



도시조직이 생활도로 보행자 교통사고에 미치는 영향^{*,**}

: 서울시 생활도로 내 보행자 교통사고 다발구간을 중심으로

The Effect of Urban Tissue on Pedestrian Traffic Accidents in the Living Roads
: Focused on the Pedestrian Traffic Accident Hot Spots Section in the Seoul's Living Road

박수훈^{***} · 김동현^{****} · 박진아^{*****}

Park, Su-Hun · Kim, Dong-Hyun · Park, Jin-A

Abstract

The purpose of this study is to subdivide urban tissue into road-based and area-based factors and to identify the effects of pedestrian traffic accidents on living roads. The major findings of this study are as follows. First, the variables affecting the accident ratio and the dependent variables, were found to be statistically significant in terms of openness, enclosure, greenery, signboard, number of buildings, and the block size of area-based factors. Second, the block size was significant in the area unit. This is because the smaller the block size, the higher the accident ratio of the road segment. This result is in agreement with the related studies. Third, the statistically significant variables in the road units were found to be dependent on the openness, enclosure, greenery, signboard, and number of buildings. After checking the spatial location of these sections, it is found that the location is a dense space of neighborhood living facilities, which is a grid road structure. Lastly, this study constructs and analyzes the road unit elements, which have difficulty in data construction, using deep learning. Through this, it suggested applicability in the city, architecture, and transportation.

주제어 보행자 교통사고, 도시조직, 생활도로, 딥 러닝, 도시설계

Keywords Pedestrian Traffic Accidents, Urban Tissue, Living Roads, Deep Learning, Urban Design

1. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

우리나라 교통사고 사망자수는 지속적으로 감소해 왔으나, 교통 안전 수준은 OECD 국가 중 최하위¹⁾이며, 교통사고 사망자 중 보행자 교통사고 사망자의 비중은 40%이다. 더하여 보행자 교통사

고의 52%가 보행자의 통행이 많은 이면도로(생활도로)에서 발생한다(관계부처 합동, 2018). 이처럼 보행자 교통사고가 주로 12m 미만의 생활도로에서 발생하고 있다는 것은 보행자의 이동성과 안전성이 확보되지 못하고 있다는 것을 의미한다(조준한·김인석, 2016).

보행자의 이동성과 안전성 증진을 위해 올해 서울시는 사대문 안을 범위로 차량속도를 제한하는 '안전속도 5030 사업'²⁾을 시행

* 본 연구는 국토교통부 국토교통기술촉진연구사업의 연구비지원(20CTAP-C152030-02)에 의해 수행되었습니다.

** 본 논문은 서울특별시·서울연구원이 주최한 「2019 서울연구논문공모전」에 응모한 논문을 토대로 수정 보완한 논문입니다.

*** Master's Candidate, Dept. of Urban Planning & Engineering, Hanyang University (stylepsh11@naver.com)

**** Doctorate Candidate, Dept. of Urban Planning & Engineering, Hanyang University (hyunurban@hanyang.ac.kr)

***** Professor, Dept. of Urban Planning & Engineering, Hanyang University (Corresponding Author: Paran42@hanyang.ac.kr)

하였다(서울특별시, 2018). 차량속도도 보행자 교통사고에 영향을 미치지만 해외에서는 운전자와 보행자의 주의를 돌리는 도시조직 중 가로경관의 시각적 요소들이 교통사고에 영향을 미친다고 보고되어 있다(Sabey and Taylor, 1980; Hosking et al., 2009).

도시조직 중 가로경관의 시각적 요소는 보행자 교통사고에 직접적 요인으로 도출되었지만 대상의 크기에 따라 데이터 구축의 어려움이 있었기에 교통사고와 도시조직 사이의 영향관계를 규명하는 연구들은 도시의 맥락적인 의미를 가지는 영역단위의 밀도와 토지이용 특성 등으로만 연구를 진행하였다. 그러나 최근 컴퓨터 비전 분야의 발달로 가로경관의 시각적 요소를 구축할 수 있게 되었다.

따라서 본 연구의 목적은 가로단위 또는 영역단위로 도시조직을 세분화하여 가로경관의 시각적 요소를 포함한 생활도로 보행자 교통사고 영향요소를 확인하고, 추후 안전한 생활도로를 위한 정책적 시사점을 제시하고자 한다.

2. 연구의 범위

본 연구의 공간적 범위는 서울시 내 생활도로이며, 분석 단위는 가로단위와 영역단위로 세분화하였다. 가로단위는 보행자 교통사고의 50% 이상이 발생하고 있는 생활도로에서 보행자 교통사고의 직접적인 요인을 살펴보기 위해 도로 세그먼트³⁾로 설정하였고, 영역단위는 페리의 근린주구 이론에 따라 생활권이 형성되는 보행거리인 400m 격자로 설정하였다. 연구의 시간적 범위는 도로교통공단 교통사고분석시스템(Traffic Accident Analysis System, TAAS)의 2015년부터 2017년까지 서울시에서 일어난 차량 대 사람 교통사고를 대상으로 하였다.

II. 이론적 고찰

1. 도시조직

도시조직은 도시의 형성과 변화 과정에서 살아있는 유기체로 바라보는 것이며 도시를 구성하는 요소⁴⁾들 간의 연속성, 관계성, 재생, 다양성 등의 복합적인 상호작용을 의미한다. 도시조직의 용어는 학자에 따라 ‘urban form’, ‘urban tissue’, ‘urban fabric’, ‘urban structure’, ‘plan unit’ 등으로 다양하게 사용되고 있고, 구성요소도 학자에 따라 차이가 있다(권혁삼, 2011; 정인아, 2018). 도시조직을 계층적으로 접근하면 크게 대규모, 중규모, 소규모, 3가지 규모로 분류할 수 있다(Sharifi, 2019). 대규모는 일련의 맥락으로 표현되는 개념으로 인구와 산업의 분포, 가로망 구조 등이 해당하며 접근성 또는 이동성의 특성으로 나타난다. 중규모는 필지와 건축물, 가로 등 요소의 배치로 위요감과 개방감,

휴먼스케일의 특성을 가진다. 소규모는 건축물의 형태, 가로의 포장 등 미시적인 디자인 요소로 복잡성, 명료성, 일관성 등의 특성으로 나타난다(<그림 1> 참조).

도시조직이 개인의 행동에 영향을 미치는 관계를 보고자 한 연구는 다수 진행되었다(Ewing and Handy, 2009; Liu et al., 2017). 이 중 일부 연구에서는 도시조직이 개인의 행동에 미치는 영향은 서로 다른 규모의 특성에 의해서 매개되어 영향을 줄 수 있다는 것을 밝혔다.

도시조직 구성 요소들의 맥락으로 표현되는 대규모와 달리 배치를 바탕으로 특징지어지는 중규모는 측정하기 어렵다. 위요감, 개방감 등의 특징을 가지는 중규모는 현장조사를 통하거나 실험을 통해 측정이 가능하지만 이는 매우 노동집약적이고 대상의 크기에 따라 제한적이다. 그러나 최근 딥 러닝을 통하여 이러한 중규모단위의 특징을 측정할 수 있는 방법론이 개발됨에 따라 대상의 크기에 제한 없이 이를 측정할 수 있는 가능성이 모색되었다(Tang and Long, 2019).

2. 보행자 교통사고와 도시조직

보행자 교통사고 선행연구들을 고찰한 결과, 보행자 교통사고는 개인, 물리적 환경 등 다양한 요인들의 복합이 영향을 미친다는 결과를 도출하였다. 그중 도시조직과 관련된 물리적 환경 변수들은 도시의 맥락적인 대규모 단위 요인(토지이용, 밀도 등)이 주를 이루었다. Ewing and Dumbaugh(2009)는 밀도가 높은 도시 지역에서 좁은 차선, 도로와 가까운 가로수와 같이 관용적 디자인이 주변의 장애물을 제거하는 개방된 도로 디자인과 비교할 때 도로의 안전성을 향상시킨다는 사실을 밝혀냈다. Harvey et al.(2015)는 뉴욕시를 대상으로 가로경관의 골격을 측정하여 인식된 안전과 연관성을 분석하였고, 위요된 가로경관을 안전하게 인식한다는 결과를 보여줬다. 박수훈(2014)은 시애틀을 배경으로

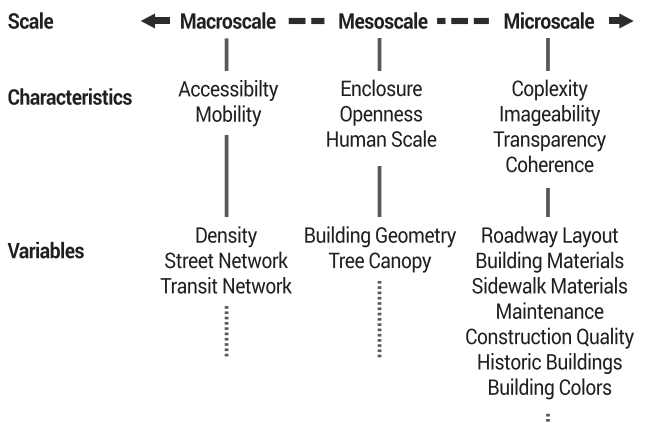


그림 1. 도시조직의 분류
Figure 1. Classification of urban tissue

Source: Redrawn based on Harvey and Lisa (2016)

실증적 연구를 통해 근린의 물리적 환경특성이 보행자 교통사고에 영향을 미친다는 것을 도출하였고 신호등 밀도, 토지이용, 버스정거장 개수 등이 보행자 교통사고에 영향을 미친다는 결과를 보여줬다. 박철영·이수기(2016)는 고속도로를 제외한 대로와 생활권 도로를 대상으로 보행자 교통사고에 영향을 미치는 가로환경 특성을 분석하였고, 차량 통행량과 유동인구 보행량, 대중교통 시설, 상업가로, 초등학교 주변 등이 보행자 교통사고에 밀접한 관련이 있다는 결과를 보여줬다. 서지민·이수기(2016)는 2014년 TAAS 데이터를 활용하여 집계구 단위로 서울시에서 발생한 보행자 교통사고 유발 요인을 분석하였고 인구, 가로환경, 가로구조, 용도지역, 토지이용 등이 보행자 교통사고에 밀접한 관련이 있다는 사실을 밝혀냈다. 권지혜·박승훈(2018)은 서울시의 초등학교 반경 400m와 800m 범위의 보행자 교통사고에 영향을 미치는 요인을 파악하고자 하였고, 도로유형, 도로시설, 대중교통, 토지이용 등이 영향을 미친다는 결과를 밝혀냈다.

3. 딥 러닝 의미론적 분할기법

최근 다양한 연구에서 주목받고 있는 딥 러닝(deep learning)은 머신 러닝(machine learning)의 특정한 한 분야에 속하며 연속된 층(layer)에서 점진적으로 의미 있는 표현을 배우는 인공 신경망(artificial neural network)을 중심으로 발전하였고, 이미지 인식, 영상 객체 인식 및 음성 인식 등의 다양한 분야에서 활용되고 있다(박근덕·이수기, 2018).

이러한 딥 러닝 기법 중 하나인 의미론적 분할기법은 하늘, 도로, 건물, 간판, 가로수 등과 같은 장면 이해를 위한 다양한 범주로 구성되어 있는 데이터셋에 이미지를 입력하면 그 이미지를 픽셀단위로 분할하여 사물을 구분하는 방법이다(〈그림 2〉 참조).

본 연구의 의미론적 분할 알고리즘은 ADE20K 데이터셋으로 사전학습된 UPerNet 모델을 사용하였다. UPerNet 모델은 사람이 시각으로 장면을 인식할 때 여러 단계를 동시에 걸치며 인식하는 과정을 모방하여 북경대와 MIT가 2018년에 공동 개발한 의미론적 분할기법 모델이다.

ADE20K는 MIT Computer Vision Team에서 구축한 최대의 의미론적 분할기법 용 데이터셋이며, 최대 150개의 항목을 구분할 수 있도록 사전 학습되어 있는 데이터셋이다. UperNet 모형

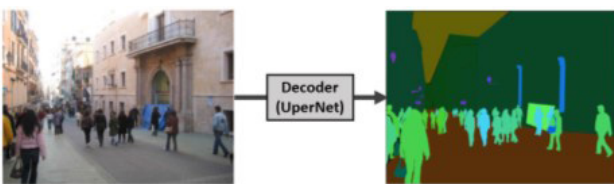


그림 2. 의미론적 분할기법 예시

Figure 2. Semantic segmentation example

Source: Redrawn based on Zhou et al. (2019)

에 ADE20K의 데이터셋을 사용할 경우에는 약 80%의 픽셀 정확도를 나타낸다(Xiao et al., 2018; Zhou et al., 2019).

본 연구에서는 딥 러닝 의미론적 분할기법을 운전자와 보행자가 시각적으로 인지하는 가로단위의 중규모 도시조직을 변수로 사용하기에 인간이 시지각적으로 인지하는 과정을 모방한 UperNet 모형이 적합하다고 판단되어 사용하였다.

4. 연구의 차별성

보행자 교통사고와 도시조직과의 영향관계를 살펴본 기존 연구의 한계점은 다음과 같다. 다수의 국내 연구들이 도시조직 요소 중 도시의 맥락적 의미를 가진 대규모 단위 위주로 영향관계를 살펴보았으며, 이는 보행자 교통사고의 직접적인 요인보다 간접적인 요인이 반영되어 있으므로 보행자 교통사고와 도시조직의 직접적인 영향관계에 대한 해석에 어려움이 존재한다.

국의 연구의 경우에도 직접적으로 보행자 교통사고와 도시조직의 영향관계를 살펴본 연구 중에 가로단위의 중규모 도시조직 요소를 반영하여 분석한 연구는 현저히 부족하지만, 딥 러닝 기법을 활용하여 중규모의 도시조직 요소를 정량화하고 거리의 품질(안전성, 이동성 등)을 평가하는 연구들이 점차 나오고 있는 추세이다(Harvey et al., 2015; Tang and Long, 2019).

따라서 본 연구의 차별성은 첫째, 보행자 교통사고와 도시조직의 영향관계를 보는 기존의 연구에 있어 대상의 크기에 따라 데이터 구축의 어려움이 있던 가로단위의 중규모 요소들을 딥 러닝 의미론적 분할기법을 사용하여 데이터를 구축하고 보행자 교통사고 선행연구에서 유의하게 나온 영역단위의 대규모 요소들과 함께 분석한다. 이를 통해 보행자 교통사고와 도시조직의 영향관계를 살펴본다는 점에서 차별성이 있다(〈그림 3〉 참조).

둘째, 사고비율이 높은 서울시 생활도로 상위 5%를 분석함으로써 사고 다발구간과 다발지역의 특징을 파악하고 추후 안전한 생활가로환경을 위한 정책을 시행할 때 명확한 기준을 제시할 수 있다는 점에서 차별성이 있다.

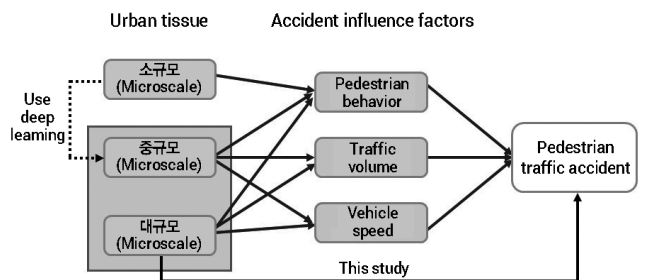


그림 3. 본 연구의 이론적 틀

Figure 3. Conceptual framework of this study

Source: Redrawn based on Ewing and Handy(2009) and Miranda-Moreno et al. (2011)

III. 연구 방법

1. 분석자료

본 연구의 분석자료는 TAAS에서 제공하는 2015~2017년 차대 사람 교통사고 데이터와 행정안전부의 도로명주소 기본도를 통해 건축물, 도로 데이터를 구축하고, 국토교통부의 연속지적도 데이터를 통해 필지 데이터 그리고 서울시에서 제공하는 길 단위 유동인구 데이터와 서울열린데이터광장의 버스정류장, 횡단보도 데이터를 구축하여 분석에 사용한다. TAAS 데이터는 발생일시, 날씨, 요일, 사고 유형, 사고 당사자 연령과 성별, 부상정도, 도로 형태, 사고지점 좌표 등의 정보로 구성되어 있다.

본 연구의 분석 단위인 생활도로는 보행자의 통행량이 많은 도로이지만, 우리나라에서는 아직 법적으로 규정이 없다. 관련 국내 선행연구를 살펴보면 도로기능(집산도로와 국지도로), 도로 폭(9~12m 미만), 차로 수(왕복 2차로)를 기준으로 생활도로를 정의하였다(경찰청, 2010; 임유진·김도경, 2013; 관계부처 합동, 2018; 이호준·이수기, 2019). 본 연구에서는 선행연구의 기준을 포괄하는 폭 12m 미만의 도로로 정의하였다.

2015~2017년 서울시 전체 보행자 교통사고의 발생건수는 32,723건이며, 보행자 교통사고가 발생한 생활도로 세그먼트는

5,631개이다. 세그먼트의 사고수를 살펴본 결과 사고가 1건 일어난 생활도로가 4,091개, 2건 일어난 생활도로가 994개로 전체 생활도로 중 90% 이상이 2건 이하의 데이터이다. 생활도로 보행자 교통사고와 도시조직의 영향관계를 분석함에 있어 연관성이 부족하다고 판단하여 본 연구는 세그먼트당 3건 이상의 사고가 발생한 상위 5% 이내의 생활도로를 분석대상으로 하였다. 그중 이상치를 보이는 데이터를 제외하여 총 253개의 보행자 교통사고 다발구간의 사고비율을 종속변수로 사용하였다(〈그림 4〉 참조).

본 연구에서는 딥 러닝 기법 중 하나인 의미론적 분할기법으로 가로단위 변수를 구축하기 위해 Naver Street View API를 이용하였고, 서울시 생활도로 보행자 교통사고 다발도로 세그먼트 중심점의 위치정보를 바탕으로 360° 파노라마 이미지를 구축하였다. 360° 파노라마 이미지 중 운전자의 시지각적 장면인 차량의 전면부와 후면부를 추출하여 의미론적 분할기법을 사용했고, 전면부와 후면부의 구성요소 평균값을 본 연구에 사용하였다(〈그림 5〉 참조).

2. 분석과정 및 방법

본 연구의 흐름은 도시조직이 생활도로 보행자 교통사고에 미치는 영향관계를 알아보기 위해 생활도로, 보행자 교통사고, 도

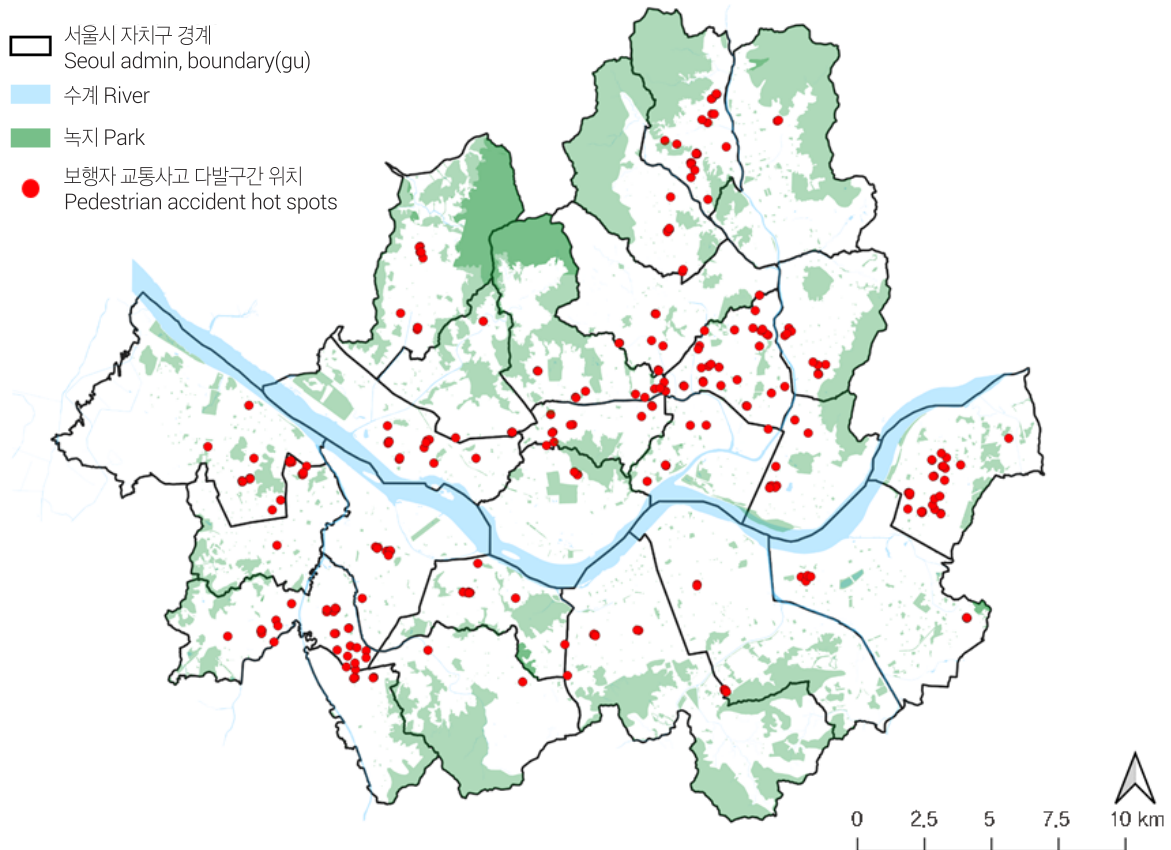


그림 4. 서울시 생활도로 내 보행자 교통사고 다발구간 지점(2015~2017)
 Figure 4. Pedestrian traffic accident hot spots section in the Seoul's living road (2015~2017)

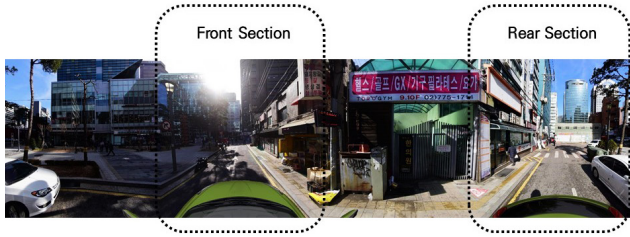


그림 5. 네이버 로드뷰 360° 파노라마 이미지 예시
Figure 5. Naver street view 360° panorama image example

시조직 관련한 선행연구를 고찰하였다. 이를 통해 생활도로 보행자 교통사고와 이에 영향을 미치는 도시조직을 영역단위와 가로단위로 분류하여 다중회귀모형을 사용하여 분석하였다. 분석에 사용된 변수는 관련 선행연구 고찰을 기반으로 하여 유의한 변수만을 선별하여 사용하였다. 분석에 사용된 변수의 정의 및 자료 출처는 <표 1>과 같다.

본 연구의 다중회귀모형에서는 서울시 생활도로 내 보행자 교통사고 다발구간(상위 5%)의 사고비율을 종속변수로 사용하였다. 이러한 사고발생 비율은 도로의 보행자수에 따라 영향을 받을 수 있을 것이라 판단되어 유동인구 수를 통제변수로 사용하였다.

영역단위 변수는 크게 토지이용 특성, 대중교통망 접근성, 도로특성으로 살펴보았다. 토지이용 특성과 대중교통망 접근성은 유동인구와 밀접하게 연관되어 있다고 판단하여 사용하였고, 도

로특성 변수인 가로망 체계와 횡단보도 수는 차량속도와 연관되어 있으므로 보행자 교통사고에 영향을 미칠 것이라 판단하여 독립변수로 사용하였다. 토지이용 특성 변수 중 3지 교차로의 수는 블록의 크기를 간접적으로 측정할 수 있는 변수로 판단되어 사용하였다. 본 연구에서 영역단위는 400m 격자로 구성되어 있으므로, 영역 내 3지 교차로의 수가 많을수록 블록의 크기는 작고 수가 적을수록 블록의 크기가 크다고 판단할 수 있다.

가로단위 변수는 크게 유동인구, 도로에 연결한 시각적 인지 요소, 도시설계 특성으로 살펴보았다. 운전자가 시각적으로 인지하는 도로에 연결한 요소와 도시설계 특성 변수의 측정 방법은 다음과 같다. QGIS를 통해 보행자 교통사고 다발지역 중심점의 위치정보를 구득하고, Naver Street View API를 활용하여 해당지점의 파노라마 이미지를 추출하고, 추출한 이미지를 의미론적 분할기법 모델인 UperNet 알고리즘을 이용하여 이미지의 구성요소 비율을 추출한다(<그림 6> 참조). 추출한 구성요소의 비율을 통해 도시설계 특성 변수와 운전자가 시각적으로 인지하는 인도(보행자도로)와 간판의 비율을 사용하였다.

도로에 연결한 시각적 인지 요소인 인도와 간판의 비율은 운전자와 보행자의 주의를 돌리는 요인으로 선행연구에서 밝혀진 바가 있기에 독립변수로 사용하였다. 가로경관을 구성하는 요소들간의 복합인 도시설계 특성은 개인의 태도와 선호도를 고려하여 개인이 장소에 반응하는 방식이다. 즉 장소를 편안함, 안전, 흥

표 1. 분석에 사용된 단위별 측정항목
Table 1. Metrics by unit used in the analysis

Classification	Variable	Variable description	Data sources		
Dependent variable	Accident ratio	Accident ratio of road segment (Number of accidents / Road segment length)	TAAS		
Controlling variable	Floating population	Number of floating population	Seoul open data plaza		
Street unit variable (Mesoscale)	Urban design qualities	Openness	The area ratio of the sky	Naver street view API	
		Enclosure	The area ratio of building and roadside tree		
		Greenery	The area ratio of roadside tree		
	Visual elements connected to the road	Sidewalk	The area ratio of sidewalk		
		Signboard	The area ratio of signboard		
		Number of buildings	Number of buildings		Road name address electronic map
		Height of buildings	Average of building height		
Area unit variable (Macroscale)	Characteristics of land use	3-way intersections	3-way intersection count within the area	QGIS	
		Number of parcels	Number of parcels in the area	Continuous cadastral map	
		Openspace	Existence of openspace – yes(1); no(0)		
	Public transport accessibility	Land use	Residential zoning(0); elsewhere(1)	Seoul open data plaza	
		Subway station	Number of subway station entrance		
		Bus station	Number of bus station in the area		
Characteristics of road environment	Road system	Naturally occurring road network(1); Grid road network(0)	QGIS		
	Pedestrian crossings	Number of pedestrian crossings	Seoul open data plaza		

PANOID	building	road	sidewalk	car	sky	tree	signboard	plant	person	wall
_0FG50cb\	0.692	0.1365	0.0209	0.0869	0	0	0	0	0	0.045
_b6lwwVEZ	0.5269	0.1938	0.0349	0.0919	0.0847	0.0486	0	0.0103	0	0
_DHk0cTm	0.3623	0.2929	0.0508	0	0.1761	0.0755	0	0.0276	0	0
_N_M2dwi	0.5333	0.2364	0.0214	0	0.1675	0	0	0	0.0222	0
_NQrzWVh	0.5751	0.219	0.0115	0	0.1456	0	0.0249	0.0134	0	0
_NvnCaVv	0.4529	0.21	0.0227	0.0796	0.1594	0.064	0	0	0	0
_0BB8HtlZc	0.6643	0.2228	0.0216	0	0.0623	0	0	0	0	0

그림 6. 의미론적 분할기법 결과값 예시
Figure 6. Example of semantic segmentation result

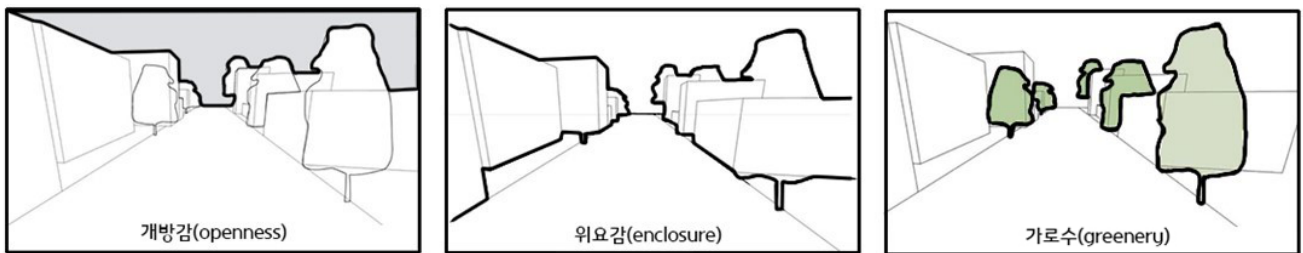


그림 7. 의미론적 분할기법으로 측정된 도시골격 변수
Figure 7. Urban skeletal variables measured by semantic segmentation

Source: Redrawn based on Harvey et al. (2015) and Tang and Long (2019)

미, 개방성, 투명성, 위요감, 복잡성 등과 같은 특성으로 인지하고, 이는 사람마다 다른 반응을 보일 수 있다(Ewing and Handy, 2009). 본 연구에서는 물리적 특징을 통해 도시설계 특성의 구축이 가능하고, 보행자의 인지된 안전에 영향관계가 있다고 Harvey et al.(2015)와 Tang and Long(2019)의 연구에서 밝혀진 바가 있는 개방감, 위요감, 가로수를 도시설계 특성 변수로 사용하였다(〈그림 7〉 참조).

해당 변수에 대한 정의는 다음과 같다. 개방감은 하늘의 가시성 정도를 의미하며 그 정도는 시각적 인지와 쾌적성에 영향을 미치면서 빛의 양을 결정한다(Tang and Long, 2019). 위요감은 도로에 연접한 건물 외벽의 연속성이 가로골격을 형성하는 것이며, 건물이 정렬되어 형성된 가로골격은 장소정체성, 피난처, 친숙함과 연관되는 위요감을 제공한다. 건물 매스에 반복되는 패턴이나 가변성은 가로경관의 시각적 복잡성에 영향을 미친다. 건물 외벽과 함께 가로수, 보도, 간판 등은 완전한 가로경관을 조성한다(Ewing and Handy, 2009; Harvey et al., 2015; Tang and Long, 2019).

IV. 분석결과

1. 기술통계량 분석

본 연구에서 설정된 최종 변수에 대한 측정값의 기술통계량 결과는 〈표 2〉와 같다. 구축된 변수에 대한 정규분포를 확인하기 위

해 기술통계량의 왜도와 첨도 값을 확인한 결과 종속변수인 도로 세그먼트 길이당 사고 수와 독립변수인 유동인구, 개방감, 위요감, 녹지, 건축물의 수가 정규분포에 벗어난 것으로 판단되었다. 해당 변수를 자연로그(ln) 또는 제곱근(SQRT) 값으로 치환하여 기술통계량의 왜도와 첨도 값을 확인한 결과 정규성 가정에 충족하다고 판단되어 최종변수로 구축하였다.

본 연구의 독립변수가 유기적으로 상호작용하는 도시조직이기 때문에 독립변수끼리 종속적일 수 있다는 가정에 Variance Inflation Factor(VIF) 값을 확인하였다. 다중공선성을 판단하는 VIF 값의 기준은 데이터의 특징에 따라 기준이 상이하지만 통상적으로 값이 10 이상인 경우 다중공선성이 있다고 판단한다(서지민·이수기, 2016). 본 연구의 VIF 값은 모두 5 이하로 도출되어 다중공선성 문제가 없는 모두 독립적인 변수라고 판단된다.

2. 다중회귀분석

본 연구는 서울시 생활도로 내 보행자 교통사고 다발구간에 영향을 주는 도시조직 요소를 파악하기 위해 다중회귀모형을 사용하여 분석한 결과는 〈표 3〉과 같다. 다중회귀분석 결과에 대한 해석은 다음과 같다. 첫째, 종속변수인 도로 세그먼트 길이당 사고 수에 영향을 주는 유의미한 변수는 가로단위 요인의 개방감(+), 위요감(+), 가로수(-), 간판(+), 건축물 수(-)와 영역단위 요인의 3차 교차로의 수(+)가 통계적으로 유의하게 나타났다. 도시의 맥

표 2. 기술통계량 결과

Table 2. Descriptive statistics results

Classification	Variable	Min	Max	Mean	Std. Dev.	Skewness	Kurtosis	VIF	
Dependent variable	(ln) Accident ratio	-5.195	-0.561	-2.635	0.738	-0.33	0.591	-	
Controlling variable	(ln) Floating population	0.693	7.781	4.079	1.188	0.242	0.288	1.513	
Street unit variable	Urban design qualities	(ln) Openness	-3.308	-0.672	-1.605	0.382	-0.64	2.081	3.841
		(ln) Enclosure	-2.124	-0.059	-0.641	0.256	-1.617	4.862	3.819
		(sqrt) Greenery	0	0.546	0.093	0.136	1.275	0.629	1.204
	Visual elements connected to the road	Sidewalk	0	0.122	0.032	0.023	1.026	1.478	1.212
		Signboard	0	0.085	0.012	0.017	1.573	2.327	1.21
		(sqrt) Number of buildings	0	3.742	1.171	0.841	0.248	-0.184	1.24
		Height of buildings	0	34.5	7.684	5.048	0.459	2.212	1.35
Area unit variable	Characteristics of land use	3-way intersections	18	1196	492.23	255.724	0.402	-0.384	1.729
		Number of parcels	1	1936	470.97	273.995	1.088	3.098	1.581
		Openspace	0	1.000	0.270	0.446	1.027	-0.953	1.085
	Public transport accessibility	Land use	0	1.000	0.190	0.396	1.560	0.436	1.440
		Subway station	0	10.000	1.300	2.269	1.619	1.478	1.365
		Bus station	0	14.000	5.540	3.130	0.513	-0.480	1.127
	Characteristics of road environment	Road system	0	1	0.350	0.478	0.624	-1.623	1.166
		Pedestrian crossings	0	46	17.430	9.179	0.465	-0.181	1.249

표 3 다중회귀분석 결과

Table 3. Multiple regression analysis result

Classification	Variables	Estimate	t value	Sig.	
Controlling variable	(ln) Floating population	-0.036	-0.890	0.375	
Street unit variable	Urban design qualities	(ln) Openness	1.095	5.523	0.000**
		(ln) Enclosure	1.790	6.071	0.000**
		(sqrt) Greenery	-1.014	-3.244	0.001**
	Visual elements connected to the road	Sidewalk	-0.653	-0.360	0.719
		Signboard	5.834	2.309	0.022*
		(sqrt) Number of buildings	-0.276	-5.392	0.000**
		Height of buildings	0.015	1.702	0.090
Area unit variable	Characteristics of land use	3-way intersections	0.001	3.900	0.000**
		Number of parcels	0.000	-0.426	0.670
		Openspace	-0.025	-0.280	0.780
	Public transport accessibility	Land use	-0.128	-1.092	0.276
		Subway station	0.009	0.447	0.656
		Bus station	-0.003	-0.219	0.827
	Characteristics of road environment	Road system	0.097	1.117	0.265
		Pedestrian crossings	0.004	0.753	0.452
Multiple R-squared			0.353		
Adjusted R-squared			0.309		
p-value			0.000		

* p<0.05, **p<0.01

락적인 의미를 가지는 영역단위 요인 중 3지 교차로의 수만 통계적으로 유의하게 나타났다는 것은 서울시 생활도로 내 보행자 교통사고에는 대규모의 영역단위 요인보다 운전자가 시각적으로 인지하는 중규모의 가로단위 요인이 영향관계가 있다고 보는 것이 타당하다.

둘째, 영역단위에서는 3지 교차로의 수만 양(+)의 영향으로 나타났다. 3지 교차로의 수는 블록의 크기를 간접적으로 측정할 수 있는 변수로 판단되어 사용하였다. 즉, 교차로의 수가 많을수록 사고비율이 높다는 결과는 블록의 크기가 작을수록 사고비율이 높다는 결과로 판단할 수 있다. 해당 결과의 해석을 위해 보행자 교통사고 다발구간의 공간적 위치를 확인한 결과, 본 연구의 공간적 단위(가로)가 12m 미만의 생활도로이지만 해당 생활권의 주 생활가로로서 주변의 생활도로와 많이 연결되어 있어 자동차와 보행자의 통행량이 많기 때문인 것으로 판단된다. 이는 관련 선행연구와 상통하는 결과이다(박철영·이수기, 2016; 권지혜·박승훈, 2018).

셋째, 가로단위에서 통계적으로 유의미한 변수는 개방감(+), 위요감(+), 가로수(-), 간판(+), 건축물 수(-)로 나타났다. 이 중 건축물 수는 사고비율에 음의 영향으로 나타났다. 이는 도로 세그먼트에 연결한 건축물 수가 적은 개방된 환경에서 사고가 일어날 확률이 높은 것으로 판단된다. 딥 러닝으로 추출한 변수인 개방감, 위요감, 가로수, 간판에 대한 해석은 다음과 같다. 생활도로 내 보행자 교통사고 다발구간에서 운전자가 시각적으로 인지하는 환경이 개방감과 위요감이 동시에 높고 가로수가 없으며 간판이 많은 곳에서 사고가 일어날 확률이 높은 것으로 나타났다. 분석결과를 이해하기 위해 사고 다발구간을 살펴본 결과, 이에 해당하는 곳은 격자형 도로구조인 근린생활시설 밀집공간으로 나타났다. 해당 공간의 도로 세그먼트의 사고비율은 일반 주거지

역의 비격자형 도로구조인 곳보다 비교적 높은 것으로 나타났다 (<표 4> 참조).

이는 운전자가 개방된 경관에서 속도를 낸다는 Antonson et al.(2009)의 연구결과와 위요된 경관에서 보행자가 안전하다고 인지한다는 Ewing and Dumbaugh(2009)와 Harvey et al.(2015)의 연구 결과를 토대로 한 해석을 해보면 다음과 같다. 즉, 개방된 경관에서 속도를 내는 운전자와 위요된 가로경관에서 안전하다고 인지하는 보행자의 부주의가 결합되어 생긴 결과로 판단할 수 있다.

V. 결론

본 연구는 도로교통공단에서 제공하는 2015~2017년 보행자 교통사고 데이터를 토대로 운전자가 시각적으로 인지하는 가로단위 도시조직 요소와 도시의 맥락적인 영역단위 도시조직 요소로 세분화하여 생활도로 보행자 교통사고에 영향을 미치는 도시조직을 다중회귀모형으로 분석하였다.

본 연구의 결과 및 시사점은 다음과 같다. 첫째, 사고비율에 영향을 주는 변수는 가로단위 요인의 개방감, 위요감, 가로수, 간판, 건축물 수와 영역단위 요인의 3지 교차로 수만 유의하게 나타났다. 이는 생활도로 내 보행자 교통사고 다발구간은 대규모의 영역단위 요인보다 운전자가 시각적으로 인지하는 중규모의 가로단위 요인이 영향관계가 있다고 보는 것이 타당하다. 그러나 선행연구에서는 영역단위 요인인 대중교통망 접근성과 토지이용 특성이 보행자 교통사고에 영향관계가 있다고 제시하고 있으므로 해당 변수에 대해서는 다른 측면에서의 변수 측정방법이 필요하다고 판단된다.

둘째, 영역단위 요인은 3지 교차로의 수가 양의 영향으로 나타났다. 해당 변수는 블록의 크기를 간접적으로 측정할 수 있는 변수로 판단되어 사용하였다. 즉, 교차로의 수가 많을수록 사고비율이 높다는 결과는 블록의 크기가 작을수록 사고비율이 높다는 결과로 판단할 수 있다. 결과의 해석을 위해 교통사고 다발구간의 공간적 위치를 확인한 결과, 해당 생활권의 주 생활가로로서 주변의 생활도로와 많이 연결되어 있어 자동차와 보행자의 통행량이 많기 때문인 것으로 판단된다. 이는 관련 선행연구와 상통하는 결과이다.

셋째, 가로단위 요인은 개방감(+), 위요감(+), 가로수(-), 간판(+), 건축물 수(-)가 유의하게 나타났다. 그중 건축물 수는 사고비율에 음의 영향으로 나타났다. 이는 도로 세그먼트에 연결한 건축물 수가 적은 개방된 환경에서 사고가 일어날 확률이 높은 것으로 판단된다. 딥 러닝으로 추출한 변수에 대한 해석은 다음과 같다. 개방감과 위요감이 동시에 높고 가로수가 없으며 간판이 많은 생활도로에서 사고가 일어날 확률이 높은 것으로 나타났다. 해당 구간의 공간적 위치를 살펴본 결과 격자형 도로구조인 근린

표 4. 생활도로 보행자 교통사고 다발구간 비교
Table 4. Comparison of pedestrian traffic accident sections on the living roads

Division	Image
Section with relatively high accident ratio	
Section with relatively low accident ratio	

생활시설 밀집공간으로 나타났다. 해당 공간의 사고비율은 일반 주거지역의 비격자형 도로구조인 곳보다 비교적 높은 것으로 나타났다. 운전자가 개방된 경관에서 속도를 내고 위요된 경관을 보행자가 안전하다고 인지한다는 선행연구의 결과를 토대로 해석하면 개방된 경관에서 속도를 내는 운전자와 위요된 가로경관에서 안전하다고 인지하는 보행자의 부주의가 결합되어 생긴 결과로 판단할 수 있다. 하지만 실제 보행자와 운전자의 부주의가 물리적 환경으로 생긴 것인지는 본 논문의 변수로는 파악하기 어렵다. 향후 논문에는 추가적인 보행자와 운전자의 설문문을 토대로 정성적 분석이 필요하다고 판단된다.

지금까지의 보행자 교통사고를 저감시키고자 하는 차량속도를 제한하는 정책과 영역단위 도시조직 요소인 밀도나 토지이용 등에 관한 대규모의 정책, 도로포장과 건축물 재질, 형태 등에 관한 디자인 사업에 중점이 맞춰져 있었지만, 본 연구의 결과로 인해 보행자 통행의 이동성과 안전성을 개선하는 정책의 방향이 중규모의 운전자가 시각적으로 인지하는 가로경관을 계획·설계하는 정책 및 사업들이 보다 더 필요함을 시사한다.

마지막으로 본 연구에서는 보행자 교통사고와 도시조직의 영향관계를 보는 기존의 연구에 있어 데이터 구축의 어려움이 있던 가로단위 요인을 딥 러닝 기법을 활용하여 구축하고 분석하였다. 이를 통해 도시·건축·교통 분야에서의 적용가능성을 제시하였다. 향후 보행자의 안전성과 이동성을 위한 새로운 정책 및 사업의 핵심 분야에 기여할 수 있을 것이라 판단된다.

이와 같은 결과 및 시사점을 가진 본 연구의 한계점은 다음과 같다. 첫째, 연구의 공간적 범위가 서울시 생활도로 보행자 교통사고 상위 5% 다발구간이므로 서울시 전체 보행자 교통사고가 일어난 구간에는 일반화하기에 한계가 있다. 중규모 변수는 네이버에서 구축한, 사고가 다발한 도로 세그먼트 중심점의 가로이미지를 딥 러닝 기법을 활용하여 구축하였다. 실제 사고지점이 도로 세그먼트의 진입부나 진출부에 근접되어 있다면 해당 값을 일반화하기에는 어려움이 있다. 또한 Naver Street View는 보행자가 아닌 운전자의 시각적 이미지에 가깝다. 이는 보행자와 운전자의 상호관계에서 발생한 보행자 교통사고에 보행자의 시선을 고려하지 못한다는 한계점이 있다.

둘째, 구축한 가로이미지의 계절, 요일, 시간이 각기 다르기 때문에 현재의 Naver Street View를 사용할 시에는 계절, 요일, 시간을 통제할 수 없다는 한계점이 있다.

셋째, 본 연구는 도시조직(물리적 환경)이 생활도로 보행자 교통사고에 미치는 영향관계를 살펴보기 위해 가로단위와 영역단위로 도시조직을 세분화하고 보행자 교통사고와의 영향관계를 확인해보았다. 이로 인해 개별 교통사고의 인구·사회적 특성 즉, 연령구조의 변화에 따른 보행자 및 운전자 특성을 반영하지 못한 한계점이 있다.

향후, 눈의 움직임을 추적하는 아이트래킹 장비를 사용하여 실

제 보행자와 운전자가 시각적으로 어디를 응시하는지를 추적하고 해당하는 변수의 가중치를 조정한다면 변수의 정밀도를 향상시킬 수 있고, 이를 통해 보다 심층적 분석이 이루어질 것으로 판단된다.

- 주1. 인구 10만 명당 교통사고 사망자 수(15) (스웨덴) 2.7명, (영국) 2.8명, (일본) 3.8명, (독일) 4.3명, (프랑스) 5.4명, (한국) 9.1명
- 주2. 서울 사대문 안의 간선도로를 시속 50km, 이면도로를 시속 30km로 차량 제한속도를 낮추는 정책이다.
- 주3. 본 연구에서 도로 세그먼트는 노드에서 노드까지를 하나의 도로 세그먼트로 정의하였다.
- 주4. 본 연구에서는 도시조직의 구성요소를 Conzen(1960)이 정의한 건축물, 필지, 가로를 기준으로 사용하였다.

인용문헌 References

1. 경찰청, 2010. 「생활속도관리(Zone30)를 위한 시범운영 및 효과 분석 연구」, 서울.
Korean National Police Agency, 2010. *Study on Pilot Operation and Effect Analysis for Life Speed Management (Zone30)*, Seoul.
2. 관계부처 합동, 2018. “교통안전 종합대책”.
Joint Relationship Ministries, 2018. “Traffic Safety Measures”.
3. 권지혜·박승훈, 2018. “안전한 통학로 환경 조성을 위한 보행자 교통사고와 건조 환경과의 연관성 연구: 공간회귀모형을 활용하여”, 「한국지역개발학회지」, 30(5): 75-96.
Kwon, J.H. and Park, S.H., 2018. “A Study on Association between Pedestrian Traffic Accidents and Built Environment for Safe Routes to School: Using a Spatial Regression Model”, *Journal of The Korean Regional Development Association*, 30(5): 75-96.
4. 권혁삼, 2011. “도시조직에 대응하는 주거지 계획방안 연구”, 중앙대학교 대학원 박사학위논문.
Kwon, H.S., 2011. “A Study on Design Methods Responding to Urban Tissue in Residential Areas”, PH.D. Dissertation, Chung-Ang University.
5. 박근덕·이수기, 2018. “가로공간 보행만족도 예측을 위한 딥러닝 모형의 적용과 검증”, 「도시설계」, 19(6): 19-34.
Park, K.D. and Lee, S.G., 2018. “Application and Validation of a Deep Learning Model to Predict the Walking Satisfaction on Street Level”, *Journal of the Urban Design Institute of Korea Urban Design*, 19(6): 19-34.
6. 박승훈, 2014. “근린환경이 보행자-차량 충돌사고에 미치는 영향: 북미 워싱턴 주 시애틀 도시를 대상으로”, 「국토계획」, 49(3): 143-157.
Park, S.H., 2014. “The Effect of the Neighborhood Built Environment on Pedestrian-Vehicle Collisions: Focused on the Case of the City of Seattle, Washington, U.S.”, *Journal of Korea Planning Association*, 49(3): 143-157.
7. 박철영·이수기, 2016. “가로환경 특성이 보행자 교통사고에 미치는 영향 분석: 가로 세그먼트 분석단위와 공간통계모형의 적용”

- 「도시설계」, 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 Urban Design*, 17(3): 105-121.
8. 서울특별시, 2018. "서울 사대문안 안전속도 5030 전면시행...대도시 도심 첫 사례", 서울.
- Seoul Metropolitan Government, 2018. "Full Implementation of Safety Speed 5030 Project in the Four Main Gate... First Instance of a Metropolitan City Center", Seoul.
9. 서지민·이수기, 2016. "서울시 보행자 교통사고에 영향을 미치는 물리적 환경요인에 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.
10. 이호준·이수기, 2019. "생활도로 노상주차 식별을 위한 Google Street View API와 딥러닝 모형의 적용", 「한국지형공간정보학회지」, 27(2): 3-12.
- Lee, H.J. and Lee, S.G., 2019. "Application of Google Street View API and Deep Learning for Detection of Street Parking on Community Road", *Journal of Korean Society for Geospatial Information System*, 27(2): 3-12.
11. 임유진·김도경, 2013. "생활도로 내 보행자사고에 영향을 미치는 특성 분석: 서울시를 중심으로", 대한교통학회 제68회 학술발표회, 서울: 도로교통공단.
- Lim, Y.J. and Kim, D.G., 2013. "Analysis on the Characteristics of Pedestrian Crashes in the Community Road: Focusing on Seoul City", Paper presented at the 68th Conference of Korean Society of Transportation, Seoul Metropolitan Government: The Road Traffic Authority.
12. 정인아, 2018. "노후경사주거지의 도시조직과 유희공간 발생패턴 분석: 부산 원도심 배후의 노후경사주거지를 중심으로", 부산대학교 대학원 박사학위논문.
- Jung, I.A., 2018. "Urban Tissue and Vacant Spaces' Occurrence Pattern in Old Hillside Residential Area: Focused on Hillside Residential Area Surrounding Old Downtown in Busan", PH.D. Dissertation, Pusan National University.
13. 조준한·김인석, 2016. "생활도로 유형별 보행환경개선 추진전략 수립 연구", 「교통기술과정책」, 13(5): 19-28.
- Cho, J.H. and Kim, I.S., 2016. "Establishment of Strategic Plans for Improving the Pedestrian Environment of Neighborhood Street Types", *Transportation Technology and Policy*, 13(5): 19-28.
14. Antonson, H., Mårdh, S., Wiklund, M., and Blomqvist, G., 2009. "Effect of Surrounding Landscape on Driving Behaviour: A Driving Simulator Study", *Journal of Environmental Psychology*, 29(4): 493-502.
15. Conzen, M. R. G., 1960. Alnwick, Northumberland: a study in town-plan analysis, *Transactions and Papers (Institute of British Geographers)*, 27: 3-122.
16. Ewing, R. and Dumbaugh, E., 2009. "The Built Environment and Traffic Safety: A Review of Empirical Evidence", *Journal of Planning Literature*, 23(4): 347-367.
17. Ewing, R. and Handy, S., 2009. "Measuring the Unmeasurable: Urban Design Qualities Related to Walkability", *Journal of Urban Design*, 14(1): 65-84.
18. Harvey, C., Aultman-Hall, L., Hurley, S.E., and Troy, A., 2015. "Effects of Skeletal Streetscape Design on Perceived Safety", *Landscape and Urban Planning*, 142: 18-28.
19. Harvey, C. and Aultman-Hall, L., 2016. "Measuring Urban Streetscapes for Livability: A Review of Approaches", *The Professional Geographer*, 68(1): 149-158.
20. Hosking, S.G., Young, K.L. and Regan, M.A., 2009. "The Effects of Text Messaging on Young Drivers", *Human Factors*, 51(4): 582-592.
21. Liu, L., Silva, E.A., Wu, C., and Wang, H., 2017. "A Machine Learning-Based Method for the Large-Scale Evaluation of the Qualities of the Urban Environment", *Computers, Environment and Urban Systems*, 65: 113-125.
22. Miranda-Moreno, L.F., Morency, P., and El-Geneidy, A.M., 2011. "The Link between Built Environment, Pedestrian Activity and Pedestrian-Vehicle Collision Occurrence at Signalized Intersections", *Accident Analysis and Prevention*, 43(5): 1624-1634.
23. Sabey, B.E. and Taylor, H., 1980. "The Known Risks We Run: The Highway", in *Societal Risk Assessment*, edited by Schwimg, R.C. Albers, W.A. Jr., 43-70. Boston: Springer.
24. Sharifi, A., 2019. "Urban Form Resilience: A Meso-Scale Analysis", *Cities*, 93: 238-252.
25. Tang, J. and Long, Y., 2019. "Measuring Visual Quality of Street Space and Its Temporal Variation: Methodology and Its Application in the Hutong Area in Beijing", *Landscape and Urban Planning*, 191: Article No. 103436.
26. Xiao, T., Liu, Y., Zhou, B., Jiang, Y. and Sun, J., 2018. "Unified Perceptual Parsing for Scene Understanding", In *Proceedings of the European Conference on Computer Vision (ECCV)*, 418-434. Munich: Technische Universität München, GASTEIG Cultural Center.
27. Zhou, B., Zhao, H., Puig, X., Xiao, T., Fidler, S., Barriuso, A., and Torralba, A., 2019. "Semantic Understanding of Scenes Through the ADE20K Dataset", *International Journal of Computer Vision*, 127(3): 302-321.

Date Received 2019-12-27
 Date Reviewed 2020-02-13
 Date Accepted 2020-02-13
 Date Revised 2020-03-02
 Final Received 2020-03-02