

# 압축도시의 물리적 요소가 보행자 교통안전에 미치는 영향\*

- 분석 공간 단위에 따른 차이를 중심으로

## Does a compact city promote the pedestrian safety?

- Examining the association between spatial scale of analysis unit and pedestrian crash -

박유나\*\* · 이가인\*\*\* · 조기혁\*\*\*\*

Park, Yuna · Lee, Gain · Cho, Gi-Hyong

### Abstract

Hypothetically, a compact city form decreases Vehicle Miles Travels (VMT) and the reduced VMT indicates lower exposure of pedestrian crash. The evidences of empirical studies, however, have shown a mixed findings. We speculate that the mismatches between theory and empirical evidences may be caused by the spatial scale of study areas, focusing on spatial distribution feature of job and housing density. To explore the relationship between compactness of the built environment and pedestrian crash, we conducted regression analysis at both city and neighborhood scale. The results showed that the association between compactness and pedestrian crashes varies by the spatial scale of study areas. At the city scale, the compactness does not have a significant association with pedestrian safety, whereas, at neighborhood scale, density of employment was associated with greater risk of pedestrian crash while population density was negatively associated with pedestrian crashes. The finding implies that the spatial distribution of housing and jobs do an important role in pedestrian safety. In addition, we found larger than moderate level of confounding effect of demographic features in explaining pedestrian crash risk.

키 워 드 · 물리적 환경, 압축도시, 보행자 안전, 교통사고, 마을 단위

Keywords · Built environment, compact city, pedestrian safety, traffic crash, neighborhood

## I. 서 론

압축도시(compact city)는 고밀도 개발을 유도하여 목적지까지의 접근성 및 통행시간을 단축시킴으로써 자동차 이용을 감소시키고 대중교통과 보행이용을 촉진하고자 제안된 친환경 저에너지

소비형 도시형태이다 (김승남 외., 2009; 이재영·김형철, 2002).

압축도시의 주요 특징인 고밀도 개발과 복합적 토지이용은 오히려 통행발생의 빈도는 증가시킬 수 있다는 지적이 있으나(성현곤 외. 2006), 일반적으로 압축도시의 물리적 특징들이 통근거리와 1

\* 이 논문은 국토교통부 국토교통기술촉진연구사업의 연구비 지원(15CTAP-C078783-02)에 의해 수행되었음.

\*\* Ulsan National Institute of Science & Technology (yn6713@gmail.com)

\*\*\* Ulsan National Institute of Science & Technology (gain717@unist.ac.kr)

\*\*\*\* Ulsan National Institute of Science & Technology (Corresponding author: gicho@unist.ac.kr)

인당 주행거리를 감소시키며, 자동차 이용을 줄이고 보행과 자전거를 교통수단으로 선택하는 비율을 높인다는 결과는 여러 선행 연구에서 확인되었다 (Knuiman et al., 2014; Wineman et al., 2014; Yang et al., 2012; Cervero, 1996).

한편 압축도시 구성에 따라 감소한 1인당 주행거리가 어떻게 교통안전에 영향을 미치는지에 대한 이론적 가설은 Ewing and Dumbaugh (2009)가 제시한 바 있다 (그림1). 해당 연구는 교통안전의 요소를 사고빈도와 교통사고 사망률로 정의하고, 압축적인 도시의 개발은 크게 세 가지 매개변수(mediator)를 거쳐 교통안전에 영향을 미친다고 제안하였다. 첫째 압축도시에 의하여 감소한 교통량이 교통사고에 대한 노출도를 전반적으로 낮추어 교통안전을 제고한다. 둘째 압축도시에 적용되는 각종 교통안전장치 및 시설물로 인하여 보행자와 자동차의 교통 충돌 빈도가 감소한다. 마지막으로 압축도시 특성에 의하여 도시 내 차량의 속도가 감소하여 교통사고 사망률이 낮아진다는 것이다. 차량 속도 감소에 따른 사망률 감소는 선행 연구의 결과에서 확인된 바 있다 (Zegeer et al., 2002).

그러나 기존의 실증적 연구 결과들 대부분이 이러한 가설을 뒷받침하는 것은 아니다. 특히 첫 번째 인과 이론, 즉 압축도시의 물리적 특성에 의

해 교통량이 감소하고, 차량에 대한 노출도가 감소하여 교통안전이 제고된다는 가설은 여러 실증 연구의 결과와 상반된다. 기존 연구들(박승훈, 2014; Ouyang and Bejleri 2014; Cho et al. 2009; Wier et al. 2009; Clifton and Kreamer-Fults 2007)은 오히려, 인구밀도와 고용밀도가 교통사고와 양의 관계를 갖으며, 압축도시의 물리적 요소가 교통안전을 제고한다는 경험적 증거를 제시하지는 못하고 있다. Ewing and Dumbaugh (2009) 이러한 기존의 결과에 대하여 인구 및 고용 밀도가 높은 도시의 중심지는 외부로부터의 접근이 용이하여, 교통사고 뿐 아니라 커피숍, 범죄 등 여러 활동과 사건들이 많이 발생하는 장소이며 교통사고 빈도와 밀도간의 산술적 상관관계는 교통사고에 영향을 미치는 복잡한 교란효과(confounding effect)를 반영하지 못한다고 반박한다.

Ewing and Dumbaugh의 주장은 Yiannakoulias and Scott (2013) 연구에 의해서 어느 정도 확인되었는데, 캐나다 토론토를 대상으로 한 연구에서 밀도가 높고, 업무시설이 많은 지역은 내부통행뿐만 아니라 토론토시 주변지역의 유입통행이 크게 증가하며, 이러한 유입통행량으로 인하여 토론토시의 어린이 교통사고가 증가한다는 것을 보여주었다. 즉 압축도시의 물리적 요소와 교통안전이 어떠한 관계를 갖는지에 대한 연구결과는 때로는 이론과 경험적 결과가 상충되며, 같은 가설에 대해서도 연구마다 일관되지 않은 결과를 보여준다.

본 연구는 압축도시와 교통안전의 관계를 분석한 연구들이 공간적 규모를 어떻게 정의하였는가에 따라 실증적 결과가 다르게 나타날 수 있을 것이라는 가설로 시작한다. 연구의 분석 단위를 마을 규모 (한국의 경우 동 규모)로 정의할 경우, 압축적 도시 특성 (높은 밀도, 혼합적 토지이용)은

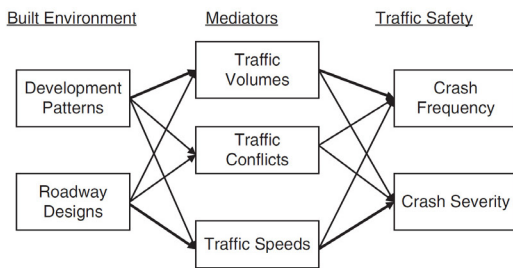


Figure 1. Proposed hypothetical relationship between the built environment and traffic safety by Ewing and Dumbaugh (2009)

교통사고를 증가시키는 요인이 될 수 있다. 높은 밀도와 혼합적 토지이용은 해당 마을 주민의 1인당 주행거리를 감소시켜 교통사고에 대한 노출도를 감소시킬 수 있겠지만, 높은 밀도와 혼합적 토지이용이라는 특징은 해당 마을이 그 마을을 포함한 도시지역 내에 중심지라는 의미이며, 외부에서 중심지로 유입되는 교통량이 크게 증가하여 해당 마을에서 발생하는 교통사고의 위험은 커질 수 있다. 즉 교통량이 발생하는 지역과 발생된 교통량이 실제로 분포하는 지역의 불일치로 인하여, 압축도시 특성은 교통사고를 증가시킬 수 있다는 가설이다.

반면, 분석단위를 도시 규모 혹은 그보다 큰 규모로 확장할 경우, 도시 간 교통량 이동은 도시 내 교통량 이동보다 그 규모가 작기 때문에, 교통량 발생지역과 발생된 교통량의 분포지역 간 불일치가 줄어들고, 압축도시 특성이 교통사고에 미치는 영향에 대하여 더 명료한 관계를 보여줄 수 있다.

본 연구는 해당 가설의 검증을 위하여 연구 대상지를 마을규모(동단위)와 도시규모(시군구 단위)로 구분하고, 교통안전에 대한 별도의회귀분석을 수행하여, 공간 규모에 따라 압축도시의 물리적 요소가 보행자 교통안전과 어떠한 관계를 갖는지 분석한다.

## II. 압축도시와 보행자 교통안전

대부분의 선행연구들은 압축도시의 물리적 환경과 보행자교통사고 간의 관계를 미시적인 공간 범위인 마을단위에서 연구하였다. Ukkusuri et al.(2012)은 산업, 상업 그리고 오픈 스페이스 비율이 높을수록 보행자 교통사고가 증가한다고 하였으며, Ouyang and Bejleri (2014)는 복합적 토

지이용이 증가할수록 교통사고 발생빈도가 높아진다는 결과를 보여주었다. Kim et al.(2006)은 토지이용, 인구, 고용현황 그리고 경제적 활동이 보행자 교통사고에 어떠한 영향을 미치는 지에 대한 연구를 진행하였다. 이 연구는 사람들이 오픈스페이스나 상업 목적으로 이용하는 지역 근처에서 경제적인 활동을 할 경우, 보행자 교통사고의 위험에 더 많이 노출된다는 결과를 제시하였다. Newcastle와 Gosforth에서 근로시간과 비근로시간을 나누어 토지이용과 보행자교통사고간의 관계를 연구한 Priyantha Wedagama, Bird et al.(2006)은 산업, 소매업 그리고 상업적 토지이용이 많을수록 근무시간대에 보행자 사고가 많이 발생한다고 제시했다. 또한, 소매업 토지이용이 많을수록 비근로시간대에 보행자 교통사고가 많이 발생한다고 보여주었다. 국내 연구에서는 단독주택 토지이용이 많을수록 보행자 교통사고가 적게 발생한다고 제시했다 (박승훈, 2014). 교통사고의 공간적 분포의 패턴에 대한 연구는 도심지역의 상업지역에서 교통사고가 가장 많이 발생한다고 보여주었다. (성병준·유환희, 2014).

어린이 보행자 교통사고와 복합적 토지이용간의 관계를 도출한 선행연구들의 결과는 유사하다. 어린이 교통사고에 영향을 미치는 물리적 환경에 대해 연구한 Elias, W. and Y. Shifan(2014)은 복합적 토지이용이 이루어진 지역에 사는 어린이가 그렇지 않은 지역에 사는 어린이 보다 보행자 교통사고발생 위험이 증가한다는 결과를 도출했다. 토지이용과 보행자교통사고간의 관계를 분석한 연구 외에도 선행연구들은 '밀도와 보행자 교통 사고간의 관계를 도출했다. 선행연구들은 정확한 보행통행량과 교통량을 파악하는데 한계가 있어 간접지표로서 인구밀도와 고용자 밀도를 사용하였다. 대부분의 선행연구들은 인구밀도가 높을수록 보행자

Table 1. Review of the literatures

Authors	Spatial scale	Dependent variables	Independent variables related to the compactness	Results
Aziz et al. (2013)	neighborhood	pedestrian-vehicle crash data	land use variables including industrial land use and commercial land use	In Bronx and Manhattan, the commercial land use lead to increasing the risk exposure of fatality.
Cho et al. (2009)	neighborhood	pedestrian and bicycle crash data	density including net population density and lot coverage	More compact neighborhoods are positively associated with the actual crash risk.
Clifton and Kreamer-Fults (2007)	neighborhood	severity of crash crash frequency	mixed land use road density population density	Population density and mixed use are positively related to higher crash severity. Population density is positively related to higher crash frequency.
Clifton et al. (2009)	neighborhood	pedestrian severity of injury	connectivity commercial land use residential land use mixed land use	The connectivity is negatively associated with pedestrian severity.
Elias and Shiftan (2014)	neighborhood	child pedestrian car crashes	neighborhood 3 characterized by mixed land use, residential, commercial and public buildings around the main road	Children who live near the neighborhood 3 zone has high pedestrian crash risk
Kim et al. (2006)	neighborhood	pedestrian accidents	population density total job count land use including commercial, school, hospital and park land use	The population density and commercial land use are positively correlated to the pedestrian accidents
Ouyang and Bejleri (2014)	neighborhood	Frequency of pedestrian crashes and fatal crashes	population density job density housing density number of intersections. land use mix index street length number of street segment destination accessibility number of bus tops	The population density, job density and land use mix index are positively associated with the pedestrian crashes, but the housing density and the number of intersections are negatively associated. The population density and land use mix index are positively associated with the pedestrian fatality, but the housing density, job density and the number of intersections are negatively associated.



Table 1. Review of the literatures (continued)

Authors	Spatial scale	Dependent variables	Independent variables related to the compactness	Results
Lee et al. (2008)	neighborhood	traffic accidents	land use focusing residential use including apartment, detached house and multipurpose house area	Detached house and multipurpose house area has higher risk exposure of traffic accidents than apartment area
Park (2014)	neighborhood	pedestrian-vehicle accidents	population density commercial land use	Population density and commercial land use are positive relationship with pedestrian accidents
Priyanthae t al (2006)	neighborhood	pedestrian and cyclist casualties	population density land use	Population density, community and building land use are positively associated with the pedestrian casualties regardless of time and age in NCL Zone and GSF Zone. Retail land use are negatively associated with the pedestrian casualties in NCL Zone
Ukkusuri et al. (2012)	neighborhood	pedestrian accidents and fatality	population density land use	Population density and industrial land use are positively associated with the pedestrian collisions and fatality, but residential land use are negatively associated.
Wier et al. (2009)	neighborhood	vehicle-pedestrian injury collisions	resident population employee population commercial land area	Resident population, employee population and commercial land area positively associated with the pedestrian collisions
Lucy (2003)	city	traffic fatality	population density	Low population is positively related to the traffic fatalities.
Ewing et al. (2003)	city	traffic fatality	sprawl index positively related to density	Sprawl index is positively associated with all-mode traffic fatality
Yeo et al. (2015)	city	Fatalities per capita	compactness index combining density, land-use mix, degree of centering and street accessibility	Urban sprawl is associated with greater numbers of traffic fatalities

교통사고 발생률이 높다는 결과를 도출했다. (박승훈, 2014; Clifton and Kreamer-Fults 2007; Ouyang and Bejleri 2014; Wier et al. 2009; Cho et al. 2009). 교통사고 발생빈도 뿐만 아니라 인구밀도가 높으면 보행자교통사고로 인한 사망자

수도 증가할 것이라는 결과를 제시했다(Ukkusuri et al., 2012). Priyantha et al.(2006)은 인구밀도가 높으면 어린이와 성인 보행자의 교통사고 발생률이 근무시간 (월요일~금요일:아침7시 ~ 저녁 7시)에 높게 나타난다는 결과를 보여주었다. 특히,

Gosforth지역의 경우, 비근무시간대(월요일~금요일: 저녁7시 ~ 아침 7시)에 인구밀도와 어린이 교통사고 발생률이 높은 양의 관계를 보여주었다. 인구밀도뿐만 아니라 고용밀도를 포함한 선행연구들은 고용밀도가 높을수록 보행자교통사고 발생률이 높아진다는 결과를 도출했다. (Ouyang and Bejleri 2014; Wier et al. 2009).

공간적인 범위를 미시적 범위인 마을 단위로 한정된 선행연구들의 결과는 대체로 Ewing and Dumbaugh의 이론적 가설과는 달리 밀도가 높고 비주거용 토지이용이 많을수록 교통사고 발생빈도가 높아지며, 부상에 대한 위험도 크다고 보여주었다.

한편 공간적 범위를 도시 단위로 확장한 선행 연구들은 다소 다른 결과를 보여준다. 미국의 448개의 메트로폴리탄 카운티를 대상으로 도시팽창과 보행자 교통사고간의 관계를 연구한 Ewing et al. (2003)은 더 압축적인 형태를 지닌 카운티의 보행자 사망률이 낮다는 결과를 도출했다. Lucy(2003) 또한 밀도가 높은 지역일수록 교통사고 사망률이 낮게 나타나 교통사고의 위험이 감소하는 것을 보여주었다. 최근에 발표된 Yeo et al. (2015)의 연구에서는 미국 147개 도시지역을 대상으로 교외화 정도(sprawl index)와 교통사고 사망률을 비교하였는데, 밀도가 낮고 토지이용의 혼합도가 낮은 도시지역에서 더 높은 교통사고 사망률을 보였다.

본 연구와 관련된 선행연구들의 결과는 일관되지 않았다. 그러나 고밀도 개발과 복합적 토지이용이 보행자 안전에 부정적인 영향을 미친다는 결과는 주로 공간적 범위를 마을 단위로 한정된 경우에, 압축적인 도시개발이 보행자 안전에 긍정적인 영향을 미친다는 결과를 제시한 연구들은 공간 범위를 도시 혹은 그 이상의 지역으로 확장한 경우에 더 일반적으로 나타나는 결과이다.

### Ⅲ. 연구의 방법론

#### 1. 공간적 범위의 설정

공간적 범위 설정에 따라 압축도시의 요소가 교통안전에 미치는 영향이 다를 수 있다는 본 연구의 가설을 검증하기 위하여 본 연구는 도시단위와 마을단위라는 이원적인 공간 분석 단위를 설정한다. 도시 단위에서 나타나는 관계를 분석하기 위하여 대한민국의 시군구를 공간 단위로 정의하였다. 2016년 현재 전체 시군구는 234개이나 2007년에서 2013년까지 새로 생겨나거나 통합된 7개 시군구(세종특별시, 증평군, 연기군, 마산시, 진해시, 창원시, 통합창원시)를 제외한 227개 시군구를 연구 대상으로 선정하였다. 한편 마을 단위 분석의 대상지는 서울시의 424개 행정동이다. 서울시는 도심, 역세권 지역권, 격자형 주거 지역, 고밀도 지역 등 대한민국의 도시 구조를 대표할 수 있는 다양한 (이세영·이제승, 2014) 형태를 대부분 포함하고 있을 뿐 아니라, 마을 단위에서 분석 가능한 교통안전 관련 세부자료 구득이 용이하기에 마을 단위 분석의 대상지로 선정하였다.

#### 2. 자료수집 및 분석항목 설정

본 연구의 분석을 위하여 사용된 변수들은 표 2와 같다. 보행자 안전을 지시하는 독립변수는 사고발생 빈도와 사망자 수를 선정하였다. 사고발생 빈도는 해당 지역의 전반적 보행자 안전을 지시하는 반면, 사망자 수는 사고 발생 시 대형 사고에 이르는 빈도를 지시한다. 다만 각 시군구 및 동의 면적 및 인구수가 다르기 때문에 빈도와 사망자 수만으로는 교통사고 위험을 파악하기 어렵다고 판단하여, 인구 100,000명당 사고빈도와 사망자수

도 함께 종속변수로 포함하였다. 두 가지 분석단위의 교통사고 자료는 2010년과 2011년 도로교통공단 TAAS 교통사고통계자료를 사용하였다.

독립변수는 압축도시 관련 변수와 인구특성 변수를 사용하였다. 압축도시는 집약적 도시개발을 통해 도시의 외연적 확산을 방지하고 환경을 보호하자는 의미를 가진다. 이러한 성격을 지닌 압축도시의 특성을 잘 나타내 줄 수 있는 물리적 형태들은 밀도(density), 다양성(diversity), 도시설계(design)의 세가지 요소, 또는 이에 도착지 접근성(destination accessibility)과 대중교통 접근성(distance to transit)을 포함한 개념으로 정의할 수 있다 (성현곤&추상호, 2010; Ewing and Cervero, 2009). 밀도는 단위 면적당개체의 양을 나타내며 인구밀도나 건물밀도가 이에 해당한다. 다양성은 주어진 면적에 다양한 토지의 분포나 이용 상황을 나타내며 도시설계는 지역의 도로 네트워크의 특징을 나타낸다. 종착지 접근성은 지역 내의 다양한 건물간의 접근성을 나타내며 이는 주어진 거리내의 종사자 수나 비주거용 건물들으로 보여진다. 마지막으로 대중교통접근성은 대중교통과의 접근성을 나타내며, 단위면적당 대중교통의 수 혹은 직장이나 집으로부터의 대중교통까지 가장 가까운 거리로 측정할 수 있다(Ewing and Cervero, 2009).

압축도시의 물리적 환경에 대한 분류를 바탕으로 압축도시와 보행자 교통사고간의 관계를 분석한 선행연구들을 바탕으로 공통의 항목을 추출하였으며, 본 연구에서 정의한 마을과 도시 분석단위에 공통적으로 사용할 수 있는 변수들을 선정하였다. 구체적으로, 밀도를 나타내는 인구밀도(Ouyang and Bejleri, 2014; 박승훈, 2014; Aziz et al., 2013; Ukkusuri et al, 2012; Wier, 2009; Clifton and Kreamer -Fults, 2007; Kim et al.,2006; Priyantha et al, 2006; Lucy, 2003)와

건물밀도(Ouyang and Bejleri, 2014; 박승훈, 2014; Cho et al., 2009; Wier et al., 2009; 이수범 외, 2008), 도로설계 요소를 보여주는 도로의 연결성을 표현하기 위한 도로밀도(Clifton et al., 2009; Clifton and Kreamer-Fults, 2007), 다양성을 보여주는 토지이용 특성을 파악하기 위한 고용밀도(Kim et al., 2006)와 비주거 용도 면적 비율(Yeo et al.,2015; Elias and Shiftan , 2014; Ouyang and Bejleri, 2014; 박승훈, 2014; Aziz et al., 2013; Ukkusuri et al., 2012; Wier et al., 2009; Clifton and Kreamer-Fults, 2007; Clifton et al., 2009; Kim et al., 2006; Priyantha et al, 2006) 을 이용하였다.

인구특성변수는 통제 변수로서 남성비율, 65세 이상 인구비율, 그리고 15에 미만 인구비율을 사용하였다. 15세 미만인구와 65세 이상인구는 교통사고 혹은 도로이용에 취약한 계층으로 교통사고에 쉽게 노출되거나 사망률이 높으며 (Ukkusuri et al., 2012; Wier et al. 2009) 특히 어린이들은 교통안전에 대한 인지가 부족해 교통사고에 쉽게 노출될 수 있다 (Wier et al., 2009). 한편 기존 연구들은 남성의 외부활동은 여성들보다 많아 교통사고에 더 많이 노출된다는 것을 보여주었다(Elias and Shiftan ,2014; Clifton, Burnier et al., 2009). 이러한 이유로 물리적 환경 외 인구특성 영향력을 통제하고자 위의 변수들로 인구특성변수를 구성하였다.

순인구밀도는 통계청에서 제공하는 2010 인구총조사 자료를 이용하여 본 연구의 목적에 부합하도록 수정하였다. 지역의 밀도를 나타낼 수 있는 또 다른 변수인 건물밀도는 SGIS (<http://sgis.kostat.go.kr>)에서 제공하는 건물의 바닥면적을 사용하여 구축하였으며, 도로밀도는 통계청에서 제공하는 도로연장 자료를 이용하여 계산하였다. 고용밀도의 경우, 시군구 자료는 통계청

Table 2. Variables for analysis of association between compact city and pedestrian safety

		Variables	Unit	Source	
				City level	Neighborhood level
dependent variable	Pedestrian Safety	Traffic accident frequency	Count	TAAS (taas.koroad.or.kr)	
		Traffic accident frequency per 100,000 persons	Number		
		Traffic accident fatality	Count		
		Traffic accident fatality per 100,000 persons	Number		
independent variable	Built environment variable (context)	Net population density	100,000 person/ $km^2$	Statistics Korea ( <a href="http://www.kostat.go.kr">http://www.kostat.go.kr</a> )	
		Employment density	100,000 person/ $km^2$	Statistics Korea	Statistics Seoul ( <a href="http://stat.seoul.go.kr">stat.seoul.go.kr</a> )
		Road density	km/ $km^2$	Statistics Korea	
		Building density	proportion	SGIS ( <a href="http://sgis.kostat.go.kr">http://sgis.kostat.go.kr</a> )	
		Nonresidential area	proportion	Environment Spatial Information Services ( <a href="http://egis.me.go.kr">http://egis.me.go.kr</a> )	
	Demographic variable (composition)	Proportions of male	proportion	Statistics Korea	
		Proportions of population under age15	proportion	Statistics Korea	
		Proportions of population over age65	proportion	Statistics Korea	

에서 제공하는 2010 인구 총 조사 자료를 사용하였고, 동단위 자료는 서울시 통계청에서 제공하는 종사자수를 사용하여 구축하였다.

피어슨(Pearson) 상관관계분석은 압축도시 요소와 보행자 안전을 지시하는 종속변수 간 관련성을 분석하는 것으로서, 타 변수를 통제하지 않은 상황에서 양자 간의 관계를 파악하기 위한 것이다.

상관분석은 타 변수가 통제된 상황에서의 인과분석이 아니기에, 해당 변수들의 변량변화가 어떠한 원인에 의해 나타나는지 파악할 수는 없으나, 표면적으로 관찰 가능한 양자 간의 상관관계를 확인할 수 있다.

타 변수가 통제된 상황에서 압축도시 요소와 보행자 안전간의 관계를 분석하기 위해서는 회귀

분석을 사용하였다. 보행자사고 발생 빈도와 사망자 수는 일반적으로 양으로 편향된 비정규분포를 따르기 때문에, 단순선형회귀분석 모형은 적합하지 않다(박승훈, 2014). 가산자료인 교통사고 빈도 또는 사망자수가 종속변수일 경우, 가산자료 회귀분석(count regression)을 사용한다. 특히 교통사고에 대한 분석은 가산자료 회귀모형 중, 주로 포아송 회귀모형이나 음이항 회귀모형이 분석에 사용된다(정재풍&최종후, 2014; 최종후 외 2명, 2011). 포아송 회귀모형은 주로 종속변수의 평균과 분산이 동일할 때 사용되지만, 현실의 가산자료들은 대부분 분산이 평균보다 큰 과대산포 문제를 야기한다. 이러한 부분을 보완하기 위해 포아송 분포와 감마분포가 결합된 분포를 가진 음이항(negative binomial) 회귀모형을 주로 사용한다(정재풍&최종후, 2014; 박승훈, 2014a; 박승훈, 2014b; Ukkusuri et al. 2012; 최종후, 2011; Kim et al., 2006). 음이항 분포는 다음과 같은 식으로 유도된다.

$$P(Y = y) = \left(\frac{\alpha}{\alpha + \lambda}\right)^\alpha \frac{\Gamma(\alpha + y)}{\Gamma(y + 1)\Gamma(\alpha)} \left(\frac{\lambda}{\alpha + \lambda}\right)^y$$

이러한 분포를 따른다고 가정할 때, 음이항 회귀분석 모형의 식은 다음과 같다.

$$P(Y_i = y_i; X_1, X_2, \dots, X_k) = \frac{\Gamma(y_i + \alpha^{-1})}{\Gamma(\alpha^{-1})\Gamma(y_i + 1)} \left(\frac{1}{1 + \alpha\mu_i}\right)^{\alpha^{-1}} \left(\frac{\alpha\mu_i}{1 + \alpha\mu_i}\right)^{y_i}, \quad y_i = 0, 1, 2, \dots$$

이때  $\alpha$ 는 산포를 나타내는 모수이며,  $\mu_i$ 는 독립변수들의 지수평균함수와 동일하게 정의할 수 있다. 이러한 음이항 회귀모형의 계수 주로 최대우도 추정법(Maximum Likelihood Estimation)을 사용하여 추정하며 이를 유도하기 위해 로그우도

함수를 사용한다. 이러한 로그우도함수는 계수에 대한 하나의 값만 제공해 주지 않으며 수치적인 반복에 의해 MLE를 구하는 방법인 뉴턴-랩슨 방법을 사용한다(정재풍&최종후, 2014; 최종후 외, 2011; 박상일, 2009).

분석모형 선정을 위하여 음이항 회귀모형을 적용한 결과 과대산포를 지시하는 알파값이 유의하게 0보다 크게 나타났으므로, 포아송 회귀분석의 결과는 제외하였다. 자료의 특성상 '0'의 빈도가 매우 높을 경우, 제로과잉 모형을 사용하여 '0'값 과다분포특성을 고려해야 하는데(최종후 외, 2011), 동단위 사망자수의 경우, 424개 동 중에서 171개 동은 2010-2011년에 사망자가 발생하지 않았지만 시군구단위 사고빈도, 시군구단위 사망자수, 동단위 사고빈도의 경우 0의 값을 갖는 경우는 극히 드물어 제로과잉 모형을 적용하지 않았습니다.

인구 10만 명당 사고 빈도와 사망자수는 가산자료의 형태를 갖지 않으며, 양으로 편향된 비정규분포를 따르기 때문에 로그 선형회귀 분석을 사용하였다. 그 식은 다음과 같다.

$$\ln(Y) = \beta_0 + \sum_{i=1}^8 \beta_i X_i$$

$\ln(Y)$ 는 인구 10만명당 사고빈도와 사망자수의 기댓값이며,  $\beta_0$ 는 절편, 그리고  $\beta_i$ 는 로그변형 선형회귀분석의 계수로서 독립변수가 한 단위 증가함에 따라 변하는 사고빈도나 사망자수의 정도를 나타낸다.  $X_i$ 는 본 연구에 사용된 독립변수들이다.

두가지 모형을 이용한 분석과 상관관계 분석은 STATA 13.0 통계프로그램을 이용하여 수행하였다.

## IV. 결과

### 1. 기초통계

2010년부터 2011년까지 전국 시군구 단위에서 발생한 보행자 교통사고는 평균 436건이며, 최소 빈도는 12건으로 울릉군에서, 최대빈도는 2100건으로 수원시에서 발생하였다. (표 3). 같은 기간 시군구 단위에서 교통사고 사망자수는 평균 17명이며, 울릉군이 사망자수 0제일 적은 반면, 천안시는 사망자수가 68명으 가장 많았다. 시군구별 평균 15세 미만 인구 및 65세 이상 인구 비율은 각각 15%와 17%로 나타났다.

서울특별시 내 동별 평균 교통사고 (2010-2011년)는 약 51건이다. 최소 빈도는 3건으로 무악동이며, 최대 빈도는 268건으로 역삼 1동이다. 동별 인구밀도 및 고용밀도는 시군구별 평균치보다 크게 높다. 15세 미만 인구 비율은 전국 평균과 유사하게, 65세 이상 인구비율은 전국 평균보다 낮게 나타났다.

### 2. 상관분석

시군구 단위에서 인구밀도와 보행자 사고간의 매우 분명한 양의 상관관계(0.68)를 갖는다. 또한 고용밀도(0.50)가 높고, 비주거용도 비율(0.37)이 높을수록 보행자 사고건수가 증가함을 보여준다. 인구밀도(0.24), 고용밀도(0.16), 그리고 비주거용도 비율(0.39)은 보행자 교통사고 사망자수와와의 관계에서도 양의 관계를 나타낸다. 인구 100,000명당 사고 건수는 고용밀도(0.05)와 비주거지비율(0.15)이 높을수록 증가함을 보여준다. 반면, 인구 100,000명당 사망자 수는 인구밀도(-.031),

고용밀도(-0.23) 그리고 건물밀도 (-0.21)와는 음의 관계를 보여준다. 한편 시군구 단위의 교통사고는 인구특성과 밀접한 관계를 갖는데, 남성과 15세 이하 인구의 비율이 높고, 고령자의 비율이 낮을수록 교통사고 건수와 사망자수가 증가하는 것으로 나타났다.

마을 단위에서 나타난 상관계수(표 4)는 시군구 단위의 분석결과와 다소 상이한 특징을 보인다. 비주거용도 비율 및 고용밀도는 마을 단위의 교통사고 건수, 교통사고 사망자수, 인구 100,000명당 사고건수, 인구 100,000명당 사망자수와 양의 관계를 보이지만, 인구밀도와 건물밀도는 음의 관계를 갖는다. 이는 동단위에서 발생하는 교통사고가 도시 내에서 상업용도가 집중된 지역에 집중되고 주거중심지에서는 교통사고의 위험이 줄어들기 때문으로 판단된다. 인구 특성과 관련하여서는 15세 이하 인구의 비율은 동단위 교통사고와 음의 관계를 보이는데, 이는 시군구단위에서 나타난 결과와는 반대의 양상이다. 상관관계 분석을 통하여 압축도시를 나타내는 지표와 보행자 안전 간에는 밀접한 관계가 있다는 것을 보여주었으며, 그 관계의 양상은 공간 규모에 따라 다소 차이가 있다는 점이 나타났다.

### 3. 회귀분석

#### 1) 사고발생빈도

시군구단위의 분석에서 음이항 회귀분석의 결과 (표 5)는, 밀도 관련 변수 중 건물밀도만 음의 관계를 보이는 것으로 나타났으며, 이는 상관관계분석에서 밀도가 보행자 교통사고와 양의 관계가 있다고 나타난 것과는 다른 결과이다. 비주거용도 비율과 고용밀도도 보행자



Table 3. Descriptive analysis of variables

Variable	City level (n=227)				Neighborhood level (n=424)			
	Mean	STD	Min	Max	Mean	STD	Min	Max
Traffic accident frequency	436.08	406.45	12.00	2,100.00	51.23	35.07	3.00	268.00
Traffic accident fatality	17.73	13.23	0.00	68.00	1.12	1.27	0.00	11.00
Traffic accident frequency per 100,000	248.31	250.98	4.07	2,372.32	296.81	582.65	26.03	8288.04
Traffic accident fatality per 100,000	15.08	17.83	0.00	174.57	7.66	29.31	0.00	543.48
Net population density	0.100	0.098	0.012	0.384	0.305	0.119	0.008	0.654
Employment density	0.040	0.054	0.004	0.483	0.114	0.117	0.013	0.960
Road density	18.41	17.15	1.09	246.86	22.50	11.31	3.07	104.92
Building density	0.31	0.22	0.00	1.50	0.31	0.09	0.10	0.64
Nonresidential area	0.19	0.10	0.05	0.55	0.15	0.13	0.00	0.71
Proportions of male	0.49	0.02	0.45	0.56	0.49	0.02	0.42	0.61
Proportions of population under age15	0.15	0.03	0.06	0.23	0.14	0.03	0.05	0.22
Proportions of population over age65	0.17	0.09	0.05	0.39	0.10	0.02	0.05	0.18

교통사고의 빈도와 유의한 관계를 갖지 않았으며, 인구 특성이 매우 중요한 영향을 미쳤다. 남성의 비율과 고령자 비율이 낮을수록 교통사고의 빈도는 증가하였다. 인구 10만 명당 사고 빈도를 종속변수로 사용한 로그 선형회귀 분석의 결과는 음이항 회귀분석의 결과와 유사하다. 10만 명당 사고빈도는 압축도시를 나타내는 물리적 요소 중에 건물밀도와 유의한 음의 관계를 보였으며, 여성 비율이 높을수

록 사고빈도가 증가하였다. 두 모델에서 공통적으로 나타난 특징은 상관관계에서 매우 뚜렷한 관계를 보여주었던, 인구밀도, 도로연결성, 고용밀도와 같은 변수들이 회귀분석에서는 유의한 관계를 갖는 것으로 나타나지 않으며, 타 변수를 통제된 상황에서는 건물밀도가 높을수록 보행자 교통사고가 줄어드는 경향이 분명하게 나타났다는 점이다.

로그선형모형의 경우 독립변수의 단위가 다르기

Table 4. Correlation coefficient

Variables	City level (n=227)				Neighborhood level (n=424)			
	Traffic accident frequency	Traffic accident fatality	Traffic accident frequency per 100.000	Traffic accident fatality per 100.000	Traffic accident frequency	Traffic accident fatality	Traffic accident frequency per 100.000	Traffic accident fatality per 100.000
Net population density	<b>0.68</b>	<b>0.24</b>	0.05	-0.31	-0.25	-0.26	-0.38	-0.27
Employment density	<b>0.50</b>	<b>0.16</b>	<b>0.05</b>	-0.23	<b>0.46</b>	<b>0.32</b>	<b>0.69</b>	<b>0.50</b>
Road density	0.03	-0.03	-0.01	-0.04	<b>0.16</b>	0.08	0.07	0.02
Building density	<b>-0.15</b>	<b>-0.29</b>	<b>-0.18</b>	<b>-0.21</b>	<b>0.28</b>	<b>0.11</b>	<b>0.16</b>	<b>0.07</b>
Nonresidential area	<b>0.37</b>	<b>0.39</b>	<b>0.15</b>	-0.06	<b>0.42</b>	<b>0.28</b>	<b>0.40</b>	<b>0.26</b>
Proportions of male	<b>0.17</b>	<b>0.21</b>	<b>0.15</b>	0.02	-0.01	0.05	<b>0.16</b>	<b>0.11</b>
Proportions of population under age15	<b>0.38</b>	<b>0.49</b>	<b>0.23</b>	0.03	<b>-0.37</b>	<b>-0.19</b>	<b>-0.37</b>	<b>-0.22</b>
Proportions of population over age65	<b>-0.68</b>	<b>-0.51</b>	<b>-0.23</b>	<b>0.17</b>	-0.02	<b>0.09</b>	<b>0.18</b>	0.08

때문에 변수들의 상대적인 중요도를 파악하기 위하여 표준화계수(Beta)를 계산하였다. 인구 100,000명 당 사고빈도에 가장 큰 영향을 미치는 요소는 건물밀도이며, 고령자 인구비율, 남성비율, 15세 이하 인구비율의 순으로 표준화계수의 절대값 크기가 크게 나타났으며 다른 압축도시 요소의 표준화계수 크기는 매우 낮게 나타났다. 일반적으로 분산팽창계수( Variation Inflation Factor: VIF)의 값이 10보다 클 경우 독립변수 간 다중공선성에 의하여 모델결과의 신뢰성이 영향을 받을 수 있는데, 본 시군구단위 모델의 VIF값은 10이하로 나타났으며, 특히 압축도시 요소의 VIF는 4이하로 나타나 다중공선성 문제는

없는 것으로 판단한다.

마을 단위의 사고빈도를 분석한 음이항 회귀모형과 10만명당 사고빈도를 종속변수로 이용한 로그변환 선형회귀모형의 결과는 약간의 계수값 차이가 있을 뿐 유사한 결과를 보여준다. 인구밀도가 낮고, 건물 밀도가 높으며 고용밀도 및 비주거용도의 비율이 높을수록 보행자 교통사고 수가 증가하였다. 물리적 환경변수 중 도로밀도를 제외한 나머지 변수는 모두 통계적으로 유의한 것으로 나타났다. 특히 교통사고 빈도는 인구밀도가 낮고 고용밀도가 높을수록 증가하는 경향이 있었는데, 이는 상관분석의 결과와 일치하는 것으로 상업지역에 보행량 및 교통량이 집중되고, 상대적으로

주거지역에는 교통사고의 노출도가 낮아지기 때문에 나타난 결과로 해석된다. 인구 특성 면에서는 남성비율, 65세 인구비율, 그리고 15세 이하 인구 비율이 높을수록 교통사고 빈도가 높은 것으로 나타났다. 다만 10만 명당 사고빈도는 고령자 비율과 양의 관계를 보여주었다. 표준화계수 결과는 인구 100,000명 당 사고빈도에 가장 큰 영향을 미치는 요소는 인구밀도, 고용밀도, 건물밀도 순으로 나타난다는 것을 보여준다.

## 2) 사망자수

사고발생빈도 모형과 유사하게 도시 단위에서는 건물의 밀도가 높을수록 사망자 수가 낮게 나타났다. 상관관계에서는 양의 관계를 보여주었던, 인구밀도, 고용밀도, 도로연결성은 회귀분석의 결과에서는 유의한 변수로 나타나지 않았다. 이러한 결과는 음이항 회귀분석과 로그변환 선형분석에서 공통적으로 나타났다. 즉 압축도시를 나타내는 여러 지표들이 교통사고 사망자 수를 증가시킨다는 결과가 나타나지는 않았으며, 오히려 높은 건물 밀도가 교통사고 사망자 수를 낮추는 것으로 나타났다. 교통사고 빈도와 마찬가지로 여성비율이 높고 고령자 비율이 낮을수록 사망자 수는 증가하였다. 인구 100,000명 당 사망자는 고령자 비율이 높고, 15세 이하 인구비율이 높으며 인구밀도와 건물밀도가 높을 때 증가한다.

마을 단위 분석결과는 인구 밀도가 사망자 수와 음의 상관관계를 갖으며 비주거 용도의 비율이 양의 관계를 갖는 것을 보여주었다. 100,000 명당 사망자 수는 인구밀도와 음의 관계, 고용밀도와는 양의 관계를 갖는다. 인구 관련 변수는 마을 단위 분석에서 교통사고 사망자 수에 큰 영향을 미치지 않으나, 100,000명 당 사망자 수는 고령자비율이 증가할수록 증가하는 경향을 보였다. 표준화계수

결과는 고용밀도와 인구밀도가 사망자 수에 가장 큰 영향을 준다는 것을 보여준다. 모든 변수에서 VIF값은 3 이하로 나타나 다중공선성 문제는 나타나지 않았다.

## IV. 토의 및 결론

본 연구는 공간적 규모의 정의에 따라 압축도시와 보행자안전 간의 관계가 상이하게 나타날 수 있을 것이라는 가설을 바탕으로 수행되었으며, 주요한 분석 결과는 다음과 같다. 첫째, 분석의 공간 단위에 따라 압축도시의 물리적 특성과 교통안전 간의 관계가 다르게 나타났다. 시군구 단위에서는 인구 밀도 및 고용 밀도, 도로밀도, 비주거용도 비율 등 압축도시를 나타내는 변수들이 교통사고의 발생 및 사망자 수와 유의미한 관계를 갖지 않았다. 오히려 건물 밀도는 교통사고 발생 및 사망자 수와 뚜렷한 음의 관계를 보여서, 도시의 압축도가 증가할수록 보행자 교통사고가 증가한다는 실증결과는 찾지 못하였다. 반면 동단위 결과에서는 사고 빈도 및 사망자수가 인구밀도와는 음의 관계 고용 밀도와는 뚜렷한 양의 관계를 보였으며, 비 주거 용도의 비율이나 건물 밀도와도 대체로 양의 관계를 보였다. 이러한 결과는 서론에서 본 연구가 제시한 “교통량 발생 지역과 분포지역의 불일치” 가설과 부합하는 결과로 보인다. 즉 교통량의 상당 부분이 도시 내 모든 지역에서 발생하지만 이러한 발생 교통량의 상당부분은 도시 내 비 주거지역으로 이동하여, 교통사고 발생은 인구밀도가 높은 곳에서 낮고 고용밀도와 비주거 용도 비율이 높은 곳에서 증가하는 경향을 보이는 것으로 해석할 수 있다. 이러한 경향은 분석단위가 동단위로 한정되었을 때 분명하게 나타난다. 반대로 해석하여 도시 또는 그 이상의 공

압축도시의 물리적 요소가 보행자 교통안전에 미치는 영향

Table. 5. Estimation results of total accident frequency models.

	City level					Neighborhood level					VIF
	NB model (Traffic accident )		log linear model (Accident per 100,000)			NB model (traffic accident)		log linear model (accident per 100,000)			
	Coff.	z	Coff.	Beta	t	Coff.	z	Coff.	Beta	t	
Net population density	0.92	1.44	0.25	0.04	0.30	-1.00 ***	-3.60	-2.12 ***	-0.36	-10.18	3.84
Employment density	0.39	0.45	0.65	0.05	0.59	0.79 ***	2.66	1.98 ***	0.33	9.04	2.15
Road density	0.00	-0.32	0.00	-0.01	-0.21	-0.85	-0.32	2.46	0.04	1.13	1.04
Building density	-0.88 ***	-5.41	-1.13 ***	-0.36	-5.96	2.14 ***	5.38	2.08 ***	0.27	6.79	1.03
Nonresidential area	0.38	0.83	0.13	0.02	0.24	1.04 ***	4.09	0.68 ***	0.12	3.54	1.94
Proportions of male	-28.08 ***	-8.83	-8.04 ***	-0.19	-2.07	-3.34 ***	-2.35	0.74	0.02	0.65	2.27
Proportions of population under age15	0.01	0.00	2.92	0.13	1.16	-2.38 ***	-2.06	-3.37 ***	-0.14	-3.70	3.61
Proportions of population over age65	-12.32 ***	-11.25	-1.89	-0.26	-1.45	-4.48 ***	-3.61	2.20 **	0.07	2.30	9.10
Constant	21.75	11.95	9.42		4.25	5.70	7.53	4.81		7.81	
AIC	2,841.8					431.8		3,839.3			403.1
Log likelihood	-1,410.9							-1,909.7			
Adjusted R <sup>2</sup>						0.205					0.694

note: \*\*\* p<0.01, \*\* p<0.05, \* p<0.1

Table 6. Estimation results of total fatality models

	City level					Neighborhood level					VIF
	NB model (traffic fatalities)		log linear model (traffic fatalities per 100,000)			NB model (traffic fatalities)		log linear model (traffic fatalities per 100,000)			
	Coff.	z	Coff.	Beta	t	Coff.	z	Coff.	Beta	t	
Net population density	-0.66	-0.96	-1.98***	-0.23	-2.18	-2.04***	-3.31	-2.00***	-0.30	-4.59	2.07
Employment density	-0.79	-0.81	-0.69	-0.04	-0.56	0.72	1.44	1.95***	0.35	5.27	2.13
Road density	0.00	-0.59	0.00	-0.02	-0.40	4.74	0.85	2.94	0.04	0.76	1.63
Building density	-1.10***	-6.10	-1.08***	-0.27	-4.81	1.19	1.39	0.44	0.05	0.77	2.19
Nonresidential area	0.61	1.22	0.30	0.04	0.48	0.91*	1.80	-0.11	-0.02	-0.31	1.86
Proportions of male	-17.39***	-4.72	1.28	0.02	0.30	-1.66	-0.62	3.10	0.08	1.60	1.11
Proportions of population under age15	4.48	1.95	5.51**	0.20	0.19	0.92	0.37	-1.78	-0.07	-1.07	1.94
Proportions of population over age65	-5.82***	-4.97	3.40***	0.39	2.34	-0.12	-0.05	7.20***	0.22	4.00	1.39
Constant	12.02	5.82	0.83		0.33	0.68	0.47	0.18		0.17	
AIC	1,574.6		476.8			1,184.7		414.1			
Log likelihood	-777.3					-502.4					
Adjusted R <sup>2</sup>			0.329					0.472			

note: \*\*\* p<0.01, \*\* p<0.05, \* p<0.1

간 규모로 분석 단위가 확장되면, 발생교통량의 상당부분이 발생 지역 내에 머물게 되고, 그러한 상황에서는 도시의 압축도 (건물밀도, 인구밀도, 고용밀도)가 보행자 교통사고 및 사고 사망자 수를 증가시키지는 않는 것으로 보인다. 따라서 보행자 교통사고의 공간적 집중 경향은 압축도시의 특징보다는 오히려 직주분리의 정도와 관계가 깊은 것으로 판단된다. 직주분리를 정의할 때 역시 공간 분석의 단위가 매우 중요한데, 공간의 단위가 작을 경우 직장 과 주거는 분리되지만 분석 단위를 크게 정의 하게 되면 직장 과 주거 간 공간분리 현상은 완화된다. 보행자 교통사고의 발생 빈도 및 사망자 수는 비주거 용도가 집중된 곳에서 증가 하는데 이는 교통량이 이 지역에 집중되기 때문이며, 공간 단위가 커져서 비주거 용도가 주거 용도와 한 지역에 혼재된 상황에서는 도시의 압축도가 보행자 교통사고와 유의미한 관계를 갖지 않는 것으로 해석할 수 있다.

다만 이러한 해석은 본 연구 결과를 통하여 추측할 수 있는 내용일 뿐 이를 증명하기에는 본 연구에서 충분한 경험적 결과를 제시하지는 못하였다. 도시단위로 분석할 경우 마을단위보다 직장 과 주거 간 공간분리 양상이 작게 나타날 수 있으나, 이러한 특성은 각 도시지역마다 매우 다르게 나타난다. 향후 연구에서는 내부통행률을 바탕으로 생활권을 정의하고, 생활권 별 교통사고를 분석할 필요가 있다.

둘째, 분석 결과의 두드러진 특징 중 하나는 상관분석에서 유의하게 나타난 결과들이 회귀분석에서는 그러하지 않다는 점이다. 도시 단위 상관분석의 결과는 인구밀도, 도로연결성, 고용밀도와 같은 압축도시의 주요 요소들이 보행자 교통사고 및 사망자와 밀접한 관계가 있음을 보여주었으나, 회귀분석의 결과에서는 해당 변수는 유의한 변수로

나타나지 않았다. 본 연구는 이러한 차이가 인구 특성의 교란효과(confounding effect)가 매우 크게 관계되었기 때문으로 해석한다. 특히 고령자 비율은 보행자 교통사고(-0.68) 및 사망자수(-0.54)와 강한 음의 상관관계를 갖음과 동시에 인구밀도(-0.63), 고용밀도(-0.46), 도로연결성(-0.57)과도 강한 음의 상관관계를 갖는다. 즉, 고령자 비율이 높은 지역은 보행자 교통사고의 빈도 및 사망자 수가 낮지만, 동시에 이들은 인구밀도, 고용밀도, 도로 연결성이 낮은 비도시지역 혹은 비압축 도시에 거주한다.

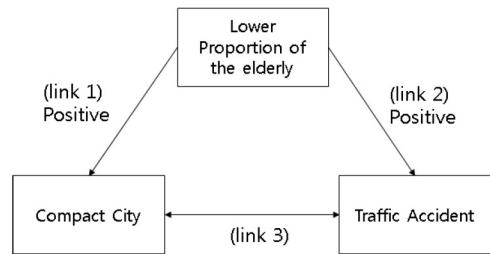


Figure 2. Confounding effect of demographic features

반대로 해석하면 고령자 비율이 낮은 도시가 압축도시일 경우가 많고 (link 1), 사고 위험이 높은 도시이기도 하다 (link 2). 이 경우 상관분석을 통해 link 3이 양의 관계를 갖는다(압축도시일수록 사고 위험이 높다)라고 나타난다 하더라도, 이는 고령자 비율이 갖는 교란효과가 link 1과 link 2가 반영되어 나타난 결과일 수 있다. 최소한 본 연구의 회귀분석에서 나타난 결과는 표 4에서 나타난 압축도시와 교통사고의 상관관계가 이러한 교란 효과에 의한 착시효과였음을 보여준다. 고령자 비율과 압축도시 물리적 요소간의 상호작용을 추가하여 사후 분석을 수행한 결과, 고령자 비율은 사고빈도 모델에서 인구밀도와, 사망자수 모델에서는 비주거 용도의 비율과 유의한 상호작용



을 보였다. 즉 압축도시의 특성을 지닌 지역에 비교령자의 인구 비율이 높아지는 경향이 있고, 압축도시 특성을 지닌 지역에서 나타나는 높은 보행자 사고의 위험성은 압축도시의 물리적 요소에 의한 영향보다는 비교령자 인구의 높은 사고 빈도가 반영되어 나타나는 결과일 수 있다. 물론 회귀분석의 결과가 인과관계를 검증하는 것은 아니나 교통안전에 대한 연구에 있어서 인구특성의 요소를 정의하는 것이 연구 결과에 매우 큰 영향을 미칠 수 있다는 점을 시사한다.

본 연구는 선행연구들과 마찬가지로 보행자 교통사고의 노출도를 측정하기 위하여 정확한 보행통행량이나 교통량을 변수로 사용하지 못하였다. 앞서 논의된 공간단위의 크기와 교통량, 그리고 교통사고의 관계를 정확하게 검증하기 위해서는 공간적으로 세분화된 내부, 유입 그리고 유통 교통량을 파악하여 분석할 필요가 있다. 또한 정확한 보행통행량에 대한 자료수집이 어려운 상황에서 고용밀도, 인구밀도를 사용하였을 경우, 보행통행량에 대한 정보가 과대 평가되거나 과소평가되어, 상관관계 분석 역시 오차를 가지게 된다. 그러므로 다음 연구에는 이러한 변수들을 최대한 반영할 수 있는 자료를 이용할 필요가 있다. 압축도시의 특성을 설명하기 위한 변수들이 비교적 단순한 지표들이었으며, 도시 단위와 마을 단위 자료의 공간적 범위가 일치하지 않는다는 점은 본 연구의 신뢰성에 영향을 미쳤을 가능성이 있다. 비록 서울이 대한민국의 도시 구조를 대표할 수 있는 다양한 도시형태를 포함하고 있기는 하지만, 비교적 고밀도로 개발된 서울의 물리적 형태와 고밀도와 저밀도의 개발형태가 혼재하는 전국의 물리적 형태가 다르기 때문에 시 단위와 마을 단위 모델 결과가 상이하게 나타났을 가능성이 있다. 추가적인 이론과 연구를 통하여 본 연구의 가설을 확장하고 검증할 필요가 있다.

이러한 한계점에도 불구하고 본 연구는 기존의 미시적 스케일 연구들이 간과한 교통사고 발생 요인을 공간 분석단위에 따른 차이로 설명하고자 시도하였다는 점에서 학술적 의의를 찾을 수 있다. 연구 결과는 고용밀도 및 비주거 용도의 비율이 높은 지역에서 교통사고의 위험이 높게 나타난다는 것을 보여주었지만, 이러한 경향은 타지역에서 집중되는 교통과 보행량에 의하여 보행과 교통간 상충빈도가 높아지기 때문에 나타나는 현상일 수 있다. 발생한 교통량이 타지역으로 이동하는 비율이 상대적으로 작은 도시단위 스케일에서는 고밀도 개발과 토지이용의 혼합이 교통사고의 위험을 증가시키지는 않으며, 인구 구조적 특성이 교통안전과 더 밀접하게 연관된 것으로 나타난다. 미시적 스케일에서 압축도시와 교통사고 간의 관계를 분석한 기존의 연구들은 도시스케일 연구와 상반된 결과를 보여주는 경향을 보였다. 본 연구는 이러한 경향을 설명할 수 있는 이론적 틀과 실증결과를 제안하였다는 점에서 의의를 갖는다.

## 인용문헌

### References

1. 김승남·이경환·안건혁, 2009. "압축도시 공간구조 특성이 교통에너지 소비와 대기오염 농도에 미치는 영향." 「국토계획」, 44(2): 231-246.  
Kim, S. N., Lee, K. H., Ahn, K. H., 2009. "The Effects of Compact City Characteristics on Transportation Energy Consumption and Air Quality", *Journal of the Korea Planners Association*, 44(2): 231-246.
2. 박승훈, 2014. "근린환경이 보행자-차량 충돌사고에 미치는 영향 - 북미 워싱턴 주 시애틀 도시를 대상으로-", 「국토계획」, 49(3): 143-157.  
Park, S. H., 2014a. "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 the Korea Planners Association*, 49(3): 143-157.
3. 성병준·유환희, 2014. "진주시 교통사고의 도시공간분포패턴 분석", 「한국지형공간정보학회지」, 22(3): 99-105.  
Sung, B. J., Yoo, H. H., 2014. "Pattern Analysis for Urban Spatial Distribution of Traffic Accidents in Jinju", *Journal of the Korean society for geo-spatial information system*, 22(3): 99-105.
  4. 성현곤·노정현·김태현·박지형, 2006. "고밀도도시에서의 토지이용이 통행패턴에 미치는 영향: 서울시 역세권을 중심으로", 「국토계획」, 41(4): 59-75.  
Sung, H. G., Rho, J. H., Kim, T. H., Park, J. H., 2006. "A Study on the Effects of Land Use on Travel Pattern in the Rail Station Areas of a Dense City: A Case of Seoul", *Journal of the Korea Planning Association*, 41(4): 59-75.
  5. 박상일, 2009. "제로팽창 음이항 회귀모형을 이용한 MMS 사용횟수에 대한 분석", 서울시립대학교 대학원 석사논문.  
Park S. I., 2009 "Analysis for MMS using Zero-inflated Negative Binomial Regression Model, Master's Degree Dissertation, The University of Seoul.
  6. 이세영·이제승, 2014. "어린이 · 노인 보행자 교통안전을 위한 근린환경요인", 「한국도시설계학회지」, 15(6): 5-15.  
Lee, S. Y., 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.
  7. 이수범·정도영·김도경, 2008. "토지이용 특성별 어린이 보호구역 개선사업의 교통사고 감소효과 분석", 「대한교통학회지」, 26(3): 109-117.  
Lee, S. B., Jung, D. Y., Kim, D. K., 2008. "The Effects of a School Zone Improvement Project on Crash Reduction Regarding Land Use Characteristics", *Journal of Korean Society of Transportation*, 26(3): 109-117.
  8. 정재풍·최종후, 2014. "교통사고건수에 대한 포아송 회귀와 음이항 회귀모형 적합"한국자료분석학회지」, 6(1):165-172.  
Jeong, J. P., Choi, J. H., 2014 "Poisson Regression and Negative Binomial Regression Model Fit for Traffic Accidents", *Journal of the Korean data analysis society*, 16(1):165-172.
  9. 최종후·고인미·전수영, 2011. "제로팽창 모형을 이용한 보험데이터 분석", 「응용통계연구」, 24(3): 485-494  
Choi J. H., Ko, I. M., Cheon, S. Y., 2011, "A Zero-Inflated Model for Insurance Data", *Korean Journal of Applied Statistics*, 24(3), 485-494.
  10. Aziz, H. M. Abdul, Ukkusuri, Satish V., & Hasan, Samiul, 2013. "Exploring the determinants of pedestrian-vehicle crash severity in New York City", *Accident Analysis & Prevention*, 50: 1298-1309.
  11. Cervero, Robert, 1996. "Mixed land-uses and commuting: evidence from the American Housing Survey", *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 30(5): 361-377.
  12. Cho, Gihyong, Rodríguez, Daniel A., Khattak, Asad J., 2009. "The role of the built environment in explaining relationships between perceived and actual pedestrian and bicyclist safety", *Accident Analysis & Prevention*, 41(4): 692-702.
  13. Clifton, Kelly J., Burnier, Carolina V., Akar, Gulsah, 2009. "Severity of injury resulting from pedestrian-vehicle crashes: What can we learn from examining the built environment?", *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 14(6): 425-436.
  14. Clifton, Kelly J., Kreamer-Fults, Kandice, 2007. "An examination of the environmental attributes associated with pedestrian-vehicular crashes near public

- schools”, *Accident Analysis & Prevention*, 39(4): 708-715.
15. Elias, Wafa, Shiftan, Yoram, 2014. “Analyzing and modeling risk exposure of pedestrian children to involvement in car crashes”. *Accident Analysis & Prevention*, 62: 397-405.
  16. Ewing, Reid, Dumbaugh, Eric, 2009. “The built environment and traffic safety a review of empirical evidence”, *Journal of Planning Literature*, 23(4): 347-367.
  17. Ewing, Reid, Schieber, Richard A, Zegeer, Charles V., 2003. “Urban sprawl as a risk factor in motor vehicle occupant and pedestrian fatalities”, *American Journal of Public Health*, 93(9)“ 1541-1545.
  18. Kim, Karl, Brunner, I., Yamashita, Eric, 2006. “Influence of Land Use, Population, Employment, and Economic Activity on Accidents”, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1953: 56-64.
  19. Knuiman, M. W., Christian, H. E., Divitini, M. L., Foster, S. A., Bull, F. C., Badland, H. M., Giles-Corti, B., 2014. “A Longitudinal Analysis of the Influence of the Neighborhood Built Environment on Walking for Transportation The RESIDE Study”, *American Journal of Epidemiology*, 180(5), 453-461
  20. Lucy, William H., 2003. “Mortality risk associated with leaving home: recognizing the relevance of the built environment”, *American Journal of Public Health*, 93(9): 1564-1569.
  21. Ouyang, Yiqiang, & Beijleri, Ilir., 2014. “Geographic Information System-Based Community-Level Method to Evaluate the Influence of Built Environment on Traffic Crashes”, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2432(1): 124-132.
  22. Priyantha Wedagama, D. M., Bird, Roger N., & Metcalfe, Andrew V., 2006. “The influence of urban land-use on non-motorised transport casualties”. *Accident Analysis & Prevention*, 38(6): 1049-1057.
  23. Ukkusuri, Satish, Miranda-Moreno, Luis F., Ramadurai, Gitakrishnan, Isa-Tavarez, Jhael., 2012. “The role of built environment on pedestrian crash frequency”, *Safety Science*, 50(4): 1141-1151.
  24. Wier, Megan, Weintraub, June, Humphreys, Elizabeth H., Seto, Edmund, Bhatia, Rajiv., 2009. “An area-level model of vehicle-pedestrian injury collisions with implications for land use and transportation planning”, *Accident Analysis & Prevention*, 41(1): 137-145.
  25. Wineman, J. D., Marans, R. W., Schulz, A. J., van der Westhuizen, D. L., Mentz, G. B., Max, P., 2014. “Designing Healthy Neighborhoods Contributions of the Built Environment to Physical Activity in Detroit”, *Journal of Planning Education and Research*, 34(2): 180-189.
  26. Yang, W., Spears, K., Zhang, F., Lee, W. Himler, H. L., 2012. “Evaluation of personal and built environment attributes to physical activity: a multilevel analysis on multiple population-based data sources”, *Journal of Obesity*, 2012: 1-9.
  27. Yiannakoulis, Nikolaos, Scott, Darren M., 2013. “The effects of local and non-local traffic on child pedestrian safety: A spatial displacement of risk”, *Social Science & Medicine*, 80: 96-104.

Date Received 2015-07-29  
 Reviewed(1<sup>st</sup>) 2015-10-27  
 Date Revised 2015-01-18  
 Reviewed(2<sup>nd</sup>) 2016-02-04  
 Date Accepted 2016-02-04  
 Final Received 2016-02-19