

서울시 자전거 교통사고와 사고 심각도에 영향을 미치는 근린환경 요인 분석*

Analysis of Neighborhood Environmental Factors Affecting Bicycle Accidents and Accidental Severity in Seoul, Korea

황선근** · 이수기***

Hwang, Sun-Geun · Lee, Sugie

Abstract

The purpose of this study is to analyze neighborhood environmental factors affecting bicycle accidents and accidental severity in Seoul, Korea. The use of bicycles has increased rapidly as daily transportation means in recent years. As a result, bicycle accidents are also steadily increasing. Using Traffic Accident Analysis System (TAAS) data from 2015 to 2017, this study uses negative binomial regression analysis to identify neighborhood environmental factors affecting bicycle accidents and accidental severity. The main results are as follows. First, bicycle accidents are more likely to occur in commercial and mixed land use areas where pedestrians, bicycle and vehicles are moving together. Second, bicycle accidents are positively associated with road structures such as four-way intersection. In contrast, three-way intersection is negatively associated with serious bicycle accidents. The density of speed hump or street tree is negatively associated with bicycle accidents and accidental severity. This finding indicates the effect of speed limit or street trees on bicycle safety. Fourth, bicycle infrastructures are also important factors affecting bicycle accidents and accidental severity. Bicycle-exclusive roads or bicycle-pedestrian mixed roads are positively associated with bicycle accidents and accidental severity. Finally, this study suggests policy implications to improve bicycle safety.

키 워 드 ■ 자전거 교통사고, 사고 심각도, 근린환경, 음이향 회귀모형, TAAS, 공간자기상관
Keywords ■ Bicycle Accident, Accidental Severity, Neighborhood Environment, Negative Binomial Regression, TAAS, Spatial Autocorrelation

I. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

서울시는 국가비전인 저탄소 녹색성장과 서울시민의 건강 증진을 실현하기 위해 보행 및 자전거교

통에 많은 관심을 가지고 자전거 인프라를 확대하고 있다. 최근 자전거 인프라가 확대되면서 일상생활의 주요한 교통수단으로써 이용이 증가하게 되었다. 이러한 자전거 이용의 증가는 자전거 교통사고의 증가에도 영향을 미치게 되었다. 도로교통공단에 따르면 최근 5년간 경찰 DB의 우리나라 자전거 교

* 이 논문은 2018년 10월 대한국토·도시계획학회 추계학술대회에서 발표한 논문을 수정·보완한 것이며, 2017년 대한민국 교육부와 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2017S1A5A2A01024947).

** Dept. of Urban Planning & Engineering, Hanyang University (hsg8023@naver.com)

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

통사고는 2013년 13,316건에서 2017년 14,063건으로 5.61% 증가한 것을 확인할 수 있다(도로교통공단, 2018). 자전거는 도로교통법 상 차(車)로 분류되어 있어 일반도로에서 주행해야 하지만 많은 자전거 운전자들이 일반도로와 보행로에서 주행을 하고 있다. 이러한 자전거 주행범위로 인해 자전거 운전자는 차량에 의한 사고의 피해자가 될 수도 있으며, 때로는 보행자와의 사고에서 가해자가 될 수도 있다.

자전거 교통사고의 문제점으로는 자전거 운전자의 대부분이 안전장비를 제대로 갖추지 않고 빠른 속도로 주행한다는 것이다. 이러한 원인으로 인해 자전거 운전자의 부상 정도가 심각한 수준으로 이어질 수 있다. 자전거 교통사고에 대한 연구는 지속적으로 진행되고 있으나, 자전거 교통사고에 영향을 미치는 근린 환경요인에 대한 연구는 미비한 실정이다. 따라서 자전거 사고 중 자동차 대 자전거 사고와 사고 심각도에 영향을 미치는 근린 환경요인에 대한 연구가 필요하다.

이에 본 연구에서는 도로교통공단에서 제공하는 Traffic Accident Analysis System(TAAS)데이터를 활용하여 자전거 교통사고에 영향을 미치는 근린 환경요인을 파악하고 분석결과를 통해 안전한 자전거 주행환경 조성을 위한 정책적 시사점을 제시하는 데 목적이 있다.

2. 연구의 범위

본 연구의 공간적 범위는 서울시이다. 서울시는 우리나라에서 가장 많은 인구가 밀집되어 있는 지역이다. 또한, 서울시는 공공자전거(따릉이)의 확대와 최근 설치된 종로구의 자전거 전용도로와 같은 자전거의 인프라 확장에 관심이 많다. 이에 따라 자전거 이용이 급증하고 있어 서울시의 자전거 교통사고의 근린 환경을 분석하기에 가장 적합한 도

시라고 판단하였다. 분석에 활용한 분석단위는 행정동과 집계구 사이에 있는 1,420개의 대구역으로 설정하였다.

다음으로 연구의 시간적 범위는 서울시의 공공자전거(따릉이)의 출범연도인 2015년부터 최근 구축된 자료인 2017년으로 총 3개년 자료를 분석에 활용하였다. 3년 동안 서울시에서 발생한 자전거 교통사고는 9,943건이나, 본 연구에서는 자동차 대 자전거 사고와 자전거 운전자가 피해자인 경우인 5,510건을 분석에 활용하였다.

II. 선행연구 검토

1. 자전거 교통사고와 개인특성 요인

자전거 교통사고의 선행연구들은 크게 개인특성 요인, 근린 환경요인 그리고 사고 심각도 관련 부문으로 구분할 수 있다. 이와 같은 세 가지 특성 중에서 개인특성은 성별과 연령이 대표적이다.

먼저 도시 규모별 자전거사고 피해자의 연령대를 분석한 신화철·박재영(2012)의 연구에서는 20세 이하 어린이 및 청소년의 경우 사고 발생이 높고, 수도권에 비해 지방 소도시에서 고령의 운전자가 사고 발생률이 높아진다고 하였다. 다음으로 연령에 따른 자전거 사고의 심각도를 분석한 Brown(2002)은 자전거 운전자가 16세 이하의 어린이일 경우 성인에 비해 부상의 심각도가 더 크다고 하였다.

추가적으로 연령과 사고시간이 자전거 교통사고에 미치는 영향을 분석한 연구가 있다(Hoque, 1990; Rodgers, 1995). Hoque(1990)는 대도시에서 사고가 발생한 시간과 사고자의 연령을 대상으로 분석하였다. 연구 결과로 오전 침두시간(08:00~09:00)에 발생한 자전거 교통사고는 5~17세에서 주로 발생하고 있고, 성인의 경우에는 오후 시간(18:00~19:00)에 주로 발생한다고 하였다. 그리고 야간에 일어나

는 대부분 사고의 경우 간선도로와 같이 차량의 제한속도가 높은 지역에서 발생하는 것을 밝히고 있다. 이와 비슷한 맥락에서 Roders(1995)는 야간의 경우 15세 이하의 청소년 운전자보다 25~64세의 자전거 운전자들의 사고 심각도가 2배 이상, 65세 이상의 자전거 운전자는 6~9배 이상 위험하다는 것을 밝혔다.

자전거 교통사고가 발생하는 개인특성 선행연구를 검토하여 종합한 결과는 다음과 같다. 대부분의 선행연구에서는 연령별에 따라 자전거 사고의 원인과 심각도를 분석하는 데 그쳤다. 또한, 대부분의 연구가 자전거 교통사고의 발생 요인을 근린 환경 측면과 연결시켜 구체적으로 분석하지 못한 한계점을 가지고 있다.

2. 자전거 교통사고와 근린환경 요인

자전거 교통사고는 지역에 형성되어 있는 근린 환경에 따라 영향을 받을 수 있으며 이를 확인하기 위한 근린 환경요인으로서는 교차로, 토지이용, 차량의 통행량과 속도 등이 있다.

먼저 도시의 교차로에서 발생하는 자전거사고를 분석한 연구로 김도훈 외(2008)는 인천광역시 사거리 교차로에서 발생한 56건의 자전거 사고 자료를 다항 로지스틱모형을 활용하여 분석하였다. 연구결과로 자전거 교통사고가 도로 위계, 사고당시의 날씨, 버스정류장의 유무와 차도의 폭에 따라 발생하는 것으로 밝히고 있다. 이와 비슷한 맥락으로 오주택 외(2007a)는 인천광역시를 대상으로 분석하였으며 차량 교통량의 증가가 자전거 교통사고에 가장 큰 영향을 미친다고 하였다. 추가적으로 부도로의 경우에는 자전거 사고가 감소하는 것을 밝히고 있다.

한편, 이유식 외(2016)는 교차로에서 발생한 자전거 사고를 유형별로 구분하여 자전거사고의 발생

원인을 파악하였다. 연구결과로는 차량의 진행 방향이 직진일 경우에 속도 0~50km/h에서 자전거 사고가 발생하고 차량의 진행방향이 좌, 우회전을 하는 경우에는 속도가 0~30km/h일 때 사고가 발생한다는 것을 밝히고 있다.

Doherty et al(2000)는 자전거를 이용하는 2,945명의 성인 운전자를 대상으로 분석하였으며 자전거 사고는 요일과 도로 표면의 상태에 따라 영향을 받는다고 하였다. 이와 비슷한 연구로 성인 자전거 운전자 3,000명을 대상으로 한 연구에서도 운전자의 연령, 도로표면 상태와 자전거 주행거리에 따라 자전거사고에 영향을 미친다고 밝히고 있다(Roders, 1997).

한편 자전거사고가 발생한 지점과 사고가 발생하지 않은 지역을 포함한 분석에서는 자전거사고에 영향을 미치는 요인으로 횡단보도와 교차로 그리고 공업지역인 경우 자전거 사고가 증가하는 것을 밝히고 있으며, 반대로 버스정류장은 자전거사고에 음(-)의 영향을 미치는 것을 확인하였다(김응철 외 2007). 또한, 같은 맥락에서 사고지점과 비사고 지점을 포함한 Lee et al(2002)의 연구는 포아송과 음이항 회귀모형을 통해 분석을 진행하였다. 자전거 교통사고의 주요 원인으로는 자동차 운전자가 자신의 운전능에 자신감을 느끼고 있고, 면허를 취득하기 전에 운전 경험의 횟수가 있으면 자전거사고가 발생하는 것을 밝히고 있다.

다음 근린 환경을 통해 자전거사고가 발생하는 원인을 예측한 연구가 있다(권성대 외 2015; Wang et al, 2004). 권성대 외(2015)는 2009~2011년 동안 전국에서 발생한 자전거 교통사고 자료를 회귀 분석을 통하여 사고예측모형을 개발하였다. 도출된 사고예측모형을 기반으로 전라남도 자전거사고의 특성을 분석하고, 그에 따른 영향변수를 선정하여 회귀분석을 통해 사고 예측 모형을 개발하였다. 또한, 자전거 사고의 원인으로 자전거도로의 연계성이

부족하고 설치기준이 미흡하다는 문제점을 제시하였다.

마찬가지로 1992~1995년 사이 Tokyo의 115개 신호 교차로에서 발생한 자료를 사용하여 사고예측 모형을 개발한 연구가 있다(Wang and Nihan, 2004). 분석결과로 자동차 및 자전거의 교통량, 교차로의 위치와 자동차의 속도가 자전거사고에 영향을 주는 것을 밝히고 있다.

자전거 교통사고의 근린 환경요인을 분석한 선행 연구에서는 대부분 교차로에서 발생한 사고만을 분석하여 일반화하기 어렵다. 그리고 자전거는 남녀노소 이용할 수 있고 일반도로와 보행로 모두 주행이 가능하기 때문에 자전거 교통사고의 원인을 파악하기 위해서 좀 더 다양한 근린 환경요인을 추가로 구축하여 분석할 필요가 있다.

3. 자전거 교통사고 심각도

자전거 교통사고는 보행자 보다 빠른 주행속도로 인해 사고시 운전자의 부상 심각도에 큰 영향을 미칠 수 있다. 자전거 교통사고 심각도와 관련하여 오주택 외(2007b)의 연구는 인천광역시의 교차로에서 발생한 56건의 사고 자료를 활용하여 자전거사고의 심각도를 분석하였다. 심각도에 영향을 주는 주요 요인은 교통량의 증가라고 하였다. 또한, 교차로 외의 지역, 자전거 전용도로 설치, 횡단보도 설치가 자전거 교통사고 심각도를 낮춰주는 것으로 밝히고 있다.

이와 유사한 연구로 신혜정 외(2012)의 연구는 2008~2010년 사이 서울시에서 발생한 자전거사고 7,314건을 대상으로 이항 로지스틱 회귀모형을 활용하여 분석하였다. 분석결과 자전거 교통사고와 심각도는 자전거 이용자가 법규위반을 하거나 연령이 높을수록 영향을 받는 것으로 밝히고 있다. 반대로 경사도의 유무, 도로의 직·곡선은 자전거사고 심각

도에 음(-)의 영향을 미치는 것으로 밝히고 있다.

반면, 최승희·이구연(2016)은 2007~2014년 동안 발생한 자전거사고 데이터를 가지고 회귀분석과 의사결정 트리 분석방법을 통해 자전거사고 피해자의 부상 심각도에 관하여 분석하였다. 분석결과로 사고 심각도는 자전거 운전자가 화물차나 승합차와 사고 난 경우 사망자나 중상자가 많다는 것을 밝히고 있다. 추가적으로 차량 교통량이 증가할수록 자전거사고 심각도가 증가한다고 밝히고 있다.

그러나 자전거 심각도에 관한 선행연구에서도 다양한 물리적 환경요인을 고려하지 못했다는 점에서 한계점을 가지고 있다. 또한, 대부분의 연구는 자전거 부상의 정도가 사망이나 중상이 발생한 사고를 위주로 분석하였고 경상이나 부상과 같은 심각도가 낮은 사고는 구체적인 분석이나 해석이 없어 한계점을 가지고 있다.

4. 선행연구의 한계점 및 차별성

선행연구 검토 결과 기존 자전거사고 연구에서는 대부분 자전거사고 운전자의 연령, 도로표면 상태와 교차로가 주요 변수로 나타났다. 또한, 해외연구의 경우 우리나라와 자전거 인프라와 정책에서도 많은 차이를 가지고 있다. 그리고 도시의 크기, 인구밀도 등과 같은 도시 근린 환경이 다르기 때문에 사고가 발생하는 요인을 비교하기 어렵다.

이에 따라 본 연구의 차별성은 다음과 같다. 첫째, 기존 선행연구에서는 적은 수의 자전거 교통사고를 분석에 활용하였다. 또한, 자전거 교통사고 부상자의 심각도가 포함되어 있지 않아 사고원인과 심각도의 차이를 비교하지 못했다는 점에서 한계점을 가지고 있다. 이에 본 연구에서는 서울시 전역에서 발생한 자전거 사고와 사고 심각도에 대한 차이를 근린환경 특성변수를 활용하여 분석하였다는

점에서 차별성을 가지고 있다.

둘째, 기존의 자전거 교통사고 선행연구에서는 일반 차량의 교통량이 제어변수로서 유의한 결과를 나타내는 변수로 확인되었다. 하지만 자전거나 보행자의 통행량을 확인하지 못했다는 한계점을 가지고 있다. 본 연구에서는 기존 연구에서의 한계점을 극복하기 위해 자동차의 통행량뿐만 아니라 자전거 통행량을 추가하였고 유동인구를 대변할 수 있는 지역별 생활인구 자료를 활용하였다. 이를 통해 자전거 교통사고가 발생하는 근린 환경을 더욱 자세히 계 확인할 수 있다는 점에서 차별성을 가지고 있다.

셋째, 대부분의 선행연구에서는 집계구, 행정동과 같은 하나의 공간 안에 발생한 교통사고와 근린환경과의 관계를 확인하였다. 하지만 각 공간적 변수들 간의 공간적 자기상관성(Spatial Autocorrelation)을 고려하지 못한 한계점을 가지고 있었다. 이에 본 연구에서는 음이항 회귀분석에서도 공간자기상관성을 제어할 수 있는 자동공변량(Autocovariate)을 변수로 활용하여 공간적 자기상관성을 제어하였다는 점에서 차별성을 가지고 있다.

III. 분석의 틀

1. 분석자료 구축 방법

본 연구에서 자전거 교통사고에 영향을 미치는 근린 환경을 분석하기 위한 공간단위는 행정동과 집계구 사이에 있는 대구역으로 선정하였다(행정안전부, 2009; 그림 1 참조). 대구역 경계는 가로수와 관계없이 행정동 내부의 간선도로, 하천, 능선과 같은 명확한 지형을 이용하여 구획되어져 있기 때문에 가로구조와 도시 근린 환경을 좀 더 세밀하게 확인할 수 있다(그림 2 참조).

종속변수로 활용한 교통사고데이터는 도로교통공단에서 제공하는 TAAS데이터를 활용하였다(그림

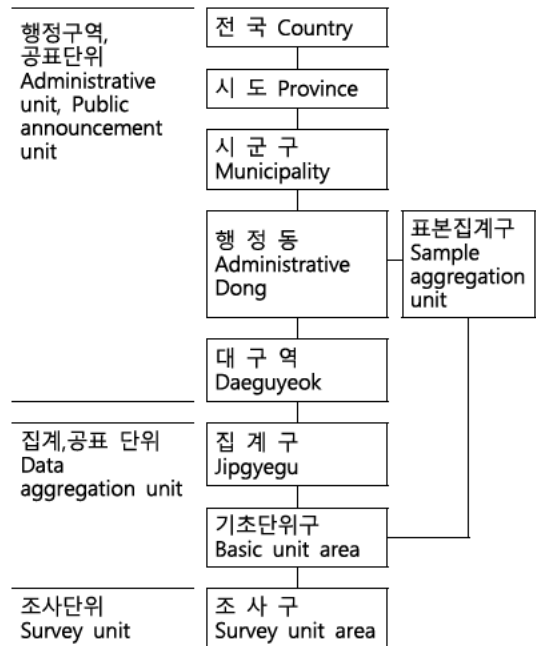


그림 1. 통계권역 체계
Figure 1. Statistical Area System
출처 : 행정안전부(2009)

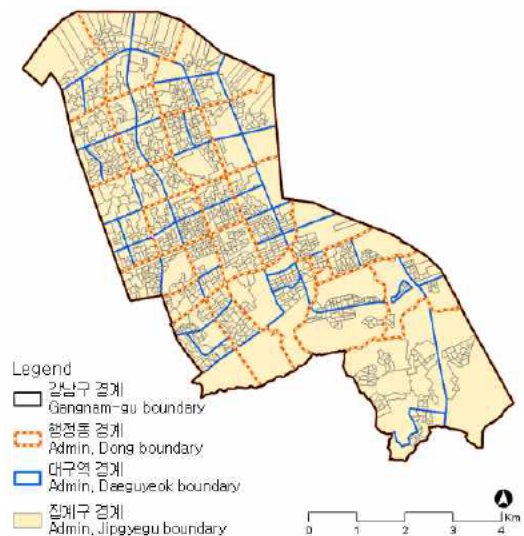


그림 2. 강남구 분석단위 경계 예시
Figure 2. Example of analysis unit boundary in Gangnam-gu, Seoul

3 참조). TAAS데이터는 경찰, 보험사, 공제조합 등의 교통사고자료를 수집하고 분석하여 교통안전에 관한 정책을 제공하고 있다.

본 연구에서는 서울시 자전거 교통사고를 분석하기 위해서 자전거 운전자나 피해자인 경우 5,510건을 분석에 활용하였다. 도로교통공단에서 제공하고 있는 GIS 공간분석을 통해 자전거 교통사고 자료를 Point 데이터로 구축하였다. 본 연구의 공간단위의 자료 구축 및 가공을 위해 ArcGIS Pro 2.0을 활용하였다. 또한, 통계 분석과 데이터 가공을 위해서 RStudio를 활용하였다.

2. 변수 선정

본 연구에서 자전거 교통사고에 영향을 미치는 근린 환경을 분석하기 위해 서울시 각 대구역에서 발생한 전체 자전거 교통사고 중 자전거 운전자가 피해자인 사고와 그중에서 중상이상사고(사망, 중상)와 경상이하사고(경상, 부상신고)로 나누어서 총 3개의 모형을 종속변수로 활용하였다 (표 1 참조). 다음으로 독립변수로 활용한 변수들은 인구수를 제외하고 토지이용 요인, 통행량 요인, 가로환경 요인, 시설 요인, 자연환경 요인과 자전거 인프라 요인으

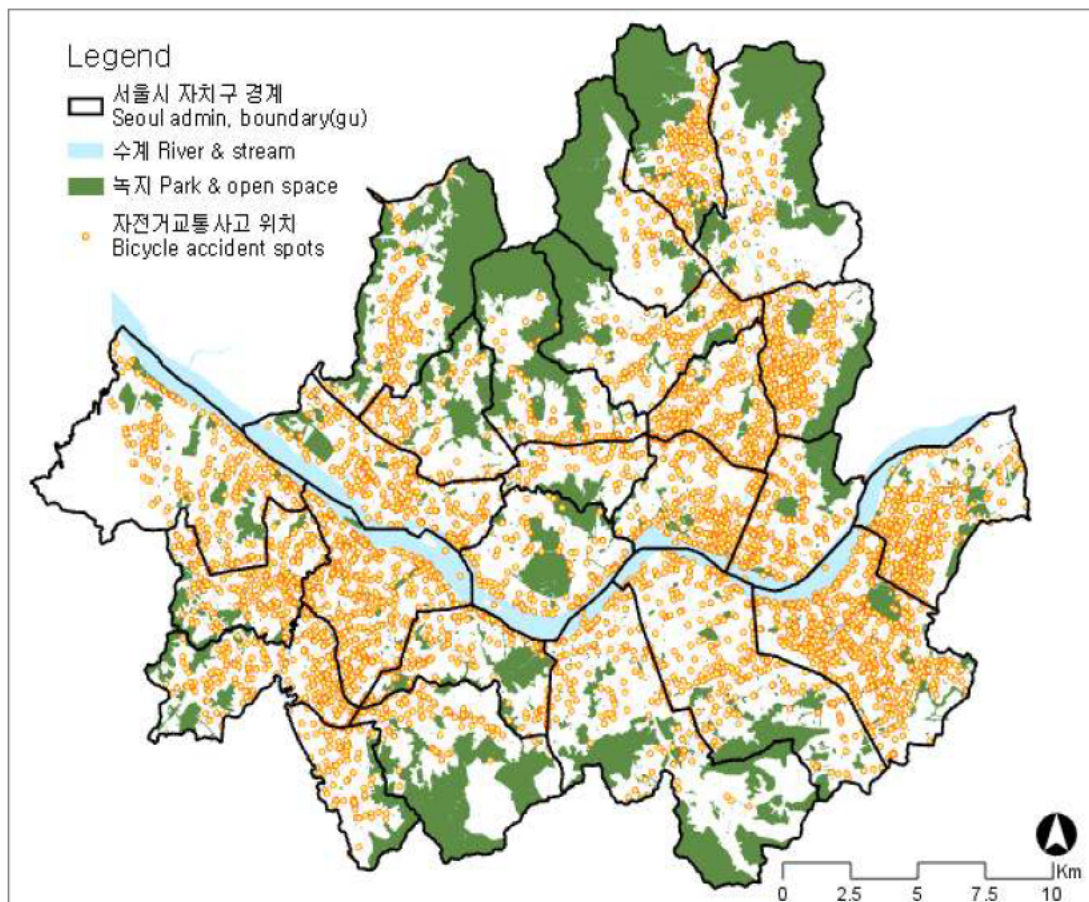


그림 3. 서울시 전체 자동차 대 자전거 사고 발생 지점 (2015-2017)
Figure 3. Total bicycle accident with a car spots (2015-2017)

로 총 6개 요인으로 분류하였다.

첫째, 인구수 변수는 본 연구의 시간적 범위 중 2016년 인구수를 활용하였다. 인구변수는 지역에 거주하는 인구가 많을 경우 자전거 교통사고도 많아질 수 있기 때문에 제어변수로 사용하였다.

둘째, 토지이용 요인은 용도에 따라 보행자, 자동차와 자전거의 통행이 집중되거나 분산될 수 있어 자전거 사고와 관련 있을 것이라고 판단되어 분석으로 활용하였다. 토지이용요인에는 세부적으로 나누었을 때, 주거면적 밀도, 상업면적 밀도, 업무면적 밀도와 토지이용 혼합도로 분류하여 분석에 활용하였다. 데이터는 세움터에서 구축하였고 기준연도는 2015년이다. 분석에서는 대구역 내에 있는 각 토지이용의 면적과 대구역 면적을 나눠서 구축하였다. 토지이용혼합도의 경우 엔트로피 지수(Frank and Pivo, 1994)를 활용하여 계산하였으며, 1에 가까울수록 주거, 상업, 업무의 혼합이 높은 것을 의미하고 0에 가까울수록 토지이용 혼합이 낮은 것을 의미한다.

셋째, 통행량 요인에서는 생활인구, 자전거통행량과 자동차통행량을 자전거 교통사고에 미치는 영향을 확인하기 위해 분석에 활용하였다. 우선 생활인구는 서울 열린 데이터 광장에서 제공하고 있으며 KT에서 기지국을 통해 특정 시간대별로 존재하는 모든 인구를 추계한 데이터이며 시간 단위로 나누어서 집계구와 행정동 단위로 제공하고 있다. 본 연구에서는 2017년 1월부터 12월 전체 평균의 생활인구를 활용하였다.

다음으로 자전거 통행량의 경우 서울시 정책지도에서 제공하고 있다. 자전거 통행량에는 출근 시간, 퇴근 시간, 휴일, 기타로 나누어서 제공하고 있다. 본 연구에서는 출근, 퇴근, 휴일과 기타 모든 자전거 통행량을 통합하여 변수로 사용하였다.

통행량요인에서 마지막 변수인 자동차 통행량은 한국교통연구원(KOTI)에서 제공하는 데이터이며 기

준년도는 2015년이다. 대구역 내부에서 발생하는 차량의 연평균 일 통행량을 분석에 활용하였으며 자전거의 통행이 없는 고속도로의 통행량은 제외하였다.

넷째, 가로 요인으로는 평균 차선 수, 차량 제한 속도, 삼거리 밀도, 사거리 밀도, 횡단보도 밀도와 과속방지턱 밀도를 사용하였다. 평균 차선수와 제한 속도는 국가 교통정보 센터에서 구축한 자료로 도로의 차선수와 차량 제한속도가 포함되어 있다. 본 연구에서 활용한 변수는 대구역 내부 차선수의 평균값이며, 차량의 제한속도는 대구역에서 가장 높은 속도를 사용하였다.

다음으로, 도로망 네트워크 구조인 삼거리밀도와 사거리밀도 변수를 활용하였으며 새주소DB를 통해 구축하였다. 새주소DB의 노드 데이터는 국가 교통정보센터에서 제공하는 ITS 노드보다 더 작은 골목길 내부의 가로 구조를 확인 할 수 있는 장점을 가지고 있다. 본 연구에서는 삼거리와 사거리의 point를 대구역별로 집계한 다음 면적으로 나누어 표준화하여 분석에 활용하였다.

다음 횡단보도와 과속방지턱은 서울 열린 데이터 광장에서 구축하였다. 먼저 횡단보도와 과속방지턱 shape파일을 point로 변경하여 대구역별로 집계되는 개수를 활용하였다. 횡단보도와 과속방지턱의 경우 차량의 속도에 영향을 미칠 수 있으며, 결과적으로 자전거 교통사고와 사고 심각도에 영향을 줄 수 있다.

다섯째, 시설요인으로 서울시의 공원면적 비율과 가로수 밀도를 변수로 활용하였다. 공원은 자전거를 이용하는 사람들이 안전하고 편리하게 이용할 수 있는 지역이다. 공원 데이터는 서울시 정책지도에서 제공하고 있으며 모든 공원이 시와 구의 직영으로 운영되고 있는 공원들로서 시간 단위는 2015년이다. 공원의 종류는 가로, 강변, 광장, 근린, 도시 자연, 문화, 수변, 어린이, 역사, 주제, 체육과 기타 공

표 1. 최종변수 및 자료출처

Table 1. Variables and data sources

변수 Variable		내용* Contents*	출처 Data sources
	자동차 대 자전거 No. of total bicycle accidents with a car	전체 자전거 교통사고 건수 No. of total bicycle accidents with a car between 2015 and 2017	교통사고 분석 시스템 Traffic Accident Analysis System (TAAS)
	중상이상(사망, 중상) No. of bicycle accidents above severe injury	중상이상 자전거 교통사고 건수 No. of bicycle accidents above severe injury between 2015 and 2017	
	경상이하(경상, 부상신고) No. of bicycle accidents below slight injury	경상이하 자전거 교통사고 건수 No. of bicycle accidents below slight injury between 2015 and 2017	
인구수 Population		인구수(1,000명) Population(thousands)	통계청 National Statistics Office
토지이용 요인 Land use factor	주거용건물 밀도 Residential building density	주거용 건물 연면적/분석단위 면적(m ²) Sum of residential building's total floor area/analysis unit area(m ²)	세움터 Electronic Architectural administration Information System (E-AIS)
	상업용건물 밀도 Commercial building density	상업용 건물 연면적/분석단위 면적(m ²) Sum of commercial building's total floor area/analysis unit area(m ²)	
	업무용건물 밀도 Office building density	업무용 건물 연면적/분석단위 면적(m ²) Sum of office building's total floor area/analysis unit area(m ²)	
	토지이용혼합도 Land use mix	엔트로피 지수를 통한 토지이용 혼합도 Entropy index of land use mix(LUM)	
통행량 요인 Traffic factor	생활인구 Living population	KT기지국 생활 인구수(1,000명) Living population(thousands)	서울 열린 데이터 광장 Seoul Open Data Plaza
	자전거 통행량 Bicycle traffic	통행하는 자전거대수(1,000대) No. of bicycle traffic(thousands)	서울시 정책지도 Seoul Policy Map
	차량 통행량 Car traffic	통행하는 차량대수(10,000대) No. of car traffic(ten thousands)	국가 교통 정보 센터 National Transport Information Center
가로환경 요인 Road environ. factor	평균 차선 수 No. of lanes	분석단위 내 평균 차선 수 Average no. of lanes	
	차량 제한속도 Car speed limit	분석단위 내 차량 최고 속도 Highest limit of car speed	새주소 DB New Address Data Base
	삼거리 밀도† Three-way intersection density†	삼거리 개수/분석단위 면적(m ²) No. of three-way intersections/analysis unit area(m ²)	
	사거리 밀도† Four-way intersection density†	사거리 개수/분석단위 면적(m ²) No. of four-way intersections/analysis unit area(m ²)	
	횡단보도 밀도† Crosswalk density†	횡단보도 개수/분석단위 면적(m ²) No. of crosswalk/analysis unit area(m ²)	서울 열린 데이터 광장 Seoul Open Data Plaza

서울시 자전거 교통사고와 사고 심각도에 영향을 미치는 근린 환경요인 분석

	과속방지턱 밀도† Speed hump density†	과속방지턱 개수/분석단위 면적(m²) No. of speed hump/analysis unit area(m²)	
시설 요인 Facility factor	공원면적 비율 Park area ratio	공원 면적/분석단위 면적(m²) Park area/analysis unit area(m²)	서울시 정책지도 Seoul Policy Map
	가로수 밀도† Street tree density†	가로수 개수/분석단위 면적(m²) No. of street tree/analysis unit area(m²)	서울 열린 데이터 광장 Seoul Open Data Plaza
자연환경 요인 Natural envir. factor	평균 경사도 Average slope	분석단위 내 평균 경사도 Average slope in the analysis unit area	국가 공간 정보 포털 Korea National Spatial Data Infrastructure Portal
	하천면적 비율 River area ratio	하천 면적/분석단위 면적(m²) River area/analysis unit area(m²)	새주소 DB New Address Data Base
자전거 인프라 요인 Bicycle infra. factor	자전거우선도로면적 비율 Bicycle-priority road ratio	자전거우선도로 면적/분석단위 면적(m²) Bicycle-first road area/analysis unit area(m²)	서울 열린 데이터 광장 Seoul Open Data Plaza
	자전거전용도로면적 비율 Bicycle-exclusive road ratio	자전거전용도로 면적/분석단위 면적(m²) Bicycle-exclusive road area/analysis unit area(m²)	
	보행자겸용도로면적 비율 Bicycle-pedestrian road ratio	보행자겸용도로 면적/분석단위 면적(m²) Bicycle-walking road area/analysis unit area(m²)	

* 모든 변수는 분석단위인 대구역을 기준으로 측정되었음

* All variables were measured by the analysis unit of Daeguyeok (neighborhood unit)

† 기초통계분석과 분석모형에서는 비 표준화 계수 값의 단위를 조정하기 위하여 100,000을 곱해주었음

† These variables were multiplied by 100,000 to adjust the unstandardized coefficients in analysis models

원으로 분류하고 있다. 다음과 같은 공원 종류 중 도시자연공원은 관악산, 북한산과 같은 산지로 구분되어 있어 자전거의 통행이 불가능하다. 따라서 도시자연공원을 제외한 나머지 공원의 면적을 비율로 변환하여 분석에 활용하였다.

다음 가로수 밀도 변수는 일반도로와 보행로를 구분할 수 있고 계획된 도시와 계획되지 않은 도시를 구분할 수 있는 변수로서 서울 열린 데이터 광장에서 구축하였다. 가로수 데이터는 point 데이터로 제공하고 있으며, 각 가로수 별로 나무의 종류가 포함되어 있다. 본 연구에서는 대구역 내에 있는 가로수 개수를 밀도로 변환하여 변수로 활용하였다.

여섯째, 자연환경 요인을 변수로 활용하였으며, 평균 경사도와 하천면적 비율이다. 자전거는 사람의

힘이 동력이기 때문에 경사도가 높을 경우 대부분의 자전거 운전자는 자전거를 끌고 올라가게 되어 사고가 줄어들 수 있다. 또한, 경사도는 자전거 운전자의 주의를 증가시켜 사고를 방지해주는 역할을 하는 도시 근린 환경으로 판단되어 분석에 활용하였다.

자연환경 요인 중 다른 변수인 하천면적 비율은 새주소DB를 통해 구축하였다. 서울시 대부분의 자전거 이용은 하천변 주변에서 발생하고 있어 자전거 사고 발생 원인을 파악할 수 있는 중요한 변수라고 판단되어 변수로 활용하였다.

마지막 요인인 자전거 인프라 요인 중 자전거 도로는 「자전거 이용 활성화에 관한 법률」에 따라 분류하였다. 기존 선행연구에서는 자전거 도로의 유무와 문제점을 통해 자전거 교통사고에 미치는 영

향을 확인하기에 그쳤다(권성대 외 2015). 반면, 본 연구는 자전거 도로의 유형을 자전거 우선도로, 자전거 전용차로, 자전거 전용도로와 보행자 겸용도로로 분리하여 분석을 진행하였다. 먼저 자전거 우선도로와 자전거 전용차로는 모두 분리대나 경계석 없이 일반도로에 형성되어 있는 도로이다. 이에 자전거 우선도로와 자전거 전용차로를 하나로 합쳐 자전거 우선도로 비율로 활용하였다. 다음으로 자전거 전용도로는 일반도로 옆에 형성되어 있지만 자전거 운전자를 보호할 수 있도록 일반도로와 자전거도로 사이에 분리대 및 경계석이 설치되어 있는 도로를 말한다. 마지막으로 보행자 겸용도로는 일반적인 보행로와 하천변을 따라 보행로와 같이 형성되어 있는 도로를 말한다.

분석에 활용한 전체 자전거 도로면적 비율은 데이터에 포함되어 있는 자전거 도로 폭을 ArcGIS Pro를 활용하여 버퍼를 주어 면적으로 변환하였다. 자전거 도로 폭이 없는 0 값은 「도시·군 계획시설의 결정·구조 및 설치기준」에 따라 최소 폭인 1.5m를 도로 폭으로 설정하여 분석에 활용하였다. 반면, 자전거도로가 보행자나 차도 내측과 외측 중 어느 부분에 설치되어 있는지 명확하게 구분하기가 쉽지 않아 자전거 도로의 세세한 변수를 고려하지 못하였다.

3. 공간자기상관을 고려한 음이항 회귀모형

본 연구에서는 도시의 근린 환경이 자전거 교통사고에 미치는 영향을 확인하기 위해 최종분석 모형으로 음이항 회귀분석을 활용하였다. 교통사고의 데이터의 경우 사고가 발생하거나 발생하지 않은 것으로 분류되어 포아송 분포를 나타내게 된다(그림 4 참조). 이와 같이 종속변수가 포아송 분포를 보이는 경우 대부분의 경우 포아송 회귀모형이나 음이항 회귀모형을 이용하게 된다. 본 연구에서 활

용한 종속변수인 전체 자전거 교통사고, 중상이상과 경상이하의 모든 모형에서 0 값이 많은 것을 확인할 수 있다. 이에 본 연구에서는 음이항 회귀분석을 최종 모형으로 활용하였다.

본 연구는 자전거 교통사고와 근린 환경요인과의 관계를 분석한 연구이다. 이와 같이 종속변수와 독립변수들이 공간적인 정보를 가지고 있는 변수를 활용하여 연구를 진행할 때, 각 변수들 간의 공간적 자기상관성(Spatial Autocorrelation)을 고려해야 한다(Anselin, 1988; LeSage, 1997). 공간적 자기상관은 공간에 분포하고 있는 사고지점 및 근린 환경이 무작위로 분포하는 것이 아니고 서로 영향과 관련을 가지고 분포하는 것을 의미한다. 이러한 공간적 자기상관을 제어하기 위한 방법으로 자동공변량(Autocovariate)을 독립변수에 넣어 제어하는 방법이 제시되었다(Dormann et al, 2007). 자동공변량은 하나의 공간의 종속변수가 주변에 인접하고 있는 다른 공간의 종속변수에 따라 가중치를 계산하여 도출된다.

IV. 분석결과

1. 기초통계분석 및 다중공선성 검증

본 연구의 기초통계분석 결과와 다중공선성 검증은 <표 2>와 같다. 본 연구의 공간 단위는 서울시 행정동과 집계구 사이 단위인 대구역을 경계로 분석하였으며, 1,420개의 대구역으로 모든 변수를 구축하였다. 종속변수 중 전체 자전거 사고는 평균 사고수가 3.88로 도출되었다.

또한, 중상이상의 사고는 평균 1.46건으로 가장 낮은 수치를 보이고 경상이하의 사고는 평균 2.42건으로 나타나 경상사고가 조금 더 많은 것으로 나타났다. 한편 사고가 가장 많이 일어난 대구역은 58건으로 집계되었다. 한편, 노출변수로 활용한 자

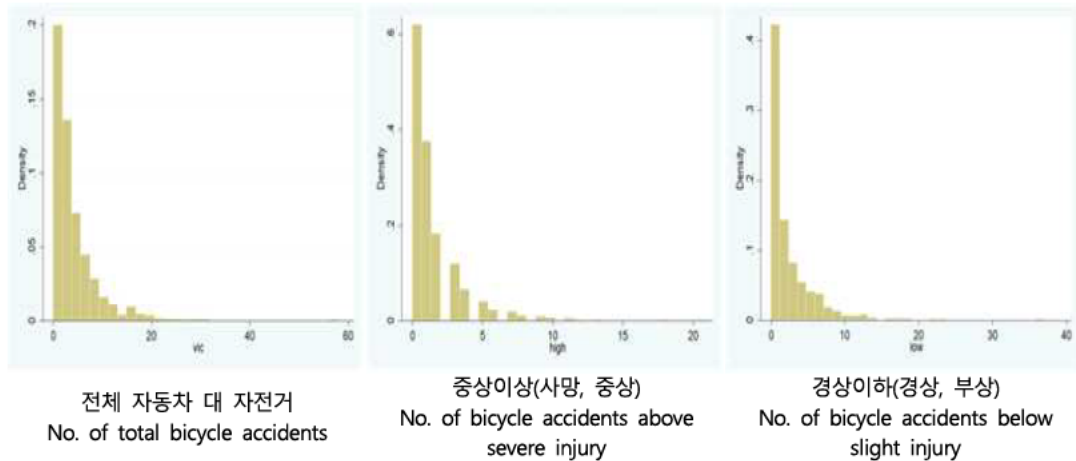


그림 4. 전체 자전거 교통사고와 사고 심각도 분포
Figure 4. Distribution of total bicycle accidents and accidental severity

동차 통행량이 평균 16.92(만대)로 다른 노출변수인 생활인구 평균 7.70(천명)과 자전거 통행량 평균 0.39(천대)보다 상당히 많다고 볼 수 있다. 자전거 인프라의 경우에는 자전거우선도로면적 비율의 최댓값이 0.24로 다른 자전거전용도로(0.05)와 보행자 겸용도로(0.10)의 최댓값보다 상당히 많은 것을 확인할 수 있었다. 다중공선성과 관련하여 본 연구에서 활용한 최종 독립변수들의 경우 모두 5 이하로 도출되어 다중공선성의 문제는 없는 것으로 판단된다. 다중공선성과 관련하여 본 연구에서 활용한 최종 독립변수들의 경우 모두 5 이하로 도출되어 다중공선성의 문제는 없는 것으로 판단된다.

2. 음이항 회귀분석 모형 진단

본 연구에서 활용한 최종모형은 음이항 회귀분석이다. 최종모형의 결과 값에 대한 분석에 앞서 본 연구에서 활용한 종속변수가 음이항 회귀모형에 적합한지 검증되어야 한다. 본 연구의 모형을 검증하는 방법으로는 최종 모형의 $\alpha(\alpha)$ 값을 통해 확인할 수 있다. 만약 $\alpha(\alpha)$ 값이 0 값으로 도출된

다면 분산 값과 평균값이 같다는 것을 의미하여 포아송 회귀모형을 활용해야 하지만 0 값이 아닌 경우에는 음이항 회귀분석을 활용해야 한다. 하지만 본 연구의 세 개의 최종 모형에서 $\alpha(\alpha)$ 값이 0.29, 0.28, 0.27로 나타났다. 또한, χ^2 값이 모두 유의한 값을 나타내고 있어 최종 모형으로 음이항 회귀모형이 적합하다고 볼 수 있다.

3. 공간자기상관을 고려한 음이항 회귀분석 결과

본 연구의 최종 모형으로 음이항 회귀분석을 통해 자전거 교통사고와 근린 환경 요인을 분석한 결과는 <표 3>과 같다. 최종 모형에서 활용한 종속과 독립변수 모두 공간정보를 가지고 있기 때문에 공간적 자기상관성을 제어하기 위해 자동공변량 변수를 독립변수에 추가하여 분석에 활용하였다. 자동공변량 변수가 공간적 자기상관성을 제어할 수 있는지 확인하기 위해 자동공변량 변수를 제외하고 음이항 회귀분석을 진행하였다. 분석결과 모형의 Moran's I 값은 0.27, 0.24, 0.19로 모두 유의하게

표 2. 기초통계 분석

Table 2. Descriptive analysis

변수 Variable		평균 Mean	표준편차 Std. Dev.	최솟값 Min	최댓값 Max	VIF	
종속변수 Dependent variable	자동차 대 자전거사고 건수 No. of total bicycle accidents with a car	3.88	4.75	0.00	58.00	-	
	중상이상(사망, 중상) 건수 No. of bicycle accidents above severe injury	1.46	2.08	0.00	21.00	-	
	경상이하(경상, 부상신고) 건수 No. of bicycle accidents below slight injury	2.42	3.11	0.00	37.00	-	
독립 변수 Ind. var.	인구수 Population		6.59	5.06	0.00	32.58	3.46
	토지이용 요인 Land-use factor	주거용건물 밀도 Residential building density	0.71	6.01	0.00	226.22	1.02
		상업용건물 밀도 Commercial building density	0.16	0.27	0.00	5.59	1.36
		업무용건물 밀도 Office building density	0.09	0.26	0.00	3.87	1.82
		토지이용혼합도 Land Use Mix	0.08	0.04	0.00	0.52	1.43
		통행량 요인 Traffic factor	생활인구 Living population	7.70	5.45	0.06	45.97
	자전거 통행량 Bicycle traffic		0.39	1.12	0.00	24.62	2.24
	차량 통행량 Car traffic		16.92	21.48	0.00	318.78	1.77
	가로환경 요인 Road environment factor	평균 차선수 No. of lanes	2.07	0.57	0.00	4.80	1.38
		차량 제한속도 Car speed limit	61.15	6.04	0.00	80.00	1.13
		삼거리 밀도 3-way intersect. den.	28.66	26.24	0.00	163.35	1.81
		사거리 밀도 4-way intersect. den.	4.67	4.61	0.00	28.95	1.76
		횡단보도 밀도 Crosswalk density	11.57	8.10	0.00	65.42	1.96
		과속방지턱 밀도 Speed hump den.	2.61	3.20	0.00	37.51	1.21
	시설요인 Facility factor	공원면적 비율 Park area ratio	0.07	0.24	0.00	5.07	1.03
		가로수 밀도 Street tree density	65.83	50.47	0.00	410.31	1.78
	자연환경 요인 Natural environ. factor	평균 경사도 Average slope	2.90	4.13	0.00	23.77	1.81
		하천면적 비율 River area ratio	0.03	0.10	0.00	0.79	2.05
	자전거인프라 요인 Bicycle infrastructure factor	자전거우선도로면적 비율 Bicycle-priority road ratio	0.00	0.01	0.00	0.24	1.15
		자전거전용도로면적 비율 Bicycle-exclusive road ratio	0.00	0.01	0.00	0.05	1.11
		보행자겸용도로면적 비율 Bicycle-pedestrian road ratio	0.01	0.01	0.00	0.10	1.26

표 3. 음이항 회귀분석 결과

Table 3. Results of negative binomial regression analysis

변수 Variable		자동차 대 자전거 전체사고 건수 No. of total bicycle accidents with a car		중상이상사고 건수 (사망, 중상) No. of bicycle accidents above severe injury		경상이하사고 건수 (경상, 부상신고) No. of bicycle accidents below slight injury	
		Coef.	z	Coef.	z	Coef.	z
인구수 Population		0.037***	5.07	0.033***	3.53	0.040***	5.02
토지이용 요인 Landuse factor	주거용건물 밀도 Residential building density	0.004	1.30	0.005*	1.75	0.001	0.42
	상업용건물 밀도 Commercial building density	0.243***	3.39	0.248***	2.96	0.219***	2.91
	업무용건물 밀도 Office building density	-0.163*	-1.66	-0.292**	-2.30	-0.142	-1.36
	토지이용혼합도 Land use mix	1.582**	2.51	2.154**	2.57	1.524**	2.14
통행량 요인 Traffic factor	생활인구 Living population	0.030***	4.17	0.030***	3.18	0.030***	3.83
	자전거 통행량 Bicycle traffic	0.065***	2.94	0.061**	2.41	0.061***	2.66
	차량 통행량 Car traffic	0.004***	3.60	0.003**	2.21	0.004***	3.02
가로환경 요인 Road environ. factor	평균 차선수 No. of lanes	-0.022	-0.50	0.039	0.68	-0.036	-0.74
	차량 제한속도 Car speed limit	0.011***	2.86	0.010**	2.03	0.010**	2.38
	삼거리 밀도 3-way intersect. den.	-0.002	-1.60	-0.003**	-1.97	-0.001	-1.09
	사거리 밀도 4-way intersect. den.	0.021***	3.42	0.022***	2.71	0.020***	2.85
	횡단보도 밀도 Crosswalk den.	-0.002	-0.47	-0.004	-0.69	0.001	0.22
시설요인 Facility factor	과속방지턱 밀도 Speed hump den.	-0.015*	-1.85	-0.006	-0.57	-0.024***	-2.62
	공원면적 비율 Park area ratio	0.250***	2.90	0.213*	1.80	0.283***	3.03
자연환경 요인 Natural environ. factor	가로수 밀도 Street tree density	-0.002***	-3.65	-0.002**	-2.33	-0.002***	-3.45
	평균 경사도 Average slope	-0.080***	-9.45	-0.086***	-7.17	-0.083***	-8.64
자전거 인프라 요인 Bicycle infra struct. factor	하천면적 비율 River area ratio	0.663**	2.56	0.965***	3.13	0.532*	1.90
	자전거우선도로면적 비율 Bicycle-priority road ratio	2.043	1.18	3.466	1.61	0.598	0.31
	자전거전용도로면적 비율 Bicycle-exclusive road ratio	11.958***	3.18	7.443	1.48	12.618***	3.05
자전거 인프라 요인 Bicycle infra struct. factor	보행자겸용도로면적 비율 Bicycle-pedestrian road ratio	6.160***	3.35	3.506	1.45	7.158***	3.55
	자전거우선도로면적 비율 Bicycle-priority road ratio	2.043	1.18	3.466	1.61	0.598	0.31
자동공변량 Autocovariate		0.099***	14.10	0.239***	11.81	0.129***	10.82
상수 Constant		-0.441*	-1.67	-1.419***	-4.06	-0.735**	-2.49

obs.	1420		1420		1420	
alpha(α)	0.29		0.28		0.27	
chibar2	512.11***		114.64***		227.78***	
Log likelihood	-3001.42		-2000.73		-2519.34	
AIC	6050.84		4049.48		5086.69	
BIC	6177.04		4175.68		5212.89	
Moran's I (Autocovariate not included)	0.27***		0.24***		0.19***	
Moran's I (Autocovariate included)	0.10***		0.08***		0.07***	

*p<0.10, **p<0.05, ***p<0.01

나왔다.

다음으로 자동공변량 변수를 최종 모형에 추가하여 공간적 자기상관성을 제어하였는지 확인하였다. 분석결과 Moran's I 값이 0.10, 0.08과 0.07으로 낮아진 것을 확인할 수 있었다. 자동공변량을 모형에 추가하여 공간적 자기상관을 상당 부분 제어하였으나 완전히 제거하지는 못하였다.

음이항 회귀분석 결과로 먼저 인구수(천명)의 경우 자동차 대 자전거, 중상이상과 경상이하 사고에서 모두 유의한 결과를 나타내었다. 이러한 결과를 통해 노출변수로 인구수는 자전거 교통사고와 사고 심각도에 밀접한 관계가 있다는 것을 의미한다.

토지이용요인에서 주거용건물 밀도는 중상이상의 사고에서 낮지만 통계적으로 유의한 결과를 나타내고 있다. 주거용 건물이 많은 지역에서는 자전거 운전자와 자동차 통행이 많아 사고발생 시 중상 사고로 이어지는 것으로 판단된다. 또한, 주거용 건물에 단독주택과 같이 골목이 많은 주택도 포함되어 있어 갑자기 튀어 나오는 자전거를 인지하지 못해 중상 사고로 이어질 가능성도 존재한다. 또 다른 변수인 상업용건물 밀도가 세 개의 모형 전부 유의한 결과를 나타내고 있다. 상업용 건물이 많은 지역은 보행자와 차량이 밀집되는 지역으로 자전거 운전자가 위험 요소에 많은 시간 노출되어 있어 사고가 많이 발생하는 것으로 보인다. 한편, 업무용건물 밀도변수는 다른 변수들과는 다르게 음(-)의 관

계를 나타내고 있다. 이러한 결과는 업무지역에서는 대부분의 통행이 출퇴근 시간을 제외하면 적기 때문으로 판단된다. 마지막으로 토지이용혼합도 변수는 자전거 교통사고 세 가지 모형 모두에서 유의미한 양(+)의 결과를 나타내고 있다. 이는 토지이용혼합이 가지고 있는 여러 가지 장점에도 불구하고 자전거 교통사고와 사고 심각도에 부정적인 영향을 미치고 있음을 의미한다.

통행량 요인 중 생활인구, 자전거 통행량, 차량 통행량 변수 모두 세 가지 모형에서 유의한 양(+)의 결과를 도출하였다. 통행량 요인 변수들은 통행량이 많을수록 자전거사고가 많이 발생할 수 있는 노출변수에 해당하며, 세 변수 모두 자전거 교통사고에 중요한 노출변수로 나타났다.

가로환경 요인의 경우 차량 제한속도가 모든 모형에서 유의미한 양(+)의 관계를 나타내고 있다. 즉, 높은 차량의 속도가 자동차 대 자전거 교통사고와 밀접한 관련이 있다고 볼 수 있으며 제한 속도가 높을수록 자동차 교통에는 효율적이지만 자전거 안전에는 부정적인 요인으로 나타났다.

다음으로 교차로 변수인 삼거리밀도의 경우 전체 자전거사고와 중상이상의 사고에서 음(-)의 결과를 도출하였다. 이러한 결과는 삼거리의 경우 차량의 통행이 적고 사거리 교차로보다 시야가 확보되지 않아 자동차 운전자와 자전거 운전자가 더 많은 주의를 기울이기 때문이라고 판단된다. 반대로 사거리

밀도의 경우 자전거 교통사고와 양(+)의 결과를 나타내고 있다. 사거리는 대부분 차량과 보행자의 출입이 많고 순간적으로 속도가 높아 자전거 교통사고가 빈번하게 발생하는 것으로 볼 수 있다.

마지막으로 과속방지턱 밀도의 경우 차량의 속도를 제한할 수 있는 가로 구조물로서 자동차 대 자전거 사고와 경상이하 사고 모형에서 음(-)의 결과를 보이고 있다. 이러한 결과는 과속방지턱의 추가적인 설치를 통해 자전거 교통사고를 방지하는데 도움이 될 수 있음을 의미한다.

공원면적 비율은 세 가지 모형 모두에서 양(+)의 관계를 나타내고 있다. 공원은 자전거 운전자들이 안전하게 자전거를 이용할 수 있는 지역으로 볼 수 있다. 하지만 자전거 이용이 공원에서만 이루어지는 것이 아니다. 대부분의 자전거 운전자가 공원 밖에서부터 주행하여 공원으로 접근하기 때문에 공원 주변에서 자전거 교통사고가 발생하고 있으며 경상 사고가 발생하는 것으로 판단된다. 공원 주변에서 사고를 방지하기 위해 자전거를 공원 내부에서 이용하거나 공원으로 연결된 자전거 도로가 필요한 것으로 보인다.

다음으로 가로수 밀도는 음(-)의 관계를 나타냈다. 가로수는 일반도로와 보행로를 분리 시켜주는 기능을 가지고 있다. 따라서 일반도로와 보행로의 완전한 분리가 자전거 운전자에게 안정감을 제공할 수 있다. 이러한 결과를 바탕으로 가로수뿐만 아니라 도시시설물로 차도와 보행로를 분리시킬 필요가 있고 나아가 자전거 도로도 자동차 도로와 분리될 필요가 있다.

자연환경 요인 중 평균 경사도는 자전거 사고와 사고 심각도에 음(-)의 영향을 가지는 것으로 나타났다. 경사도가 있는 지역은 자전거 운전자와 자동차 운전자 모두 주의를 기울이기 때문에 사고 발생이 낮은 것으로 판단된다. 하천면적 비율은 자전거 사고의 모든 모형에서 유의미한 양(+)의 관계를 나

타내고 있다. 이와 같은 결과는 시설요인 중 공원 면적과 비슷한 결과라고 볼 수 있다. 대부분의 자전거 이용자가 안전하고 편리하게 이용할 수 있는 공간은 한강 또는 한강과 이어져 있는 하천이다. 따라서, 자전거 운전자가 집중되는 지역으로 자전거 교통사고도 자주 발생하는 것으로 보인다. 하천변의 경우 자전거의 속력이 20km/h로 제한되어 있지만 이러한 규정은 잘 지켜지지 않고 단속 또한 어렵다. 하천변 자전거 도로에서 자전거가 빠른 속도를 유지한 상태로 일반 도로와 교차하는 지점으로 진입하는 경우 큰 사고로 이어질 수 있다.

다음으로 자전거 인프라 요인에서 자전거 우선도로면적 비율은 자전거 교통사고에 영향을 미치지 않는 것으로 확인하였다. 반면, 자전거 전용도로면적 비율은 전체 자전거 사고모형과 경상이하의 모형에서 유의한 결과를 나타냈다. 자전거 전용도로는 다른 자전거 도로와 달리 자전거의 이용이 많고 경계석 등으로 분리되어 있어 자전거 운행의 속도가 빠르고 자전거 운전자의 부주의를 유발할 수 있다. 또한, 일반도로 옆에 설치되어 있어 사거리 등 자동차 도로와 교차지점에서 자전거 사고의 발생 가능성이 높다. 보행자 겸용도로면적 비율의 경우 자동차 대 자전거 전체사고와 경상이하의 사고에서 유의미한 결과를 도출하였다. 자전거 교통사고의 심각도 결과에서는 앞선 자전거 전용도로와 똑같은 영향을 나타내고 있다. 보행자 겸용도로의 경우 보행로가 넓고 일반도로 차선 수가 좁아 속도가 높지 않아서 경상사고가 더 빈번하게 발생하는 것으로 보인다.

V. 결론

본 연구는 자전거 교통사고 발생에 영향을 미치는 물리적 환경요인을 2015년부터 2017년 동안 서울에서 발생한 자전거 교통사고 자료를 활용하여

분석하였다. 연구결과를 바탕으로 자전거 교통사고에 영향을 미치는 근린 환경요인은 다음과 같다.

첫째, 자전거 교통사고는 상업용 건물이 많고 토지이용혼합도가 높은 지역에서 발생건수와 사고심각도가 높은 것으로 나타났다. 따라서 자전거 운전자의 안전을 위해 차량이나 보행자가 많은 지역에서 자전거를 보행자와 차량으로부터 분리하는 정책을 고려할 필요가 있다.

둘째, 차량의 제한속도가 높은 곳일수록 자전거 교통사고 발생과 사고 심각도가 높은 것을 확인하였다. 따라서 자전거 통행이 많은 도로의 경우 차량의 속도를 낮출 필요가 있다. 특히, 자전거가 일반도로로 진입하는 경우 사고의 위험도가 증가하기 때문에 이 구간에 대한 자전거 안전사고 대책이 필요하다.

셋째, 과속방지턱의 설치는 자전거 교통사고의 발생건수와 경상사고를 낮추는 효과가 있는 것으로 확인되었다. 과속방지턱은 차량의 속도를 자연스럽게 감속할 수 있는 시설물로서 사고가 예상되는 지역이나 기존 사고가 빈번하게 발생하는 지점에 추가적인 설치가 필요할 것으로 판단된다.

넷째, 자전거 교통사고는 자전거 도로가 잘 형성되어 있는 하천변에서 빈번하게 발생하는 것을 확인하였다. 기본적으로 주요하천변에 조성되어 있는 자전거 도로는 자동차 도로와 분리되어 있다. 그러나 하천변에 있는 자전거 도로에 접근하기 위해서는 자동차 도로와 접촉하는 구간이 많기 때문에 충돌의 위험이 높다. 따라서 하천변 자동차 통행과 접촉하는 구간에 대해 안전시설이나 속도에 대한 규제가 필요할 것으로 판단된다.

다섯째, 자전거 인프라 중 자전거 도로 유형에 따라 자전거 교통사고와 사고 심각도에 다른 영향을 미치는 것으로 나타났다. 특히, 자전거 전용도로와 보행자 겸용도로에서 사고발생건수와 경상사고건수가 높은 것으로 나타났다. 현재 조성되어 있는

자전거 도로는 전체적으로 연결성이 부족하고 일부 구간에서 끊기는 경우도 빈번하다. 따라서 자전거 도로와 자동차 도로의 접촉구간에 대한 자전거 안전사고 대책이 필요하다. 자전거 교통을 장려하기 위해 자전거 인프라의 설치와 지속적인 투자는 바람직하다. 하지만 일반도로 상황이나 보행량을 고려하지 못한 일방적인 자전거 인프라 공급은 자전거 교통사고뿐만 아니라 도로교통에도 큰 영향을 미칠 수 있다. 따라서 차후에 있을 자전거 인프라의 확장은 자동차 도로와 만나는 지점을 최소화할 필요가 있다.

본 연구의 한계점과 향후 연구과제는 다음과 같다. 우선 자전거 교통사고에 영향을 미치는 개인적인 행태 요인을 확인하지 못하였다. 개인적인 요인으로는 운전자의 부주의와 자전거 주행 능력과 같은 일반적인 요인이 있다. 이러한 요인은 자전거 교통사고 빈도와 사고 심각도에 영향을 미치기 때문에 추후 자전거 교통사고 지점별로 운전자 개인 특성을 고려한 분석이 필요함을 시사한다.

다음으로, TAAS데이터는 경찰이나 보험사에 신고접수가 된 사고를 중심으로 데이터로 제공하고 있다. 하지만 자전거사고의 경우 사고가 발생하더라도 부상의 정도가 낮거나 단독으로 사고가 발생하게 되면 신고를 하지 않는 경우도 많을 것으로 판단된다. 따라서 이러한 경우 자전거 교통사고가 과소 집계된 지역이 있을 수 있다.

마지막으로, 본 연구에서 활용한 대구역은 행정동과 집계구 사이 규모로 근린수준의 공간단위에서 자전거 교통사고 분석이 적합하다고 판단하였다. 그러나 분석단위가 달라지면 결과가 달라질 수 있는 문제가 여전히 존재한다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 개인수준과 집계화된 근린수준의 변수를 동시에 고려하면서 공간적 자기상관을 제어할 수 있는 통계 모형의 활용이 필요하다.

인용문헌

References

- 권성대·김윤미·김재곤·하태준, 2015. “자전거 사고예측모형 개발 및 개선방안 제시에 관한 연구”, 「대한토목학회논문집」, 35(5):1135-1146.
- Kwon, S. D., Kim, Y. M., Kim, J. G. and Ha, T. J., 2015. “Development of Bicycle Accident Prediction Model and Suggestion of Countermeasures on Bicycle Accidents”, Journal of the Korean Society of Civil Engineers, 35(5):1135-1146.
- 김도훈·조한선·김응철, 2008. “도시부 교차로에서의 자전거 사고유형 분석에 관한 연구”, 「한국도로학회논문집」, 10(4):117-125.
- Kim, D. H., Cho, h. S. and Kim, E. C., 2008. “A Study on Bicycle Accident Patterns at Urban Intersections”, International Journal of Highway Engineering, 10(4):117-125.
- 김응철·오주택·김명섭, 2007. “비선형 회귀모형을 이용한 자전거사고 요인분석에 관한 연구”, 「국토계획」, 42(3):261-272.
- Kim, E. C., Oh, J. T. and Kim, M. S., 2007. “A Study on Crash Causations for Bicycles in Signalized Intersections Using Non-linear Regression Models”, Journal of Korea Planning Association, 42(3):261-272.
- 신혜정·홍지연·이수범, 2012. “자전거 사고 심각도에 영향을 미치는 요인 연구”, 「교통연구」, 19(1):67-78.
- Shin, H. J., Hong, J. Y. and Lee, S. B., 2012. “A Study on the Factors Affecting the Severity of Bicycle-Related Accidents”, Journal of Transport Research, 19(1):67-78.
- 신희철·박재영, 2012. “연령과 도시규모에 따른 자전거 교통사고 분석”, 「월간교통」, 12:68-72.
- Shin, H. C. and Park, J. Y., 2012. “Analysis of Bicycle Accident by Age and City Size”, The Korea Transport Institute, 12:68-72.
- 오주택·김응철·김도훈, 2007a. “도시부 교차로에서의 자전거사고 심각도 분석에 관한 연구: 인천광역시를 중심으로”, 「대한토목학회논문집」, 27(4):389-395.
- Oh, J. T., Kim, E. C. and Kim, D. H., 2007a. “A Study on the Bicycle Accident Injury Severity at Urban Intersections: Focused on Incheon”, Journal of Civil Engineering, 27(4):389-395.
- 오주택·김응철·지민경, 2007b. “도시부 신호교차로에서의 자전거사고 분석”, 「한국도로학회논문집」, 9(2):1-11.
- Oh, J. T., Kim, E. C. and Ji, M. K., 2007b. “A Study of Bicycle Crash Analysis at Urban Signalized Intersections”, International Journal of Highway Engineering, 9(2):1-11.
- 이유식·황윤형·성광모·김성진·이정욱, 2016. “교차로내 자전거 교통사고 유형 분석에 관한 연구”, 한국자동차공학회 추계학술대회 및 전시회, 대구광역시: EXCO.
- Lee, Y. S., Hwang, Y. H., Sung, G. M. and Lee, J. Y., 2016. “Analysis of Bicycle Accident Patterns at Intersections”, The Korean Society of Automotive Engineers, Daegu: EXCO.
- 최승희·이구연, 2016. “자전거 교통 사고 현황 및 예측 분석”, 「전자공학학회논문지」, 53(9):89-96.
- Choi, S. H. and Lee, G. Y., 2016. “Analysis and Prediction of Bicycle Traffic Accidents in Korea”, Journal of the Institute of Electronics and Information Engineers, 53(9):89-96.
- 온나라 정책연구, <http://www.prism.go.kr>.
- 교통사고분석시스템, <http://taas.koroad.or.kr>.
- Anselin, L., 2013. Spatial Econometrics: Methods and Models. Kluwer Academic Publishers, Zuid Holland: Dordrecht.
- Brown, R. L., Koeplinger, M. E., Mehlman,

- C. T., Gittelman, M. and Garcia V. F., 2002. "All-Terrain Vehicle and Bicycle Crashes in Children: Epidemiology and Comparison of Injury Severity", *Journal of Pediatric Surgery*, 37(3):375-380.
14. Doherty, S. T., Aultman-hall, L. and Swaynos, J., 2000. "Commuter Cyclist Accident Patterns in Toronto and Ottawa", *Journal of Transportation Engineering*, 126(1):21-26.
15. Dormann, C. F., Mcpherson, J. M., Araujo, M. B., Bivand, R., Bolliger, J., Carl, G., Davies, R. G., Hirzel, A., Jetz, W., Kissling, W. D., Kuhn, I., Ohlemuller, R., Peres-Neto, P. R., Bjorn, R., Schroder, B., Schurr, F. M. and Wilson, R., 2007. "Methods to Account for Spatial Autocorrelation in the Analysis of Species Distributional Data: A Review", *Ecography: A Journal of Space and Time in Ecology*, (30)5:609-628.
16. Hoque, M., 1990. "An Analysis of Fatal Bicycle Accidents in Victoria(Australia) with a Special Reference to Nighttime Accidents", *Accident Analysis & Prevention*, (22)1:1-11.
17. Lee, A. H., Stevenson, M. R., Wang, K. and Yau, K. k., 2002. "Modeling Young Driver Motor Vehicle Crashes: Data with Extra Zeros", *Accident Analysis & Prevention*, 34:515-521.
18. LeSage, J., 1997. "Regression Analysis of Spatial Data", *Journal of Regional Analysis and Policy*, 27(2):83-94.
19. Rodgers, G. B., 1995. "Bicyclist Deaths and Fatality Risk Patterns", *Accident Analysis & Prevention*, 27(2):215-223.
20. Rodgers, G. B., 1997. "Factors Associated with the Crash of Adult Bicyclists", *Journal of Safety Research*, 28(4):233-241.
21. Wang, Y. and Nihan, N. L., 2004. "Estimating the Risk of Collisions Between Bicycles and Motor Vehicles at Signalized Intersections", *Accident Analysis & Prevention*, 36(3)313-321.

Date Received 2018-07-26
 Date Reviewed 2018-08-22
 Date Accepted 2018-08-22
 Date Revised 2018-12-07
 Final Received 2018-12-07