
8. Holt, D., Steel, D., Tranmer, M., and Wrigley, N., 1996. "Aggregation and ecological effects in geographically based data", *Geographical Analysis*, 28(3): 244-261.
9. Knoblauch, R. L., Justine, B. H., Smith, S. A., and Pretrucho, M. T., 1988. *Investigation of exposure-based pedestrian accident areas: Crosswalks, sidewalks, local streets, and major arterials*. Washington, DC: Federal Highway Administration.
10. Knoblauch, R. L. and Raymond, P. D., 2000. *The effect of crosswalk markings on vehicle speeds in Maryland, Virginia, and Arizona*: U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration, HWA-RD-00-101.
11. LaScala, 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.
12. Lee, C. and Abdel-Aty, M., 2005. "Comprehensive analysis of vehicle-pedestrian crashes at intersections in Florida", *Accident Analysis and Prevention*, 37(4): 775-786.
13. Loukaitou-Sideris, A., Liggett, R., and Sung, H., 2007. "Death on the Crosswalk - A Study of Pedestrian-Automobile Collisions in Los Angeles", *Journal of Planning Education and Research*, 26: 338-351
14. Schneider, R., Rynznar, R., and Khattack, A., 2004. "An accident waiting to happen: a spatial approach to proactive pedestrian planning", *Accident Analysis and Prevention*, 36:193-211
15. Starnes, M. and Longthorne, A., 2003. *Child Pedestrian Fatality Rates by Striking Vehicle Body Type: A Comparison of Passenger Cars, Sport Utility Vehicles, Pickups, and Vans*. National Center for Statistics and Analysis: Washington, D.C.
16. Schoon, C and Van Minnen, J., 1994. "The safety of roundabouts in the Netherlands", *Traffic Engineering and Control*, 35(3):

- 142-148.
17. Van Houten, R., Retting, R. A., Farmer, C. M., and Van Houten, J., 2000. "Field evaluation of a leading pedestrian interval signal phase at three urban intersections", *Transportation Research Record*, 1734: 86-92.
18. Wier, M., Weintraub, J., Humphreys, E. H., Seto, E., and Bhatia, R., 2009. "An area-level model of vehicle-pedestrian injury collisions with implications for land use and transportation planning", *Accident Analysis and Prevention*, 41(1): 137-145.
19. Zegeer, C. V., Stewart, J. R., Huang, H. H., and Largerwey, P. A., 2002. *Safety Effects of Marked vs. Unmarked Crosswalks at Uncontrolled Locations: Executive Summary and Recommended Guidelines*: U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration, FHWA-RD-01-075

논 문 투 고	2013-07-22
1 차 심 사 완 료	2013-08-28
수 정 일	2014-02-28
2 차 심 사 완 료	2014-04-08
수 정 일	2014-04-08
최 종 본 접 수	2014-04-24