pISSN : 1226-7147 eISSN : 2383-9171
https://doi.org/10.17208/jkpa.2018.06.53.3.57

Journal of Korea Planning Association Vol.53, No.3 (2018)
대한국토·도시계획학회지「국토계획」제53권 제3호 pp.57-73

초등학교 주변의 보행자 교통사망사고에 영향을 미치는 요인에 관한 연구 : 서울시의 초등학교를 중심으로*

A Study on the Factors Affecting Pedestrian Traffic Fatal Accidents around Elementary Schools : A Case Study of the Seoul Metropolitan City

권지혜** · 박승훈***
Kwon, Jihye · Park, Seunghoon

Abstract

Seoul Metropolitan City signed a MOU with UNICEF to establish a child-friendly city. Through this, Seoul needs to build a city that protects children's right to live. However, children in Korea are currently being threatened by traffic accidents. To this end, the designation of child protection areas has been steadily increased, but its effect is insufficient. Therefore, this study aims to analyze built environment around the school that affects pedestrian traffic fatal accidents, especially focusing on elementary schools. The dependent variable of this study is the number of pedestrian traffic fatal accidents within the radius of 400m, 800m, and 1,500m of an elementary school in Seoul from 2012 to 2015. The independent variables used in this study are road types, road facilities, public transit, land use factors, and land development factors. The main result of this study shows that spatial econometric models such as SLM and SEM have more statistical explanatory power than OLS-based model because the spatial distribution of pedestrian traffic fatal crashes has spatial autocorrelation. It also indicates that the statistical significances of explanatory variables depend on the buffer size. In order to build a safe school district from vehicle collisions, it is necessary to have a comprehensive urban planning approach.

키 워 드 ▪ 안전한 통학로(SRTS), 지리정보시스템(GIS), 공간자기상관성, 공간회귀모형
Keywords ▪ Safe Route to School(SRTS), Geographic Information System(GIS), Spatial Autocorrelation, Spatial Regression Model

Ⅰ. 서 론

1. 연구의 배경 및 목적

지난해 5월 서울시는 유니세프와 아동친화도시 조성을 위한 MOU를 체결하였다. 이에 향후 서울시는 아동친화도시 조성을 위해 아동친화도시 10가지 기본원칙과 아동권리 협약에 따른 4대 권리를 중심

* 본 논문은 「2017 서울연구논문 공모전」에 참여하여 구득한 데이터를 사용하였으며, 2017년 (사)대한국토·도시계획학회 추계학술대회에서 발표한 논문을 수정. 보완한 것임.
** Master Student, Department of Urban Planning, Keimyung University
*** Assistant Professor, Department of Urban Planning, Keimyung University(corresponding author: parksh1541@kmu.ac.kr)

으로 정책을 추진하고 인프라를 구축하여야 한다. 정책의 핵심 내용이 되는 아동권리 협약에 따른 4대 권리는 생존권, 보호권, 발달권, 참여권이다. 이 중 가장 기본적인 권리이자 중요한 권리는 아이들의 생명을 유지할 '생존권'이라 할 수 있다. 하지만, 현재 우리나라의 어린이들은 교통사고에 의해 생존권에 큰 위협을 받고 있다.

우리나라는 교통사고로부터 어린이들을 보호하기 위해 학교 주변에 어린이 보호구역을 꾸준히 지정해왔다. 어린이 보호구역은 2005년 7,056개에 불과했지만 2011년 14,921개, 2016년 16,355개가 지정되었음을 알 수 있다〈그림 1(a)〉.

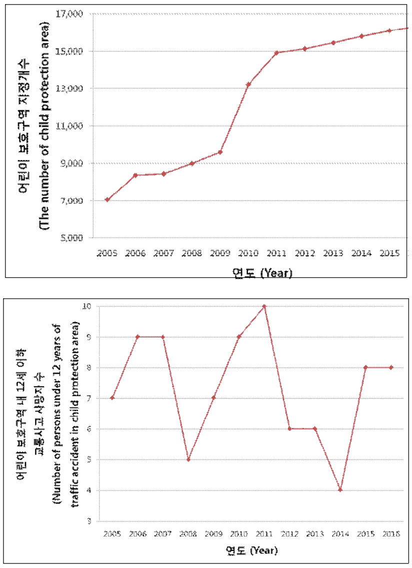

Fig. 1. (a) Designated areas for child protection from 2005 to 2016 (the number)
(b) Number of children under 12 years of age who died in a traffic accident for 2005-2016 within child protection areas (the number)
출처: 행정안전부, 2017. "교통사고 다발 스쿨존 특별점검 실시", 서울.

어린이 보호구역의 지정개수를 계속해서 증가시켰음에도 불구하고 어린이의 보행안전을 확보하지 못했다. 2005년 어린이 보호구역 내에서 교통사고로 인해 사망한 어린이의 수는 7명이고, 2016년 어린이 보호구역 내에서 교통사고로 인해 사망한 어린이의 수는 8명이다〈그림 1(b)〉.

이는 같은 기간 동안 (2005년~2016년) 어린이 보호구역의 지정 개소를 약 2배 이상 추가로 지정하였음에도 불구하고 실질적으로 어린이에게 안전한 교통 환경을 제공하지 못하고 있음을 시사한다.

특히 어린이 보호구역 내의 교통사고로 인해 어린이가 사망하였다는 것은 어린이의 생존권이 크게 위협받고 있음을 의미한다. 10여년의 기간이 넘는 사고통계를 통해, 단순한 어린이 보호구역의 지정은 어린이에게 안전한 통학로를 조성시켜 주지 못함을 확인할 수 있다.

따라서 본 연구의 목적은 서울시 초등학교를 대상으로 가로환경, 가로시설, 대중교통, 토지이용, 개발밀도가 교통사망사고에 미치는 영향을 분석하는 것이다. 본 연구의 결과는 향후 서울시에서 안전한 통학로를 조성함에 있어 실증적 근거가 되고, 나아가 아동친화도시 조성에 기여할 것으로 예상한다.

2. 연구의 범위

본 연구는 서울시 초등학교 통학로 내에서 발생하는 보행자 교통사망사고에 영향을 미치는 초등학교 주변의 물리적 환경을 실증적 연구를 통해 분석하는 것이다.

따라서 본 연구의 공간적 범위는 서울시로 설정하였다. 서울시는 우리나라 전체 인구의 약 20% 이상이 거주하고 있으며, 타 지역에 비해 통행이 집중된다. 특히 서울시의 교통사고 사망자 중 57.7%는 보행사망자로서, 이는 전국(39.9%)보다 약 18%가량 높은 비율을 나타내고 있다(도로교통공단 신호등, 2017).

또한, 본 연구의 공간적 단위는 한국교육개발원 교육시설·환경연구센터에서 2014년 작성한 「교육환

경평가 기준 및 방법」을 참고하여 설정하였다. 이는 학교보건법 시행규칙 별표7과 교육환경평가서 작성 등에 관한 규정을 근거로 작성되었다. 이 자료에 따르면, 초등학교의 적정한 통학범위는 도보로 30분 정도의 거리로 정의하였으며, 통학범위에 대해 평가 기준 항목은 아래 <표 1>과 같다. <표 1>에 근거하여 본 연구에서는 공간적 단위를 서울시 초등학교의 반경 400m, 800m, 1,500m로 설정하였다.

Table 1. Elementary school commuting range evaluation index

Score	Judgment Condition
Very inadequate (1Point)	Maximum walking distance more than 1,500m
Inadequate (2Point)	Maximum walking distance from 1000m to less than 1,500m
Usually (3Point)	Max walking distance more than 800m to less than 1,000m
Good (4Point)	Max walking distance 400m to less than 800m
Very Good (5Point)	Max walking distance less than 400m

출처: 한국교육개발원, 2014. "교육환경평가 기준 및 방법", 충북 진천.

반경 400m는 초등학교 통학범위로서 '매우 우수'한 수준이며, 반경 800m는 초등학교 통학범위의 기준의 중간값이며, 해외의 선행연구에서 주로 사용되는 초등학교 통학권이다(Marlon G. Boarnet et al, 2005). 반경 1,500m는 초등학교 통학범위로서 '매우 미흡'한 수준이지만 「도시·군계획시설의 결정·구조 및 설치기준에 관한 규칙」중 제89조 11항 '초등학교는 학생들이 안전하고 편리하게 통학할 수 있도록 다른 공공시설의 이용관계를 고려하여야 하며, 통학거리는 1천 5백 미터 이내로 할 것'에 근거하여 설정하였다.

연구의 시간적 범위와 내용적 범위는 2012년부터 2015년, 도로교통공단 TAAS에서 제공하는 교통사망사고 중 '차대차', '차량단독' 사고를 제외한 '차대사람' 사고만을 본 연구에서 사용한다. 특히 차대사람 사고 중 사고심각도가 가장 높으며, 또한 현재 위치좌표 정보가 유일하게 제공되는 교통사망사고 자료를 중심으로 분석하였다.

또한, 사고 자료와의 시간적 일치성을 최대화하기 위해 서울시 전체 592개 초등학교 중 2015년 이후 개설된 초등학교 2개(새솔초, 송례초)와 초등학교 반경 400m를 기준으로 그 반경의 면적 50% 이상이 경기도에 해당하는 초등학교 2개(태강삼육초, 우솔초)를 제외, 총 588개의 서울시 내 초등학교를 본 연구의 공간적 범위로 설정하였다.

Ⅱ. 선행연구 고찰

1. 보행자 교통사고에 영향을 미치는 건조환경(Built Environment) 요인에 관한 연구

많은 학자들이 보행자 교통사고에 관해 연구해왔다. 보행자 교통사고의 사고 심각도, 특정계층 보행자의 교통사고 등 다방면으로 연구가 진행되어 왔다. 하지만 본 연구에서는 주제와의 적합성을 고려하여 우선 보행자 교통사고에 영향을 미치는 환경요인에 관한 연구를 살펴보고자 한다.

근린환경이 보행자-차량 충돌사고(보행자 교통사고)에 미치는 영향으로 박승훈(2014a)은 북미 워싱턴 주 시애틀 도시를 대상으로 연구하였다. 음이항 회귀분석모형을 통해 토지이용 관련 변인, 장소변인 중 버스정거장 수 등이 보행자 교통사고에 통계적 유의성을 보여준다고 하였다. 이는 근린의 환경개선을 통해 보행자 교통사고를 감소시키기 위해서는 다양한 환경요인들의 고려해야 함을 시사하고 있다.

서지민·이수기(2016)도 보행자 교통사고에 미치는 물리적 환경의 요인을 음이항 회귀분석모형을 활용하였다. 가로요인을 주로 사용하였고, 그 결과 보행자 안전을 우선시하는 도로정책의 필요성을 제언하였다. 또한, 도로구조 혹은 도로 시설물만으로는 보행자의 안전을 확보하지 못하며 이는 안전교육이 병행되어야 하는 부분이라 이야기하였다.

이세영·이제승(2014)은 보행자 중에서도 어린이와 노인계층을 추출하여 이들의 보행안전을 위한 근린환경요인을 공간회귀모형을 이용하여 분석하였다. 분석결과 교차로 밀도, 도로면적 비율, 버스정류장 및 지하철역 밀도 등이 보행자 교통사고에 영향을 미치고 있음을 알 수 있었다.

2. 안전한 통학로(SRTS)에 관한 연구

이처럼 보행자 교통사고에 관한 연구는 주로 사고가 발생한 주변의 물리적 환경 요인과의 영향 분석 위주로 진행되어 왔다. 특히 우리나라의 경우 전체 보행자 교통사고 중 어린이의 교통사고 비중이 높은 편이여서 최근 통학로 내의 보행자 교통사고와 그에 영향을 미치는 환경 요인에 관한 관심이 증가하고 있다.

박경훈·변지혜(2012)는 창원시의 초등학교를 대상을 초등학교 주변의 물리적 환경이 보행안전에 어떠한 영향을 미치는 지 연구하였다. 이 연구에서는 현장조사를 통해 창원시에 위치한 20개 초등학교 주변 가로수준의 객관적, 주관적 보행환경을 평가하였고, GIS를 이용하여 근린생활권 수준의 토지이용 패턴을 상관분석 하였다. 분석결과 가로 수준의 보도 위 영구적 장애물, 조명시설, 근린생활권 수준의 단독주택 및 도로 면적율 등은 교통사고 위험도와 높은 상관성을 가지는 것으로 나타났다.

통학로를 대상으로 한 다른 국내의 연구는 박승훈(2014b)의 연구이다. 이 연구는 박경훈·변지혜(2012)와 같이 안전한 통학로를 조성하기 위한 목적의 연구이지만, 워싱턴 주 시애틀 시의 초·중·고등학교를 중심으로 적절한 보행통학거리인 800m이내의 물리적 환경을 중점적으로 분석하였다. 학교주변의 가로환경변인, 학교주변 장소 관련 변인, 토지이용 관련 변인, 인구·경제 관련 변인을 고려하여 통학로 내에 보행자 사고를 유발하는 요인을 분석하고자 하였다. 음이항 회귀모형을 사용하여 분석하였고, 향후 안전한 통학로 조성을 위해서는 도로설계 접근뿐만 아니라 도시 정책 측면에서도 관심을 가질 필요가 있다고 제언하였다.

안전한 통학로에 대해 국내에서 관심을 가지기 훨씬 이전부터 유럽, 미국 등에서는 보행자의 안전 특히, 어린이의 안전한 보행에 관심을 가져왔다. 어린이들의 보행은 주로 등교 및 하교 시 발생하기 때문에 통학로 안전성에 대한 관심도 증가하게 되었다.

Marlon G. Boarnet et al.(2005)는 어린이들이 등하교시 걷거나 자전거를 타는 것이 신체활동을 증진시켜준다고 이야기하면서, 이때 통학로의 안전성에 대해 강조하였다. 특히 캘리포니아에서는 Safe Routes To School (SRTS)에 대한 것을 법률로 제정하여 보행자 도로, 신호등, 자전거 도로, 횡단보도 등을 증진시키도록 하였다. 이에 Marlon G. Bornet et al.(2005)는 SRTS 프로젝트가 거의 모두 구축된 지역과 그렇지 않은 지역의 부모를 대상으로 설문조사를 실시하여 도시 형태의 변화가 어린이들의 통학에 미치는 영향에 대해 연구하였다. 그 결과, SRTS 프로젝트 근처의 학생들의 높은 교통안전 인식 등 다양한 방면에서의 긍정적 효과를 밝혀내었다. 이를 통해 단순히 교통안전의 측면뿐만 아니라 건강·보건의 측면에서도 안전한 통학로(SRTS)의 조성은 중요함을 시사하고 있다.

3. 선행연구와의 차별성

본 연구는 서울시의 아동친화도시 조성을 위한 안전한 통학로 조성이 가능하도록 정책적 제언을 목적으로 한다.

앞서 살펴본 주요 선행연구들은 크게 보행자 교통사고에 영향을 미치는 환경요인에 관한 연구와 안전한 통학로에 관한 연구를 위주로 살펴보았다.

이에 주목할 점은 토지이용 관련 변인과 용도별 시설에 관한 밀도는 보행자 교통사고와 보행량에 영향을 미치는 환경 요인에 공통적으로 사용되고 있음을 알 수 있었다.

또한, 안전한 통학로의 경우 대부분 국외연구이며 국내의 경우 실증적 분석을 사용한 경우가 미흡하다. 박경훈·변지혜(2012)의 연구는 창원시의 모든 초등학교의 가로수준 환경에 현장조사를 기반으로 데이터를 작성하였지만, 이를 물리적 환경 측정변수와 보행안전 설문조사 결과의 상관분석을 실시하는 것으로 그쳤다. 또한 박승훈(2014b)의 연구는 그 대상지가 미국의 시애틀시를 대상으로 하여, 연구의 결론을 국내에 적용시키기 다소 힘들 것으로 예상된다.

따라서 본 연구에서는 서울시의 안전한 통학로 조성 정책 제언을 위해 보행자 교통사고뿐만 아니라 안전한 통학로 조성에 대한 실증적 연구를 국내의 공간적 범위에 미시적으로 적용시킨다는 것에 그 의의가 있다.

Ⅲ. 분석의 틀

1. 연구 방법

본 연구에서 종속변수로 사용될 서울시 내 초등학교 반경 400m/800m/1,500m 내의 교통사망사고의 속성정보에는 공간적 정보가 포함되어 있다. 종속변수뿐만 아니라, 본 연구에서 사용될 독립변수 요인들도 각각의 공간적 정보를 모두 포함하고 있다. 이처럼 공간적 정보를 포함하고 있는 요인들을 대상으로 연구를 할 때에는, 그 요인들의 공간자기상관성(Spatial Autocorrelation)에 유의해야 한다. 공간자기상관성이란 공간상의 존재들이 공간에 무작위로 분포하는 것이 아닌, 서로 영향을 주고 받음을 의미한다. 이 영향은 공간상 존재들의 거리가 가깝거나, 인접성이 높을수록 커진다(진창종 외, 2012). 이와 함께 본 연구와 같은 횡단면적 자료는 자료의 속성상 공간적 자기상관과 함께 이분산성(heteroskedasticity)의 문제점을 내포하고 있다(전해정, 2016). 일반적으로 이분산성을 통제하기 위해 포아송 또는 음이항모형을 사용하나, 포아송 또는 음이항모형은 공간적 자기상관성을 고려하지 못하는 모형의 한계점을 지니고 있다(MQ Quddus, 2008). 공간적 속성을 지니는 횡단면 자료를 분석하는 본 연구의 경우 이분산성 문제보다는 공간적 자기상관의 문제가 더 크므로 공간적 자기상관성을 고려할 수 있는 공간회귀모형을 사용하여 분석하였다(전해정, 2016).

공간적 정보를 포함한 요인들을 대상으로 공간자기상관성 검정 실시를 하게 되면 그 결과는 −1에서 1사이의 값으로 나타나게 된다. 1에 가까울수록 공간자기상관이 유의하게 나타남을 의미한다(이희연·심재헌, 2011). 만약 본 연구에서 종속변수로 사용될 서울시 초등학교 반경 400m/800m/1,500m 내의 교통사망사고 공간자기상관성 검정결과, 공간자기상관성이 유의하다고 나타나게 되면 최소자승법모형(Ordinary Least Square, OLS)보다는 공간적 자기상관성을 통제할 수 있는 공간회귀모형이 더 적합하다(진창종 외, 2012; 박철영 외, 2016). 따라서 본 연구에서는 수집된 변수를 대상으로 공간자기상관성 검정을 실시한 후, 결과값이 공간자기상관

성이 없다고 나타나면 최소자승법모형, 있다고 나타나면 공간오차모형(SEM: Spatial Error Model) 또는 공간시차모형(SLM: Spatial Lag Model)과 같은 공간회귀모형을 사용한다[1].

2. 자료수집과 변수 설정

본 연구에서 사용되는 분석항목과 그에 따른 자료수집은 <표 2>와 같다. 종속변수로 사용되는 보행자 교통사망사고는 TAAS(도로교통공단)에서 제공하는 2012~2015년 전국 교통사망사고 자료 중 서울시에서 발생한 차대사람 교통사망사고 자료만을 추출하여 사용한다.

추출된 자료의 각 사고 지점을 지오코딩하여 한국Bessel 좌표계로 지정하였다. 따라서 한국 Bessel 좌표계는 본 연구의 모든 공간적 정보가 있는 변수에 대한 기준 좌표로 설정하였다.

본 연구에서 사용되는 독립변수는 크게 도로유형, 도로시설, 대중교통, 토지이용, 토지개발 밀도로 설정하였다.

도로유형에는 소로 길이의 합, 중로 길이의 합, 대로 이상의 길이의 합과 최대제한속도의 평균을 사용하였다. 소로의 길이는 도로 폭 12m 미만의 도로를 분류하여 초등학교 반경 400m에 해당되는 모든 소로의 길이 총합을 의미한다. 중로의 길이는 도로 폭 12m 이상 ~ 25m미만의 도로를 분류하여 초등학교 반경 400m에 해당되는 모든 중로의 길이 총합을 의미한다. 대로 이상의 길이는 도로 폭 25m이상의 도로를 분류하여 초등학교 반경 400m에 해당되는 모든 대로 이상의 길이 총합을 의미한다. 같은 면적 내에서 도로 길이의 합이 길수록 도로의 구조가 복잡하거나 차량통행량이 더 많은 것을 의미한다. 이를 통해 각각 도로 폭에 따른 도로 길이의 합을 독립변수로 활용하고자 한다. 최대제한속도는 주행 중인 차량의 속도를 저감시키기 위한 제도적 요인으로 통학로 내 교통사망사고에 어떤 영향을 미치는지 파악하고자 한다.

도로시설 요인에는 교차로, 신호등, 횡단보도, 과속방지턱, 가로수가 있다. 교차로는 둘 이상의 도로가 만나 교차하는 지점으로서, 교통사고가 발생하기 쉬운 가로구조로 판단하여 독립변수로 활용하였다. 신호등, 횡단보도, 과속방지턱은 보행자와 차량의 통행을 제어하는 역할을 함으로서 독립변수로 활용하였다. 가로수는 도시의 미관을 조성하고, 보행자, 운전자 등에게 쾌적함, 심리적 안정감 등을 제공하기 위해 식재된다. 가로환경 조성을 위한 가로수가 통학로 내의 교통사망사고에는 어떠한 영향을 미치는 지 알아보고자 변수로 선정하였다.

대중교통 요인인 버스정류장, 지하철역 입구는 잠재적 보행자량을 대변할 수 있는 대리변수로서 고려하였다.

토지이용 요인으로는 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」의 분류에 따라 주거지역과 보행자 교통사고와의 연관성을 살펴보았다. 또한 학교 주변의 학생들이 생활 활동의 공간이 될 수 있는 공원의 영향력을 함께 고려하였으며, 서울시의 경우 일부 지역이 상업, 공업, 업무지역이 혼합적 토지이용 특성을 나타나는 점을 고려하여 Land Use Diversity Index로서 토지이용 용도의 혼합도를 분석하였다.

토지개발 요인으로는 주거용 건물의 용적률의 평균과 상업용 건물의 용적률 평균을 활용하였다.

초등학교 반경의 건물들을 주거용과 상업용으로 분류하여 개발밀도가 교통사망사고에 미치는 영향에 대해 파악하고자 한 것이다. 주거용 건물은 단독주택, 공동주택이 해당되며 상업용 건물에는 제1종 근린생활시설, 제2종 근린생활시설, 판매 및 영업시설, 판매시설이 이에 해당된다.

Table 2. Definitions of selected variables and data sources

Classification		Variable	Definition	Data source
Dependent variable			No. of traffic fatal accidents within the radius of 400m / 800m / 1,500m of an elementary school from 2012 to 2015	TAAS
Ind. var.	Road type	Narrow road	Sum of narrow road length within the radius of 400m / 800m / 1,500m of an elementary school	The Korea Transport Institute
		Middle road	Sum of middle road length within the radius of 400m / 800m / 1,500m of an elementary school	
		Main road	Sum of main road length within the radius of 400m / 800m / 1,500m of an elementary school	
		Maximum speed limit	Ave. of maximum speed limit within the radius of 400m / 800m / 1,500m of an elementary school	
	Road facility	Intersection	No. of intersection within the radius of 400m / 800m / 1,500m of an elementary school	
		Traffic Light	No. of traffic light within the radius of 400m / 800m / 1,500m of an elementary school	
		Crosswalk	No. of crosswalk within the radius of 400m / 800m / 1,500m of an elementary school	Seoul open data plaza
		Hump	No. of hump within the radius of 400m / 800m / 1,500m of an elementary school	
		Street tree	No. of street tree within the radius of 400m / 800m / 1,500m of an elementary school	
	Public transit	Bus stop	No. of bus stop within the radius of 400m / 800m / 1,500m of an elementary school	
		Subway entrance	Dummy of subway entrance within the radius of 400m / 800m / 1,500m of an elementary school	
	Land use	Residential area ratio	Percentage of residential area within the radius of 400m / 800m / 1,500m of an elementary school	Urban Planning Information System (UPIS)
		Park area ratio	Percentage of park area within the radius of 400m / 800m / 1,500m of an elementary school	
		LUDI	Land Use Diversity Index of res·com·fac·green uses	
	Land development	Residential building FAR	Average of residential building FAR within the radius of 400m / 800m / 1,500m of an elementary school	GIS Building integrated information inquiry service
		Commercial building FAR	Average of commercial building FAR within the radius of 400m / 800m / 1,500m of an elementary school	

IV. 분석결과

1. 기초통계량 검정

본 연구에 사용된 변수들의 각 공간적 단위별로 기초통계 결과는 다음의 〈표 3〉과 같다.

Table 3. Descriptive analysis and multicollinearity diagnosis within the radius 400/800/1,500m

Classification		Variable	Radius	Mean	Std. Dev.	Min.	Max.	VIF
Dependent variable		No. of traffic fatal accidents	400	0.97	1.234	0	7	·
			800	3.91	2.826	0	16	·
			1,500	13.03	7.127	0	39	·
Ind. var.	Road type	Sum of narrow road length	400	58,002	121,719	0	2,029,249	1.28
			800	201,124	285,268	0	2,295,626	1.54
			1,500	624,996	583,596	21,630	3,415,232	1.99
		Sum of middle road length	400	8,629	14,088	0	137,108	1.07
			800	22,745	27,905	343	216,107	1.09
			1,500	59,445	53,311	3,661	351,904	1.24
		Sum of main road length	400	24,296	54,660	0	460,512	1.33
			800	53,548	79,668	0	500,999	1.21
			1,500	115,029	106,623	0	601,463	1.34
		Ave. of maximum speed limit	400	48.3	7.1	30	80	1.18
			800	49.5	4.186	65	34	1.23
			1,500	49.8	2.731	30	60	1.41
	Road facility	No. of intersection	400	104.1	69.1	0	329	1.51
			800	399.9	220.6	0	1,168	2.12
			1,500	1,296.8	592.6	48	3,086	3.63
		No. of traffic light	400	53.4	26.1	0	146	1.82
			800	193.3	70.9	0	440	3.76
			1,500	615.1	196.7	62	1,190	6.71
		No. of crosswalk	400	40.6	21.0	0	129	1.39
			800	149.2	57.3	0	361	3.61
			1,500	472.9	164.6	25	1,013	6.63
		No. of hump	400	14.11	11.0	0	82	1.15
			800	46.98	29.9	0	218	1.42
			1,500	143.2	75.1	3	426	1.71
		No. of street tree	400	316.4	216.7	0	2,235	1.42
			800	1,154.5	589.6	0	3,815	1.94
			1,500	3,686.3	1,495.7	0	7,611	2.45
	Public transit	No. of bus stop	400	9.2	5.8	0	36	1.45
			800	33.9	15.7	2	86	1.61
			1,500	108.4	40.9	14	281	2.28
		Subway entrance	400	1.9	3.1	0	16	1.12
			800	7.5	7.2	0	45	1.44
			1,500	24.6	19.3	0	112	2.27

Table 3. Descriptive analysis and multicollinearity diagnosis in radius 400/800/1,500m (continued)

Classification		Variable	Radius	Mean	Std. Dev.	Min.	Max.	VIF
Ind. var.	Land use	Percentage of residential area	400	80.3	24.2	0	101	1.37
			800	74.0	22.8	0	100	2.00
			1,500	67.3	20.7	0	98	3.07
		Percentage of park area	400	10.8	14.7	0	83	1.44
			800	13.4	13.5	0	69	1.64
			1,500	15.5	11.9	0	62	1.74
		Land Use Diversity Index	400	0.03	0.18	0	1	1.15
			800	0.08	0.27	0	1	1.43
			1,500	0.14	0.35	0	1	1.73
	Land develo -pment	Average of residential building FAR	400	70.1	57.2	0	318	1.08
			800	85.9	46.2	0	305	1.24
			1,500	86.1	34.2	0	349	1.87
		Average of commercial building FAR	400	85.6	83.3	0	682	1.08
			800	109.6	66.7	0	441	1.22
			1,500	111.5	47.0	0	317	1.92

우선 서울시 초등학교 반경 400m를 공간적 단위로 한 변수들의 기초통계 중 VIF값을 확인한 결과, 모두 5이하로 나타나 반경 400m의 독립변수에서는 다중공선성문제가 없다고 할 수 있다(서지민·이수기, 2016). 마찬가지로 반경 800m의 VIF 값은 5이하, 1,500m의 다중공선성은 10이하로 나타나 다중공선성에는 문제가 없음을 알 수 있었다.

2. 공간적자기상관성 (Spatial autocorrelation) 검정

본 연구에서 사용될 최종 모형을 선택하기에 앞서, 종속변수의 공간적자기상관성을 검정한다.

서울시 초등학교 반경 400m/800m/1,500m 내에서 발생한 보행자 교통사망사고의 수를 대상으로 공간적자기상관성 검정을 실시한다.

Table 4. Result of Spatial autocorrelation

Radius	Moran's Index	p-value
400m	0.129997	0.000
800m	0.339397	0.000
1,500m	0.627655	0.000

결과는 〈표 4〉와 같다. 본 연구의 각 공간적 단위에 대한 종속변수의 공간적자기상관성 검정을 실시한 결과는 다음과 같다. 반경 400m에서는 Moran's I의 값이 약 0.13으로 유의하게 나타났다. 반경 800m에서는 Moran's I의 값이 약 0.34, 반경 1500m에서는 약 0.63으로 모든 공간적 단위에서 공간적 자기상관성이 있는 것으로 나타났다. 따라서 본 연구에서는 일반선형회귀모델이 아닌 공간회귀모형의 사용이 적합하다고 할 수 있다

3. 회귀분석 결과

〈표 5〉, 〈표 6〉과 〈표 7〉은 각각 일반선형회귀모형(OLS)과 공간시차모형(SLM), 공간오차모형(SEM)의 결과를 보여주고 있다.

우선 모형의 설명력을 나타내는 Log likelihood 값을 살펴보면, 모든 반경에서의 값이 OLS 모형이 가장 작게 나타난 것을 알 수 있다. 또한 모형의 적합성을 보여주는 R-squared 값 역시도 모든 반경에서 OLS 모형이 가장 작게 나타났다. 이는 본 연구에서는 OLS 모형 보다는 공간적 자기상관

Table 5. Results of OLS Analysis

Independent variable		400m		800m		1500m	
		Coef.	t	Coef.	t	Coef.	t
Constant		-1.075*	-2.140	-7.400**	-3.990	-44.30**	-7.367
Road type	Sum of narrow road length	0.073*	2.188	0.281*	2.386	1.550**	4.255
	Sum of middle road length	0.061**	2.706	0.315**	3.055	0.919**	3.628
	Sum of main road length	0.045**	3.154	0.185**	3.688	0.574**	3.057
	Ave. of maximum speed limit	0.002	0.285	0.021	0.847	0.203**	2.649
Road facility	No. of intersection	0.238**	3.198	1.194**	4.608	2.698**	3.411
	No. of traffic light	-0.002	-0.923	0.002	0.779	0.003	1.559
	No. of crosswalk	-0.002	-0.616	0.006	1.896	0.016**	6.218
	No. of hump	0.006	1.268	0.002	0.420	-0.005	-1.499
	No. of street tree	-0.065	-1.766	-0.443**	-3.757	-0.136	-0.321
Public transit	No. of bus stop	0.038**	4.351	0.027**	3.675	0.027**	4.059
	Dummy of subway entrance	0.021	0.214	0.626*	2.307	-2.298*	-2.318
Land use	Percentage of residential area	-0.084	-1.618	-0.778**	-3.983	-3.470**	-5.112
	Percentage of park area	-0.077*	-2.458	-0.201*	-2.179	-0.506	-1.843
	Land Use Diversity Index	0.077**	3.284	-0.070	-0.850	-0.916**	-2.685
Land develo pment	Average of residential building FAR	0.004	0.159	-0.168	-1.624	-0.720	-1.268
	Average of commercial building FAR	0.021	0.837	-0.036	-0.376	0.191	0.337
R-squared		0.195		0.342		0.600	
Adjusted R-squared		0.173		0.323		0.590	
Log likelihood		-898.7		-1331.8		-1733.6	
Breusch-Pagan test		133.91**		80.399**		73.893**	
AIC		1821.31		2683.31		3480.73	
SC		1895.71		2757.71		3555.13	

*p<0.05, **p<0.01

Table 6. Results of SLM Analysis

Independent variable		400m		800m		1500m	
		Coef.	z	Coef.	z	Coef.	z
Constant		-1.200*	-2.445	-5.259**	-3.426	-18.819**	-5.481
Road type	Sum of narrow road length	0.067*	2.047	0.157	1.612	0.396	1.902
	Sum of middle road length	0.056*	2.529	0.198*	2.320	0.324*	2.252
	Sum of main road length	0.042**	3.012	0.120**	2.896	0.294**	2.771
	Ave. of maximum speed limit	0.002	0.319	0.008	0.387	0.012	0.272
Road facility	No. of intersection	0.225**	3.086	0.762**	3.515	0.746	1.660
	No. of traffic light	-0.001	-0.895	0.000	0.307	-0.000	-0.494
	No. of crosswalk	-0.002	-0.626	0.003	1.235	0.007**	4.999
	No. of hump	0.005	1.248	0.000	0.292	-0.000	-0.518
	No. of street tree	-0.051	-1.414	-0.251*	-2.560	0.420	1.748
Public transit	No. of bus stop	0.037**	4.266	0.020**	3.268	0.011**	2.962
	Dummy of subway entrance	0.024	0.252	0.561**	2.626	0.181	0.324
Land use	Percentage of residential area	-0.066	-1.308	-0.448**	-2.754	-1.252**	-3.220
	Percentage of park area	-0.070*	-2.306	-0.112	-1.475	0.093	0.595
	Land Use Diversity Index	0.077**	3.326	0.035	0.519	-0.100	-0.524
Land develo pment	Average of residential building FAR	0.006	0.233	-0.144	-1.680	0.169	0.523
	Average of commercial building FAR	0.018	0.721	-0.045	-0.578	-0.099	-0.308
Wy		0.163**	2.676	0.609**	15.266	0.839**	39.119
R-squared		0.208		0.539		0.869	
Log likelihood		-895.27		-1250.09		-1457.99	
Breusch-Pagan test		145.83**		88.02**		24.06**	
AIC		1826.53		2536.17		2951.98	
SC		1905.44		2615.07		3030.89	

*p<0.05, **p<0.01

Table 7. Results of SEM Analysis

Independent variable		400m		800m		1500m	
		Coef.	z	Coef.	z	Coef.	z
Constant		-1.226*	-2.381	-5.047**	-2.483	-19.778**	-3.388
Road type	Sum of narrow road length	0.073*	2.141	0.172	1.409	0.738*	2.179
	Sum of middle road length	0.052*	2.277	0.214*	1.992	0.563**	2.566
	Sum of main road length	0.041**	2.787	0.141**	2.668	-0.020	-0.153
	Ave. of maximum speed limit	0.004	0.549	0.017	0.650	0.109	1.514
Road facility	No. of intersection	0.226**	2.989	1.159**	4.186	1.175	1.777
	No. of traffic light	-0.002	-0.972	0.000	0.262	0.000	0.078
	No. of crosswalk	-0.001	-0.547	0.005	1.325	0.018**	6.087
	No. of hump	0.005	1.173	0.000	0.095	0.002	0.441
	No. of street tree	-0.039	-1.009	-0.319*	-2.536	0.256	0.819
Public transit	No. of bus stop	0.040**	4.392	0.025**	2.747	0.028**	3.356
	Dummy of subway entrance	0.020	0.206	0.731**	2.837	0.737	1.221
Land use	Percentage of residential area	-0.065	-1.225	-0.569**	-3.079	-2.120**	-4.460
	Percentage of park area	-0.071*	-2.183	-0.192*	-1.978	-0.437	-1.691
	Land Use Diversity Index	0.081**	3.440	0.087	1.103	0.309	0.976
Land development	Average of residential building FAR	0.004	0.166	-0.227*	-2.392	-0.110	-0.293
	Average of commercial building FAR	0.020	0.780	-0.063	-0.781	-0.082	-0.206
Lambda		0.334**	3.305	0.663**	16.307	0.935**	62.300
R-squared		0.208		0.543		0.897	
Log likelihood		-895.61		-1252.22		-1410.13	
Breusch-Pagan test		131.17**		74.66**		53.90**	
AIC		1812.45		2626.06		3162.36	
SC		1886.85		2700.47		3236.77	

*p<0.05, **p<0.01

성을 고려한 공간회귀모형이 더 적합하다는 것을 알 수 있다.

반면, 이분산성의 나타내는 Breusch-Pagan test는 OLS 모형뿐만 아니라 공간회귀모형에서도 여전히 나타나고 있으나, 횡단면 자료의 속성상 한계로 이해된다(전해정, 2016). SLM 모형과 SEM 모형의 두 공간회귀모형의 R-squared 통계값을 살펴보면, 우선 모든 반경에서 R-squared 값의 차이는 크지 않음을 알 수 있다. 그러나 모형의 상대적 적합도를 의미하며 값이 작을수록 더 적합한 모형임(H. Akaike, 1974; 정보미 외, 2015)을 나타내는 AIC(Akaike Information Criterion) 와 SC(Schwarz Criterion)의 값을 살펴보면 반경 400m에서는 SEM 모형이 더 적합한 모형임을 보여주며, 반면 800m와 1500m에서는 SLM모형이 더 적합한 모형임을 보여준다.

변수들의 통계적 유의성을 살펴보면, OLS 모형에서 통계적으로 유의하게 나타난 변수들이 공간적 자기상관성을 고려한 공간회귀모형에서는 영향력이 떨어지는 것을 보여주고 있다. 이는 공간단위의 크기에 따라 변수들의 영향력은 다르며, 특히 공간적 속성이 있는 자료의 경우 정확한 분석을 위해서는 공간적 자기상관성을 고려한 모형이 더 적합함을 보여주는 결과라 하겠다.

공간회귀모형을 중심으로 보행자 교통사망사고에 영향을 미치는 요인을 분석한 결과를 살펴보면, 400m, 800m, 1500m의 모형에 따라 통계적으로 유효한 변수들의 차이가 있음을 보여주고 있다. 이는 공간분석에서 공간단위의 설정에 따라 해석의 문제점이 발생할 수 있다는 Modified Areal Unit Problem(MAUP)으로 이해된다(Openshaw, 1984). 즉 공간적 속성을 내포하는 자료의 분석 경우 공간단위에 대한 명확한 이론적 근거가 필요하다고 하겠다.

변수별로 통계적 유의성을 살펴보면 도로유형 요인에서는 도로유형별 길이의 합이 일반적으로 보행자 교통사망사고에 영향을 미치는 요인으로 나타났다. 반경 400m의 경우 두 공간회귀모형에서 모두 소로, 중로, 대로이상의 길이의 합이 모두 양(+)의 방향으로 유의하게 나타났으며, 반경 800m에서는 중로와 대로이상의 길이의 합이 양(+)의 방향으로 유의하게 나타났다. 반면 반경 1,500m의 SEM 모형에서는 소로와 중로의 길이의 합이 양(+)의 방향으로 유의하게 나타났지만, SLM 모형에서는 중로와 대로 이상의 길이의 합이 양(+)의 방향으로 유의하게 나타났다. 전반적으로 반경이 커질수록 소로보다는 중로, 대로의 영향력이 더 크게 나타남을 알 수 있다. 즉, 반경 내에서 차량통행량이 많은 도로의 합이 클수록, 어린이가 사고에 노출될 가능성이 높다는 결과로 볼 수 있다. 도로의 총합과 달리 최대속도제한은 모든 공간회귀모형의 모든 반경에서 통계적 유의성을 보여주지 못하고 있다.

박준태 외(2010)는 차량속도가 도로유형보다 노인보행자 교통사고에 영향이 더 높다는 것을 입증하였다. 따라서 본 연구는 공개 자료의 한계로 인해 사고심각도가 가장 높은 사망사고 자료만을 중심으로 살펴보았으나, 향후 좀 더 정확하고 심도 있는 분석을 위해서는 사고 자료의 공개범위의 확대 필요성과 더불어 이를 기반으로 한 사고 심각도를 고려한 연구가 필요하다고 하겠다.

도로시설 요인에서는 두 공간회귀모형에서 일치하는 결과를 보여주나, 세 반경에서 영향을 미치는 요인이 각각 다르게 나타났다. 교차로 수는 반경 400m와 800m에서 양(+)의 방향으로 유의하게 나타났다. 즉 교차로가 많이 있는 학교 주변일수록 단순히 횡단보도 설치보다는 좀 더 적극적이고 실효적인 안전한 도로횡단을 위한 제도가 필요한 것으로 이해된다. 반면 횡단보도 수는 두 공간회귀모형의 1,500m 반경에서 양(+)의 방향으로 유의

하게 나타났다. 이는 보행자 교통사망사고와 중로 또는 대로의 양의 관계성과 같은 맥락으로 중로 또는 대로일수록 횡단보도의 간격이 넓어 무단횡단의 가능성이 높은 것으로 이해된다. 신호등 수 및 험프 수는 보행자 사망사고에 영향을 미치지 못하는 것으로 나타났다. 이는 단순히 교통안전시설물로 인식되어 온 시설물이 보행안전에 실질적으로 효과가 적을 수 있다는 기존의 연구내용과 유사한 결과라 하겠다(박승훈, 2014).

반면 가로수가 운전자뿐만 아니라 어린이 보행자의 시야를 방해할 거라는 가정과 달리 두 공간회귀모형의 800m 반경에서 음(-)의 상관성을 보여주고 있다. 가로수는 생활·교통 환경의 개선을 위하여 식재된 것을 말하는 데[2] 본 연구의 결과에 따르면 이는 그 기능의 효과가 있는 것으로 나타났다. 즉 학교 주변에 가로수가 많을수록 보행자 사망교통사고의 가능성은 낮게 나타는 것으로 밝혀졌다. 즉 가로수가 오히려 차량통행으로부터 보행공간의 영역성을 강화하는 것으로 이해된다.

대중교통관련 변인에서는 버스정류장은 두 모형의 모든 반경에서 양(+)의 방향으로 유의한 것으로 나타났다. 이는 보행자 차량사고의 노출정도를 나타내는 보행량이 버스정류장이 많은 지역일수록 높은 것으로 이해된다. 반면 지하철 출입구의 유무는 두 공간회귀모형에서 모두 반경 800m에서는 양(+)의 방향으로 유의하게 나타났으나 400m와 1,500m 모형에서는 통계적 영향력을 가지지 못하고 있다. 이는 위에서 서술한 MAUP의 문제점으로 이해된다.

토지이용특성에서는 반경에 따라 유의성의 차이는 있지만, 두 공간회귀모형에서의 반경 800m와 1,500m 반경에서 주거지 비율이 높을수록 사고의 가능성은 낮은 것으로 나타났다. 또한 공원 면적 비율의 경우 SEM 모형에서는 반경 400m와 800m에서, SLM 모형에서는 400m에서 공원면적의 비율이 높은 지역일수록 사고의 가능성은 낮은 것으로 나타났다. 특히 북미와 유럽과 달리 상대적으로 도심 내 공원이 부족한 국내의 경우 보행자 안전과 관련하여 공원의 중요성을 보여주는 결과라 하겠다. 혼합적 토지이용은 두 공간회귀모형에서 모두 400m 반경에서만 양(+)의 방향성을 나타내고 있다. Smart Growth 개념에 기반한 혼합적 토지이용의 보행친화성의 긍정적 면을 강조하는 북미와 달리 국내의 경우 학교 주변의 토지이용이 혼합적일수록 보행안전성은 다소 낮아지는 보여주고 있다(Handy, 2005).

마지막으로 토지개발밀도의 경우 학교 주변의 주거지 및 상업지의 개발밀도가 보행자 사망교통사고와의 영향력이 통계적으로 적음을 보여주고 있다.

V. 결론

본 연구는 서울시 초등학교 주변을 대상으로 보행자 교통사망사고에 영향을 미치는 요인을 공간회귀모형을 통해 도출하였다. 연구결과를 통한 결론은 다음과 같다.

첫째, 도로의 유형에 따른 도로 길이의 합이 길수록 보행자 교통사망사고의 발생이 증가한다. 특히 초등학교를 중심으로 반경이 좁을수록 모든 도로유형에서의 길이의 합이 영향을 미치는 것으로 나타났다. 같은 반경 내에서 도로 길이의 합이 길다는 것은 도로망이 복잡하다는 것을 의미한다[3]. 이와 같은 결과를 고려할 때, 초등학교 주변의 도로는 복잡한 도로망 보다는 최대한 단순한 구조의 도로망을 우선시 하는 것이 안전한 통학로 조성에 도움이 된다고 할 수 있다.

둘째, 교차로와 버스정류장은 보행자 교통사망사고의 발생을 증가시키는 것으로 나타났다. 교차

로의 경우 구조 특성상 차량 통행뿐만 아니라 보행 통행에서도 통행의 흐름을 복잡하게 하는 경향이 있다. 반면 횡단보도가 안전한 도로시설이 되기 위해서는 단순히 배치의 수를 증가시키는 등의 물리적 문제뿐만이 아니라 보행자의 안전을 위한 추가적인 요소를 고려해야 할 것이다.

셋째, 버스정류장과 지하철 출입구의 유무는 초등학교 통학로의 보행자 교통사망사고에 일반적으로 양의 영향을 보여주고 있다. 대중교통시설은 많은 선행연구에서 오히려 보행안전에 취약점으로 나타나 이에 관한 안전 조치 또는 교육이 필요하다.

넷째, 초등학교의 설치 시 녹지축과 연계해야 하는 것에 대한 정책적으로 필요하다. 「도시·군계획시설의 결정·구조 및 설치기준에 관한 규칙」 제89조 제1항 제7호에 따르면 학교주변에는 녹지 등 차단공간을 둘 것을 언급하고 있다. 본 연구의 결과는 학교 반경 내의 공원 면적은 초등학교 통학로의 보행자 교통사망사고를 감소시키는 요인으로 나타나 이러한 행정적 제도의 효율성을 입증하고 있다. 이에 위의 조항을 좀 더 수치적으로 구체화시키고, 의무화 시킬 필요가 있다.

다섯째, 통학로 내의 토지이용 혼합도는 보행자 교통사망사고에 부정적 영향을 미친다. 최근의 도시계획 경향은 콤팩트시티(Compact City), 뉴어바니즘(New Urbanism) 등 고밀도의 혼합개발이 주를 이룬다. 무분별한 도시의 팽창을 방지하며 차량을 통한 이동보다 사회적·환경적 지속가능성을 고려하여, 보행을 통한 이동을 유도하기 위함인데, 이와 같은 개발 형식은 국내의 경우 보행자의 안전에는 취약한 것으로 나타났다. 따라서 한국형 개발 기법을 통해 도시를 계획할 때에는 좀 더 심도있게 보행안전에 대해 고려해야 할 것이다.

본 연구는 서울시의 초등학교를 대상으로 안전한 통학로 조성을 위한 연구로서 그 차별성이 있지만 보행자를 대상으로 한 전체적인 교통사고를 고려하지 못하고 사망사고만을 고려했다는 점에서 연구의 한계가 있다. 이는 위치좌표가 함께 제공되는 TAAS 데이터가 교통사망사고만을 제공하고 있기 때문에 이는 데이터 제공의 근본적인 한계로 볼 수 있다. 향후 좀 더 실증적인 분석을 통해 실효적인 정책개발을 위해서는 공공자료의 공개의 범위가 확대될 필요가 있다. 본 연구의 실증적 연구를 통해 한국형 통학로 조성을 위한 심도 있는 연구와 정책개발이 필요하다고 하겠다.

주1. 공간오차모형 또는 공간시차모형 외에 공간오차와 공간시차의 두 가지 유형의 공간종속성을 한 모형에서 고려하는 일반공간모형(SAC: General Spatial Model)에서 공간가중치행렬(*W*: Spatial Weighted Matrix)은 2가지가 고려되어야 하며 단순한 지역적 인접성의 여부(*W1*)와 함께 보행자-차량사고와 관련하여 보행자 또는 차량의 인접지역간의 통행 가능여부(*W2*) 등이 고려될 수 있다(Blommestein, 1985; Anselin, 1988). 그러나 본 연구에서는 단순한 지역적 인접성 외에 통행 가능여부의 자료구득의 한계로 본 연구에서는 SLM 모형과 SEM 모형만을 선택하여 분석한다.

주2. 서울특별시 가로수 조성 및 관리 조례, 제1장 제1조

주3. 서울연구원 서울인포그래픽스 제 23호, 서울 주요지역의 도로 길이 비교

인용문헌
References

1. 도로교통공단, 2017.「신호등」, 441: 1-76.
The Road Traffic Authority, 2017. "Day and Night", *Traffic light*, 441: 1-76.
2. 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.

3. 박승훈, 2014a. "근린환경이 보행자-차량 충돌사고에 미치는 영향", 「국토계획」, 49(3): 143-157.
Park, S. H., 2014. "The Effect of the Neighborhood Built Environment on Pedestrian-Vehicle Collisions - Focused on the Cases of the City of Seattle, Washington, U.S.", *Journal of Korea Planning Association,* 49(3): 143-157.
4. 박승훈, 2014b. "안전한 통학로 조성을 위한 보행자-차량간 교통사고와 학교주변의 물리적 환경과의 연관성 연구", 「대한건축학회논문집 계획계」, 30(8): 181-189.
Park, S. H., 2014. "A Study on the Relationship between Pedestrian-Vehicle Collisions and the Physical Environment Surrounding Schools for Safe Routes to School", *Journal of the Architectural Institute of Korea Planning & Design,* 30(8): 181-189.
5. 박준태·최병부·이수범, 2010. "지방부 도로 고령 보행자 사고 특성분석연구", 「대한교통학회지」, 28(5): 155-162.
Park, J. T., Choi, B. B., and Lee, S. B., 2010. "A Study on the Characteristics of Traffic Accidents for the Elderly Pedestrians on Rural Highways", *Journal of Korean Society of Transportation,* 28(5): 155-162.
6. 박철영·이수기, 2016. "가로환경 특성이 보행자 교통사고에 미치는 영향 분석 - 가로 세그먼트 분석단위와 공간통계모형의 적용", 「한국도시설계학회지」, 17(3): 105-121.
Park, C. Y., and Lee, S. G., 2016. "An Analysis of the Characteristics of Street Environment Affecting Pedestrian Accidents - Applications of Street Segment Analysis Unit and Spatial Statistics", *Journal of The Urban Design Institute of Korea,* 17(3): 105-121.
7. 서울연구원, 2013. "서울 주요지역의 도로길이 비교", 「서울인포그래픽스」, 23호
The Seoul Institute, 2013. "Comparison of Road Length in Seoul", *Seoul Infographics,* 23.
8. 서지민·이수기, 2016. "서울시 보행자 교통사고에 영향을 미치는 물리적 환경 요인에 관한 연구 : 2014 TAAS 자료를 중심으로", 「국토계획」, 51(3): 197-216.
Seo, J. M., and Lee, S. G., 2016. "A Study on the Physical Environmental Factors Influencing Pedestrian Traffic Accidents in Seoul, Korea : Focused on the 2014 TAAS Data", *Journal of Korea Planning Association,* 51(3): 197-216.
9. 이세영·이제승, 2014. "어린이·노인 보행자 교통안전을 위한 근린환경요인", 「한국도시설계학회지」, 15(6): 5-15.
Lee, S. Y., and Lee, J. S., 2014. "Neighborhood Environmental Factors Affecting Child and Old Adult Pedestrian Accident", *Journal of The Urban Design Institute of Korea,* 15(6): 5-15.
10. 이희연·심재헌, 2011. 「GIS 지리정보학 -이론과 실습」, 경기: 법문사.
Lee, H. Y., and Sim, J. H., 2011. *GIS Geographic Information-Theory and Practice,* Gyeonggi: Beobmoonsa.
11. 전해정, 2016. "공간계량분석기법과 GIS를 이용한 주택가격모형 비교에 관한 연구", 「부동산학보」, 64: 46-56.
Chun, H. J., 2016. "The Study of Comparison of Housing Price Models by Using Spatial Econometrics and GIS", *Korea Real Estate Academy Review,* 64: 46-56.
12. 정보미·강일석·허태영, 2015. "서울시 교통사고 위험요인에 대한 공간모형 개발 및 위험도 추정에 대한 연구", 「서울도시연구」, 16(3): 151-162.
Jeong, B. M., Kang, I., S., and Heo, T. Y., 2015. "A Study on Estimation of Accident Hazard and Development of Spatial Model of Accident Risk Factor in Seoul Metropolitan Area", *Seoul Studies,* 16(3): 151-162.
13. 진창종·이향숙·추상호, 2012. "공간회귀분석을 활용한 통행발생모형 추정 연구 : 서울특별시를 중

심으로", 「국토연구」, 73: 131-143.
Jin, C. J., Lee, H., S., and Choo, S. H., 2012. "Developing Trip Generation Models Using Spatial Regression Analysis : A Case for Seoul, Korea", *The Korea Spatial Planning Review,* 73: 131-143.

14. 한국교육개발원, 2014. 「교육환경평가 기준 및 방법」, 충북.
Korea Educational Development Institute, 2014. *Standards and methods for evaluation educational environment*, Chungbuk.

15. 행정안전부, 2017. "교통사고 다발 스쿨존 특별 점검실시", 서울.
Ministry of the Interior and Safety, 2017. *Road accident bundle school zone special action,* Seoul.

16. Boarnet, Marlon G., Anderson, Craig L., Kristen Day, Tracy McMillan, and Mariela Alfonzo., 2005. "Evaluation of the California Safe Routes to School Legislation: Urban Form Changes and Children's Active Transportation to School", *American Journal of Preventive Medicine*, 28: 134-140.

17. Hirotugu Akaike, 1974. "A New Look at the Statistical Model Identification", *IEEE Transactions on Automatic Control*, 19(6): 716-723.

18. H.J. Blommestein, 1985. "Elimination of circular routes in spatial dynamic regression equations", *Regional Science and Urban Economics*, 15(1): 121-130.

19. Luc Anselin, 1988. "Lagrange Multiplier Test Diagnostics for Spatial Dependence and Spatial Heterogeneity", *Geographical Analysis*, 20(1): 1-17.

20. Mohammed A. Quddus., 2008. "Modeling area-wide count outcomes with spatial correlation and heterogeneity: An analysis of London crash data", *Accidents Analysis and Prevention*, 40: 1486-1497.

21. Openshaw, S., 1984. "Ecological fallacies and the analysis of areal census data", *Environment and Planning A*, 16: 17—31.

22. Susan, Handy., 2005. "Smart growth and the transportation-Land use connection: What does the research tell us?", *International Regional Science Review,* 28(2): 146-167.

Date Received 2018-03-18
Reviewed(1^{st}) 2018-04-16
Date Revised 2018-05-24
Reviewed(2^{nd}) 2018-05-24
Date Accepted 2018-05-24
Final Received 2018-06-05