

지역 특성을 고려한 국내 자전거 사고 분석

김태양 · 박병호*

충북대학교 도시공학과

Analysis of Bicycle Accidents in Korea Based on Regional Characteristics

KIM, Tae Yang · PARK, Byung Ho*

Department of Urban Engineering, Chungbuk National University, Chungbuk, 28644, Korea

*Corresponding author: bhpark@chungbuk.ac.kr

Abstract

This study aims to analyze the accidents of green mode bicycle. In pursuing the above, this study gave special emphasis on modeling the bicycle accidents reflecting the regional characteristics. The main results are as follows. First, the null hypotheses that the number of accident and ratio of serious injury and fatality (FSI) were the same over regions were rejected. Second, as the common variables, the number of bicycle was judged to have positive (+) impact to the accidents and the bicycle using ratio was inferred to increase the ratio of FSI. Third, the elderly population ratio among 3 factors which gave impact to the accidents of Si_A (city-county consolidation) was concluded to have the greatest elasticity. The developed area ratio between 2 factors in Si_B (city which is not consolidated) was, however, estimated to have the higher elasticity. Fourth, the number of car registration among 5 accident factors of Gun (county) was analyzed to have the greatest elasticity. Finally, the commuting trip ratio among 7 accident factors of Gu (district) was judged to have the greatest elasticity. This study can be expected to give some implications to regional policy-making related to bicycle.

keywords: bicycle accident, elasticity, negative binomial regression, post-hoc test, regional characteristic

초록

본 연구는 녹색교통수단인 자전거의 교통사고를 분석하는데 그 목적이 있다. 이를 위하여 본 연구에서는 국내 지역별 특성에 근거한 자전거 사고모형 개발에 중점을 두었다. 주요 연구결과는 다음과 같다. 첫째, 자전거 사고건수와 중상이상 사고비율이 지역별로 차이가 없다는 귀무가설이 기각되었다. 둘째, 각 지역 공통으로 자전거보유대수는 사고건수 증가, 그리고 자전거이용률은 중상이상 사고비율 증가에 영향을 미치는 것으로 판단되었다. 셋째, 통합시의 사고에 영향을 미치는 3개 요인 중 고령인구비율의 탄력성이 가장 큰 것으로 판단되었다. 또한 일반시의 사고에 영향을 미치는 2개 요인 중 시가화면적비율의 탄력성이 가장 큰 것으로 판단되었다. 셋째, 군의 5개 사고 요인 중 자동차보유대수의 탄력성이 가장 큰 것으로 평가되었다. 마지막으로 구의 7개 사고 요인 중 출근통행률의 탄력성이 가장 큰 것으로 판단되었다. 본 연구는 지역 단위 자전거 안전대책 수립에 몇 가지 함의를 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

주요어: 자전거 사고, 탄력성, 음이항 회귀, 사후검정, 지역특성

J. Korean Soc. Transp.
Vol.35, No.5, pp.447-457, October 2017
<https://doi.org/10.7470/jkst.2017.35.5.447>

pISSN : 1229-1366
eISSN : 2234-4217

Received: 13 July 2017

Revised: 19 September 2017

Accepted: 30 October 2017

Copyright ©
Korean Society of Transportation

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

서론

1. 연구의 배경 및 목적

최근 녹색교통수단으로써의 자전거 활성화를 위한 여러 가지 여건들이 갖추어졌다. 전국의 가구별 자전거 보유 대수는 2012년 620만대에서 2016년 1,127만 대로 약 81.7%, 전체 자전거도로 연장은 같은 기간 17,066km에서 21,179km으로 약 24.1% 증가되었다. 아울러 공공자전거 대여사업은 2008년 창원시의 430대를 시작으로 2016년 12개 지자체 19,723대까지 확대되었다(Korea Transport Institute). 그러나 최근 10년(2007-2016년)간 전체 교통사고 2,223,577건 중 자전거 사고는 총 159,920건(7.2%)으로 낮은 편이나, 사고는 매년 유사한 비율로 발생되며 지역별로 차이가 있는 것으로 평가되었다. 연평균 자전거 사고건수를 지역별로 살펴보면 시(市)는 88.6건, 군(郡)은 12.1건, 그리고 구(區)는 117.4건 발생하는 것으로 파악되었다.

자전거 교통사고와 관련된 기존 연구에서는 주로 특정 지점을 대상으로 한 미시적인 분석이 수행되었다. 그러나 이를 지역 단위로 일반화하기에는 적합하지 않은 것으로 판단되었다. 또한 지역 교통사고 분석과 관련된 기존 연구에서는 주로 종속변수를 사고건수로 하는 모형이 개발되었다. 일반적으로 대도시일수록 사고건수 또한 많으며, 이러한 관점에서는 사고건수가 많은 지역일수록 위험한 것으로 판단되었다. 이는 반대로 사고건수가 적을수록 상대적으로 덜 위험한 것으로 평가되며, 대도시에 비해 중·소도시에서 교통사고 심각성이 과소평가될 것으로 판단되었다. 따라서 지역 맞춤형 자전거 안전대책 수립을 위해서는 거시적인 관점에서 사고 발생확률과 심각성을 동시에 고려한 교통사고 분석이 필요한 것으로 판단되었다.

본 연구는 국내 시·군·구를 분석 단위로 하여, 해당 지역의 다양한 특성을 반영한 자전거 사고 분석을 수행하는데 그 목적이 있다. 이를 위하여 본 연구에서는 사고건수 및 중상이상 사상자수 비율(이하 중상이상 사고비율) 지표를 중심으로 한 자전거 사고 모형의 개발 및 논의에 중점을 두었다.

2. 연구의 내용 및 방법

본 연구에서는 국내 시·군·구 228개소의 자전거 사고 자료와 사회·경제 여건, 그리고 자전거 이용 행태를 반영한 자전거 사고 모형을 개발하였다. 자료 분석에는 Stata 13.0을 이용하였으며, 연구 과정은 다음과 같다.

첫째, 자전거 및 지역 교통사고 분석에 대한 기존 연구를 검토하여, 분석 방법론 파악 및 본 연구의 방향을 도출하였다. 둘째, 국내 시·군·구 228개소를 존으로 설정하고, 모형 개발을 위한 관련 자료를 수집한 후 변수를 설정하였다. 아울러 일원분산분석(ANOVA) 및 사후검정(Post-hoc test)을 통한 가설 검정과 상관관계 분석을 실시하였다. 셋째, 지역별로 종속변수를 사고건수와 중상이상 사고비율로 하는 자전거 사고 모형을 개발하였으며, 설명변수와 종속변수와의 부호(±) 관계, 그리고 탄력성(elasticity)을 중심으로 결과에 대한 논의를 진행하였다.

기존연구 검토

1. 자전거 교통사고 분석

국내의 자전거 교통사고 연구는 주로 교차로나 가로구간에 대한 미시적 연구가 진행되어 왔고, 본 연구에서 분석한 바와 같이 시·군·구 등 지역을 분석 단위로 하는 연구는 없었다. 반면 해외 연구에서는 TAZ (traffic analysis zone) 등 개별 지역의 특성에 근거한 자전거 사고 분석이 진행되었다.

국내 연구에서 Oh et al.(2007)은 2005년(1년) 인천광역시 신호 및 비신호교차로에서 발생한 자전거 교통사고 56건을 대상으로, 순서형 로짓모형을 통해 자전거 사고심각도 모형을 개발하였다. 또한 모형의 종속변수로 자전거 사고심각도(경상=0, 중상=1, 사망=2)가 이용되었다. 분석 결과 저자들은 사고심각도 상승에 지역구분등 총 4개 요

인이 영향을 미치는 것으로 평가하였다. 또한 Kim et al.(2008)은 2005년(1년) 인천광역시의 신호교차로 9개소에서 발생한 자전거 교통사고를 대상으로, 음이항 모형을 통해 자전거 사고 모형을 개발하였다. 또한 모형의 종속변수로 교차로 내 자전거 사고건수가 이용되었다. 분석 결과 저자들은 주도로 보도 폭 등 총 5개 요인이 사고발생 확률과 관련이 있는 것으로 평가하였다.

Shin et al.(2012)은 서울특별시의 3년(2008-2010)년간 발생한 자전거 대 차사고 총 7,314건을 대상으로, 이항 로짓모형을 통해 자전거 사고심각도 모형을 개발하였다. 또한 모형의 종속변수로 사고 발생유무(예=1, 아니요=0)가 이용되었다. 분석 결과 저자들은 자전거 및 차량이용자 범규위반유무 등 총 7개 요인이 사고 발생에 영향을 미치는 것으로 판단하였다. Kwon et al.(2015)은 전라남도과 광주광역시의 도시부 도로에서 3년(2009-2011년)간 발생한 자전거 교통사고를 대상으로, 다중선형회귀모형을 통해 자전거 사고 모형을 개발하였다. 또한 모형의 종속변수로 연평균 자전거 사고건수가 이용되었다. 분석 결과 저자들은 주·야간 여부 등이 자전거 교통사고 발생과 관련이 있는 것으로 판단하였다.

반면 해외 연구에서 Siddiqui et al.(2012)은 미국 플로리다 주에서 2년(2005-2006년)간 발생한 자전거 및 보행자 교통사고를 중심으로, Bayesian 기법을 이용해 교통사고 발생과 공간과의 상관관계가 미치는 영향을 규명하였다. 또한 Chen(2015)은 미국 시애틀의 4년(2010-2013년)간 발생한 자전거 교통사고를 대상으로, 계층적 Bayesian 추정을 통해 TAZ의 건조환경과 자전거-자동차 교통사고와의 관계를 분석하였다. 저자는 TAZ 내의 자전거 사고는 공간적인 상호작용에 의해 발생하므로, 토지이용 혼합도가 높거나 통행량이 많은 지역을 중심으로 자전거 도로를 개선할 것을 제안하였다. Yasmin et al.(2016)은 캐나다 토론토와 몬트리올에서 5년(2006-2010년)간 발생한 자전거 교통사고를 중심으로, 존 내 자전거 충돌에 영향을 미치는 요인을 사회·경제적 요인 및 교통 특성을 이용하여 분석하였다. Cai et al.(2016)은 미국 플로리다 주를 대상으로 존별 보행자 및 자전거 교통사고 모형을 개발하였다. 저자들은 ZINB (zero-inflated negative binomial), HNB (hurdle negative binomial) 등 다양한 음이항 모형을 이용하여 사고를 분석하였으며, 그 결과 ZINB 모형이 교통 여건 및 사회·경제적 요소를 가장 잘 반영하는 것으로 평가하였다.

2. 지역 교통사고 분석

Kim et al.(2015)은 청주시의 30개 행정동에서 7년(2007-2013년)간 발생한 전체 교통사고를 대상으로 다중선형회귀모형을 이용하여, 행정동의 사회·경제 및 교통 특성을 반영한 사고 모형을 개발하였다. 또한 모형의 종속변수로 전체 사고건수를 면적으로 나눈 사고밀도가 이용되었다. 분석 결과 저자들은 종합 모형에서 주간선도로 비율 등 총 6개의 변수가 사고밀도 상승과 관련된 요인으로 평가하였다. Hong et al.(2015)은 2010년(1년) 서울특별시 415개 행정동의 전체 교통사고를 대상으로 다중선형회귀모형을 이용하여, 행정동의 사회·경제 및 교통안전 특성, 정책변수를 이용한 사고 모형을 개발하였다. 또한 모형의 종속변수로 $\ln(\text{교통사고건수})$ 가 이용되었다. 분석 결과 저자들은 과속방지턱의 수 등이 사고발생 확률 감소에 영향을 미치는 것으로 평가하였다.

Park et al.(2017)은 국내 251개 시·군·구의 2010년(1년) 도시쇠퇴 진단지표와, 2015년(1년) 교통사고 자료를 이용한 사고 모형을 개발하였다. 분석 모형으로는 다중선형회귀모형이 채택되었으며, 종속변수로 시·군·구 전체 지역의 천인당 사고건수가 이용되었다. 분석 결과 저자들은 둘 이상의 모형에 포함된 변수(공통)로 노령인구비율 등 총 5개 항목이 사고 발생확률 상승에 영향을 미치는 것으로 평가하였다. Cai et al.(2017)은 미국 플로리다의 594개 교통분석구역(traffic analysis districts)에서 3년(2010-2012)간 발생한 보행자 및 자전거 교통사고를 중심으로, 음이항 및 Bayesian-joint 모형을 통해 사고건수가 종속변수인 모형을 개발하였다. 저자들은 한계효과를 분석한 결과, 중위가구소득이 사고발생확률 감소에 가장 큰 역할을 하는 것으로 평가하였다.

3. 연구의 차별성

첫째, 현재 국내에서 시도되지 않은 거시적인 자전거 교통사고 분석을 수행하였다. 국내에서는 Oh et al.(2007)과 Kim et al.(2008), Shin et al.(2012), 그리고 Kwon et al.(2015)이 미시적 관점에서 자전거 사고를 분석하였다. 그러나 이러한 연구는 주로 특정 지점을 대상으로 한 미시적인 연구로, 이를 지역 단위로 확장하기에 한계가 있는 것으로 판단되었다. 최근 해외에서 Siddiqui et al.(2012)와 Chen(2015), Yasmin et al.(2016), 그리고 Cai et al.(2016)가 거시적 관점에서 자전거 사고를 분석하였다. 따라서 지역 특성을 고려한 거시적인 분석을 통해 정책적 시사점을 제시할 수 있을 것으로 판단되었다.

둘째, 교통사고에서 지역별 사고건수와 중상이상 사고비율을 동시에 고려한 분석을 수행하였다. 기존 연구에서는 주로 사고건수 기반의 교통사고 모형이 개발되었으며, 이러한 관점에서는 대도시일수록 사고건수가 많아 위험한 것으로 평가되었다. 즉 반대로 사고건수가 적은 중·소도시에서 사고 심각성이 대도시에 비해 과소평가될 것으로 판단되었다. 따라서 자전거 사고에서 사고건수와 중상이상 사고비율의 상호보완적 지표를 통해 사고발생 확률과 심각성을 동시에 고려하였다.

분석의 틀 설정

1. 자료 구축 및 변수 설정

본 연구에서는 국내 시·군·구 228개소의 자전거 교통사고 자료와 사회·경제 및 자전거 이용 행태를 나타내는 자료를 이용하였다. 종속변수는 사고건수와 중상이상 사고비율의 2개 항목으로, 도로교통공단의 교통사고관리시스템(TAAS)에 최근 10년(2007-2016년)간 국내 시·군·구별로 발생한 자전거 사고 자료가 사용되었다. 중상이상 사고비율이란 전체 사상자수 대비 중상·사망자수 합계의 비율을 의미한다. 자전거 사고는 전체 사고 대비 낮은 확률로 발생되기 때문에, 종속변수는 10년간의 합계 자료를 이용하여 분석되었다.

설명변수는 사회·경제 요인, 교통 요인, 그리고 자전거 이용 요인의 3개 그룹으로 분류하였다. 또한 기초자료는 2010·2015년의 지역별 통계연보와 인구주택총조사 자료를 통해 구축하였다. 아울러 기존연구 검토를 통해 자전거 사고와 관련이 있을 것으로 판단되는 총 19개의 변수가 선정되었으며, 요약통계는 Table 1과 같다.

사회·경제 요인에서는 시가화면적비율(urban), 농업적토지이용률(agri_use), 어린이 및 고령인구비율(kids, eld), 그리고 의료기관병상확보율(hospital)의 5개 항목이 선정되었다. 시가화면적비율(urban)은 전체 면적대비 용도지역상 주거·상업·공업지역 면적 합계의 비율을, 그리고 농업적토지이용률(agri_use)은 전체 면적대비 지목상 전·답·과수원·목장용지 면적 합계의 비율을 의미한다. 또한 어린이 및 고령인구비율은 통계청의 기준을 준용하여 연령대별로 구분하였으며, 어린이(kids)는 15세 미만으로 고령자(eld)는 65세 이상으로 정의한다. 아울러 의료기관 병상확보율(hospital)은 전체 의료기관 병상 수 대비 전체 인구 수의 비율을 의미하며, 이 항목은 자료 구득의 문제로 2010년 자료를 이용하였다.

교통 요인에서는 집산·국지도로비율(road), 인구1만인당 자동차등록대수(car), 그리고 목적통행률(commute, school, business, shop, leisure)의 7개 항목이 선정되었다. 집산·국지도로비율(road)은 전체 도로연장 대비 집산 및 국지도로연장 합계의 비율을 의미한다. 목적통행률은 해당 지역의 전체 통행발생량 대비 목적통행량의 비율을 의미한다. 목적통행은 출근(commute), 등교(school), 업무(business), 쇼핑(shop), 그리고 여가(leisure)로 구분하였다.

자전거 이용 요인으로는 어린이 및 고령자 자전거이용률(kids_bike, eld_bike), 자전거도로연장(bike_length), 자전거보유대수(bike_no), 그리고 단시간 및 장시간 자전거이용률(bike_short, bike_long)의 6개 항목이 선정되었다. 자전거보유대수(bike_no)는 자료 구득의 문제로 2010년 한국교통연구원의 가구별 자전거 보유대수 추정치를 이용하였다. 또한 단시간 및 장시간 자전거이용률(bike_short, bike_long)은 2015년 인구주택총조사 내 수단별 통근인구 자료를 이용하였으며, 분석 결과 15분 미만의 자전거 통근 비율이 약 48%로 높게 도출되었다. 따라서 본 연구에

서는 15-30분 통근자 그룹을 기준으로 단시간(bike_short) 이용률을 전체 대비 15분 미만 통근자 합계로, 그리고 장시간(bike_long) 이용률을 전체 대비 30분 이상 통근자 합계로 정의하였다.

Table 1. Definitions of variables and summary statistics

Type	Variables	Description	Unit	Mean	Std. Dev.	Min.	Max.	VIF
dependent variables	accident	No. of bicycle accident	No.	701.40	792.23	16.00	3783.00	-
	FSI	ratio of serious injury and fatal persons	%	43.85	10.50	25.29	78.95	-
socio-economic factor	urban	developed area ratio	%	31.33	19.43	6.54	99.75	1.82
	agri_use	agricultural land-use ratio	%	17.03	11.79	0	51.20	1.74
	kids	children population ratio	%	11.91	3.32	3.05	20.78	2.03
	eld	elderly population ratio	%	18.49	8.23	6.31	40.18	5.96
	hospital	No. of hospital beds per total population	%	1.14	0.70	0.01	3.97	1.23
traffic factor	road	collector road length ratio	%	60.18	23.65	10.91	100	1.84
	car	No. of car registration per ten thousand	No.	6.91	7.01	0.48	42.42	6.95
	commute	commuting trip per total trips	%	20.69	5.20	5.89	34.42	2.16
	school	schooling trip per total trips	%	5.03	1.41	1.16	9.24	1.60
	business	business trip per total trips	%	8.99	2.73	4.02	17.15	1.63
	shop	shopping trip per total trips	%	3.07	1.19	0.64	7.62	1.65
	leisure	leisure trip per total trips	%	6.11	1.70	2.12	15.88	1.10
	bicycle use factor	kids_bike	children bicycle using ratio	%	11.51	6.99	0	41.18
eld_bike		elderly bicycle using ratio	%	16.35	12.03	0	54.63	2.31
bike_length		bicycle road length	km	84.25	105.80	0	735.50	2.66
bike_no		No. of bicycle per ten thousand	No.	2.73	2.94	0.10	16.69	4.47
bike_short		short-time (under 15 minutes) bicycle using ratio	%	47.46	16.32	14.49	82.76	7.13
bike_long		long-time (30 minutes over) bicycle using ratio	%	16.45	10.45	0	54.43	5.44

2. 가설 검정 및 상관관계 분석

본 연구에서는 우선 일원분산분석(ANOVA)를 통해 시·군·구별로 자전거 사고건수와 중상이상 사고비율이 유의한 차이가 있는지를 확인하였다. 이후 Scheffe 사후검정(Post-hoc test)을 통해 시·군·구 그룹 간 차이를 검증하였다. Table 2의 좌측은 일원분산분석 결과를, 우측은 사후검정 결과를 요약한 것이다.

Table 2. ANOVA result

Variable	ANOVA (hypothesis test)						Scheffe Post-hoc test (p-value)			
	Type	Mean	Std. Dev.	Freq.	F-value	p-value	Type	Gu	Gun	Si_A
Accident	Si_A	644.28	475.89	50	44.83	0.000	Gun	-1052.84 (0.000)	-	-
	Si_B	1316.96	1080.51	28			Si_A	-529.79 (0.000)	523.05 (0.000)	-
	Gun	121.24	94.95	81			Si_B	142.89 (0.796)	1195.73 (0.000)	672.68 (0.000)
	Gu	1174.07	819.61	69						
FSI	Si_A	43.93	7.09	50	76.75	0.000	Gun	17.47 (0.000)	-	-
	Si_B	37.57	5.22	28			Si_A	8.38 (0.000)	-9.10 (0.000)	-
	Gun	53.03	8.95	81			Si_B	2.01 (0.691)	-15.46 (0.000)	-6.36 (0.005)
	Gu	35.56	6.32	69						

아울러 본 연구에서는 시(市)의 인구 규모가 다양함을 고려하여, 전체 시 중 인구 50만 미만의 도·농통합시는 ‘통합시(Si_A)’로, 그렇지 않은 시는 ‘일반시(Si_B)’로 정의한 후 분석하였다. 여기서 귀무가설은 ‘시·군·구별로 사고건수의 차이가 없다’와 ‘시·군·구별로 중상이상 사고비율의 차이가 없다’로 설정하였다. 그 결과 일원분산분석 결과 F-값이 각각 44.83, 76.75이고 신뢰수준 95%에서 귀무가설이 모두 기각되어, 자전거 교통사고에서 통합시·일반시·군·구별로 사고건수와 중상이상 사고비율의 차이가 없다고 보기 어려운 것으로 판단되었다. 또한 사후검정 결과 대부분이 신뢰수준 95%에서 유의하나, 일반시(Si_B)와 구(Gu) 사이가 유의하지 않은 것으로 분석되었다. 즉 전체 지역 간 차이는 없다고 보기 어려우나, 지역-지역 간의 차이가 없는 관계(일반시-구)가 도출되었다. 이러한 점은 향후 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단되었다.

또한 Table 3은 상관분석을 실시한 결과이다. 변수 간의 상관관계는 두 변수 간 상관계수로서 파악된다. 상관계수 r는 $-1 \leq r \leq 1$ 의 범위를 가지며, 부호에 따라 해당 변수와 양(+)의 관계인지 음(-)의 관계인지를 나타낸다. 분석 결과 사고건수(incident)에는 자전거보유대수(bike_no)와 장시간 자전거이용률(bike_long), 출근통행률(commute) 등이 양(+)의 영향을, 그리고 단거리 자전거이용률(bike_short)과 고령인구 비율(eld) 등이 음(-)의 영향을 미치는 것으로 파악되었다. 반면 중상이상 사고비율(FSI)에는 단거리 자전거이용률(bike_short)과 고령인구 비율(eld), 고령자 자전거이용률(eld_bike) 등이 양(+)의 영향을, 그리고 장거리 자전거이용률(bike_long) 등이 음(-)의 영향을 미치는 것으로 분석되었다.

Table 3. Correlation analysis (accident and FSI)

Variable	Accident		FSI		Variable	Accident		FSI	
	Correlation	p-value	Correlation	p-value		Correlation	p-value	Correlation	p-value
Accident	1.000	-	-	-	accident	1.000	-	-	-
FSI	-	-	1.000	-	FSI	-	-	1.000	-
Urban	0.341	0.000	-0.344	0.000	Business	-0.240	0.000	0.290	0.000
Agri_use	-0.223	0.001	0.339	0.000	Shop	0.175	0.008	-0.231	0.000
Kids	0.331	0.000	-0.440	0.000	Leisure	0.001	0.986	0.013	0.850
Eld	-0.573	0.000	0.666	0.000	Kids_Bike	-0.077	0.249	0.031	0.643
Hospital	0.289	0.000	-0.419	0.000	Eld_Bike	-0.376	0.000	0.523	0.000
Road	0.793	0.255	-0.455	0.000	Bike_Length	0.462	0.000	-0.202	0.002
Car	-0.076	0.000	0.024	0.720	Bike_No	0.882	0.000	-0.490	0.000
Commute	0.405	0.000	-0.424	0.000	Bike_Short	-0.577	0.000	0.677	0.000
School	0.307	0.000	-0.294	0.000	Bike_Long	0.492	0.000	-0.633	0.000

모형 개발 및 논의

1. 개요

본 연구에서는 앞서 가설 검정 결과에 의해 국내 시·군·구를 통합시(Si_A), 일반시(Si_B), 군(Gun), 그리고 구(Gu)로 구분한 후 사고 모형이 개발되었다. 또한 모형의 종속변수로 사고건수와 중상이상 사고비율의 두 지표가 사용되었다. 가산자료(count data)인 사고건수에는 일반적으로 포아송이나 음이항 모형이 이용된다. 분석 모형은 Cameron & Trivedi의 검정에 의해 결정된다. 여기서 귀무가설은 ‘과분산계수 $\alpha = 0$ ’, 대립가설은 ‘과분산계수 $\alpha > 0$ ’이며, 귀무가설이 기각될 경우 음이항 모형이 이용된다. 또한 중상이상 사고비율은 가산자료가 아닌 지표로서, 다중선형회귀모형을 이용하여 분석하였다. 아울러 회귀계수의 부호(±)와 탄력성을 통해 설명변수가 종속변수에 미치는 영향을 분석하였다. 회귀계수의 부호는 해당 변수의 변화가 종속변수에 정(+)적인 영향 또는 부(-)적인 영향을 미치는지를 의미하는 척도이다. 또한 탄력성이란 설명변수에 대한 종속변수의 민감도를 나타내는 지표로, 설명변수의 1% 변화에 따른 종속변수의 변화량을 의미한다.

2. 자전거 사고건수 모형

종속변수를 자전거 사고건수로 하는 모형 개발 결과는 Table 4와 같다. Cameron & Trivedi 검정 결과 모두 유의 수준 95%에서 귀무가설이 기각되어, 분석 모형으로 음이항 모형이 채택되었다. 4개 모형에 채택될 설명변수는 모두 사고 증가에 영향을 미치며, 공통변수는 자전거보유대수(bike_no)인 것으로 파악되었다.

Table 4. Model results (No. of bicycle accident)

Variables	Si_A (市)			Si_B (市)			Gun (郡)			Gu (區)		
	Coef.	z	Elasticity	Coef.	z	Elasticity	Coef.	z	Elasticity	Coef.	z	Elasticity
Constant	4.316	10.69	-	5.031	19.20	-	3.421	19.88	-	4.400	11.17	-
Urban	-	-	-	0.030	3.15	0.747	-	-	-	0.006	2.28	0.270
Agri_use	-	-	-	-	-	-	0.012	2.12	0.247	-	-	-
Eld	0.048	3.15	0.789	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Car	0.108	4.04	0.776	-	-	-	0.250	4.03	0.420	-	-	-
Commute	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.031	2.98	0.719
Business	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.075	3.16	0.609
Eld_bike	-	-	-	-	-	-	0.007	1.79	0.180	-	-	-
Bike_length	-	-	-	0.003	4.04	0.585	0.003	1.63	0.110	0.003	2.94	0.161
Bike_no	0.176	3.17	0.436	0.082	3.17	0.500	0.372	2.75	0.272	0.184	9.03	0.713
No. of Obs.	50			28			81			69		
Model	Negative binomial			Negative binomial			Negative binomial			Negative binomial		
Log-likelihood	-340.711			-205.855			-421.214			-500.686		
AIC / BIC	691.721 / 700.981			421.709 / 428.371			856.428 / 873.189			1015.372 / 1031.010		

이외 특이변수와 탄력성을 살펴보면, 통합시(Si_A) 모형에서는 고령인구비율(eld)과 자동차보유대수(car)가 증가할 경우 사고건수가 증가하는 것으로 나타났다. 설명변수별 탄력성은 자전거보유대수(bike_no)가 1% 증가할 경우 사고건수가 0.436% 증가하며, 자동차보유대수(car)가 1% 증가할 경우 사고건수가 0.776% 증가하는 것으로 파악되었다. 또한 고령인구비율(eld)이 1% 증가할 경우 사고건수가 0.789% 증가하는 것으로 분석되었다. 또한 일반시(Si_B) 모형에서는 시가화면적비율(urban)이 높을수록, 자전거도로연장(bike_length)이 길수록 사고 증가에 영향을 미치는 것으로 파악되었다. 탄력성을 살펴보면 자전거보유대수(bike_no)가 1% 증가할 경우 사고건수가 0.500% 증가하며, 자전거도로연장(bike_length)이 1% 증가할 경우 사고건수가 0.585% 증가하는 것으로 파악되었다. 또한 시가화면적비율(urban)이 1% 증가할 경우 사고건수가 0.747% 증가하는 것으로 분석되었다.

군(Gun) 모형에서는 농업적토지이용률(agri_use)이 높을수록, 자동차보유대수(car)가 많을수록, 고령자자전거이용률(eld_bike)이 높을수록, 그리고 자전거도로연장(bike_length)이 길수록 사고건수가 증가하는 것으로 평가되었다. 설명변수별 탄력성은 자전거도로연장(bike_length)이 1% 증가할 경우 사고건수가 0.110% 증가하며, 고령자자전거이용률(eld_bike)이 1% 증가할 경우 사고건수가 0.180% 증가하는 것으로 파악되었다. 또한 농업적토지이용률(agri_use)이 1% 증가할 경우 사고건수가 0.247% 증가하며, 자전거보유대수(bike_no)가 1% 증가할 경우 사고건수가 0.272% 증가하는 것으로 분석되었다. 아울러 자동차보유대수(car)가 1% 증가할 경우 사고건수가 0.420% 증가하는 것으로 판단되었다.

마지막으로 구(Gu) 모형에서는 시가화면적비율(urban)과 출근 및 업무통행률(go_work, business)이 높을수록, 그리고 자전거도로연장(bike_length)이 길수록 사고 증가에 영향을 미치는 것으로 파악되었다. 설명변수별 탄력성은 자전거도로연장(bike_length)이 1% 증가할 경우 사고건수가 0.161% 증가하며, 시가화면적비율(urban)이 1% 증가할 경우 사고건수가 0.270% 증가하는 것으로 분석되었다. 또한 업무통행(business)이 1% 증가할 경우 사고건수가 0.609% 증가하며, 자전거보유대수(bike_no)가 1% 증가할 경우 사고건수가 0.713% 증가하는 것으로 평가되었다. 아울러 출근통행(go_work)이 1% 증가가 사고건수의 0.719% 증가로 이어지는 것으로 분석되었다.

3. 자전거 중상이상 사고비율 모형

종속변수를 자전거 중상이상 사고비율로 하는 모형 개발 결과는 Table 5와 같다. 분석 모형으로는 다중선형회귀 모형이 사용되었다. 4개 모형에 채택된 설명변수 중 의료기관병상확보율(hospital)을 제외한 나머지는 중상이상 사고비율 증가에 영향을 미치는 것으로 파악되었으며, 공통변수는 단시간 및 장시간 자전거이용률(bike_short, bike_long)인 것으로 평가되었다. 이 중 단시간 자전거이용률(bike_short)의 탄력성이 가장 높기에, 사고 증가에 미치는 영향 또한 가장 큰 것으로 판단되었다.

Table 5. Model results (ratio of serious injury and fatality)

Variables	Si_A (市)			Si_B (市)			Gun (郡)			Gu (區)		
	Coef.	z	Elasticity	Coef.	z	Elasticity	Coef.	z	Elasticity	Coef.	z	Elasticity
Constant	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Eld	0.738	2.30	0.276	-	-	-	-	-	-	0.516	2.37	0.189
Road	0.205	2.39	0.239	-	-	-	-	-	-	0.135	3.98	0.308
Hospital	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-1.872	-1.69	-0.061
Eld_Bike	-	-	-	0.234	1.97	0.070	0.212	2.38	0.098	-	-	-
Bike_Short	0.330	2.24	0.373	0.601	9.23	0.547	0.684	16.07	0.837	0.422	5.48	0.381
Bike_Long	0.375	1.70	0.112	0.642	7.78	0.384	0.454	2.41	0.065	0.241	3.18	0.183
No. of Obs.	50			28			81			69		
Model	multiple linear regression			multiple linear regression			multiple linear regression			multiple linear regression		
AIC / BIC	-174.413 / 356.825			-83.231 / 172.462			-307.771 / 609.542			-209.912 / 429.824		

이외 모형별로 특이변수 및 탄력성을 살펴보면, 통합시(Si_A) 모형에서는 고령인구비율(eld)와 집산국지도로비율(road)이 높을수록 중상이상 사고비율이 상승하는 것으로 분석되었다. 설명변수별 탄력성은 집산·국지도로비율(road)이 1% 증가할 경우 중상이상 사고비율이 0.239% 증가하며, 고령인구 비율이 1% 증가할 경우 중상이상 사고비율이 0.276% 증가하는 것으로 파악되었다. 또한 일반시(Si_B)와 군(Gun) 모형에서는 공통적으로 고령자 자전거이용률(eld_bike)이 높을수록 중상이상 사고비율 증가에 영향을 미치는 것으로 평가되었다. 설명변수별 탄력성은 고령자 자전거이용률(eld_bike)이 1% 증가할 경우 중상이상 사고비율은 일반시(Si_B)에서 0.070%, 군(Gun)에서 0.098% 증가하는 것으로 분석되었다.

마지막으로 구(Gu) 모형에서는 고령인구비율(eld)과 집산국지도로비율(road)이 높을수록 중상이상 사고비율 증가, 그리고 의료기관병상확보율(hospital)이 높을수록 중상이상 사고비율 감소에 영향을 미치는 것으로 평가되었다. 설명변수별 탄력성은 고령인구 비율이 1% 증가할 경우 중상이상 사고비율이 0.189% 증가하며, 집산·국지도로비율(road)이 1% 증가할 경우 중상이상 사고비율이 0.308% 증가하는 것으로 파악되었다. 반면 의료기관병상확보율(hospital)이 1% 증가할 경우 중상이상 사고비율이 0.061% 감소하는 것으로 분석되었다.

4. 논의

세부적인 모형개발 결과 논의는 다음과 같으며, Table 6은 모형별 채택된 설명변수를 비교한 도표이다.

첫째, 각 모형의 공통요인 중 사고건수 증가에는 자전거보유대수(bike_no) 및 자전거도로연장(bike_length)의 증가가 영향을 미치며, 중상이상 사상자비율 증가에는 단시간 및 장시간 자전거이용률(bike_short, bike_long)이 영향을 미치는 것으로 분석되었다. 자전거보유대수가 많고 자전거도로연장이 긴 지역일수록 자전거 이용이 활성화 된 것으로 분석되며, 자전거 교통사고 또한 비례하여 증가될 것으로 판단되었다. 아울러 기초자료 분석결과, 시간대별 자전거 통근 행태는 주로 30분 미만 이용에 집중되어 있는 것으로 파악되었다. 이들 단시간 이용자들은 자전거를 주로 생활형 통행수단으로 인식하며, 주행 간 자전거도로 여건이 좋지 않아 차도로 주행하는 경우가 많다(Korea

Transport Institute, 2012)¹⁾. 따라서 모든 지역에서 향후 자전거 이용자의 관점에서 도시 규모를 고려한 자전거 안전대책이 수립되어야 할 것으로 판단되었다.

Table 6. Comparison of model variables

Variables	No. of bicycle accident(incident)				ratio of serious injury and fatality(FSI)			
	Si_A	Si_B	Gun	Gu	Si_A	Si_B	Gun	Gu
Socio-economic factor	Urban	-	▲*	-	▲	-	-	-
	Agri_use	-	-	▲	-	-	-	-
	Eld	▲*	-	-	-	▲	-	▲
	Hospital	-	-	-	-	-	-	▽
Traffic factor	Road	-	-	-	-	▲	-	▲
	Car	▲	-	▲*	-	-	-	-
	Commute	-	-	-	▲*	-	-	-
	Business	-	-	-	▲	-	-	-
Bicycle use factor	Eld_bike	-	-	▲	-	-	▲	-
	Bike_length	-	▲	▲	▲	-	-	-
	Bike_no	▲	▲	▲	▲	-	-	-
	Bike_short	-	-	-	-	▲*	▲*	▲*
	Bike_long	-	-	-	-	▲	▲	▲

▲: positive(+) effect, ▽: negative(-) effect, *: max. elasticity

둘째, 통합시(Si_A)에서는 자동차등록대수(car)가 많을수록 사고건수가 증가하며, 집산·국지도로비율(road)이 높을수록 중상이상 사고비율이 증가하는 것으로 판단되었다. 또한 고령인구비율(eld)이 높을수록 중상이상 사고비율과 사고건수 증가에 모두 영향을 미치는 것으로 파악되었다. 아울러 탄력성을 고려했을 때 사고건수 증가에는 고령인구비율(eld)의 상승이 가장 큰 영향을 미치는 것으로 평가되었다.

자동차등록대수가 많을수록 교통량의 증가로 상충가능성이 높아져, 사고건수 또한 높을 것으로 판단되었다. 또한 집산·국지도로는 간선도로에 비해 통행속도는 낮으나, 도로 폭이 좁고 보차분리가 명확하지 않다. 따라서 자전거와 차량, 보행자가 혼재되어 주행하기에 사고의 심각성 또한 높을 것으로 평가되었다. 아울러 고령자는 청·장년층에 비해 신체적 기능의 퇴화로 인해 대상을 인지하는 능력이 떨어진다. 이로 인해 반응시간이 늦고 주의력이 감소하여 교통안전 의식 또한 낮은 것으로 판단되었다. 도농통합시(市)는 도시부(동)과 농촌부(읍·면)로 구성되며, 도시지역과 비도시지역의 특징을 모두 갖고 있다. 따라서 고령인구 비율이 높아질 경우 자전거 사고 발생 가능성과 심각성이 높을 것으로 판단되었다. 그러므로 통합시(市)에서는 고령인구비율의 상승에 중점을 두어, 고령자 맞춤형 자전거 안전교육과 이면도로 보차분리 등이 필요할 것으로 판단되었다.

셋째, 일반시(Si_B)에서는 시가화면적비율(urban)이 상승할수록 사고 건수가 증가하며, 고령자 자전거이용률(eld_bike)이 높을수록 중상이상 사고비율이 증가하는 것으로 판단되었다. 아울러 탄력성을 고려했을 때 사고건수 증가에는 시가화면적비율(urban)의 상승이 가장 큰 영향을 미치는 것으로 평가되었다. 일반시(市)는 대부분 도시부(동)으로 구성되며, 시가화 진행률이 비도시지역에 비해 높다. 따라서 일반시(市)에서는 시가화면적비율의 상승에 중점을 두어, 이용자 중심의 자전거도로 설계와 다양한 연령대를 고려한 안전교육 등이 필요할 것으로 판단되었다.

넷째, 군(Gun)에서는 농업적토지이용률(agri_use)이 높을수록, 자동차등록대수(car)가 많을수록 사고 발생확률이 증가하며, 고령자 자전거이용률(eld_bike)이 높을수록 중상이상 사고비율과 사고건수 증가에 모두 영향을 미치는 것으로 평가되었다. 아울러 탄력성을 고려했을 때 사고건수 증가에는 자동차등록대수(car)의 증가가 가장 큰 영향을 미치는 것으로 파악되었다. 군(郡)은 농촌부(읍·면)로 구성되며, 도시지역에 비해 농업적 토지이용이 활발하고

1) 해당 세미나에서는 자전거 이용자가 단거리와 중/장거리 이용자로 구분되었다. 여기서 단거리 이용자는 주로 자전거를 생활형 통행수단으로 이용하며, 1-2인의 소규모로, 3km 이내, 그리고 낮은 속도로 이용하는 것으로 평가되었다. 또한 이들은 차도 이용비율이 중/장거리 이용자에게 비해 상대적으로 낮은 것으로 분석되었다. 따라서 본 연구에서도 이러한 특성을 참고하여 단거리 이용자에게 대한 내용을 기술하였다.

고령인구 비율이 높다. 그러나 자전거도로 및 자전거 안전시설 등의 보급이 미흡한 상태로, 자동차등록대수가 증가할 경우 자전거 이용자의 안전성 또한 위협받을 것으로 판단되었다. 따라서 군(郡)에서는 자동차등록대수의 증가에 중점을 두어, 자전거도로의 신규 개설과 자전거 안전시설의 설치 등으로 자전거 이용자의 안전성을 우선적으로 확보하여야 할 것으로 판단되었다. 또한 고령인구 비율이 높은 지역임을 고려하여 고령자 맞춤형 자전거 안전교육이 필요하다.

마지막으로 구(Gu)에서는 시가화면적비율(urban)과 출근 및 업무통행률(commute, business)이 상승할수록 사고 발생확률이 증가하며, 고령인구비율(eld)이 상승할수록, 집산·국지도로비율(road)이 높을수록 증상이상 사고비율 상승에 영향을 미치는 것으로 평가되었다. 반면 의료기관병상확보율(hospital)이 높을수록 증상이상 사고비율 하락에 영향을 미치는 것으로 판단되었다. 아울러 탄력성을 고려했을 때 사고건수 증가에는 출근통행률(commute)의 상승이 가장 큰 영향을 미치는 것으로 평가되었다. 구(區)는 도시화가 거의 마무리된 상태이며, 출·퇴근 및 업무통행이 활발할 것으로 판단되었다. 또한 다른 지역에 비해 의료시설이 잘 갖추어져있어, 교통사고 발생 시 즉각적인 대처로 2차 피해를 줄일 수 있을 것으로 판단되었다. 따라서 구(區)에서는 다양한 통행행태에 중점을 두어, 통행행태를 반영한 자전거 안전대책의 수립과 더불어, 안전한 자전거 이용을 위해 이면도로 내 불법주정차 단속의 강화 등이 필요할 것으로 판단되었다.

결론

본 연구에서는 지역 특성을 고려한 자전거 교통사고의 분석이 필요하다는 전제하에, 지역의 다양한 특성을 반영한 자전거 사고건수 및 증상이상 사고비율 모형을 개발되었다. 연구 결과는 다음과 같다.

첫째, 자전거 교통사고에 대한 가설검정 결과, 사고건수와 증상이상 사고비율이 지역별(시·군·구)로 차이가 없다는 귀무가설은 기각되었다. 또한 사후검정 결과 ‘일반시-구’ 관계를 제외한 나머지 관계에서 통계적으로 유의한 차이가 도출되는 것으로 분석되었다.

둘째, 각 모형의 공통요인 중 자전거보유대수와 자전거도로연장은 사고건수 증가에, 그리고 단시간 및 장시간 자전거이용률은 증상이상 사고비율 증가에 영향을 미치는 것으로 분석되었다. 따라서 모든 지역에서는 자전거 이용자의 관점에서 도시 규모를 고려한 자전거 안전대책이 수립되어야 할 것으로 판단되었다.

셋째, 통합시(Si_A)의 사고건수 모형에서는 총 3개 요인이, 증상이상 사고비율 모형에서는 총 4개 요인이 채택되었다. 또한 탄력성 측면에서 고령인구비율의 상승이 사고건수 증가에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 평가되어, 통합시(市)에서는 고령자 맞춤형 자전거 안전교육과 이면도로 보차분리 등이 필요할 것으로 판단되었다. 그리고 일반시(Si_B)의 사고건수 모형에서는 총 3개 요인이, 증상이상 사고비율 모형에서는 총 3개 요인이 채택되었다. 또한 탄력성 측면에서 시가화면적비율의 상승이 사고건수 증가에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 나타나, 일반시(市)에서는 이용자 중심의 자전거도로 설계 및 연령별 안전교육 등이 필요할 것으로 판단되었다.

넷째, 군(Gun)의 사고건수 모형에서는 총 5개 요인이, 증상이상 사고비율 모형에서는 총 3개 요인이 채택되었다. 또한 탄력성 측면에서 자동차등록대수(car)의 증가가 사고건수 증가에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 평가되어, 군(郡)에서는 자전거도로의 신규 개설과 자전거 안전시설의 설치 등으로 자전거 이용자의 안전성을 우선적으로 확보하여야 할 것으로 판단되었다.

마지막으로 구(Gu)의 사고건수 모형에서는 총 5개 요인이, 증상이상 사고비율 모형에서는 총 5개 요인이 채택되었다. 또한 탄력성 측면에서 출근통행률의 증가가 사고건수 증가에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 평가되어, 구(區)에서는 다양한 통행행태를 반영한 자전거 안전대책의 수립과 이면도로 내 불법주정차 단속의 강화 등이 필요할 것으로 판단되었다.

본 연구는 지역을 단위로 한 자전거 교통사고 분석을 수행하였으며, 사고건수와 증상이상 사고비율을 함께 고려하였다는 데 의의가 있다. 또한 이를 통해 지역별로 자전거 사고 감소를 위한 정책적 방향이 다르다는 점에도 시사점

이 있는 것으로 평가되며, 향후 지역 단위 자전거 안전대책 수립에 몇 가지 함의를 제공할 수 있을 것으로 기대된다. 그러나 자전거사고 발생이 전체 대비 낮은 수준으로 10년간 함께 자료를 분석한 점과, 일부 결과가 기대치와 다르게 도출된 점은 본 연구의 한계점이자 향후 극복해야 할 점으로 판단된다. 아울러 향후에는 지역-지역 간 차이에 대한 접근과 자전거-보행자와의 관계 등이 추가로 연구되어야 할 것으로 판단된다.

알림: 본 논문은 대한국토·도시계획학회 2017 춘계산학학술대회(2017.04.29)에서 발표된 내용을 수정·보완하여 작성된 것입니다.

REFERENCES

- Cai Q., Abdel-Aty M., Lee J. (2017), Macro-level Vulnerable Road Users Crash Analysis: A Bayesian Joint Modeling Approach of Frequency and Proportion, *Accident Analysis and Prevention*, 107, 11-19.
- Cai Q., Lee J., Eluru N., Abdel-Aty M. (2016), Macro-level Pedestrian and Bicycle Crash Analysis: Incorporating Spatial Spillover Effects in Dual State Count Models, *Accident Analysis and Prevention*, 93, 14-22.
- Chen P. (2015), Built Environment Factors in Explaining the Automobile Involved Bicycle Crash Frequencies: A Spatial Statistic Approach, *Safety Science*, 79, 336-343.
- Kim E. C., Oh J. T., 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.
- Kim K. Y., Beak T. H., Lim J. K., Park B. H. (2015), Traffic Accident Density Models Reflecting the Characteristic of the Traffic Analysis Zone in Cheongju, *International Journal of Highway Engineering*, 17(6), 75-83.
- Korea Transport Institute (2012), *Bicycle Traffic Accident Reduction Seminar*, 1-28.
- Korea Transport Institute Bicycle Traffic Session, <https://www.koti.re.kr/slzs/bcyclMain.do>, 2017.06.03.
- Kwon S. D., Kim Y. M., Kim J. G., Ha T. J. (2015), Development of Bicycle Accident Prediction Model and Suggestion of Countermeasures on Bicycle Accidents, *Journal of Korean Society of Civil Engineers*, 35(5), 1135-1146.
- Oh J. T., Kim E. C., Kim D. H. (2007), A Study on the Bicycle Accident Injury Severity at Urban Intersections, *Journal of Korean Society of Civil Engineers*, 27(4D), 389-395.
- Park N. Y., Park B. H. (2017), Regional Traffic Accident Model Based on Urban Decline Index, *Journal of Korea Planning Association*, 52(4), 89-98.
- Shin H. J., Hong J. Y., Lee S. B. (2012), A Study on the Factors Affecting the Severity of Bicycle-Related Accidents, *Journal of Transport Research*, 19(1), 67-78.
- Siddiqui C., Abdel-Aty M., Choi K. J. (2012), Macroscopic Spatial Analysis of Pedestrian and Bicycle Crashes, *Accident Analysis and Prevention*, 45, 382-391.
- Yasmin S., Eluru N. (2016), Latent Segmentation Based Count Models: Analysis of Bicycle Safety in Montreal and Toronto, *Accident Analysis and Prevention*, 95, 157-171.