

PM (Personal mobility) 교통사고의 심각도 요인 분석

한다정¹ · 김응철^{2*} · 지민경³

¹인천대학교 도시환경공학부 박사과정, ²인천대학교 도시환경공학부 교수, ³인천대학교 도시환경공학부 박사과정

Analysis of Severity Factors in Personal Mobility (PM) Traffic Accidents

HAN, Dajeong¹ · KIM, Eungcheol^{2*} · JI, Minkyung³

¹Ph.D. Course, Department of Civil & Environmental Engineering, Incheon National University, Incheon 22012, Korea

²Professor, Department of Civil & Environmental Engineering, Incheon National University, Incheon 22012, Korea

³Ph.D. Course, Department of Civil & Environmental Engineering, Incheon National University, Incheon 22012, Korea

*Corresponding author: eckim@inu.ac.kr

Abstract

PM (Personal Mobility) is a new type of transportation mode, and the number of users is increasing rapidly due to convenience and portability. However, related research is insufficient and PM safety issues are constantly occurring. In this study, we analyzed the severity of PM accidents and analyzed PM accidents that occurred in 2017 and 2018. PM accidents were classified into four stages according to the severity of accidents. Factors affecting accidents were classified into road and environmental factors, accident type factors and human factors. And factors that significantly affected PM accidents were selected. As a result of the analysis, significant variables influencing the severity of PM accident were selected. Among the roads and environmental factors, May or the time zone at 14 and 21, 23 were found to be high in the severity of PM accidents. And when the road was wet or the accidents occurred at intersections of roads were found to be high in severity of PM accidents. If PM other driver's age was 50s, 60s or 70s, the accident severity was also found to be high. In the case of the PM and other vehicle's accidents, the severity of accidents was high when the other vehicle was bicycle and the driver's age was 40s, 50s. In the case of the PM and pedestrian's accidents, the severity was also high when the accident occurred at the sidewalk or during crossing the intersection. In case of PM-only accident, when the accident site was other place (except for crossroads, single lanes, bridges, tunnels, and parking lots), the severity was high.

Keywords: ordered probit model, PM (personal mobility), severity of accidents, traffic accident analysis system (TAAS), traffic safety

초록

PM은 전기를 동력으로 하는 1인용의 신개념 소형교통수단으로 이동의 편리성, 휴대의 편리성 등으로 이용량이 급증하고 있으나 이와 관련된 연구는 미미하며, PM 안전 관련 문제가 지속해서 제기되고 있다. 본 연구에서는 PM 사고에 영향을 주는 위험 요소를 파악하기 위해 2017년

J. Korean Soc. Transp.
Vol.38, No.3, pp.232-247, June 2020
<https://doi.org/10.7470/jkst.2020.38.3.232>

pISSN : 1229-1366
eISSN : 2234-4217

ARTICLE HISTORY

Received: 30 January 2020

Revised: 27 March 2020

Accepted: 16 May 2020

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.

부터 2018년까지 전국에서 발생한 707건의 PM 사고를 대상으로 사고 심각도 분석을 하였다. PM 사고를 사고 심각도에 따라, 4단계로 구분하였으며 사고에 영향을 주는 요인을 도로 및 환경적인 요인, 사고 특성 요인, 인적 요인으로 구분한 뒤 PM 사고 심각도에 유의미한 영향을 미치는 요소를 선정하였다. 또한, 사고유형별 요인을 비교·분석하기 위해, 사고유형을 PM 대 차량 사고, PM 대 보행자 사고, PM 단독사고로 구분하고 추가 모형분석을 하였다. 분석 결과, 도로 및 환경적인 요인으로는 5월, 시간대는 14시와 21시, 23시, 도로가 젖은 상태일 경우, 사고 발생 장소가 교차로인 경우, 심각도가 높은 것으로 나타났다. PM 운전자가 70대인 경우, 상대 운전자 및 보행자가 50대, 60대인 경우 사고 심각도가 높게 나타났다. 사고유형별로는 PM 대 차량의 사고의 경우, 상대 차량이 자전거인 경우, PM 운전자가 40대, 50대인 경우 사고 심각도가 높았고, PM 대 보행자 사고의 경우, 길 가장자리 사고 및 교차로 횡단 중 사고일 경우 사고 심각도가 높았다. PM 단독사고의 경우, 사고장소가 기타 장소(교차로, 단일로, 교량, 터널, 주차장 제외)인 경우 사고 심각도가 높은 것으로 나타났다.

주요어: 순서형 프로빗 모형, 개인교통수단, 교통사고 심각도, 교통사고분석시스템(TAAS), 교통안전

서론

PM (Personal Mobility)이란 전기를 동력으로 하는 1인용 신개념 미래형 교통수단으로 그 종류가 다양하며, 이용량도 지속해서 증가하는 추세이다. 특히, 단거리 통행인 경우, PM을 이용할 경우 비교적 짧은 시간에 목적지까지 이동이 가능하며, 크기 또한 작아 휴대가 편리하다는 장점이 있어 이용량이 증가하고 있다. The Korea Transport Institute(2017)에 따르면, PM 판매량은 2016년 6만, 2017년 7.5만 대 수준이었으며 2022년 약 20만대가 판매될 것으로 예측하며, Lee et al.(2017)에 따르면 국내 PM 수입현황은 2012년 6,509대 대비 2016년 44,952대로 약 7배 증가하였으며, 전 세계적으로는 2030년 약 2,009만대가 판매될 것으로 전망하고 있어 이용량의 급증이 예상된다. 우리나라의 ‘도로교통법’상 PM은 ‘원동기장치자전거’로 분류되고 있으며, 차도로 통행하여야 하며 자전거도로 또는 길 가장자리 구역으로 통행하여서는 아니 된다. 그러나 대부분 PM의 최고속도는 18~25km/h이고, 무게는 대략 20kg 미만으로 도로 주 이용수단인 ‘자동차’와 주행성능 및 크기, 무게에서 큰 차이를 나타내고 있으며, 도로에서 위험 이동 수단으로 간주하는 이륜자동차와도 성능 및 제원에서 큰 차이를 나타내고 있어 안전에 대한 문제가 지속적으로 제기되고 있다.

보험 가입 고객 자료로 PM 사고 추이를 분석한 Road Traffic Authority(2016)에 따르면, 2015년에 발생한 PM 관련 사고는 89건으로 2011년 30건에 비해 약 3배 증가한 것으로 나타났으며, Lee et al.(2017)에서는 보험사 Big data 기준으로 PM 사고를 분석한 결과, 2012년 29건에서 2015년 77건, 2016년 137건으로 PM의 이용량 증가에 따라, 관련 사고가 증가하고 있는 것으로 나타났다. 편리한 이동성 및 휴대성 등으로 인해 증가하고 있는 PM의 이용량에 비해 관련 법규가 제대로 정비되지 못하고 있어 PM 관련 사고는 지속해서 증가하고 있으며 이에 대한 안전 대책 마련 또한 미미한 상황이다.







본 연구에서는 PM 관련 기존 문헌 고찰을 통해, PM 사고와 관련하여 위험 요소 등을 분석하고, TAAS (Traffic Accident Analysis System)에서 제공되는 PM 관련 사고자료를 기반으로 PM 사고의 종류, 사고 원인, 사고 위치 및 운전자의 특성 등을 알아보고 PM 사고의 심각도와 사고 특성 요인의 관계분석을 하였다. 이에 따라, PM 사고 심각도에 영향을 미치는 요인을 도출하였다.

PM의 정의 및 관련 제도

PM (Personal mobility)은 개인용 신개념의 교통수단으로 현재까지는 용어의 정의가 명확하지 않으나 본 연구에서는 PM으로 명명하고자 한다. PM의 특징으로는 휴대가 가능할 정도로 크기 및 무게가 소형화, 경량화되어 있으

며, 속도는 보행자의 평균 속도(4km/h)보다는 빠르나 자동차보다는 느려 중·단거리 이동에 적합한 교통수단이다. 또한, 전기를 동력으로 하는 교통수단이다. PM의 종류는 휠의 개수, 핸들의 유무 및 운전자가 앉아서 이동하거나 서서 이동하는 등 운전자의 주행 시 위치에 따라 구분될 수 있으나 본 연구에서는 PM의 형태에 따라 Table 1과 같이 구분하고자 한다. 기존 개인용 이동 수단에 전기 동력장치가 장착된 Skateboard와 Scooter 타입의 PM이 있으며, 핸들이 장착된 Segway 타입과 바퀴의 수에 따라 1개의 휠로 구성된 One-wheel 타입과 Single-wheel 타입, 2개의 휠로 구성된 Hover-board 타입이 있다. 각각의 제원은 PM 형태에 따라 상이하며 속도는 최소 7km/h에서 최대 35km/h까지이며, 주행거리는 8-64km이다.

Table 1. Dimensions and characteristics of PM by device type

Classification	Dimensions (cm)	Wheel diameter (cm)	Device weight (kg)	Motor power (HP)	Maximum speed (km/h)	Range (km)
Skate-board 	Length	74-127	7-36	3-24	0.6-4	10-35
	Width	24-64				
	High	13-140				
Scooter 	Length	79-151	20-41	11-30	0.2-1	10-20
	Width	37-54				
	High	89-112				
Segway 	Length	26-65	25-48	13-61	1.3-2.7	10-12.5
	Width	28-64				
	High	61-130				
One-wheel 	Length	76	29-29	11-12	0.8-1	12-19
	Width	23				
	High	29				
Single-wheel 	Length	42-46	36-41	10-14	0.6-2	10-12.5
	Width	18-36				
	High	45-48				
Hover-board 	Length	18-22	13-22	10-15	0.3-1	7-10
	Width	58-70				
	High	18-24				

source: <https://www.ridevoyager.com/products/neutrino-electric-skateboard>
<https://www.ridevoyager.com/collections/scooters/products/rover-electric-scooter>
<https://greatlakessegway.com/product/segway-i2-personal-transporter/>
<https://www.aliexpress.com/i/32914109797.html?spm=2114.12057483.0.0.704331f9DRKbDI>
<https://suprents.com/shop/used-owheel-pint>
<https://www.ridevoyager.com/collections/hoverboards/products/air-wheel-offroad-hoverboard>
 Mineta Transportation Institute (2019).

PM은 「도로교통법」 제2조 17항에 따라 ‘원동기장치자전거’로 분류가 되며, ‘원동기장치자전거’란 배기량이 50cc 미만의 원동기를 단 차 또는 전기를 동력으로 하는 경우 정격 출력이 0.59kW 미만의 원동기를 단 차를 말한다. 「자동차관리법」에서는 PM은 ‘이륜자동차’로 분류되며 규모별 세부기준에 따라, 배기량이 50cc 미만(최고 정격 출력 4kW 이하)인 경형 이륜자동차로 분류된다. PM은 「도로교통법」 제13조에 따라, 보도와 차도가 구분된 도로에서는 차도로 통행하여야 하며, 안전표지로 통행이 허용된 장소를 제외하고는 자전거도로 또는 길 가장자리 구역으로 통행하는 것이 금지되어 있다. 「도시공원 및 녹지 등에 관한 법률」 시행령 제50조에서는 중량이 30kg 미만이고 최고속도가 25km/h 미만인 동력장치 중 공원관리청이 허용하는 동력장치를 이용하여 출입을 허용하는 구간을 제외하고 차도 외의 장소에 출입하는 행위를 금지하고 있다. PM 운전자는 「도로교통법」 제80조에 따라 16세 이상으로 ‘원동기장치자전거면허’를 소지하거나 그 이상의 운전면허를 소지하여야 PM 운전이 가능하며, 주행 시 행정안전부령으로 정하는 인명보호 장구를 착용하여 운행하여야만 한다.

국내 · 외 사례 연구

1. PM 관련 선행 연구

Castonguay and Binwa(2006)에서는 세그웨이와 전동스쿠터의 안전성 평가를 위해 자동차 실험센터에서 시험 주행 평가를 하였다. 세그웨이 및 전동스쿠터 주행 평가 참가자는 일정 시간 이상 조작 관련 훈련을 진행한 후 실험에 참여하였으며, 주행 평가 결과, 세그웨이 이용자는 급경사 구간, 급 곡선반경 구간 주행 시 안정적으로 주행할 수 있다고 느꼈고, 타 이동 수단인 자전거에 비해 안전성 측면에서 긍정적인 평가를 하였다. 세그웨이를 운전하기 위해서는 최소 14세 이상이어야 하며, 안전모 착용, 음향신호장치, 시각신호장치 등이 필요하다고 평가하였다. 전동스쿠터 평가 결과 이용자는 최소 12세 이상이어야 하며, 세그웨이와 마찬가지로 안전모 착용, 음향신호장치, 시각신호장치 등이 필요하다고 평가하였다.

Lavallée(2004)에서는 실제 도로에서 PM의 종류 중 하나인 세그웨이를 대상으로 143명의 실험참가자가 직접 도로를 주행하고 관련 설문에 응답하는 방식으로 주행 평가를 시행하였다. 주행 평가 실험참가자는 이론 및 주행 관련 훈련을 한 후 실험에 참여하였다. 주행 평가 결과, 대부분의 실험참가자(93%)가 주행 전 세그웨이 조작 관련 훈련이 필요하다고 응답하였으며, 장애물 통과, 경사로 주행, 기기 조종 등의 작동을 할 때 어려움을 느낀다고 응답하였다. 세그웨이 주행이 적합하다고 판단되는 장소로는 자전거도로와 갓길로 응답한 비율이 높았으며, 보도를 오르내릴 때, 보도에 금이 간 곳, 또는 움푹 패인 곳 등 주행 도로의 평탄성이 확보되지 못한 곳을 주행할 때 불안감을 느낀다고 응답한 비율이 높게 나타났다.

Korea Transportation Safety Authority(2008)에서는 전기자동차(Electric Vehicles, EV) 중 근거리 이동용 전기자동차인 NEV(Neighborhood Electric Vehicles)의 도로 주행 상 안전에 대한 문제점, 운영 및 관리상의 주요 쟁점 등을 해외운영사례를 통해 검토하였으며, 국내 · 외 관련 규정과 비교 · 검토하였다. 이에 따라, 근거리 이동용 전기자동차(NEV)의 운행제도 국내 도입의 타당성 및 적합성을 검토하였다. 여기서 NEV는 전기를 동력으로 하는 저속차량으로 저속차량이란 차량의 순수 무게가 816.5kg(1,800 pounds)을 넘지 않고 최저 32km/h, 최고 40km/h의 속도로 운행할 수 있는 차량으로 정의하고 있다. NEV의 국내 교통환경에 대한 적합성 및 제도도입의 타당성에 대하여 다음과 같이 제시하고 있다. 국내 자동차 안전기준에 미치지 못하는 NEV의 기준에 따라, 일반 차량과 충돌 시 심각한 인명피해가 발생할 수 있으며, NEV를 자동차 관리법상 어떻게 분류할 것인가에 대한 문제와 NEV의 저속운행으로 일반 차량과의 속도 차이로 인한 사고 발생의 위험을 제시하고 있다. NEV 이용 활성화를 추진할 경우, 일반 자동차의 안전기준을 만족시킬 수 있는 수준의 전기자동차 개발이 필요할 것으로 제안하고 있다.

Unfallforschung der Versicherer(2009)에서는 PM의 종류 중 하나인 세그웨이와 보행자, 차량 간의 충돌 실험을 하였다. 세그웨이가 15km/h의 속도로 주행하여 움직이지 않는 보행자와 충돌할 경우, 움직이지 않는 자동차와 충돌할 경우 등 각각의 경우 받는 충격을 측정하였다. 세그웨이와 보행자 간 충돌 시, 세그웨이의 차체가 보행자의 다리와 부딪히면서 보행자 하지의 심각한 손상이 발생하였고 보행자와 세그웨이 운전자 모두 머리, 목, 가슴에 큰 충격이 가해지는 것으로 나타났다. 세그웨이와 차량 간 충돌 시 중요한 변수는 차량과 세그웨이의 크기 차이인 것으로 나타났다. 세그웨이 운전자는 세그웨이의 바퀴가 먼저 차량과 충돌하기 때문에 직접 충돌로 인한 두부 손상은 나타나지 않았으나, 목 주변에 큰 충격이 가해지는 것으로 나타났다.

Road Traffic Authority(2016)에서는 PM의 교통사고 발생 현황을 분석하고 PM의 이용 및 안전에 대한 의견조사를 하여 쟁점 사항 및 기본방향을 제시하였다. 교통사고 분석 자료는 2011년부터 2015년까지 현대해상 가입 고객 자료 중 PM 사고자료를 대상으로 하였다. 분석 결과, 2011년 대비 2015년 PM 사고가 약 3배로 증가하였으며, 사고 원인으로는 운행 미숙으로 인한 사고가 대부분이고 사고 장소로는 일반도로(75.7%)를 제외하고 이면도로(20.3%)에서 가장 많이 발생하였다. 사고 발생 연령대는 10대 이하(25.5%)와 70대 이상(20.9%)의 사고 비율이 가장 높았으며, 이중 차와 발생한 사고의 피해자 연령대는 70대 이상(32.5%)이 가장 높은 것으로 나타났다. 사고 발생 시간으로

로는 12-15시 사이에 많이 발생하는 것으로 나타났으며, 요일별로는 차 대 PM 사고의 경우 화요일에 사고 비율이 가장 높았고, 차 외의 사고의 경우 주중보다는 주말에 사고 비율이 높게 나타났다. PM 이용자를 대상으로 한 설문조사 결과, 평균 이용 기간이 11.3개월로 나타났으며, 한 달 평균 이용 빈도는 20.4일, 이용 목적으로는 이동용으로 이용한다는 응답이 가장 높았다. PM 이용자 중, 교통사고 경험이 있는 응답자를 대상으로 사고 경험에 대하여 질문한 결과, 차와의 충돌사고가 40.0%로 가장 높았으며, 자전거 25.0%, 보행자 23.3% 순으로 나타났다.

Lee et al.(2017)에서는 PM의 이용현황 분석을 위해 PM 수입현황을 분석하였으며, PM의 유형별 사고 특성과 위험도를 비교 연구하였고 정량적인 사고 데이터 분석과 주행 실험과 더불어 이용자가 직접 느끼는 정성적 사고위험 및 인지도에 대한 분석을 하였다. PM 수입현황 분석 결과, 서론에서 서술한 바와 같이 급증하는 추세이고 이에 따른 교통사고의 증가가 크게 우려되는 실정이다. PM 관련 사고 심각도를 비교하기 위해 1건당 지급되는 보험금을 자전거와 비교해 본 결과 2014년에는 자전거와 PM 두 수단이 비슷한 수준을 나타냈으나 2016년에는 자전거 대비 PM의 보험금 지급 비율이 1.3-1.5배 높아진 것으로 나타났다. 사고유형으로는 운전미숙으로 인한 단독사고가 높게 나타났으며, 연령이 증가할수록 사고 건수 대비 진단 수를 나타내는 진단율이 높아지는 것으로 나타났다. 이용자를 대상으로 설문조사를 한 결과, 사고 경험이 있는 이용자 중 사고 대상으로는 자동차와 사고가 40%로 가장 높게 나타났으며, PM의 안전 운행을 위해 매우 필요한 대책으로는 도로 이용자 안전기준 제정(58.3%), 의무보험 마련(55.4%) 순으로 나타났다.

The Korea Transport Institute(2017)에서는 시뮬레이션 프로그램을 활용하여 전동킥보드와 자전거의 충돌 실험을 연구하였다. 전동킥보드와 자전거 간 정면충돌, 측면충돌, 후방추돌 등의 시나리오를 구축하여 각각의 경우 충돌 시 상해도를 평가하였으며, 정면충돌의 경우 각각의 속도를 15km/h로 설정하여 충돌 실험을 하였고, 측면충돌의 경우, 정지된 자전거에 전동킥보드가 25km/h 속도로 측면 충돌하는 경우, 정지된 전동킥보드에 자전거가 25km/h 속도로 측면충돌하는 경우로 구분하여 실험하였다. 후방추돌의 경우, 각각 전동킥보드와 자전거가 정지된 경우에 후방에서 자전거와 전동킥보드가 20km/h 속도로 추돌한 경우로 구분하여 실험하였다. 실험 결과, 전동킥보드와 자전거의 전방충돌일 경우, 전동킥보드 운전자와 자전거 운전자 모두 충돌 후 지면에 넘어지면서 하부 다리 상해를 입는 것으로 나타났으며 자전거 운전자의 경우 충돌 시 자전거 운전자의 머리가 킥보드 탑승자의 상체와 충돌하면서 목 부분 상해를 입을 가능성이 큰 것으로 나타났다. 또한, 상해 정도를 비교하였을 때 자전거 운전자의 상해 정도가 더 높은 것으로 나타났다. 측면 충돌일 경우에는 정지하고 있는 탑승자보다 이동하고 있는 탑승자의 상해 정도가 더 높은 것으로 나타났으며, 후방추돌의 경우, 자전거가 정지된 상태에서 전동킥보드가 후방추돌하는 경우보다 전동킥보드가 정지된 상태에서 자전거가 후방추돌하는 경우 두 탑승자 모두 상해 정도가 더 높은 것으로 나타났다.

The Korea Transport Institute(2018)에서는 PM을 주 1회 이상 이용하는 사람을 대상으로 이용실태를 조사하였다. 이용실태 조사 결과, PM 이용자 중 사고를 경험한 비율은 14%로 나타났으며, 연령별로는 50대가 28.6%로 전체 연령대 중 가장 높게 나타났다. 사고 대상으로는 단독사고(54.8%)가 가장 높게 나타났으며 보행자사고(19.4%), 자전거사고(9.7%), 오토바이사고(6.5%), 자동차사고(6.4%) 순으로 나타났다. 사고 규모로는 단순 물피사고가 64.5%로 가장 높았으며 5일 미만의 치료를 요하는 부상사고(22.6%), 5일 이상 3주 미만의 치료를 요하는 경상사고(9.7%), 3주 이상의 치료를 요하는 중상사고(3.2%) 순으로 나타났다. 사고 원인으로는 PM 운전자의 실수나 부주의가 29.0%로 가장 높았으며 도로 등 시설 문제로 인한 사고가 29.0%, 상대 운전자의 법규위반으로 인한 사고가 22.6%로 나타났다. 사고 장소로는 보도(38.7%), 자전거도로(32.3%), 자동차 도로(16.1%), 이면도로(12.9%) 순으로 나타났다.

2. 연구의 차별성

기존 PM 관련 연구를 살펴보면, 특정 실험참가자를 대상으로 PM 직접 운행하게 하여 PM의 주행 안전성에 대해 조사 및 분석을 시행하거나 PM 이용자 및 보행자, 타 종류의 차량 운전자를 대상으로 설문 조사를 하여 PM의 운전 시 안전에 관한 연구가 진행되었다. 선행연구 고찰 결과, PM 운행 전 기기 조작과 관련한 안전 교육이 필요한 것으

로 나타났으며, 안전모, 조명 장치, 벨 등 PM의 안전 운행을 위해 안전장치 및 보조 장치가 필요한 것으로 나타났다. PM의 사고유형으로는 PM의 운행 미숙으로 인한 사고가 대부분이었으며, 사고의 심각도는 PM과 충돌하는 차량의 제원 크기가 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 기존 연구에서는 PM의 안전성 분석을 위해, 특정 주행 실험 공간을 조성하여 분석하거나, 이용자를 대상으로 한 설문조사 및 분석 등의 연구 방법이 적용되었으며, PM 사고자료를 통한 통계적인 분석이 주로 이루어졌다.

본 연구에서는 현재 지속적으로 증가하고 있는 PM 사고에 영향을 미치는 도로 및 환경적인 요소 및 운전자의 특성, 사고의 특성을 분석하기 위해 실제 사고 데이터를 바탕으로 사고의 심각도를 4단계로 나누어 사고 심각도에 영향을 미치는 요인에 대해 분석한다는 점에서 선행 연구들과 큰 차이가 있다.

PM 교통사고 데이터 수집 및 특성 분석

1. 데이터 수집

본 연구에서는 PM 사고의 심각도 분석을 위해 도로교통공단 TAAS에서 제공하는 교통사고 자료를 활용하여 데이터를 구축하였다. TAAS에서는 2017년 교통사고 자료부터 PM 수단의 교통사고 자료를 제공함에 따라, 2017년부터 2018년까지 발생한 PM 관련 교통사고 데이터를 분석 대상으로 선정하였다.

이 사고자료에서는 PM 사고 발생 시간, 장소, 가해자 및 피해자 운전자 특성, 차량 특성, 사고유형 및 내용, 도로 및 환경 특성 등의 사고 관련 자료를 제공하고 있다. 사고유형으로는 차 대 차 사고, 차대 사람 사고, 차량 단독사고의 3가지 유형을 제시하고 있으나, 유형에 따른 구분 없이 PM 관련 모든 사고를 분석을 위한 데이터로 구축을 하였다. 2017년부터 2018년까지 발생한 PM 교통사고는 2017년 251건, 2018년 480건으로 총 731건이며, 이 중 사고 차량의 특성 및 운전자의 특성 등 사고특성요인이 명확하지 않은 24건을 제외한 707건을 최종 PM 사고의 심각도 분석을 위한 분석 데이터로 구축하였다.

2. PM 교통사고 특성 분석

2017년부터 2018년까지 발생한 PM 사고는 총 707건이며, 이 중 사망사고가 8건(1.13%), 중상사고 240건(33.95%), 경상사고 393건(55.59%), 부상신고사고 66건(9.34%) 인 것으로 나타났으며, PM 교통사고의 통계적인 특성은 Table 2와 같다.

사망사고 8건 중 5건이 PM의 단독사고로 인해 발생하였으며, 이 중 4건의 사고 원인이 PM의 전도 및 전복으로 인해 발생하였다. 사망사고 8건 중 2건은 PM과 차량의 측면충돌로 인해 발생하였으며, 1건은 PM이 교차로 횡단 중 보행자와 사고로 인해 발생한 것으로 나타났다. 사망사고 8건 중 7건의 PM 운전자가 남성인 것으로 나타났으며 연령대는 30대에서 70대까지 다양하게 나타났다. 중상사고의 78.75%(189건)는 PM과 차량의 사고로 인해 발생하였으며 이 중 PM과 차량의 측면충돌로 인한 사고가 50.26%(95건)로 가장 높은 것으로 나타났다.

사고유형으로는 PM과 차량 간의 사고가 566건(80.06%)으로 가장 높았으며 PM 대 사람 사고는 92건(13.01%), PM 단독사고는 49건(6.93%)으로 나타났다. 계절별로는 가을에 사고 비율이 37.34%(264건)로 가장 많이 발생하는 것으로 나타났으며 여름의 사고 비율 또한 32.53%(230건)로 높게 나타났고 월별로는 8월(57건, 8.06%)과 9월(56건, 7.92%)이 가장 높은 것으로 나타났다. 사고 발생 요일 및 시간대로는 화요일(119건, 16.83%)과 8시(62건, 8.77%), 18시(63건, 8.91%)의 사고 비율이 높은 것으로 나타났으며, PM 사고 중 95% 이상의 사고가 맑은 날 발생한 것으로 나타났다. 사고 세부 유형으로는 PM과 보행자의 사고의 경우, 보도 통행 중 사고(18.48%)와 횡단 중 사고(18.48%)의 발생 비율이 높은 것으로 나타났고 PM과 차량사고의 경우 측면충돌로 인한 사고 비율(48.94%)이 가장 높게 나타났다. PM 단독사고의 경우, 전도 및 전복으로 인한 사고의 비율(42.86%)이 높게 나타났다. 사고 발생 장소로는 대부분의 사고가 교차로 내 및 부근에서 발생(47.38%)하는 것으로 나타났다. PM과 차량 사고(566건)

중 상대 차량의 종류로는 승용차가 397건(70.14%)으로 가장 높았으며 트럭이 10.60%, 승합차가 5.30% 순으로 나타났다. PM 대 자전거 사고는 33건(5.83%)으로 나타났으며 PM 대 PM 사고는 2건(0.35%)으로 나타났다. 사고 PM 운전자의 연령으로는 20대가 전체의 26.73%로 가장 높게 나타났으며 30대(22.49%), 40대(15.98%), 50대(12.73%) 순으로 나타났으며 성별로는 남자가 80.20%로 대부분을 차지하는 것으로 나타났다.

Table 2. Accident characteristics by severity level

Classification	Severity level				Total	
	Possible injury (%)	Slight injury (%)	Serious injury (%)	Fatal injury (%)		
Accident type	PM to pedestrian	8(8.70)	53(57.61)	30(32.61)	1(1.09)	92
	PM to car	46(8.13)	329(58.13)	189(33.39)	2(0.35)	566
	PM only	12(24.49)	11(22.45)	21(42.86)	5(10.20)	49
Season	Spring (3-5)	7(6.03)	58(50.00)	51(43.97)	-	116
	Summer (6-8)	22(9.57)	131(56.96)	72(31.30)	5(2.17)	230
	Fall (9-11)	24(9.09)	152(57.58)	85(32.20)	3(1.14)	264
	Winter (12-2)	13(13.40)	52(53.61)	32(32.99)	-	97
Day of week	Weekday	55(10.36)	290(54.61)	179(33.71)	7(1.32)	531
	Weekend	11(6.25)	103(58.52)	61(34.66)	1(0.57)	176
Time of day	0-5AM	9(10.11)	51(57.30)	27(30.34)	2(2.25)	89
	6-11AM	19(10.50)	101(55.80)	60(33.15)	1(0.55)	181
	12-17PM	18(9.63)	104(55.61)	63(33.69)	2(1.07)	187
	18-23PM	20(8.00)	137(54.80)	90(36.00)	3(1.20)	250
Road factor	Intersection	30(8.96)	189(56.42)	115(34.33)	1(0.30)	335
	Birdge	-	1(33.33)	2(66.67)	-	3
	Overpass	-	1(100.00)	-	-	1
	Tunnel	1(100.00)	-	-	-	1
	Underpass	1(14.29)	5(71.43)	1(14.29)	-	7
	Parking lot	-	3(75.00)	1(25.00)	-	4
	Etc.	34(9.58)	193(54.37)	121(34.08)	7(1.97)	355
	Unclassified place	-	1(100.00)	-	-	1
PM driver age range	1-19	5(9.09)	38(69.09)	12(21.82)	-	55
	20-64	52(9.00)	317(54.84)	203(35.12)	6(1.04)	578
	over 65	9(12.16)	38(51.35)	25(33.78)	2(2.70)	74
PM driver gender	Male	54(9.52)	313(55.20)	193(34.04)	7(1.23)	567
	Female	12(8.57)	80(57.14)	47(33.57)	1(0.71)	140
Types of accident vehicles	PM to car	237(59.70)	30(7.56)	1(0.25)	129(32.49)	397
	PM to van	14(46.67)	2(6.67)	-	14(46.67)	30
	PM to truck	37(61.67)	6(10.00)	1(1.67)	16(26.67)	60
	PM to equipment vehicle	-	1(50.00)	-	1(50.00)	2
	PM to motorcycle	25(59.52)	4(9.52)	-	13(30.95)	42
	PM to bicycle	16(48.48)	3(9.09)	-	14(42.42)	33
	PM to PM	-	-	-	2(100.00)	2
	PM to pedestrian	8(8.70)	53(57.61)	30(32.61)	1(1.09)	92
	PM only	12(24.49)	11(22.45)	21(42.86)	5(10.20)	49
Total	66(9.34)	393(55.59)	240(33.95)	8(1.13)	707	

연구 방법론

1. 분석모형

종속변수가 이산형 변수일 경우 로짓 모형을 사용하며, 종속변수가 이산형이 아닌 순서형일 경우에는 순서형 확률 변수를 사용한다. 본 연구에서는 PM의 사고 심각도를 분석하기 위해, 종속변수는 사고 유·무가 아닌 사고의 심

각도에 따라 1. 부상신고사고, 2. 경상사고, 3. 중상사고, 4. 사망사고의 4단계로 구분하였기 때문에 순서형 확률 모형을 적용하여 모형을 구축하였다.

순서형 확률 모형으로는 순서형 로짓 모형(Ordered Logit Model)과 순서형 프로빗 모형(Ordered Probit Model)이 있으며, 순서형 로짓 모형과 순서형 프로빗 모형의 차이는 확률효용의 오차항의 확률분포 형태에 따라 달라진다. 순서형 로짓 모형은 확률효용의 오차항 확률분포의 형태가 와이블 분포를 따른다고 가정을 하며, 순서형 프로빗 모형은 확률효용의 오차항 확률분포의 형태가 정규분포를 따른다고 가정하고 있다. 본 연구에서는 오차항의 확률분포 분산이 동일하고 정규분포를 따른다는 가정하고 있는 순서형 프로빗 모형을 적용하여 PM의 사고의 심각도 분석을 하였다. 순서형 프로빗 모형은 교통사고 분석에서 사고 심각도 분석 시 대표적으로 활용되는 모형으로 일반적인 순서형 프로빗 모형은 다음과 같이 수식화하여 Equation 1과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 y_j^* &= x\beta + \epsilon \\
 y &= 0, \text{ if } y^* \leq \tau_0 \\
 y &= 1, \text{ if } \tau_0 \leq y^* \leq \tau_1 \\
 y &= 2, \text{ if } \tau_1 \leq y^* \leq \tau_2 \\
 y &= 3, \text{ if } \tau_2 \leq y^* \leq \tau_3
 \end{aligned} \tag{1}$$

본 연구에서 사고의 심각도를 4단계로 구분하였으므로, 종속변수 y 는 0부터 3까지 4개의 순서형 대안으로 표현되며, y 는 측정이 가능한 효용 x 과 측정 불가능한 효용인 오차항 ϵ 으로 구성되어 있다. 사고 심각도의 단계별 선택 확률은 Equation 2와 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 \text{Prob}(y_i = 0|X_i) &= \Phi(-\beta X_i) \\
 \text{Prob}(y_i = 1|X_i) &= \Phi(u_1 - \beta X_i) - \Phi(-\beta X_i) \\
 \text{Prob}(y_i = 2|X_i) &= \Phi(u_2 - \beta X_i) - \Phi(u_1 - \beta X_i) \\
 \text{Prob}(y_i = 3|X_i) &= 1 - \Phi(u_2 - \beta X_i)
 \end{aligned} \tag{2}$$

순서형 확률 모형의 모형 적합도 평가에는 McFadden의 Pseudo R^2 (ρ^2)값으로 평가할 수 있으며, ρ^2 은 Equation 3과 같이 표현할 수 있다. ρ^2 은 0부터 1까지의 값을 가지며 1에 가까울수록 모형의 적합도가 높다고 평가할 수 있다.

$$\rho^2 = 1 - \frac{L_{ur}}{L_r} \tag{3}$$

2. PM 사고의 변수 설정

PM 사고의 특성, 운전자의 특성, 도로 환경 등의 요인에 따른 PM 사고의 심각도를 분석하기 위해, Table 4와 같이 사고 심각도를 4단계인 Possible injury, Slight injury, Serious injury, Fatal injury로 분류하였다. PM 사고의 심각도에 영향을 주는 독립변수로는 도로 및 환경요인, 사고 특성 요인, 운전자 특성 요인 등으로 구분하여 각 요인별 요소를 추출하였다. 도로 및 환경요인으로는 사고 발생 월, 요일, 시간 등의 요소와 사고 발생 당시의 날씨 및 도로 상태를 나타내는 요인, 사고 발생 장소 요인들을 추출하여 독립변수로 설정하였다. 사고 발생 장소로는 교차로 인

근지역, 교차로 내, 교차로 내 횡단보도, 교량, 고가도로, 단일로 일반구간, 주차장, 미분류 구간으로 구분하였으며, 여기서 미분류 구간이란 앞의 제시된 구간을 제외한 구간을 의미한다. 사고 특성 요인으로는 사고유형을 PM 대 보행자 사고, PM 대 차량 사고, PM 단독사고로 구분하였고, PM 대 보행자 사고는 사고 발생 위치에 따라, 도로, 길 가 장자리, 보도 등으로 세분화하였다. PM 대 차량사고의 경우 차량과 PM의 충돌 위치에 따라, 추돌사고, 측면충돌, 정면충돌 등으로 세분화하였다. PM 단독사고의 경우, 공작물 충돌 사고와 PM의 전도 및 전복에 의한 사고, 기타 등으로 구분하였다. 또한, PM 대 차량사고의 경우, 상대 차량의 종류에 따라 승용차, 승합차, 트럭, 자전거 등으로 세분화하여 독립변수를 구축하였다. 운전자 특성으로는 PM 운전자와 상대 차량 운전자 또는 보행자의 나이 및 성별에 따라 세분화 된 독립변수를 구축하였으며, PM 운전자가 가해자인 경우와 피해자인 경우의 사고 심각도 분석을 위해 PM 운전자의 가해 및 피해 여부에 따른 변수를 추가로 구축하였다. PM 사고의 심각도 분석을 위해 구축한 독립변수 및 종속변수는 Table 3과 같다.

Table 3. Statistic distribution of dependent and explanatory variables

Classification		Variable	Data	%
Dependent variable	Severity level	1: Possible injury	66	9.34
		2: Slight injury	393	55.59
		3: Serious injury	240	33.95
		4: Fatal injury	8	1.13
Road and environmental factor	Day of week	Monday	81	11.46
		Tuesday	119	16.83
		Wednesday	108	15.28
		Thursday	108	15.28
		Friday	115	16.27
		Saturday	91	12.87
		Sunday	85	12.02
		Month of year	January	20
	February		16	2.26
	March		16	2.26
	April		43	6.08
	May		57	8.06
	June		58	8.20
	July		88	12.45
	August		84	11.88
	September		92	13.01
	October		91	12.87
	November		81	11.46
	December		61	8.63
	Time of day	0AM	30	4.24
1AM		20	2.83	
2AM		11	1.56	
3AM		11	1.56	
4AM		9	1.27	
5AM		8	1.13	
6AM		12	1.70	
7AM		29	4.10	
8AM		62	8.77	
9AM		36	5.09	
10AM		18	2.55	
11AM		24	3.39	
12PM		19	2.69	
13PM		25	3.54	
14PM		32	4.53	
15PM	35	4.95		

Table 3. Statistic distribution of dependent and explanatory variables (continued)

Classification		Variable	Data	%	
Road and environmental factor	Time of day	16PM	33	4.67	
		17PM	43	6.08	
		18PM	63	8.91	
		19PM	34	4.81	
		20PM	38	5.37	
		21PM	43	6.08	
		22PM	33	4.67	
		23PM	39	5.52	
	Road surface	Dry	675	95.47	
		Wet	23	3.25	
		Freezing and snow	2	0.28	
		Etc.	7	0.99	
	Weather	Sunny	672	95.05	
		Cloudy	12	1.70	
		Rainy	19	2.69	
		Snowy	1	0.14	
		Etc.	3	0.42	
	Accident place	Near the intersection	76	10.75	
		In the intersection	225	31.82	
		Crosswalk on the intersection	34	4.81	
		Bridge	3	0.42	
		Overpass	1	0.14	
		Tunnel	1	0.14	
		Underpass	7	0.99	
		Parking lot	4	0.57	
		General section of road	355	50.21	
		Unclassified place	1	0.14	
	Accident type factor	PM to pedestrian	Walking on road	10	10.87
			Walking on sidewalk	17	18.48
			Crossing street	17	18.48
			Walking on the side of the road	5	5.43
			Etc.	43	46.74
		PM to car	Head-on collision	23	4.06
Rear-end collision			25	4.42	
Side collision			277	48.94	
Backing-in collision			2	0.35	
Etc.			239	42.23	
PM only		Structure collision	6	12.24	
		Rollover	24	48.98	
		Etc.	19	38.78	
Types of accident vehicles		PM to PM	2	0.28	
		PM to car	397	56.15	
		PM to van	30	4.24	
		PM to truck	60	8.49	
		PM to equipment vehicle	2	0.28	
		PM to motorcycle	42	5.94	
		PM to bicycle	33	4.67	
Violation of law		Speeding	1	0.14	
		Crossing method violation in intersection	52	7.36	
		Etc.	48	6.79	
		Violation of pedestrian protection duty	7	0.99	
		Illegal U-turn	10	1.41	
		Violation of the signal	93	13.15	
		Unsecured safety distance	23	3.25	

Table 3. Statistic distribution of dependent and explanatory variables (continued)

Classification		Variable	Data	%
Accident type factor	Violation of law	Failure of safe operation	409	57.85
		Violation of the center line	36	5.09
		Obstruction of straight and right turn	25	3.54
		Violation of the line	3	0.42
Human factor	Age (PM)	Under 9s	7	0.99
		10s	48	6.79
		20s	189	26.73
		30s	159	22.49
		40s	113	15.98
		50s	90	12.73
		60s	42	5.94
		70s	38	5.37
		Over 80s	21	2.97
	Age (other driver)	Under 9s	7	1.06
		10s	19	2.89
		20s	77	11.70
		30s	112	17.02
		40s	155	23.56
		50s	154	23.40
		60s	95	14.44
		70s	33	5.02
		Over 80s	6	0.91
	Gender (PM)	Male	567	80.20
		Female	140	19.80
Gender (other driver)	Male	463	70.36	
	Female	195	29.64	

사고 유형별 사고에 영향을 미치는 요인을 보다 상세하게 분석하기 위해 PM 사고를 사고 유형(PM 대 차량 사고, PM 대 보행자 사고, PM 단독 사고사고)별로 구분하여 사고유형별 사고 모형을 추가로 구축하였으며, 사고유형별 종속변수 및 독립변수는 Table 4와 같다.

Table 4. Dependent and independent variable by accident types

Classification	Dependent variable	Independent variable			
PM to car	Severity level	Road and environmental factor		Accident type factor	Human factor
	1: Possible injury	• Day of week	• Road surface	• Type of accident	• PM driver's age and gender
	2: Slight injury	• Month of year	• Weather	• Violation of law	• Other vehicle driver's age and gender
	3: Serious injury	• Time of day	• Accident place	• Type of other vehicle	
4: Fatal injury					
PM to pedestrian	Severity level	Road and environmental factor		Accident type factor	Human factor
	1: Possible injury	• Day of week	• Road surface	• Place of accident	• PM driver's age and gender
	2: Slight injury	• Month of year	• Weather	• Violation of law	• Pedestrian's age and gender
	3: Serious injury	• Time of day	• Accident place		
4: Fatal injury					
PM only	Severity level	Road and environmental factor		Accident type factor	Human factor
	1: Possible injury	• Day of week	• Road surface	• Type of accident	• PM driver's age and gender
	2: Slight injury	• Month of year	• Weather	• Violation of law	
	3: Serious injury	• Time of day	• Accident place		
4: Fatal injury					

모형 분석 결과

본 연구에서는 PM 전체 사고를 대상으로 사고 심각도에 영향을 주는 요인을 분석하기 위해 2017년부터 2018년까지 전국에서 발생한 PM 사고를 대상으로 순서형 프로빗 모형을 적용하여 사고 심각도를 분석하였다. 종속변수인 사고 심각도는 부상신고, 경상, 중상, 사망의 4단계로 구분하였으며 사고 심각도에 유의한 영향을 미치는 변수 선정 을 위해 Table 4와 같이 사고에 영향을 미칠 것을 판단되는 모든 변수를 독립변수로 구축하여 모형분석을 하였으며, 유의수준과 p-value 값을 고려하여 통계적으로 유의미한 설명 변수를 선정하였다.

2017년부터 2018년까지 발생한 707건의 PM 사고를 대상으로 모형분석 결과, Table 5와 같이 90% 신뢰수준에서 PM 사고 심각도에 통계적으로 유의미한 영향을 미치는 요인으로 분석되었다.

Table 5. Result of ordered probit models for injury severity in PM accidents

Classification		Variable	Coefficient	t-score	Possible injury	Slight injury	Serious injury	Fatal injury
Road and environmental factor	Month of year	May=1, Otherwise=0	0.327521	2.054	-0.0415	-0.0845	0.1173	0.0086
	Time of day	14PM=1, Otherwise=0	0.437631	2.111	-0.0506	-0.1194	0.1566	0.0134
		21PM=1, Otherwise=0	0.356053	1.949	-0.0438	-0.0936	0.1276	0.0098
		23PM=1, Otherwise=0	0.418254	2.203	-0.0493	-0.1128	0.1498	0.0124
	Road surface	Wet=1, Otherwise=0	0.509296	2.071	-0.0557	-0.143	0.1815	0.0172
	Weather	Etc.=1, Otherwise=0	1.606491	2.426	-0.0831	-0.4586	0.3589	0.1828
Accident places	In the intersection=1, Otherwise=0	0.284961	2.210	-0.0408	-0.0661	0.1008	0.0061	
	Etc.=1, Otherwise=0	0.241403	2.019	-0.0372	-0.0517	0.0844	0.0045	
Accident type factor	PM to pedestrian	Crossing street=1, Otherwise=0	0.487598	1.709	-0.0537	-0.1364	0.174	0.0162
	PM to vehicle	Rear-end collision=1, Otherwise=0	0.593749	2.504	0.0957	0.0587	-0.1492	-0.0052
		Head-on collision=1, Otherwise=0	-0.46985	-1.930	-0.0615	-0.1704	0.2098	0.022
	PM only	Rollover=1, Otherwise=0	0.808629	3.323	-0.0725	-0.2414	0.2754	0.0386
Violation of law	Violation of the signal=1, Otherwise=0	0.242252	1.855	-0.0328	-0.0592	0.0865	0.0056	
Human factor	PM driver's age	70s=1, Otherwise=0	0.320266	1.679	-0.0402	-0.0831	0.1148	0.0085
	Other vehicle driver's age	50s=1, Otherwise=0	0.297139	2.752	-0.0407	-0.0719	0.1058	0.0068
		60s=1, Otherwise=0	0.277403	2.127	-0.037	-0.0687	0.0991	0.0066
Number of observations: 707, Chi squared: 61.77771, Likelihood ration index $\rho^2=0.0452627$								

도로 및 환경 요인 중에서는 5월의 사고 심각도가 높은 것으로 나타났으며, 5월에 사고가 발생할 경우, 중상 및 사망사고가 발생할 확률이 5월을 제외한 다른 달에 비해 11.73%, 0.86% 증가하는 것으로 나타났다. 시간대별로는 14시, 21시, 23시의 사고 심각도가 높은 것으로 나타났다. 단거리 교통 수요가 많은 14시의 경우 중상 및 사망사고 발생 확률이 14시를 제외한 시간대에 비해 15.66%, 0.98% 높아지는 것으로 나타났으며, 퇴근 시간대 이후인 21시, 23시의 경우 적절한 조명장치를 미부착한 채 운행 중인 PM의 비율이 높은 점을 고려할 때, 상대 차량 및 보행자가 PM 운행 상태를 식별하기 어렵기 때문에 사고위험이 높은 것으로 판단되며 이 시간대의 중상 및 사망사고의 발생 비율이 다른시간대 대비 21시의 경우 12.76%, 0.98%, 23시의 경우 14.98%, 1.24% 높아지는 것으로 나타났다. 도로 상태로는 젖은 노면 상태일 때, 사고 심각도가 높은 것으로 나타났으며 중상 및 사망사고 발생 비율 또한 노면이 젖은 상태를 제외한 상태일 경우 대비 18.15%, 1.72% 높아지는 것으로 나타났다. 이는 노면이 젖음에 따라, 노면 마찰력이 떨어져 PM의 미끄럼 및 제동 문제 등이 발생하여 사고 위험도가 증가하는 것으로 판단된다. 사고 발생 위치로는 교차로 내 구간과 단일로에서 교량 및 고가도로를 제외한 일반구간에서의 사고 심각도가 높은 것으로 나타났다. 중상 및 사망사고의 발생 비율은 교차로 내 구간에서는 10.08% 0.61%, 단일로 일반구간에서는 8.44%, 0.45% 높아지는 것으로 나타났다. 특히 교차로 내 구간의 경우, 차량과 보행자, PM 간 다수의 상충이 발생하는 지점으로 PM 사고 발생 시 심각도가 높아지는 것으로 판단된다. 사고 특성 요인으로 유의미한 변수는 다음과 같이 분석되었다. PM 단독사고의 경우, 사고 원인으로는 전도 및 전복 사고 발생 시 사고 심각도가 높은 것으로 나타났으며 중상 및 사망사고의 발생 비율은 전도 및 전복 사고가 발생하는 경우를 제외한 나머지 사고 대비, 각각 27.54%, 3.86% 높아지는 것으로 나타났다. PM 사망사고 중 60% 이상이 PM 단독사고로 인해 발생하였으며, 참고문헌 검토 결과 PM

주행 실험 시 대부분의 참가자가 PM 조작 시 어려움을 느끼며, PM 주행 전에 사전교육이 필수적으로 필요하다고 응답한 만큼 PM 운행 시, 급가속 및 급정거, 기기 조작 등에 대한 미숙으로 인해 사고 위험도가 높아지는 것으로 판단된다. PM과 보행자 간의 사고는 PM이 교차로 횡단 시 보행자와의 사고 심각도가 높은 것으로 나타났으며, 중상 및 사망사고 발생 비율은 다른 장소에 비해 17.40%, 1.62% 높아지는 것으로 분석되었다. PM과 차량 간의 사고의 경우 추돌사고 발생 시 위험도가 높아지는 것으로 나타났으며 정면 충돌사고 발생 시에는 사고의 위험도는 낮아지는 것으로 분석되었다. 중상사고 및 사망사고의 경우 정면, 측면 충돌 및 후진 중 충돌 사고 대비 추돌사고 발생 시 20.98%, 2.20% 증가하는 것으로 나타났으며 정면 충돌사고 사고 발생 시 14.92%, 0.52% 낮아지는 것으로 나타났다. 이는 정면충돌 시 PM 운전자와 차량운전자 즉 두 운전자 모두 상대방과의 충돌을 인식하여 속도를 줄일 수 있다는 점을 고려할 때, 측면충돌과 추돌사고대비 사고 심각도가 낮아지는 것으로 판단된다. 법규위반 항목으로는 신호 위반 시 사고의 심각도가 높아지는 것으로 나타났다. 인적 요인으로는 PM 운전자의 연령이 70대 이상인 경우 사고 심각도가 높게 나타났으며, 상대 운전자 및 보행자의 연령이 50대, 60대인 경우 사고 심각도가 높아지는 것으로 나타났다. PM 운전자의 연령이 70대인 경우 사고 발생 시 중상 및 사망사고 발생 비율이 다른 연령대 대비 11.48%, 0.85% 증가하는 것으로 나타났다.

사고의 유형별로 사고에 영향을 미치는 요인을 비교·분석하기 위해 사고 유형별(PM 대 차량사고, PM 대 보행자 사고, PM 단독 사고)으로 구분하여 모형을 추가로 분석하였으며 2017년부터 2018년까지 전국에서 발생한 707건의 PM 사고 중 PM 대 차량의 사고(566건)를 대상으로 모형분석 결과, Table 6과 같이 90% 신뢰수준에서 PM 대 차량사고 심각도에 통계적으로 유의미한 영향을 미치는 요인으로 분석되었다.

Table 6. Result of ordered probit models or injury severity in PM to car accidents

Classification		Variable	Coefficient	t-score	Possible injury	Slight injury	Serious injury	Fatal injury
Road and environmental factor	Month of year	May=1, Otherwise=0	0.397746	2.077	-0.0385	-0.1131	0.1497	0.0019
		August=1, Otherwise=0	0.484879	2.885	-0.0456	-0.1396	0.1827	0.0025
	Time of day	3AM=1, Otherwise=0	-1.268890	-3.122	0.331	-0.0422	-0.288	-0.0008
		7AM=1, Otherwise=0	0.403270	1.649	-0.0381	-0.1162	0.1523	0.002
		12PM=1, Otherwise=0	-0.552780	-1.823	0.1004	0.0698	-0.1694	-0.0007
		14PM=1, Otherwise=0	0.633449	2.341	-0.0507	-0.1949	0.2409	0.0047
		20PM=1, Otherwise=0	-0.391190	-1.809	0.0633	0.0647	-0.1273	-0.0006
		23PM=1, Otherwise=0	0.373998	1.711	-0.0363	-0.1062	0.1407	0.0018
	Road surface	Wet=1, otherwise=0	0.778618	2.794	-0.0561	-0.2457	0.2945	0.0073
		Unclassified surface=1, Otherwise=0	-1.104990	-2.041	0.2722	-0.0036	-0.2678	-0.0008
Weather	Unclassified weather=1, Otherwise=0	1.826768	2.612	-0.0649	-0.5265	0.5024	0.089	
Accident places	In the intersection=1, Otherwise=0	0.206996	1.983	-0.0251	-0.0502	0.0747	0.0006	
Accident type factor	Type of accident	Rear-end collision=1, Otherwise=0	0.521901	2.105	-0.0454	-0.156	0.1982	0.0032
		Head-on collision=1, Otherwise=0	-0.708010	-2.684	0.1393	0.068	-0.2065	-0.0008
	Violation of law	Violation of pedestrian protection duty=1, Otherwise=0	1.952726	2.440	-0.0651	-0.5446	0.4986	0.1111
Type of other vehicle	Bicycle=1, Otherwise=0	0.411738	1.809	-0.039	-0.1184	0.1553	0.0021	
Human factor	PM driver's age	40s=1, Otherwise=0	0.299531	2.136	-0.0321	-0.08	0.111	0.0012
		50s=1, Otherwise=0	0.314760	2.096	-0.0331	-0.0852	0.117	0.0013
	Other vehicle driver's age	50s=1, Otherwise=0	0.290080	2.530	-0.0328	-0.0745	0.1063	0.001
Number of observations: 566, Chi squared: 79.08263, Likelihood ration index $\rho^2=0.0771467$								

2017년부터 2018년까지 전국에서 발생한 707건의 PM 사고 중 PM 대 보행자의 사고(92건)를 대상으로 모형분석 결과, Table 7과 같이 90% 신뢰수준에서 PM 대 보행자 사고 심각도에 통계적으로 유의미한 영향을 미치는 요인으로 분석되었다. 도로 및 환경요인으로는 3월에 사고 발생 시 사고 심각도가 높아지는 것으로 나타났으며, 특히 부상 및 사망사고 발생 비율은 52.96%, 1.49%로 증가하는 것으로 나타나 다른 요인에 비해 부상 및 사망사고 발생 비율이 높아지는 것으로 나타났다. 요일 중에서는 월요일, 화요일에 사고 심각도 높아지는 것으로 나타났으며, 시간대로는

3시, 8시, 15시에 사고 발생 시 심각도가 높아지는 것으로 나타났다. 특히 15시 사고 발생 시, 부상사고 및 사망사고 발생 비율이 다른 시간대 대비 60.62%, 5.87% 증가하는 것으로 나타났다. 사고 특성 요인으로는 길 가장자리 주행 시, 교차로 횡단 시 사고 위험도가 증가하는 것으로 나타났다. 인적 요인으로는 PM 운전자의 성별이 남성인 경우 사고 심각도가 높아지는 것으로 나타났으며, 보행자의 연령이 60대인 경우 사고 심각도가 높아지는 것으로 나타났다.

Table 7. Result of ordered probit models or injury severity in PM to pedestrian accidents

Classification		Variable	Coefficient	t-score	Possible injury	Slight injury	Serious injury	Fatal injury
Road and environmental factor	Month of year	March=1, Otherwise=0	1.506433	2.168	-0.027	-0.5175	0.5296	0.0149
	Day of week	Monday=1, Otherwise=0	1.192534	2.686	-0.0313	-0.4158	0.442	0.0051
		Tuesday=1, Otherwise=0	0.863099	2.166	-0.029	-0.2945	0.3216	0.0018
	Time of day	3AM=1, Otherwise=0	4.095254	2.516	-0.026	-0.6981	0.0542	0.6699
		8AM=1, Otherwise=0	0.889452	1.75	-0.026	-0.3115	0.3351	0.0024
		15PM=1, Otherwise=0	2.114395	2.453	-0.0274	-0.6374	0.6062	0.0587
Road surface	Freezing and snow=1, Otherwise=0	3.369551	2.126	-0.0255	-0.6935	0.3285	0.3905	
Accident type factor	Place of accident	Walking on sidewalk=1, Otherwise=0	0.984932	2.525	-0.0328	-0.3348	0.3652	0.0024
		Crossing street=1, Otherwise=0	1.053198	2.585	-0.0342	-0.3586	0.3899	0.0029
	Violation of law	Violation of the signal=1, Otherwise=0	1.286495	2.334	-0.0295	-0.4503	0.4725	0.0073
Human factor	PM driver's gender	Man=1, Otherwise=0	0.725703	2.061	-0.0594	-0.1598	0.2188	0.0003
	Pedestrian's age	60s=1, Otherwise=0	1.654481	4.509	-0.055	-0.5335	0.5792	0.0093
Number of observations: 92, Chi squared: 52.74912, Likelihood ratio index $\rho^2=0.3034781$								

2017년부터 2018년까지 발생한 707건의 PM 사고 중 PM의 단독 사고(49건)를 대상으로 모형분석 결과, Table 8과 같이 90% 신뢰수준에서 PM의 단독사고 심각도에 통계적으로 유의미한 영향을 미치는 요인으로 분석되었다. 요일별 분석 결과 금요일에 사고 심각도가 높아지는 것으로 나타났으며 시간대별로는 1시 및 18시 사고 심각도가 높아지는 것으로 나타났다. 사고 발생 장소로는 교차로, 단일로, 교량, 터널, 주차장 등을 제외한 미분류된 장소에서의 사고 심각도가 높아지는 것으로 나타났으며 미분류된 장소에서 사고 발생 시, 다른 장소에서 사고 발생한 경우 대비 중상사고의 경우 36.95% 증가하는 것으로 나타났으며, 사망사고의 경우 10.17% 증가하는 것으로 나타났다.

Table 8. Result of ordered probit models or injury severity in PM alone accidents

Classification		Variable	Coefficient	t-score	Possible injury	Slight injury	Serious injury	Fatal injury
Road and environmental factor	Day of week	Friday=1, Otherwise=0	1.358991	2.438	-0.2230	-0.2035	0.0976	0.3290
	Time of day	1AM=1, Otherwise=0	1.325006	1.876	-0.2065	-0.2011	0.0755	0.3320
		18PM=1, Otherwise=0	2.046947	2.233	-0.2234	-0.2573	-0.1319	0.6126
	Accident place	Unclassified place=1, Otherwise=0	1.309561	2.817	-0.4421	-0.0290	0.3695	0.1017
Number of observations: 49, Chi squared: 15.77119, Likelihood ratio index $\rho^2=0.1261265$								

결론

PM은 전기를 동력으로 하는 신개념 교통수단으로 이동의 편리성과 현대의 편리성 등으로 인해 대체 교통수단으로 주목받고 있으며, 판매량 및 이용량이 급증하고 있다. 이와 같이, 급증하는 PM의 이용량 대비, PM의 안전에 대한 연구는 미미하여 관련 교통사고도 해마다 증가하고 있고 안전 관련 문제도 지속적으로 제기되고 있다. PM은 '도로교통법'상 '원동기장치자전거'로 분류됨에 따라, 차도로만 통행이 가능하다. 그러나 PM과 일반 자동차 간의 성능 및 크기, 무게 등의 제원의 차이가 커서 사고 발생 시 심각한 사고로 이어질 가능성이 매우 크다. 또한, The Korea Transport Institute(2018) 개인형이동수단 이용실태 조사 결과, PM 통행 관련 규칙을 잘 알고 있다고 응답한 비율이 19.0%로 매우 낮으며, Road Traffic Authority(2016)의 개인형 이동 수단 이용자 설문조사 결과 보도(23.5%) 및 자전거도로(39.1%)를 이용한다는 응답이 높게 나타나는 등, 일부 PM 이용자 중 PM 통행 방법에 대해 잘 알지

못하고 보도 및 자전거도로에서 PM을 이용하여 보행자와의 사고 위험도가 매우 높은 편이다. 이와 같이 안정성에 대한 문제가 지속적으로 제기되고 있는 PM의 안전성 향상을 위해서는 PM의 사고에 영향을 주는 위험 요소를 파악하는 연구가 필수적이라고 할 수 있다.

본 연구에서는 PM의 사고에 영향을 주는 위험 요소를 파악하기 위해, PM 사고를 사고 심각도에 따라 4단계로 구분하였으며 사고에 영향을 주는 요인을 도로 및 환경적인 요인, 사고특성요인, 인적 요인 등으로 구분하여 각 요인별 사고에 영향을 주는 요소를 선정하고 PM 사고의 심각도에 유의미한 영향을 미치는 요소를 선정하였다. 또한, 사고 유형별 사고에 영향을 주는 요인을 비교·분석하기 위해 사고유형을 PM과 차량 간의 사고, PM과 보행자 간의 사고, PM 단독사고로 구분하여 각각의 모형을 추가로 구축하였다. 사고자료는 2017년부터 2018년까지 발생한 PM 관련 교통사고를 대상으로 하였으며, 데이터 수집 결과 총 731건의 사고가 발생하였으며 사고의 요인이 명확하지 않은 24건을 제외한 707건을 대상으로 사고 심각도 분석을 하였다.

PM 사고 분석 결과, 월별로는 전체 PM 사고의 경우 5월의 사고 심각도가 높았으며, PM 대 차량 간의 사고는 5월, 8월, PM 대 보행자 간의 사고는 3월에 사고 심각도가 높게 나타나는 등, PM의 이용률이 높아지는 달에 따라 PM 사고 건수의 증가뿐만 아니라 사고의 심각도도 높아지는 것으로 분석되었다. PM 판매량 및 수입량 추이에 따르면, 이용률이 지속적으로 증가할 것으로 예상되므로 이용량 증가에 따른 안전한 PM 이용환경 조성을 위해 PM 관련 안전대책 마련이 필요할 것으로 판단된다. 요일별로는 PM 대 보행자 간의 사고의 경우, 월요일과 화요일 사고 심각도가 높은 것으로 나타났으며, PM 단독 사고의 경우 금요일에 사고 심각도가 높게 나타나는 등, 주말 대비 주중의 사고 심각도가 높은 것으로 나타났다. 이는 PM의 주 이용목적이 레저용(29.8%)보다는 이동용(56.8%)으로 이용됨에 따라 주말보다는 주중에 교통수단의 대체수단으로 이용률이 증가하여 사고의 빈도 및 심각도가 증가하는 것으로 판단된다. PM 사고의 심각도가 높아지는 시간대로는 PM 전체 사고 분석 결과, 14시, 21시, 23시로 나타났으며 저녁 시간대 뿐만 아니라 새벽 시간대인 1시, 3시에 PM 단독사고, PM 대 보행자 사고의 심각도가 높아지는 것으로 분석되었다. PM의 안전한 주행환경 조성을 위해서는 야간 시간대 차량 및 보행자가 PM 운행 상태를 식별할 수 있도록 하고, PM 운전자의 시인성 확보를 위한 적절한 시각신호장치 및 음향신호장치의 장착이 필요할 것으로 판단된다. 도로 노면 상태가 젖은 상태일 경우, PM 사고의 심각도가 높아지는 것으로 나타났으며, 도로가 결빙상태일 경우, PM 대 보행자간 사고의 심각도가 높은 것으로 분석되었다. 이는 노면이 젖은 또는 결빙상태일 때, 노면 마찰력이 떨어져 PM의 미끄럼 및 제동 문제 등이 발생하여 사고 위험도가 증가하는 것으로 판단된다. PM은 종류가 다양하고 종류별 바퀴의 크기 및 기기의 무게, 길이 등이 다양하여, PM의 주행 안정성 확보를 위해서는 노면 상태에 따른 PM의 종류별 주행실험이 필요할 것으로 판단된다. PM의 사고 위치로는 대부분의 PM 사고가 교차로 내에서 발생하며, 분석 결과 사고심각도 또한 높은 것으로 나타났다. 또한, PM 대 보행자 간의 사고의 경우 보도에서 발생한 사고의 심각도가 높은 것으로 나타났는데 이는 PM의 통행 방법을 잘 알지 못하고 이용하는 보도에서 이용하는 비율이 높아 사고심각도 또한 높은 것으로 판단되며, PM 이용자를 대상으로 사전 통행 관련 교육이 필요할 것으로 판단된다. 인적 요인으로는 PM 운전자의 연령이 70대인 경우, 상대 차량의 운전자 연령이 50대, 60대인 경우 사고 심각도가 높은 것으로 나타났으며 PM 대 보행자간의 사고의 경우 보행자가 60대인 경우 사고가 높게 나타났다.

PM 사고와 관련된 연구가 많이 이루어지지 않은 점을 고려하였을 때, 본 연구를 통하여 우리나라에서 발생하는 PM 사고의 사고 특성과 심각도에 영향을 미치는 요소를 도로 및 환경적인 부분과 사고 특성 부분, 인적 요인 부분으로 세분화하여 각 부분별 사고 심각도에 유의한 영향을 미치는 요소를 도출하여 확인할 수 있었다. 또한, 사고유형별로 사고를 구분하여 모형을 구축하여 사고에 영향을 미치는 요인을 추가로 도출할 수 있었으며 사고유형별 요인을 비교·분석할 수 있었다. 본 연구의 결과가 향후 PM 사고 분석을 위한 기초 자료로 활용될 수 있을 것으로 판단되며, 본 연구에서는 PM 종류와 상관없이 전체 PM을 대상으로 사고 분석을 시행하였으나 PM은 종류별로 제원의 차이가 커서 향후 PM 종류별 세분화된 분석이 필요할 것으로 판단된다. 또한, PM과 보행자의 사고, PM의 단독 사고의 경우, 사고건수가 각각 92건, 49건으로 사고 데이터가 적어 분석 모형의 설명력에 한계가 있는 것으로 판단되며, 향후, 2019년 자료를 추가하여 사고 모형 구축을 통해, 모형의 설명력을 높일 필요가 있을 것으로 판단된다. 또한, PM

사고 데이터를 활용한 사고 분석뿐만 아니라, PM의 주행 특성, PM 도로 주행 시 차량과의 상충, 지체 등을 고려하여 PM이 안전하고 효율적으로 주행이 가능하도록 PM의 교차로 통행 방법, 신호 운영 방법 등에 대한 추가적인 연구가 진행될 필요성이 있는 것으로 판단된다.


Funding


This work was supported by Incheon National University Research Grant in 2019.


알림

본 논문은 대한교통학회 제81회 학술발표회(2019.09.27)에서 발표된 내용을 수정·보완하여 작성된 것입니다.

ORCID

HAN, Dajeong  <http://orcid.org/0000-0003-3879-0952>

KIM, Eungcheol  <http://orcid.org/0000-0001-9574-400X>

JI, Minkyung  <http://orcid.org/0000-0001-6453-1247>

References

- Korea Transportation Safety Authority (2008), The Effects of Low Speed Vehicle System on Traffic Safety - Focused on Foreign Cases.
- Lee S. I., Kim S. H., Kim T. H. (2017), A Comparison Study on the Risk and Accident Characteristics of Personal Mobility, *Journal of the Korean Society of Safety*, 32(3), 151-159.
- Mineta Transportation Institute (2019), How and Where Should I Ride This Thing? ‘Rules Of The Road’ for Personal Transportation Devices.
- Pierre Lavallée (2004), Pilot Project for Evaluating Motorized Personal Transportation Devices : Segways and Electric Scooters, Centre for Electric Vehicle Experimentation in Quebec.
- Road Traffic Authority (2016), A Study on Safety Measures for the Use of New Transportation - Mainly about personal mobility.
- Castonguay S., Binwa P. (2006), Pilot Project for Evaluating the Segway HT Motorized Personal Transportation Device in Real Conditions, Centre for Electric Vehicle Experimentation In Québec.
- The Korea Transport Institute (2017), 2017 Support Project for Micro Mobility Transport Policy.
- The Korea Transport Institute (2018), 2018 Support Project for Micro Mobility Transport Policy.
- Unfallforschung der Versicherer (2009), Assessing the Safety Characteristics of the Segway.
<https://greatlakessegway.com/product/segway-i2-personal-transporter/>
<https://suprents.com/shop/used-onewheel-pint>
<https://www.aliexpress.com/i/32914109797.html?spm=2114.12057483.0.0.704331f9DRKbDI>
<https://www.ridevoyager.com/collections/hoverboards/products/air-wheel-offroad-hoverboard>
<https://www.ridevoyager.com/collections/scooters/products/rover-electric-scooter>
<https://www.ridevoyager.com/products/neutrino-electric-skateboard>