

## 개인형 이동장치와 자전거의 사고 심각도 모형 개발을 통한 사고 요인 비교·분석

한 다 정<sup>1</sup> · 이 준 형<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>도로교통공단 교통과학연구원 자율주행연구처 책임연구원

<sup>2\*</sup>한국건설기술연구원 도로교통연구본부 수석연구원

# Comparative Analysis of Accident Factors Through the Development of Accident Severity Models for Personal Mobilities and Bicycles

Dajoeng Han<sup>1</sup> · Junhyung Lee<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Manager Researcher, Department of Autonomous Driving Research Center, Korea Road Traffic Authority, Wonju-si 26466, Korea

<sup>2\*</sup>Senior Researcher, Department of Highway & Transportation Research, KOREA Institute of Civil Engineering and Building Technology, Goyang-si 10223, Korea

### [요 약]

본 연구에서는 도로교통법에서 ‘자전거 등’으로 통칭되는 개인형 이동장치와 자전거 각각의 사고 심각도 모형 개발을 통해 사고 심각도에 영향을 미치는 요인을 도출하고, 사고 심각도 특성을 비교분석 하였다. 2018년부터 2022년 서울특별시에서 발생한 개인형 이동장치와 자전거의 사고 통계를 분석한 결과, 개인형 이동장치는 차량과의 사고에서 사고 건수 및 중상 이상의 사고가 가장 높게 나타난 반면, 자전거는 보행자와의 사고건수 및 중상 이상의 사고가 높은 것으로 분석되었다. 두 수단별 사고 심각도는 사고발생 시간대, 사고발생 장소, 연령별 특성에서 차이가 관찰되었다. 개인형 이동장치는 도로교통법에서 자전거와 유사한 수단으로 분류하고, 동일하게 자전거도로에서 주행하도록 규정되어 있으나, 자전거에 비하여 제원이 작아 사고발생 특성이 상이하고, 동일한 도로를 이용하기에 안전상 문제가 발생할 가능성이 있는 것으로 보인다.

### [Abstract]

In this study, we analyze accident severity characteristics by deriving factors that affect accident severity through the development of accident severity models for personal mobilities (PMs) and bicycles. When analyzing the statistics on accidents involving PMs and bicycles in Seoul from 2018 to 2022, PM was associated with the highest number of accidents and serious injuries with vehicles, while bicycles were associated with the highest number of accidents and serious injuries with pedestrians. Different characteristics of accident severities between PM and bicycles were observed in terms of accident time, location, and age. PMs are classified as similar to bicycles in the Road Traffic Act; however, they have different characteristics of accident occurrence. Therefore, it seems that safety problems may arise when they use the same road.

**색인어** : 개인형 이동장치, 자전거, 사고 심각도, 순서형 프로빗모형, 교통안전

**Keyword** : Personal Mobility, Bicycle, Accident Severity, Ordered Probit Model, Traffic Safety

<http://dx.doi.org/10.9728/dcs.2023.24.12.3247>



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.

**Received** 23 November 2023; **Revised** 12 December 2023

**Accepted** 21 December 2023

**\*Corresponding Author, Junhyung Lee**

**Tel:** +82-31-910-0602

**E-mail:** jun@kict.re.kr

## I. 서론

### 1-1 연구의 배경 및 목적

개인형 이동장치(Personal Mobility, PM)는 휴대 및 이동의 편리성으로 인해 이용량이 급증하고 있는 신개념의 이동장치로 도로교통법 상 최고속도가 25km/h 미만이고 총 중량이 30kg 미만으로 산업통상자원부에서 정하는 안전기준을 준수하는 수단을 개인형 이동장치로 정의하고 있다. 개인형 이동장치는 도로교통법에 따라 자전거와 함께 ‘자전거 등’으로 구분되며, 자전거도로를 통행하도록 규정하고 있지만, 자전거와는 주행형태 및 제원의 차이가 커서 사고 발생의 위험성이 높으며, 관련 통행 규칙을 지키지 않고 도로, 보도 등을 주행하는 경우도 많아 사고 심각도 또한 높아지고 있는 실정이다. 이에 따라 본 연구에서는 ‘자전거 등’으로 구분되고 있는 개인형 이동장치와 자전거의 사고 유형 및 특징을 분석하고 각 수단별 사고 심각도에 영향을 미치는 요인을 분석하여 두 수단간의 사고의 차이를 비교·분석하고자 한다.

### 1-2 연구의 내용 및 방법

개인형 이동장치와 자전거 사고의 심각도를 비교·분석하기 위해 2018년부터 2022년까지 서울특별시를 대상으로 발생한 개인형 이동장치 및 자전거 사고 자료를 수집하였으며, 사고 유형별로 사고의 발생장소, 사고원인 등 영향을 미치는 요인이 상이함을 고려하여 사고 유형을 개인형 이동장치 및 자전거와 차량간의 사고, 개인형 이동장치 및 자전거와 보행자의 사고, 개인형 이동장치 및 자전거 단독사고로 구분하여 각각 사고 심각도 모형을 구축하여, 사고 심각도에 유의미하게 영향을 미치는 요인을 비교·분석하였다.

## II. 기존 선행 연구

### 2-1 자전거 관련 선행 연구

논문[1]은 자전거 사고와 물리적환경요인과의 관계를 분석하기 위해 2014년부터 2016년 까지 발생한 자전거 대 사람 충돌사고를 대상으로 공간적 분석단위를 50m×50m의 격자 형태로 나누고, 가로환경 요인, 한강공원시설 요인, 통행요인 등으로 구분하여 사고모형 분석을 하였다. 분석결과, 사고에 영향을 주는 요인으로는 가로환경 요인 중에서는 가로시설물 수, 속도제약시설, 횡단보도 수, 육갑문 면적, 자전거 대 여소 면적, 유동인구 수의 변수 요소가 사고에 유의미한 영향을 미치는 것으로 분석되었다.

논문[2]는 자전거 사고의 분석을 위해 도로교통공단 TAAS에서 제공하는 2015년부터 2017년 사이에 발생한 자전거 사고 데이터와 기상청 기상자료개방포털에서 제공하는 날짜 및 시간별 온도, 강수량, 습도, 풍속, 일조량 데이터를 활

용하여 사고 자료를 구축하고, 사고 심각도에 영향을 미치는 요인을 분석하였다. 사고의 심각도를 다척도로 구분하였으며, 순서형 예측 모형인 Ordered Probit과 Ordered Logit의 모형 분석 값을 비교하여 최적의 모형을 구축하였다. 분석결과 Ordered Logit 모형이 자전거심각도 모형으로는 Ordered Probit 모형보다는 최적인 모형으로 분석되었으며, 심각도에 유의미한 영향을 미치는 변수로는 피해자 및 가해자의 나이 변수, 상대 차량의 승용차 여부 변수, 보행자 보호 의무 위반 관련 법률 위반 변수, 신호위반에 의한 법률 위반 변수, 불법 유턴 법률 위반 변수 등이 자전거 사고 심각도에 양의 영향을 주는 것으로 분석되었다.

논문[3]은 자전거사고와 물리적 환경변수간의 관계를 분석하였다. 서울시를 대상으로 2017년부터 2019년 동안 발생한 자전거사고 4,653건의 데이터를 자전거대 자동차 사고와 자전거 대 보행자 사고로 구분하여 구축하고, 서울시를 500×500m 격자로 나눠 2,155개의 격자에 대한 물리적 환경변수를 구축하여, 음이항 회귀 모형을 활용하여 사고모형을 구축하였다. 분석 결과, 유동인구가 많은 토지이용특성을 보이는 지역에서 자전거와 보행자 사고가 높아지는 것으로 분석되었으며, 신호등이 있는 교차로 주변에서 자전거와 자동차간의 사고 발생비율이 높아지는 것으로 분석되었다. 또한 하천면적, 인구수 및 통행량과 사고는 양의 관계를 가지는 것으로 분석되었으며, 경사는 음의 관계를 나타내었다.

### 2-2 개인형 이동장치 관련 선행 연구

논문[4]는 개인형 이동장치와 사고 발생요인에 대한 영향을 분석하기 위해, 교통사고자료를 가해사고와 피해사고로 분류하여 사고 형태를 분석하였다. 개인형 이동장치 사고자료는 2017년부터 2019년 까지 발생한 1,603건에 대하여 동일년도에 발생한 자전거 사고와 비교하여 분석하였다. 분석결과, 개인형 이동장치의 이용률 증가율이 높은 서울지역에서 2019년 대비 사고발생 증가율이 높았으며, 도로평면선형 형태로는 직선부(95%)에서 사고 비율이 높았으며, 도로 유형별로는 가해사고는 단일로(55.2%), 피해사고는 교차로(55.2%)에서의 사고 비율이 높게 나타났다.

논문[5]는 개인형 이동장치의 운행환경인 근린환경 요인과 개인형 이동장치의 사고의 연관성을 파악하였다. 근린환경 요인 구축을 위해, 서울시를 대상으로 424개 행정동에 대한 인구밀도, 토지이용, 가로환경, 시설요인 등의 동별 기초 데이터를 수집하여 독립변수로 설정하였으며, 2017년부터 2019년 까지 서울에서 발생한 동별 PM 사고를 종속변수로 설정하여 모형 분석을 하였고 분석모형으로는 로지스틱 회귀분석 모형을 적용하였다. 분석 결과 인구밀집을 보여주는 인구밀도, 주차장개소, 주차장면수, 공간시설 면적, 도로면적 등이 사고에 양의 영향을 미치는 것으로 분석되었으며, 어린이보호구역은 PM 교통사고에 유의미한 영향을 미치지 않는 것으로 분석되었다.

## 2-3 사고 심각도 관련 선행 연구

논문[6]은 사업용 차량의 사고 심각도에 영향을 미치는 요인을 분석하기 위해, 운전자의 건강, 생활, 근로, 복지환경 등을 나타낼 수 있는 Wellness 자료를 활용하고 순서형 프로빗 모형을 적용하여 교통사고 심각도 영향요인을 분석하였다. 사업용 차량 운전자의 내면적 특성이 사고 심각도에 미치는 영향을 도출하기 위해, 운수종사자 관리시스템을 활용하여 Wellness 관련 56개 데이터 항목 중 사고 심각도와 인과관계가 낮은 데이터를 제외한 총 30개의 운수종사자 특성변수를 구축하여 모형을 개발하였다.

논문[7]은 교차로의 교통섬 설치 현황과 사고 심각도를 비교, 분석하기 위해 순서형 로지스틱 회귀모형을 활용하여 심각도 모형을 구축하였다. 경기도 성남시 내 교통섬이 설치된 교차로 중, 교통사고가 많이 발생한 10개의 교차로를 선정하여 해당 교차로의 설계요인 및 환경요인을 분석하고, 사고 요인을 조사하여, 29개의 데이터를 구축해 사고 심각도에 영향을 미치는 요인을 분석하였다.

논문[8]은 인천광역시를 중심으로 교차로의 삼각교통섬이 사고 심각도에 미치는 영향을 분석하기 위해 순서형 프로빗 모형을 활용한 심각도 모형을 개발하였다. 사고 심각도에 영향을 미치는 독립변수로는 환경적인 요인인 날씨, 시간, 계절의 데이터를 구축하고, 교차로구축현황 요인으로는 차로수, 설계속도, 횡단보도 개소수, 3지교차로 또는 4지교차로 등의 교차 형태 등을 고려한 데이터를 구축하여 사고 심각도에 유의미한 영향을 미치는 요인을 분석하여 모형을 개발하였다.

## 2-4 선행연구의 시사점

기존 개인형 이동장치 및 자전거 관련 연구를 살펴보면 각 수단별로 사고에 영향을 미치는 요인 도출을 위해, 도로환경적인 요인, 사고요인 등의 데이터를 구축하여 사고모형을 개발하는 연구가 다수 진행되었다. 사고에 영향을 미치는 물리적인 환경 요인을 분석하기 위해, 가로시설물 수, 속도제약시설 유·무, 횡단보도 수 등의 가로환경 요인 데이터를 활용하였으며, 공간적 요인이 사고에 미치는 영향을 도출하기 위해 500×500m 격자 형태로 공간적 분석 범위를 분할하고, 해당 분석 범위내 요인을 도출하여 사고에 유의미한 영향을 미치는 요인을 도출하였다.

본 연구에서는 도로교통법 상 '자전거 등'으로 분류되어 자전거 도로를 함께 이용하도록 규정되어 있는 자전거와 개인형 이동수단 간의 사고 특성을 비교·분석하기 위해 각 수단별 사고 심각도 모형을 개발하였다. 사고 유형 즉, 차량과의 사고, 보행자와의 사고, 단독사고 별로 사고 발생 장소와 사고 원인 등이 상이한 점을 고려하여, 사고 유형을 구분하여 수단별로 심각도 모형을 구축하고 사고 심각도에 유의미한 영향을 미치는 요인을 비교·분석하여 두수단간의 차이를 분석하였다. 적용한 모형으로는 사고 심각도 모형에 주로 사용되는

순서형 프로빗 모형을 적용하여 사고 심각도 모형을 구축하였다.

## III. 개인형 이동장치 및 자전거 교통사고 데이터

### 3-1 교통사고 데이터 수집

본 연구에서는 사고데이터의 시간적 범위는 2018년부터 2022년까지로 설정하였으며, 공간적 범위로는 자전거와 개인형 이동장치의 이용률이 가장 높은 서울특별시를 대상으로 설정하였다. 사고 데이터 자료는 도로교통공단 교통사고분석시스템에서 제공하는 2018년부터 2022년까지의 개인형 이동장치 사고 데이터(2,123건) 및 자전거 사고 데이터(8,492건)를 수집하였다.

도로교통공단 교통사고분석시스템에서는 각 수단별로 사고유형(차량 대 개인형 이동장치/자전거 사고, 개인형 이동장치/자전거 대 보행자 사건, 개인형 이동장치/자전거 단독사고)을 구분하여 사고 자료를 제공하고 있으며, 사고유형별로 사고 발생장소, 사고 원인 등의 차이가 있어, 각 수단별 사고 유형을 구분하여 사고 모형을 구축하였다.

### 3-2 교통사고 특성 분석

표 1은 2018년부터 2022년까지 발생한 개인형 이동장치 사고(2,123건)에 대한 사고 심각도별 특성을 나타낸다. 개인형 이동장치 사고 중 67%가 개인형 이동장치와 차량간의 사고였으며, 가을철(9~11월)의 사고 발생 빈도수가 많고, 중상 이상의 사고 발생 비율은 봄철(3~5월)에 높게 나타났다. 사고 발생 시간대의 경우 오전 0시부터 6시에 중상 이상의 사고가 많이 발생하는 것으로 나타났으며, 사고 장소로는 단일로에서 심각도가 높은 사고가 많이 발생하는 것으로 나타났다. 개인형 이동장치의 이용자 대부분이 남성이라는 통계를 반영하여 남성의 사고가 전체 73%를 차지하였으며, 사고 심각도 또한 높게 나타났다. 60세 이상의 고령층은 사고 발생 시 심각도가 높아지는 것으로 나타났다.

표 2는 2018년부터 2022년까지 발생한 자전거 사고 8,492건에 대한 사고 심각도별 특성을 나타낸다. 자전거에 대한 사고 특성 분석 결과, 자전거 대 차량 사고가 전체의 72%로, 높은 비율을 차지하였으나, 자전거 대 사람 사고 발생 시 사고 심각도가 높아지는 것으로 나타났다. 시간대별로는 오전 6시부터 오후 12시에 중상 이상의 심각도가 높은 사고가 많이 발생하는 것으로 나타났으며, 사고 장소로는 단일로에서 발생한 사고가 50%로 가장 높았으나, 교차로 또는 단일로 외의 기타 지역에서 사고 발생 시, 사고심각도가 높아지는 것으로 나타났다. 성별에서는 남성의 사고 비율이 여성대비 1.5배 높았으며, 연령별로는 60대 이상에서 중상 이상의 사고 발생 비율이 높아지는 것으로 나타났다.

표 1. 개인형 이동장치 사고 심각도에 따른 사고 특성

Table 1. Statistic distribution of personal mobility device accidents

Classification	Severity level					
	Possible injury	Slight injury	Serious injury	Fatal injury	Total	
Accident type	PM to Car	202 (14.2%)	808 (56.8%)	406 (28.6%)	6 (0.4%)	1,422 (100.0%)
	PM to pedestrian	57 (9.2%)	418 (67.7%)	141 (22.9%)	1 (0.2%)	617 (100.0%)
	PM only	32 (38.1%)	27 (32.1%)	21 (25.0%)	4 (4.8%)	84 (100.0%)
Season	Spring (Mar~May)	69 (15.0%)	260 (56.4%)	130 (28.2%)	2 (0.4%)	461 (100.0%)
	Summer (Jun~Aug)	90 (13.4%)	400 (59.5%)	178 (26.5%)	4 (0.6%)	672 (100.0%)
	Fall (Sep~Nov)	86 (12.3%)	418 (59.9%)	190 (27.2%)	4 (0.6%)	698 (100.0%)
	Winter (Dec~Feb)	46 (15.8%)	175 (59.9%)	70 (24.0%)	1 (0.3%)	292 (100.0%)
	Total	291	1253	568	11	2,123

표 2. 자전거 사고 심각도에 따른 사고 특성

Table 2. Statistic distribution of bicycle accidents

Classification	Severity level					
	Possible injury	Slight injury	Serious injury	Fatal injury	Total	
Accident type	Bicycle to car	1585 (25.2%)	3239 (51.5%)	1414 (22.5%)	51 (0.8%)	6,289 (100.0%)
	Bicycle to pedestrian	218 (10.9%)	1,161 (58.1%)	611 (30.6%)	8 (0.4%)	1,998 (100.0%)
	Bicycle only	65 (31.7%)	79 (38.5%)	56 (27.3%)	5 (2.4%)	205 (100.0%)
Season	Spring (Mar~May)	509 (21.6%)	1,247 (52.9%)	585 (24.8%)	15 (0.6%)	2,356 (100.0%)
	Summer (Jun~Aug)	584 (21.7%)	1,416 (52.6%)	666 (24.8%)	24 (0.9%)	2,690 (100.0%)
	Fall (Sep~Nov)	539 (22.5%)	1,249 (52.1%)	598 (24.9%)	12 (0.5%)	2,398 (100.0%)
	Winter (Dec~Feb)	236 (22.5%)	567 (54.1%)	232 (22.1%)	13 (1.2%)	1,048 (100.0%)
	Total	1,868	4,479	2,081	64	8,492 (100.0%)

IV. 사고 심각도 모형 개발

4-1 분석모형

본 연구에서는 개인형 이동장치 및 자전거의 사고 심각도를 1. 부상신고사고, 2. 경상사고, 3. 중상사고, 4. 사망사고로 분류하였으며, 종속변수가 이산형 형태가 아닌 순서를 지니는 사고등급으로 구분하였으므로, 모형 구축을 위해 순서형 확률 모형 중에 하나인 순서형 프로빗 모형(Ordered Probit Model, OPM)모형을 적용하였다.

순서형 프로빗 모형은 오차항의 확률분포 형태가 정규분포를 따른다고 가정하고 있으며, 순서형 프로빗 모형은 식은 수식 1과 같다.

$$\begin{aligned}
 y_j^* &= x\beta + \epsilon & (1) \\
 y &= 0, \text{ if } y^* \leq \tau_0 \\
 y &= 1, \text{ if } \tau_0 \leq y^* \leq \tau_1 \\
 y &= 2, \text{ if } \tau_1 \leq y^* \leq \tau_2 \\
 &\vdots \\
 y &= n, \text{ if } \tau_{n-1} \leq y^* \leq \tau_n
 \end{aligned}$$

본 연구에서는 부상신고사고, 경상사고, 중상사고 및 사망사고에 대해 각각 y를 0, 1, 2, 3으로 부여하여 모형을 구축하였으며, 순서형 프로빗 모형의 적합도의 척도는 우도비(Likelihood ratio) p2 이용하였으며, 우도비 산출 식은 수식 2와 같으며, 우도비는 0에서 1 사이의 값을 가지며 1에 가까울수록 모형의 설명력이 더 높다는 것을 의미한다.

$$\rho^2 = 1 - \frac{L_{ur}}{L_r} \quad (2)$$

4-2 변수설정

개인형 이동장치와 자전거의 사고 심각도 모형 분석을 위해 표 3과 같이 사고 심각도를 4단계로 구분하였다. 사고 심각도에 영향을 미치는 요인을 분석하기 위해 사고발생 년, 월, 요일, 시간으로 구분하고, 행정구를 기준으로 사고 발생지역을 구분하였다. 또한 사고유형별로 사고 발생 장소와 범규위반형태를 구분하였으며 가해자(개인형 이동장치 또는 자전거)와 피해자(상대차량 또는 보행자)로 구분하여 연령, 성별 등을 변수로 구축하였다.

V. 모형 분석 결과

5-1 개인형 이동장치 사고 심각도 분석 모형

개인형 이동장치와 자동차간의 사고 모형 분석 결과, 사고

심각도 예측모형 구축을 통해 채택된 변수는 표 4와 같이 총 19개이다. 개인형 이동장치의 이용이 용이한 3월, 7월, 9월에 사고 발생 시 중상 이상의 사고 발생 확률이 높아졌으며, 새벽 시간(2시)과 저녁시간(21시, 23시)에 사고 발생 시 사고 심각도가 높아졌다. 차량과 개인형 이동장치간 정면충돌 시 심각도가 높아졌으며, 과속 또는 신호위반과 같은 범규위반에 따른 사고발생시 사고 심각도가 높아졌다.

개인형 이동장치와 보행자 간의 사고 모형 분석 결과, 사고 심각도 예측모형 구축을 통해 채택된 변수는 표 5와 같이 총 8개이다. 3시와 10시에 보행자와 사고 발생 시 심각도가 높아졌으며, 법률위반 형태로는 신호위반, 중앙선침범 등의 위험행위 발생 시 사고 심각도가 높아졌다. 또한, 개인형 이동장치의 운전자가 남성인 경우 중상 이상의 사고 발생 확률이 높아지는 것으로 분석되었다.

개인형 이동장치 단독사고 모형 분석 결과, 사고 심각도 예측모형 구축을 통해 채택된 변수는 표 6과 같이 총 8개이다. 8월 달에 사고 발생 시, 경상, 중상, 사망 사고의 발생 비율이 높아졌으며, 특히 중상사고의 경우, 해당 월에 사고 발생 시 중상사고 발생률이 9% 높아지는 것으로 나타났다. 사고발생 행정구로는 구로구, 마포구, 송파구에서 사고발생시 심각도

표 3. 사고 심각도 모형의 변수설정

Table 3. Variables of accident severity model

Classification	Variables							
Severity level	Possible injury		Slight injury		Serious injury		Fatal injury	
Year	2018		2019		2020		2021	
Month of year	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May.	Jun.		
	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.		
Time	1AM	2AM	3AM	4AM	5AM	6AM		
	7AM	8AM	9AM	10AM	11AM	12PM		
	13PM	14PM	15PM	16PM	17PM	18PM		
	19PM	20PM	21PM	22PM	23PM	24AM		
Day of week	Mon.	Tue.	Wed.	Thu.	Fri.	Sat.	Sun.	
Region	Gangnam-gu		Gangdong-gu		Gangbuk-gu		Gangseo-gu	
	Gwangjin-gu		Guro-gu		Geumcheon-gu		Nowon-gu	
	Dongdaemun-gu		Dongjak-gu		Mapo-gu		Seodaemun-gu	
	Seongdong-gu		Seongbuk-gu		Songpo-gu		Yangcheon-gu	
	Yongsan-gu		Eunpyeong-gu		Jongno-gu		Jung-gu	
Car to car	Head-on collision		Rear-end collision		Side collision		Backing-in collision	
Car to pedestrian	Walking on the side of the road		Walking on sidewalk		Walking on road		Crossing street	
Car only	Structure collision		Rollover		Parking		etc	
Violation of law	Speeding		Failure of safe operation		Violation of pedestrian protection duty		Violation of the signal	
	Violation of the center line		Obstruction of straight and right turn		Illegal U-turn		Crossing method violation in intersection	
Weather	Sunny		Rainy		Cloudy		Snowy	
Accident place	Near the intersection		In the intersection		Crosswalk on the intersection		General section of road	
	Bridge		Tunnel, Underpass		Parking lot		Unclassified place	
Car type	Pedestrian	Passenger car	Van	Truck	Constructin equipment vehicle			
	PM		Bicycle		Two-wheeled Vehicle		Motor Vehicle	
Victim gender	Male			Female			Unclassified	
Victim age	Under 10s	10s	20s	30s	40s	50s	Over 60s	Unclassified
Perpetrator gender	Male			Female			Unclassified	
Perpetrator age	Under 10s	10s	20s	30s	40s	50s	Over 60s	Unclassified

표 4. 개인형 이동장치 사고 심각도 모형 분석 결과(개인형 이동장치 대 자동차 사고)

Table 4. Result of ordered probit models for injury severity in PM accidents (PM to Car)

Variables	Coefficient	Z	Severity level			
			Possible injury	Slight injury	Serious injury	Fatal injury
Constant	0.909383	15.15	-	-	-	-
Mar.	0.281274	1.994	-0.0522	-0.0492	0.0982	0.0031
Jul.	0.172455	1.809	-0.0344	-0.0261	0.0589	0.0016
Sept.	0.203537	2.023	-0.0399	-0.032	0.0699	0.002
Nov.	0.191886	1.89	-0.0378	-0.0298	0.0658	0.0018
2AM	0.403458	2.128	-0.0692	-0.0797	0.1434	0.0054
14PM	0.307063	2.031	-0.056	-0.0553	0.1077	0.0036
21PM	0.377565	2.689	-0.0665	-0.0718	0.1335	0.0048
23PM	0.346439	2.461	-0.062	-0.0643	0.1221	0.0042
Tue.	0.151924	1.863	-0.0308	-0.0221	0.0515	0.0014
Seodaemun-gu	-0.67826	-2.745	0.1976	-0.0178	-0.1775	-0.0023
Head-on collision	0.260885	2.019	-0.0491	-0.0445	0.0908	0.0028
Speeding	2.837609	3.197	-0.1339	-0.5718	0.1983	0.5074
Violation of the signal	0.31417	3.638	-0.0595	-0.0529	0.109	0.0034
Crossing method violation in intersection	0.281129	1.866	-0.0521	-0.0493	0.0982	0.0031
Near the intersection	-0.16432	-1.734	0.0378	0.0158	-0.0525	-0.0011
In the intersection	-0.16361	-2.361	0.0364	0.0181	-0.0533	-0.0012
Parking lot	1.055288	1.759	-0.1185	-0.2834	0.3648	0.037
Victim age 50s	0.122723	1.666	-0.0254	-0.017	0.0413	0.001
Perpetrator age 60s	0.327225	2.475	-0.0594	-0.0594	0.1149	0.0039

Number of Observations : 1,422  
Chi Squared : 89.89507  
Likelihood Ratio Index  $\rho^2$  : 0.0322747

표 5. 개인형 이동장치 사고 심각도 모형 분석 결과(개인형 이동장치 대 보행자 사고)

Table 5. Result of ordered probit models for injury severity in PM accidents(PM to Pedestrian)

Variables	Coefficient	Z	Severity level			
			Possible injury	Slight injury	Serious injury	Fatal injury
Constant	0.51756	1.681	-	-	-	-
3AM	0.965838	1.763	-0.0749	-0.2815	0.3445	0.0119
10AM	0.480478	1.826	-0.0535	-0.1106	0.1617	0.0025
Yongsan-gu	1.083482	2.825	-0.0789	-0.3221	0.3851	0.0159
Violation of the signal	0.468896	2.83	-0.0549	-0.1025	0.1552	0.0022
Violation of the center line	0.943676	2.045	-0.0747	-0.2727	0.3363	0.0111
Victim age 40s	0.315427	2.154	-0.041	-0.0606	0.1004	0.0011
Victim age 50s	0.47089	3.146	-0.0561	-0.1009	0.1549	0.0021
Perpetrator gender male	0.686049	2.192	-0.1242	-0.0598	0.1827	0.0014

Number of Observations : 617  
Chi Squared : 44.34083  
Likelihood Ratio Index  $\rho^2$  : 0.0432101

표 6. 개인형 이동장치 사고 심각도 모형 분석 결과(개인형 이동장치 단독사고)

Table 6. Result of ordered probit models for injury severity in PM accidents(PM only)

Variables	Coefficient	Z	Severity Level			
			Possible injury	Slight injury	Serious injury	Fatal injury
Constant	0.071966	0.172	-	-	-	-
Aug.	0.326005	1.875	-0.1141	0.0016	0.0997	0.0129
2AM	-1.62702	-1.975	0.5584	-0.2847	-0.2592	-0.0144
Guro-gu	0.790566	2.336	-0.2662	-0.0086	0.2378	0.0369
Mapo-gu	2.17849	1.852	-0.3487	-0.3327	0.2362	0.4452
Nowon-gu	0.683385	1.473	-0.2134	-0.0386	0.2112	0.0407
Sunny	0.928265	2.47	-0.3557	0.1178	0.2212	0.0168
Perpetrator age 20s	-1.32893	-3.61	0.4761	-0.0882	-0.3454	-0.0426
Perpetrator age 30s	-1.56908	-4.166	0.564	-0.161	-0.364	-0.0389

Number of Observations : 84  
Chi Squared : 35.73864  
Likelihood Ratio Index  $\rho^2$  : 0.1737968



높아지는 것으로 나타났으며, 특히 용산구의 경우, 사망사고 발생확률 타 행정구 대비 높은 것으로 나타났다. 연령별로는 개인형 이동장치 운전자의 연령이 20대 또는 30대일 때 부상 신고 정도의 사고 심각도가 낮은 사고 발생 확률이 높은 것으로 나타났다.

**5-2 자전거 사고 심각도 분석 모형**

자전거와 자동차간의 사고 모형 분석 결과, 사고 심각도 예측모형 구축을 통해 채택된 변수는 총 16개이다. 8월에 사고 발생 시 심각도 높은 사고 발생 확률이 높아졌으며, 시간대별로는 4시, 5시, 7시 등 새벽 및 아침 시간대에 사고 발생 시

중상 이상의 사고 확률이 증가하는 것으로 나타났다. 특히 새벽 4시, 5시에 사고가 발생할 경우, 중상사고의 발생확률은 9%로 다른 요인대비 높은 것으로 나타났다. 장소별로는 구로구, 성동구, 용산구, 종로구가 심각도 높은 사고 발생확률이 높게 나타났으며, 특히, 용산구에서는 자전거와 자동차간 사고 발생 시 중상 이상의 사고 발생확률이 11%로 매우 높게 나타났다. 상세 분석 결과는 표 7과 같다.

자전거와 보행자 간의 사고 모형 분석 결과, 사고 심각도 예측모형 구축을 통해 채택된 변수는 표 8과 같이 총 11개이다. 사고 발생위치로는 횡단 중 사고발생시 중상사고 6.57%, 사망사고 0.20%의 발생확률을 나타냈고, 신호위반에 의한 사고 발생시, 중상사고 9.57%, 사망사고 0.35%의 높은 발생

**표 7. 자전거 사고 심각도 모형 분석 결과(자전거 대 자동차 사고)**

**Table 7. Result of ordered probit models for injury severity in bicycle accidents(Bicycle to Car)**

Variables	Coefficient	Z	Severity Level			
			Possible injury	Slight injury	Serious injury	Fatal injury
Constant	0.346225	12.395	-	-	-	-
Aug.	0.112982	2.31	-0.0342	-0.0007	0.0326	0.0023
4AM	0.322834	2.08	-0.0892	-0.018	0.0983	0.0088
5AM	0.260678	2.403	-0.074	-0.0108	0.0783	0.0066
7AM	0.10642	1.526	-0.0321	-0.0008	0.0307	0.0022
Guro-gu	0.253245	3.461	-0.0724	-0.0095	0.0757	0.0062
Seodaemun-gu	0.21005	3.093	-0.0611	-0.0059	0.0622	0.0049
Yongsan-gu	0.480985	4.275	-0.1243	-0.0414	0.1498	0.0159
Jongno-gu	-0.47757	-3.448	0.1698	-0.0536	-0.1111	-0.0051
Head-on collision	0.128647	2.312	-0.0386	-0.0013	0.0373	0.0027
Violation of the center line	0.195514	3.729	-0.0575	-0.0043	0.0575	0.0044
In the intersection	0.062219	1.856	-0.0193	0.0005	0.0176	0.0012
Bicycle	0.541293	15.207	-0.153	-0.0223	0.1611	0.0143
Motor vehicle	0.23109	4.354	-0.0672	-0.0067	0.0684	0.0054
Victim age 10s	-0.15162	-1.962	0.0497	-0.0069	-0.0404	-0.0023
Perpetrator age 50s	0.175165	4.554	-0.0526	-0.0019	0.0507	0.0037
Perpetrator age 60s	0.249548	7.766	-0.0755	-0.0014	0.0717	0.0052

Number of Observations : 6,289  
Chi Squared : 410.1882  
Likelihood Ration Index  $\rho^2$  : 0.0306593

**표 8. 자전거 사고 심각도 모형 분석 결과(자전거 대 자동차 사고)**

**Table 8. Result of ordered probit models for injury severity in bicycle accidents(Bicycle to Pedestrian)**

Variables	Coefficient	Z	Severity level			
			Possible injury	Slight injury	Serious injury	Fatal injury
Constant	1.102709	23.774	-	-	-	-
May.	-0.16122	-2.032	0.0313	0.0234	-0.0534	-0.0013
Jun.	-0.15041	-1.938	0.029	0.0222	-0.05	-0.0012
4AM	1.180143	2.377	-0.0967	-0.347	0.3881	0.0555
6AM	0.552388	2.334	-0.0693	-0.1424	0.2007	0.011
7AM	0.412048	2.629	-0.0573	-0.0983	0.1489	0.0066
17PM	0.200476	2.181	-0.0324	-0.0406	0.0707	0.0023
23PM	0.471092	2.389	-0.0626	-0.1165	0.1709	0.0083
Crossing street	0.188385	2.861	-0.0317	-0.036	0.0657	0.002
Violation of the signal	0.269164	2.564	-0.0417	-0.0575	0.0957	0.0035
Accident place is unclassified place	0.107122	1.715	-0.0185	-0.0196	0.037	0.0011
Perpetrator age 10s	0.351725	5.336	-0.055	-0.074	0.1246	0.0045

Number of Observations : 1,998  
Chi Squared : 83.04143  
Likelihood Ration Index  $\rho^2$  : 0.022072

표 9. 자전거 사고 심각도 모형 분석 결과(자전거 단독사고)

Table 9. Result of ordered probit models for injury severity in bicycle accidents(Bicycle only)

Variables	Coefficient	Z	Severity level			
			Possible injury	Slight injury	Serious injury	Fatal injury
Constant	0.045855	0.38	-	-	-	-
Jun.	0.392904	1.688	-0.1214	-0.0197	0.1274	0.0136
5AM	1.160756	2.481	-0.2516	-0.1864	0.3383	0.0996
Mon.	0.442312	1.993	-0.1350	-0.0247	0.1437	0.0160
Gangseo-gu	1.520621	2.219	-0.2732	-0.2749	0.3634	0.1846
Gwanak-gu	2.032227	3.362	-0.2933	-0.3620	0.3086	0.3468
Seongbuk-gu	1.18228	2.701	-0.2552	-0.1901	0.3426	0.1026
In the intersection	0.461294	1.682	-0.1375	-0.0310	0.1507	0.0179
Perpetrator age 60s	0.652943	3.935	-0.2067	-0.0208	0.2061	0.0214
Number of Observations : 205						
Chi Squared : 49.87898						
Likelihood Ration Index $p^2$ : 0.1033853						

확률을 나타냈다. 자전거 운전자의 연령대는 10대일 때 심각도 높은 사고 발생 확률이 높아지는 것으로 나타났다.

자전거 단독사고 모형 분석 결과, 사고 심각도 예측모형 구축을 통해 채택된 변수는 표 9와 같이 총 8개이다. 사고 발생 행정구로는 강서구, 관악구, 성북구에서 사고 발생 시 사고 심각도가 높아지는 것으로 나타났으며, 교차로 안에서 사고 발생 시 중상 사고 발생 확률은 15.07%, 사망사고 발생확률은 1.79%로 높게 나타났다. 또한 자전거 운전자의 연령대가 60대일 경우, 사고 심각도가 높은 것으로 분석되었다.

5-2 개인형 이동장치 및 자전거 사고 심각도 모형 분석 결과

개인형 이동장치와 차량간 사고 심각도 모형과 자전거와 차량간 사고 심각도 모형 분석 결과 두 수단 모두 정면충돌 사고 발생 시 사고 심각도가 높아지는 것으로 분석되었으나, 중상사고 발생 비율은 개인형 이동장치가 9.08%, 자전거가 3.73%로 개인형 이동장치의 사고 위험도가 좀 더 높은 것으로 나타났다. 시간대로는 개인형 이동장치는 23시부터 2시에 사고 발생 시 심각도가 높아졌으며 자전거의 경우, 4시, 5시, 7시 등 이른 새벽에 사고 발생 시 심각도가 높은 사고 발생확률이 높아지는 것으로 분석되었다. 두 수단 모두 교차로 안에서 사고 발생 시 심각도가 높아졌으며, 개인형 이동장치 및 자전거의 운전자의 연령대가 60대 이상인 고령인 경우, 사고 심각도가 높아지는 것으로 분석되었다. 법규 위반 형태로는 개인형 이동장치의 경우, 과속, 신호위반 발생 시 사고 심각도가 높아졌으며, 자전거의 경우, 중앙선침범 발생 시 사고 심각도가 높아지는 것으로 나타났다.

개인형 이동장치 및 자전거와 보행자간 사고 심각도 모형 분석 결과, 두 수단 모두, 신호위반 발생 시 사고 심각도가 높아지는 것으로 분석되었다. 사고 위치로는 자전거의 경우, 횡단 중에 사고 발생 시 심각도에 양의 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 중상사고 발생 비율은 6.57%, 사망사고 발생 비율은 0.2%로 높게 나타났다. 개인형 이동장치의 경우, 보행자의 연령이 40대, 50대 일 경우, 심각도 높은 사고 발생 비

율이 높아지는 것으로 나타났으며, 자전거의 경우, 자전거 운전자의 연령대가 10대인 경우, 사고 심각도가 높아지는 것으로 나타났다.

개인형 이동장치 및 자전거의 단독사고 모형 분석 결과, 개인형 이동장치는 새벽 2시에 사고 발생 시 심각도가 높아졌으며, 자전거는 새벽 5시에 사고 발생 시 심각도가 높게 나타났다. 사고 심각도가 높은 행정구를 비교해 보면, 개인형 이동장치는 구로구, 마포구, 노원구로 분석되었고, 자전거는 강서구, 관악구, 성북구로 분석되어 두 수단간의 차이를 보였다. 운전자의 연령대로는 개인형 이동장치의 경우 운전자의 연령이 20대 또는 30대일 때 사고 심각도가 높았으며, 자전거의 경우 60대 이상일 때 사고 심각도가 높아지는 것으로 분석되었다.

VI. 결 론

개인형 이동장치는 전기를 동력으로 하고 최고 속도 25km/h 미만, 총 중량이 30kg 미만인 1인용 이동 수단이다. 개인형 이동장치의 종류로는 전동 스케이트보드, 호버보드, 원휠, 세그웨이 등 다양한 종류가 있으나 세그웨이와 같이 핸들이 부착된 형태를 제외하고는 장치의 높이가 낮고, 운전자의 신체 전체가 노출되어 있어, 사고 발생 시 심각도 높은 사고로 이어질 가능성이 높다. 개인형 이동장치는 ‘도로교통법’에 따라 ‘자전거 등’으로 분류되어 자전거와 함께 자전거도로를 주행하도록 규정하고 있으나 자전거와 개인형 이동장치간 체원 차이가 커서 사고 발생의 위험성이 있으며, 자전거도로의 시설 및 설치 기준은 자전거 체원을 기준으로 구축되어 개인형 이동장치가 주행하기에는 안전상 문제점이 발생할 가능성이 있다. 이에 따라 본 연구에서는 자전거도로를 함께 주행하도록 규정되고 있는 개인형 이동장치와 자전거의 사고 심각도에 영향을 미치는 요인을 분석하여 두 수단간의 차이를 비교·분석하였다.

분석 데이터의 공간적 범위는 자전거 및 개인형 이동수단의 이용률이 높은 서울특별시를 대상으로 하였으며, 시간적



범위로는 2018년부터 2022년 발생한 개인형 이동장치 및 자전거 사고 자료를 수집하였다.

개인형 이동장치와 자전거의 사고 통계를 분석한 결과, 개인형 이동장치는 차량과의 사고에서 사고 건수 및 중상 이상의 심각도 높은 사고가 모두 가장 높게 나타난 반면, 자전거는 보행자와의 사고건수 및 중상 이상의 심각도가 높은 것으로 분석되었다. 시간대 별로는 개인형 이동장치는 자전거 대비, 0시부터 5시 사고 발생 비율이 높으며 해당 시간대에 중상사고 비율이 33%로 심각도 또한 높은 것으로 나타났다. 사고 발생 장소로는 자전거가 개인형 이동장치 대비 단일로에서 사고 발생 비율이 높은 것으로 나타났으며, 연령별로는 60세 이상 사고 발생 비율은 자전거가 더 높게 나타났으나, 사고 심각도의 경우, 개인형 이동수단의 경우 60세 이상 사고 중 39% 이상이 중상 이상의 사고로 심각도 높은 사고 비율이 높은 것으로 나타났다.

각 수단별 사고 심각도에 영향을 미치는 요인 분석을 위해 사고 유형을 구분하여 분석한 결과, 차량과의 사고의 경우 개인형 이동장치는 21시, 23시, 2시의 사고 심각도가 높았고, 자전거는 4시, 5시, 7시에 사고 심각도가 높아 이용 패턴의 차이에 따른 심각도 차이를 나타냈다. 두 수단 모두 차량과의 정면충돌 시 사고 심각도가 높은 것으로 나타났으며, 교차로 안 또는 인근에서 사고 발생 시 심각도가 높아지는 것으로 분석되었다. 운전자의 연령으로는 두 수단 모두 60세 이상일 경우 사고 심각도가 높아지는 것으로 분석되었다. 보행자와의 사고의 경우, 신호위반에 의한 사고 발생 시 두 수단 모두 사고 심각도가 높아졌으며, 개인형 이동장치는 보행자가 40대 또는 50대일 때 사고 심각도에 유의미한 영향을 미치는 것으로 분석되었고, 자전거의 경우, 운전자의 연령이 10대일 때 유의미한 영향을 나타내 두 수단간의 차이를 나타냈다. 단독사고의 경우, 개인형 이동수단은 2시에 사고 발생 시 심각도가 높았으며, 자전거는 5시에 심각도 높은 사고가 많이 발생하는 것으로 나타났다. 운전자의 연령으로는 개인형 이동장치의 경우 20~30대가 이용할 경우, 사고 심각도가 높아졌으며, 자전거의 경우 60대가 이용할 경우 사고 심각도가 높아져 두 수단간 단독 사고에서 이용 연령의 심각도 차이를 보여주었다.

본 연구에서는 개인형 이동장치와 자전거의 사고 심각도에 영향을 미치는 요인을 비교하기 위해 두 수단에 대한 심각도 모형을 구축하여 유의미하게 영향을 미치는 요인을 비교·분석하였으며, 본 연구 결과를 통해, 개인형 이동장치와 자전거 관련 정책 수립 및 안전대책 수립 시 기초 자료로 활용 될 수 있을 것으로 판단된다. 향후 후속연구 시에는 물리적인 환경 요인에 대한 추가적인 고려가 가능하도록, 사고 발생 지역을 단순 행정구로 구분하는 것 뿐만 아니라, 세분화된 기준으로 구분하여, 사고 발생 지역의 특징이 사고에 미치는 영향에 대한 추가 분석이 필요할 것으로 판단되며, 개인형 이동수단과 자전거 간의 사고 모형 분석을 통해, 두 수단이 자전거도로를 같이 주행함에 있어서 교통안전상 문제점이 없는지 분석이 필요할 것으로 판단된다.

## 감사의 글

본 연구는 과학기술정보통신부 한국건설기술연구원 연구운영비지원사업(주요사업)으로 수행되었습니다. (과제번호 20230152, 미래교통 스마트 인프라 핵심기술 개발)

## 참고문헌

- [1] H. H. Jo, A Study on the Spatial Characteristics of Bicycle to Person Collision Accidents: Focused on Bicycle Road of Han River Park in Seoul, Master's Thesis, Hanyang University, Seoul, August 2019.
- [2] H. Kim, Bayesian Variable Selection and Ordered Model fitting of Bicycle Accident, Master's Thesis, Ewha Womans University, Seoul, February 2022.
- [3] S.-G. Hwang and S. Lee, "Analysis of Physical Environment Factors of Bicycle Accidents in Seoul, Korea," *Journal of Korea Planning Association*, Vol. 56, No. 5, pp. 83-96, October 2021. <https://doi.org/10.17208/jkpa.2021.10.56.5.83>
- [4] S. Han, C. Lee, I. Yun, Y. Yoon, and J. Na, "Analysis of PM (Personal Mobility) Traffic Accident Characteristics and Cause of Death," *The Journal of the Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, Vol. 20, No. 1, pp. 100-118, February 2021. <https://doi.org/10.12815/kits.2021.20.1.100>
- [5] H. Kim, H. Lee, C. Lee, and J. So, "Analysis of Neighbourhood Environmental Factors Affecting Personal Mobility Accidents," *Journal of Korean Society of Transportation*, Vol. 40, No. 2, pp. 205-217, April 2022. <https://doi.org/10.7470/jkst.2022.40.2.205>
- [6] J. Park, E. Cho, Y. Kim, and C. Oh, "Analysis of Factors Affecting Commercial Vehicle Driver Crash Severity Using Wellness Data: Focused on the Comparison of Elderly Drivers and Non-Elderly Drivers," *Journal of Korean Society of Transportation*, Vol. 40, No. 4, pp. 431-448, August 2022. <https://doi.org/10.7470/jkst.2022.40.4.431>
- [7] J. Kim, J.-O. Lee, H. Koh, and K. J. Kum, "A Study on the Severity Factors of Traffic Accidents at Intersections with Traffic Island: A Case Study of Seongnam City," *Journal of Korean Society of Transportation*, Vol. 41, No. 3, pp. 340-352, June 2023. <https://doi.org/10.7470/jkst.2023.41.3.340>
- [8] H. Gi and E. Kim, "A Study on the Influence of Triangular Islands on Intersection Traffic Crashes: Focusing on Incheon Metropolitan City," *Journal of Korean Society of Transportation*, Vol. 41, No. 1, pp. 119-134, February 2023. <https://doi.org/10.7470/jkst.2023.41.1.119>



**한다정 (Dajoeng Han)**

2010년 : 한양대학교 교통시스템공학과 (학사)  
2021년 : 인천대학교 건설환경공학과 (교통공학 박사)

2021년~2022년: 한국건설기술연구원 박사후연구원  
2022년~현 재: 도로교통공단 책임연구원  
※관심분야 : 교통공학, 교통안전, 자율주행 등



**이준형 (Junhyung Lee)**

2013년 : 연세대학교 도시공학과 (학사)  
2019년 : 연세대학교 도시공학과 (교통공학 박사)

2019년~현 재: 한국건설기술연구원 수석연구원  
※관심분야 : 교통공학, 자율주행, DRT, Maas 등