

개인형 이동장치의 주행 안전성 및 이동성 평가 연구: 행정중심복합도시 1생활권을 중심으로*

Evaluating the Driving Safety and Mobility of Personal Mobility Devices:
Focused on the First Neighborhood District of the Multifunctional
Administrative City

배주은 Bae Jueun**, 이수진 Lee Su-Jin***, 김충호 Kim Chung Ho****

Abstract

This study aims to evaluate the driving safety and mobility of personal mobility devices and to derive the correlation between driving characteristics and driving environments, focusing on the First Neighborhood District of the Multifunctional Administrative City. For this, the study presented a methodology to evaluate the driving safety and mobility of personal mobility devices, and measured acceleration and speed in the driving process after selecting normal bicycles, electric bicycles, and e-scooters as driving test devices. Then, the study conducted correlation analysis, cluster and outlier analysis, and multiple regression analysis in order to understand the effects of driving environments on driving characteristics. As a result, the research reached the following conclusions. First, regardless of the type of personal mobility device, the correlation between driving safety and driving mobility was found to be low overall. Next, the effects of driving environments on driving characteristics differed for each type of personal mobile devices. In terms of driving safety, e-scooters were more affected by road surface environments than electric bicycles. On the other hand, in terms of driving mobility, in addition to road type variables, situational factors such as competition with pedestrians and other personal mobility devices were also judged to be important.

Keywords: Personal Mobility Devices, Driving Safety, Driving Mobility, Driving Environments, Multifunctional Administrative City

I. 연구의 배경 및 목적

행정중심복합도시의 수도권의 지나친 집중에 따른 부작용의 해소를 위해, 지난 2004년부터 서울에서 남쪽

으로 120km 떨어진 곳에 중앙행정기능 중심의 복합 도시로 조성되기 시작한 신도시이다.

행정중심복합도시의 계획 단계에서부터 대중교통 지향 도시로 설계되었으며, BRT와 같은 광역 대중교

* 이 논문은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(2019R1G1A1100133).

** 서울시립대학교 도시공학과 박사수료(제1저자) | Doctoral Candidate, Urban Planning and Design, Univ. of Seoul | Primary Author | bbnqq@naver.com

*** 서울시립대학교 도시공학과 석사 | Master, Urban Planning and Design, Univ. of Seoul | ekf0780@naver.com

**** 서울시립대학교 도시공학과 부교수(교신저자) | Associate Prof., Urban Planning and Design, Univ. of Seoul | Corresponding Author | chkim0428@uos.ac.kr

통망의 효과를 극대화할 수 있도록 BRT가 통과하는 순환로를 중심으로 폭 1,000m~1,600m가량의 시가지로 계획되었다(Kwon 2015, 253).

행정중심복합도시시는 당초 대중교통 분담률 70% 이상을 목표로 계획되었으나, 시가지의 확장으로 인해 대중교통의 수송 분담이 현재 상당히 미미한 실정이다. 2020년 기준, 세종특별자치시의 통근 및 통학수단 중 자가용 승용차의 수송분담률은 57.63%로 전국 광역지자체 중 1위인 반면, 대중교통의 수송분담률은 9.14%로 전국 광역지자체 중 최하위 수준이다.¹⁾

이에 따라, 행정중심복합도시시는 대중교통 이용률 제고 및 대중교통 간 연계 강화, 주민들의 이동 편의 개선을 위해 개인형 이동장치를 도입하고 있다. 개인형 이동장치는 기존 대중교통 서비스를 보완하며, 자가용 승용차의 대체수단으로 활용되는 것이 기대되고 있다.

하지만, 개인형 이동장치는 안전사고 및 무단방치, 운영효율 등의 문제가 지속적으로 제기되고 있는 실정이다. 향후 개인형 이동장치의 확대 및 다양화, 보편화가 기대되는 시점에서 새로운 교통수단으로서 개인형 이동장치의 주행환경 및 주행특성에 대한 면밀한 검토 및 연구가 요구된다.

이에, 본 연구는 개인형 이동장치의 주행특성을 주행 안전성과 이동성 측면에서 평가하고, 주행특성과 주행환경의 상관관계를 분석하고자 한다. 이와 함께, 개인형 이동장치의 주행특성을 제고하기 위한 정책적 시사점을 제시하고자 한다.

이를 위해, 본 연구는 구체적으로 다음과 같이 수행되었다. 첫째, 기존 문헌을 참고하여 개인형 이동장치의 주행특성에 대한 평가 방법 및 주행환경 요소를 도출하였다.

둘째, 개인형 이동장치에 관성센서, GPS를 설치하

여 가속도와 속도를 측정하고, 선행연구에서 제시된 지표를 참고하여 주행특성을 평가하였다.

셋째, 주행환경이 주행특성에 미치는 영향을 파악하였다. 우선, 통계적으로 유의미한 공간적 이상값의 추출을 위해, GIS 프로그램을 활용하여 주행 안전성과 주행 이동성에 대한 클러스터 및 이상치 분석을(Cluster and Outlier Analysis) 실시하였다. 이에 따라, 유의미한 클러스터와 이상값을 나타낸 표본을 추출하고, 주행 안전성과 주행 이동성이 상대적으로 낮은 개인형 이동장치를 대상으로 다중회귀분석을 실시하여 주행환경과 주행특성과의 관계를 규명하였다. 최종적으로, 분석 결과에 따라 개인형 이동장치의 주행 안전성 및 이동성 개선을 위한 정책적 시사점을 제시하였다.

II. 이론적 고찰 및 선행연구 분석

1. 개인형 이동장치의 정의

개인형 이동장치(Personal Mobility, PM)는 사람의 힘으로 움직이거나 전기를 동력으로 움직이는 1인용 교통수단을 통칭한다(박재민, 이진선 2021, 264). 한편, 우리나라의 「도로교통법」에서는 개인형 이동장치를 ‘원동기장치자전거 중 시속 25km 이상으로 운행할 경우 전동기가 작동하지 아니하고 차체 중량이 30kg 미만인 것으로서 행정안전부령으로 정하는 것’으로 정의한다.

우리나라에서는 현재 서울특별시, 세종특별자치시, 창원시 등 지자체에서 공공자전거를 운영하고 있으며, 민간 공유 전동킥보드 및 전기자전거 플랫폼도 증가하고 있다(고상필, 이준, 천호영 2020, 59). 하지만, 개인형 이동장치 통행의 증가로 보행자 및 차량과 공유하는 공간에서 개인형 이동장치 이용자, 보행자,

1) 국가통계포털. <https://kosis.kr/> (2022년 1월 15일 검색).

차량 운전자 사이에 주행 안전성 및 이동성에 관한 문제 역시 지속적으로 발생하고 있는 실정이다(최민혜, 정현영 2020, 3).

2. 주행특성 관련 선행연구 분석

개인형 이동장치의 주행특성 관련 선행연구는 크게 주행 안전성과 주행 이동성으로 구분할 수 있다.

우선, 주행 안전성 관련 선행연구는 주행환경의 미시적 변화에 대한 개인형 이동장치 이용자의 반응 및 상호작용 연구(주신혜, 2013, 28-30)와 함께, 경사도, 굴곡도, 노면 상태 등 주행 상황에 대한 이용자의 인식 연구(최정환, 양윤석, 유문호 2011, 64) 등이 있었다. 한편, 개인형 이동장치의 주행 안전성을 무게중심이 중력방향에서 벗어난 물리적 정도로 정의 내린 연구도 있었다(박범진, 노창균, 김지수 2018, 3).

이에 따라, 본 연구에서는 선행연구에서 제시된 개념을 정리하여, 주행 안전성을 도로 상황에 따른 개인형 이동장치 주행에서 발생하는 진동의 크기로 정의하여 분석하였다(주신혜 2013, 28-30; 홍두호, 길은지, 김수진, 주신혜 외 2012).

한편, 주행 이동성 관련 선행 연구에서는 주행 이동성 결함 구간 범위를 주행속도 5km/h 미만 구간으로 설정하거나, 속도 감소량의 영역을 0~5km/h, 5~10km/h, 10~15km/h로 구분하여 그래프상의 속도 감소 면적을 분석한 연구가 있었다(주신혜 2013, 30; 홍두호, 길은지, 김수진, 주신혜 외 2012). 이에 따라, 본 연구에서는 선행연구에 따라 주행 이동성에 대해 개인형 이동장치의 속도를 분석하였다.

3. 주행환경 관련 선행연구 분석

선행연구에 따르면, 주행환경은 도로유형, 교차로, 경

사, 노면시설 등 개인형 이동장치의 주행특성에 영향을 미치는 노면요소로 정의할 수 있다. 이와 관련하여, 선행연구에서는 자전거 주행환경에 관한 연구가 주를 이루었다.

선행연구에서 제시된 주행환경 평가 지표로는 도로유형, 평면선형, 종단선형, 신호교차로 수, 신호교차로 횡단횡수, 신호교차로 지체시간, 이면도로 접속횡수, 단차, 주차장, 노면장애물, 노면상태, 보행량 등이 있었다(김수성, 송기욱, 정현영, 하승우 2011, 227; 주신혜 2013, 17-18). 이에 따라, 본 연구에서는 선행연구에서 제시된 주행환경 지표를 고려하여 개인형 이동장치의 주행환경 분석에 활용하였다.

4. 선행연구와의 차별성

개인형 이동장치 주행환경 관련 선행연구에서는 주로 자전거의 주행 이동성 및 주행 안전성에 관한 연구가 주를 이루었는데, 개인형 이동장치가 본격적으로 도입되면서 이에 대한 주행 안전성 연구도 진행되었다. 구체적으로, 개인형 이동장치 유형별 주행 안전성 연구는 장애물, 턱, 경사, 곡선주로 등의 실험용 주행환경에서, 정지거리, 최소 회전반경, 장애물 회피능력, 경사주행 및 턱 넘기 등의 주행지표에 따라 평가가 수행되었다(도로교통공단 2018). 이와 함께, 개인형 이동장치의 자전거도로 이용을 위한 자전거도로 디자인을 제안하는 연구도 진행되었다(김승호, 김수홍, 김주연 2020). 하지만, 개인형 이동장치의 주행 안전성에 대한 연구는 이동장치의 이용자가 체감하는 안전성 및 이동성에 국한되어 있었으며, 주행환경에 관한 연구는 주로 개인형 이동장치의 원활한 이동을 위한 자전거도로의 개선방안 중심으로 수행되었다.

이에 비해, 본 연구는 개인형 이동장치의 주행 안전성과 이동성을 측정하고, 관측치의 공간적 분포를 분

Figure 1 _ Photos of Analysis Site



석하며, 주행특성과 주행환경과의 상호관계를 통계적 모형을 이용하여 규명한다는 점에서 선행연구와의 본질적인 차별성이 있다.

III. 분석의 틀

1. 분석 구간 선정 및 조사개요

1) 분석대상지 및 조사구간 선정

행정중심복합도시시는 앞서 설명한 바와 같이, 자가용 승용차의 높은 수송분담률과 대중교통의 낮은 수송분담률에 비해, 자전거 수송분담률은 2.35%로 전국 광역자치체 중 1위이다.²⁾

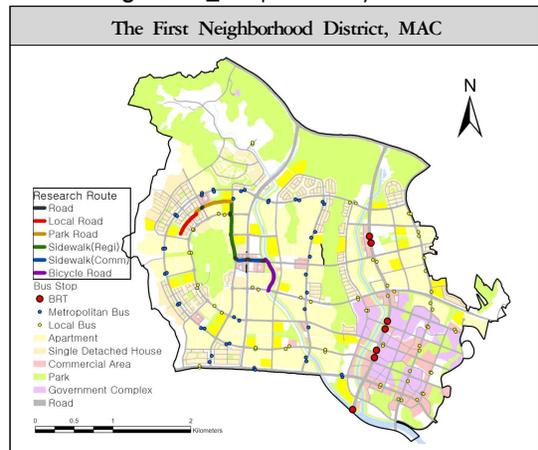
다시 말해, 행정중심복합도시에서 개인형 이동장치는 출발지점에서 대중교통 결절점까지의 접근성을 보완하는 역할을 하고 있으며, 대중교통의 연계교통 수단으로써 First-Last Mile 지역에서의 활용 가능성이 높을 것이 기대되고 있다(최민혜, 정현영 2020, 3).

이에 따라, 본 연구는 대중교통은 취약하지만 개인형 이동장치의 이용률이 높을 것으로 예상되는 행정중심복합도시 1생활권 외곽의 First-Last Mile 지역을 분석대상지로 선정하였다. 구체적으로, 광역급행버스

노선인 BRT 통과 지점에서 이격된 외곽 주거지역이 본 연구의 공간적 범위이다(<Figure 1>, <Figure 2> 참조).

또한, 행정중심복합도시 중에서 자전거전용도로, 보행자자전거겸용도로, 이면도로, 일반 보행로 등의 도로유형, 교차로, 단차, 주차장 입구, 노면장애물, 노면상태 등 개인형 이동장치의 주행에 영향을 주는 주행환경이 다양하게 포함된 경로를 조사구간으로 선정하였다(<Figure 2> 참조). 이와 함께, 1생활권 외곽의 대중교통 취약지역인 주거지역에서 정부세종청사로의 출퇴근 경로도 고려하였다.

Figure 2 _ Map of Analysis Site



2) 국가통계포털. <https://kosis.kr/> (2022년 1월 15일 검색).

Table 1 _ Summary of Analysis Routes

Section	Road Type	Length(m)	Land Use
	Local Road	332,323	Residential Area
	Park Road	497,780	Park
	Sidewalk	722,890	Residential Area
		305,880	Commercial Area
	Bicycle Road	480,910	Park
	Road	129,362	Road

2) 조사구간 개요

조사구간의 길이는 총 2,469m이며, 도로유형은 이면 도로(Local Road), 자전거보행자겸용도로(Park Road, Sidewalk), 자전거전용도로(Bicycle Road), 도로(Road)로 구성되어있다. 각 도로유형의 길이는 129.36m~722.89m이며 조사경로의 토지이용으로는 주거지역, 상업지역, 공원 등이 있다(<Table 1> 참조).

3) 개인형 이동장치 주행특성 조사 방법

조사구간의 주행환경과 개인형 이동장치 주행특성의 연관성을 분석하기 위해 조사 구간의 개인형 이동장치 경로에 대한 현장 조사를 실시하였다.

현장조사 및 주행측정은 2020년 10월 11일~12일의 2일간 진행하였으며, 3인이 3개 유형의 개인형 이동장치를 교차로 이용하여 각각 오후 1시부터 편도 2회, 오후 4시부터 편도 2회로, 2일간 총 편도 8회를 주행하였다(<Table 2> 참조). 한편, 건조환경 위주의 주행환경 영향 분석을 위해, 사전 조사 결과 보행량이 평균 수준으로 나타난 일요일과 월요일의 각 오후 1시와 4시에 주행을 측정하였다.

실험자로는 개인형 이동장치 이용에 익숙한 인원 중 남자 2인, 여자 1인을 선발하였으며, 각 실험자에

대한 정보는 <Table 3>과 같다. 결과의 정확도 제고를 위해 측정과정에서 손실이나 오류가 발생하지 않은 데이터를 추출하여 분석에 활용하였다.

Table 2 _ Summary of Driving Experiments

Day	Time	Devices	Experimenters		
			A	B	C
Day1 10/11 Sunday	13:00	1	Normal Bicycle	●	
			Electric Bicycle		●
			E-scooter		●
		2	Normal Bicycle		●
			Electric Bicycle		●
			E-scooter	●	
	16:00	1	Normal Bicycle		●
			Electric Bicycle	●	
			E-scooter		●
2		Normal Bicycle	●		
		Electric Bicycle		●	
		E-scooter		●	
Day2 10/12 Monday	13:00	1	Normal Bicycle		
			Electric Bicycle	●	
			E-scooter		●
		2	Normal Bicycle		
			Electric Bicycle		●
			E-scooter	●	
	16:00	1	Normal Bicycle		●
			Electric Bicycle	●	
			E-scooter		●
2		Normal Bicycle		●	
		Electric Bicycle		●	
		E-scooter	●		

Table 3 _ Summary of Driving Experimenters

Experimenters	Statistics	
	Male	Female
Age (year)	27±4	22
Height (cm)	174.5±2.5	160
Weight (kg)	86±14	48±5

또한 개인형 이동장치 주행특성에 직접적인 영향을 미치는 주행환경을 도출하기 위해, 클러스터 및 이상치 관측지점 반경 5m 이내의 주행환경을 조사하여 이동지점과 인접한 주행환경 데이터를 구축하였다(주신혜 2013, 44; Bíl, Andrášik and Kubeček 2015, 418-419).

4) 주행실험 장비

개인형 이동장치에는 자전거, 전기자전거, 전동킥보드, 세그웨이(Segway), 전동휠(Single Wheel) 등 다양한 형태의 기기가 있으나, 본 연구에서는 현재 행정중심복합도시에서 운영되고 있는 개인형 이동장치의 공유 서비스 및 국내 판매량을 고려하여 주행실험 장비를 선정하였다.

구체적으로, 2022년 현재 행정중심복합도시에는 세종특별자치시가 운영하는 공유 자전거(어울링), 사설기업이 운영하는 공유 전기자전거(일레클) 및 공유 전동킥보드(지쿠터, 하이킥, 알파카 등의 세 가지 유형의 공유 서비스가 운영되고 있다.

한편, 개인형 이동장치 중에서 2019년을 기준으로 국내에서 가장 많이 판매된 유형은 전동킥보드로 96,175대 판매되었으며, 다음으로 전기자전거가 19,639대 판매되었다. 그 밖에, 자이로타입은 7,648대, 원휠 자이로타입은 7,694대, 투휠 자이로타입은 2,359대가 판매되었다(신희철, 정경옥, 이재용, 박성용 외 2019, 35).

이에 따라, 본 연구에서는 대상지에서 주민들의 이용이 상대적으로 많을 것으로 예상되는 일반자전거, 전기자전거, 전동킥보드를 주행실험 장비로 선정하여 분석에 사용하였다(<Table 4> 참조).

분석의 객관성 확보를 위해, 실험용 개인형 이동장치를 법적 기준에 맞추어 선정하였으며, 선정된 개인형 이동장치들은 모두 「도로교통법」에서 제시된 ‘원동기장치자전거 중 시속 25km 이상으로 운행할 경우

Table 4 _ Specification of Mobility Devices for Analysis

Specification	Normal Bicycle	Electric Bicycle	E-Scooter
Photos			
Sharing Service	Public Bicycle Sharing	Electric Bicycle Sharing	-
Wheel Size (inch)	26	20	10
Weight (kg)	16~17	20	24
Max Speed	-	25km/h	25km/h
Control System	Pedal	Pedal Assist System (PAS)	Throttle

전동기가 작동하지 아니하고 차체 중량이 30kg 미만 인 것으로서 행정안전부령으로 정하는 것에 부합한다. 특히, 일반자전거와 전기자전거는 실제로 대상지에서 서비스 중인 세종시 공유 자전거와 사설 기업의 공유 전기자전거를 선정하여 분석에 이용하였다.

으며, 가속도는 1초에 20번 측정되었다(20Hz). 여기서 n 은 1초 동안 1보다 큰 측정 횟수이며, DCI 범위는 0과 1 사이이다.

$$DCI = \left(\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_{vi}^2} \right)^{-1} \quad \text{<식 2>}$$

2. 주행특성 평가 모형

1) 주행 안전성

우선, 주행 안전성 평가를 위해, 가속도센서인 'kinetic sensor'를 각 개인형 이동장치에 설치하여 3축 가속도를 측정하였다(<Figure 3> 참조).

앞서 선행연구에서 제시된 주행특성 평가 기준에 따라, 주행 안전성은 주행시 측정된 모빌리티의 진동으로 계산하였다. 구체적으로, 진동은 3축 가속도 값인 a_x , a_y , a_z 값을 벡터 합으로 결합하여 총 가중 진동 가속도 a_v (단위 : m/s^2)를 도출하였으며 해당 식은 다음과 같다(Gomes and Savionek 2014, 293).

$$a_v = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2} \quad \text{<식 1>}$$

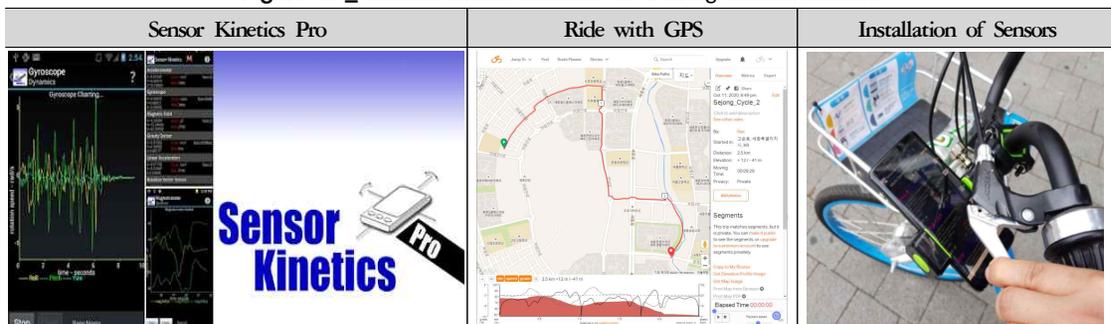
도출된 가속도 값을 이용하여 주행 안전성을 평가하기 위해서 Dynamic Comfort Index(DCI)를 활용하였

DCI는 가속(진동)의 힘과 간접적으로 관련된다. 따라서, 높은 DCI 값은 상대적으로 진동이 적고 주행특성이 양호한 것을 나타내며, 낮은 DCI 값은 진동이 크고 주행특성이 열악한 것을 나타낸다(Bíl, Andrášik and Kubeček 2015, 418).

2) 주행 이동성

주행 이동성 지표는 개인형 이동장치의 속도로서, 이를 측정하기 위해, 스마트폰에 GPS 및 속도기록 기능이 있는 'Ride with GPS' 애플리케이션을 설치하고 개인형 이동장치에 거치하였다(<Figure 3> 참조). 'Ride with GPS' 애플리케이션은 시각정보, 공간좌표, 이동 속도, 주행거리, 경사도 등을 2초 단위의 점 데이터로 제공한다.

Figure 3 _ Measurement Sensors of Driving Characteristics



Source: INNOVENTIONS. Inc, Ride with GPS.

3. 주행 안전성 및 이동성 분석 방법

본 연구에서는 조사구간의 주행환경이 개인형 이동장치의 주행 안전성과 이동성에 미치는 영향을 분석하여, 주행환경을 고려하여 개인형 이동장치를 적절히 배치하고, 주행 안정성과 이동성 제고를 위한 주행환경 개선방안을 제시하고자 하였다. 이에 따라, 먼저 변수를 선정하고, 유의미한 DCI, 속도 분포를 추출하기 위해 클러스터 및 이상치 분석(Local Moran's I, Anselin)을 실시하였다. 다음으로 다중회귀모형을 이용하여 주행환경이 주행 안전성과 이동성에 미치는 영향을 분석하였다.

1) 변수 선정

중속변수는 주행 안전성을 나타내는 DCI와 주행 이동성을 의미하는 이동속도로 선정하였다.

DCI는 연속형 변수로, 0과 1 사이의 소수로 표현된다. 주행 안전성을 측정하는 가속도계는 3축 가속도를 매초 20회 측정하나 해당 위치 정보가 없어, 3축 가속도에 위치 정보를 입력해야 한다. 이를 위해, 실험자들이 가속도계와 GPS를 동시에 작동시켜 측정하였으며, GPS의 2초 간격 점 데이터에 초당 20번 측정된 3축 가속도 데이터와 2초간의 DCI 평균값을 입력하였다.

속도(km/h)는 연속형 변수로 GPS를 통해 측정된 2초 단위의 값을 분석에 활용하였다.

독립변수는 주행환경으로, 선행연구를 참고하여 도로유형, 토지이용, 경사도, 교차로 유형, 횡단보도 유무, 노면시설장애물, 노면장애물, 노면유형 등으로 구성하였다(<Table 5> 참조).

Table 5 _ Summary of Variables

Variables		Measurement Method
Road Type		Local Road=0, Sidewalk=1, Park Road=2, Bicycle Road=3, Road=4
Land Use		Residential Area=0, Commercial Area=1, Park=2
Slope		°(angle)
Intersections		None=0, Unsignalized Intersection=1, Signalized Intersection=2
Cross		None=0, Exist=1
Facility Obstacles	Parking Lot	None=0, Exist=1
	Bus Stop	None=0, Exist=1
	Bicycle Dock	None=0, Exist=1
Road Obstacles	Curb	None=0, Normal=1, Stone=2
	Manhole	None=0, Exist=1
	Speed Bump	None=0, Exist=1
Road Surface Type		Asphalt=0, Block=1, Urethane=2, Faulty Surface=3

2) 클러스터 및 이상치 분석

본 연구에서는 통계적으로 유의미한 DCI 및 속도 레코드를 추출하기 위해, 공간분석을 실시하였다. 구체적으로, Local Moran's I를 적용하여 DCI와 속도의 공간적 패턴을 확인하였다. Moran's I는 공간상에 분포하는 자기상관성을 나타내는 지표로, 이를 통해 관찰 지점과 인접하고 특성이 유사한 지점을 클러스터화하여 통계적으로 유의한 공간적 집중도를 파악할 수 있다. 도출된 클러스터는 특정 현상이 집중되는 핫스팟(Hot Spot)과 분산되는 콜드스팟(Cold Spot)으로 분류할 수 있다(조형욱, 김다솜, 이삼수 2022, 7). 인접한 특성이 유사할 때 양의 공간적 자기상관이 나타나며, 인접 지점의 특징이 서로 다를 때는 음의 공간적 자기상관이 나타난다.

공간적 자기상관은 전역적(Global)이거나 국지적(Local)일 수 있으며, 전역적 측정은 평균 경향을 요약하는 하나의 값을 사용하여 전체 분석 영역에 대한

공간적 자기상관의 특성을 도출한다. 핫스팟 분석은 연구 영역에 국지적 공간 상관분석이 전역적 공간 상관분석보다 선호되는 경향이 있다.

Local Moran's I는 Anselin(1995, 94)이 제시한 모델로, 국지적 공간상관을 나타내는 대표적 지표이며, 각 관측치에 대한 LISA(Local Indicators of Spatial Association)는 해당 관측치 주변의 유사한 값의 중요한 공간 클러스터링 정도를 나타낸다. 모든 관측치에 대한 LISA의 합은 공간적 자기상관의 전역적 지표에 비례한다. Local Moran's I 지표에 대한 식은 다음과 같다.

$$I_i = \left(\frac{z_i}{\sum_i z_i^2} \right) \sum_j w_{ij} z_j \quad <식 3>$$

$$y_{ij} = (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x}) \quad <식 4>$$

$$z_i = (x_i - \bar{x}) \quad <식 5>$$

여기서 i, j 는 표본 데이터의 지점, I_i 는 지점 i 에 대한 Moran's I 지수, x_i, x_j 는 표본의 DCI 및 속도 데이터, \bar{x} 는 표본 데이터의 평균, w_{ij} 는 두 지점 i 와 j 에 대한 공간 가중치이며, y_{ij} 는 두 표본 데이터에 대한 가중치, z 는 표본 데이터의 편차이다(Nelson and Boots 2008, 559).

Local Moran's I에서 도출되는 유형은 총 4가지 클러스터로 분류된다. 이를테면, 특정 공간에서 관측치가 높은 표본과 그 인접지역 표본의 관측치가 모두 높으면 HH(high-high), 관측치가 높은 표본이 집중된 구역 인근에 관측치가 낮은 표본이 존재하면 HL(high-low), 관측치가 낮은 표본이 집중된 구역 인근에 관측치 높은 표본이 존재하면 LH(low-high), 관측치가 낮은 지점과 그 인접지역의 관측치가 모두 낮으면 LL(low-low)로 분류한다.

본 연구에서 HH는 주행 안전성과 주행 이동성이 상대적으로 유의미하게 높은 지점의 클러스터, LL는 주행 안전성과 주행 이동성이 상대적으로 유의미하게 낮은 지점의 클러스터, HL는 주행 안전성과 주행 이동성이 높은 클러스터 중 주행 안전성과 주행 이동성이 낮게 도출된 이상치 지점, LH는 주행 안전성과 주행 이동성이 낮은 클러스터 중 주행 안전성과 주행 이동성이 높게 도출된 이상치 지점이라 정의하였다.

이를 바탕으로, 개인형 이동장치 유형별 DCI 및 속도 점 데이터 표본에 대해 Local Moran's I와 ArcGIS Pro의 Optimized Outlier Analysis 기능을 활용하여 클러스터 및 이상치 분석을 진행하였다.

3) 다중회귀분석

클러스터 및 이상치 분석에서 추출한 두 종속변수 DCI와 속도는 모두 연속형 변수이며, 주행환경을 나타내는 독립변수 중에 연속형 변수인 경사도 외에 다른 변수는 모두 명목형 변수이다. 따라서, 모든 명목형 변수들은 더미변수로 변환하였다.

주행환경이 주행특성에 미치는 영향을 추정하기 위해, 다중회귀분석을 실시하였으며, 추정 모델의 유의성을 판단하기 위해 분산분석을 실시하였다.

IV. 분석 결과

1. 주행특성 측정결과 및 상관관계 분석

1) 주행특성의 기술통계 및 공간분포

주행 안전성 및 주행 이동성 측정 값의 기초통계량은 <Table 6>과 같다.

Table 6 _ Summary of Driving Characteristics

Variable	Vehicles	Max	Min	Mean	Std.Dev	Number
DCI	Normal Bicycle	0.338	0.019	0.095	0.041	371
	Electric Bicycle	0.509	0.035	0.184	0.082	1,066
	E-scooter	0.482	0.026	0.161	0.088	640
Speed (km/h)	Normal Bicycle	27.117	0.000	14.671	5.702	303
	Electric Bicycle	33.293	0.000	13.159	6.128	1,204
	E-scooter	39.924	0.000	14.523	6.783	1,485

DCI 표본 수는 일반자전거, 전기자전거, 전동킥보드 각각 371개, 1,066개, 640개로 정리되었으며, 속도의 표본 수는 일반자전거, 전기자전거, 전동킥보드가 각각 303개, 1,204개, 1,485개로 정리되었다. 한편, 측정 간격이 2초인 속도 측정 지점에 DCI 값을 입력하였는데 가속도계 측정의 오류로 인해 결측 지점이 다수 발생하였기 때문에 각 주행특성과 개인형 이동장치 유형별로 표본 수가 상이하게 도출되었다.

DCI 값의 경우, 일반자전거는 0.019~0.338, 전기자전거는 0.035~0.509, 전동킥보드는 0.026~0.482

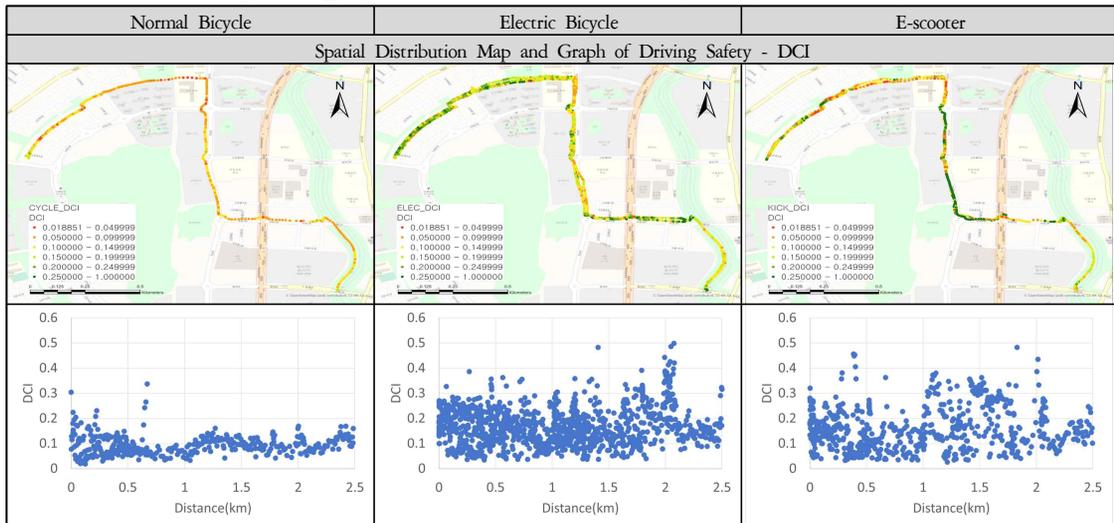
이었으며, 평균값은 각각 0.095, 0.184, 0.161로 나타났다. 주행 안전성은 전반적으로 전기자전거가 가장 높게 나타났으며, 일반자전거가 가장 낮은 것으로 판단되었다. 주행 안전성의 공간적 분포는 다음 <Figure 4>와 같다.

속도의 경우, 일반자전거는 0~27.1km/h, 전기자전거는 0~33.3km/h, 전동킥보드는 0~39.9km/h로 나타났다. 주행 이동성은 일반자전거가 상대적으로 높게 나타났으며, 전기자전거가 낮게 나타났으나 전기자전거와 전동킥보드의 표준편차는 일반자전거에 비해 큰 값이 도출되었다.

주행 이동성 결함구간은 주행속도가 보행속도인 4km/h보다 낮게 나타난 구간이다. 일반 자전거의 경우, 주행 이동성 결함 구간이 총 8개 지점에서 나타났으며, 주로, 경사로, 급곡선구간, 교차로, 아파트 차량 진출입로 등에서 이동성이 저하되었다(주신혜 2013, 48).

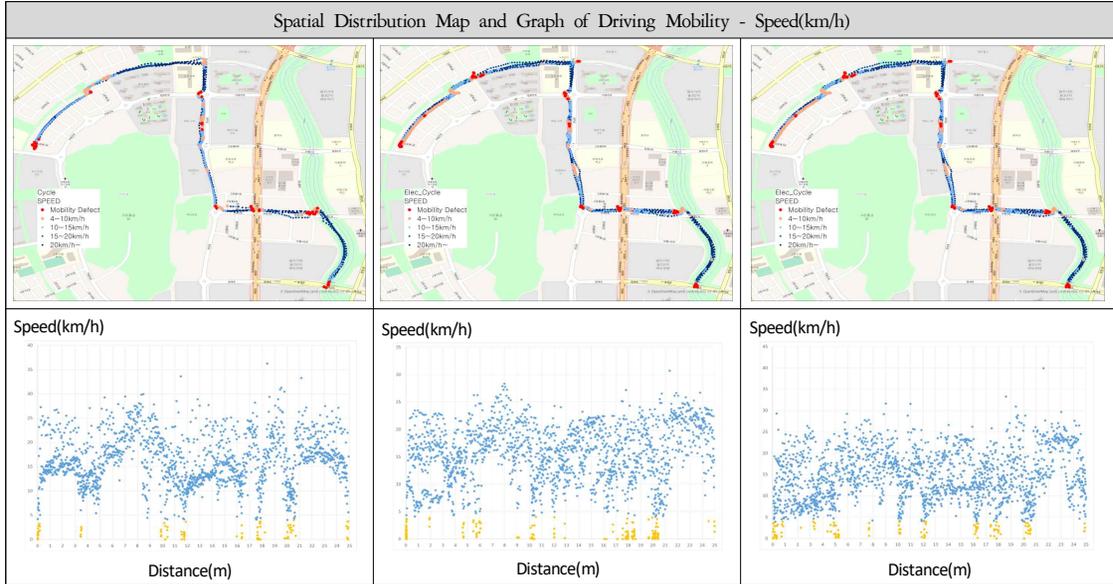
전기자전거의 주행 이동성 결함 구간은 총 10개 지점에서 나타났으며, 전동킥보드의 주행 이동성 결함 지점은 개인형 이동장치의 세 유형 중 가장 많은 11개 지점에서 발생하였다(<Figure 4> 참조).

Figure 4 _ Spatial Characteristics of Driving Safety and Mobility



(continued)

Figure 4 _ Spatial Characteristics of Driving Safety and Mobility (continued)



Note: In the Driving Mobility section, red points on the map and yellow points on the graph are defect points of driving mobility.

2) 주행 안전성과 이동성의 상관관계

본 연구에서는 주행 안전성이 높을수록 주행 이동성이 높아지는 경향이 있는지를 확인하기 위해 상관분석을 실시하였다.

상관분석은 두 변수의 관계성을 파악하기 위한 분석법으로, 관계의 선형성을 판별한다. 분석방법으로는 피어슨 상관분석(Pearson's correlation), 스피어만 상관분석(Spearman correlation) 등이 있다. 피어슨 상관분석은 변수가 정규분포여야 상관관계를 추정할 수 있으므로, 변수가 정규성을 만족하지 못하는 경우에는 스피어만 상관분석이나 켄달의 타우(Kendall's tau)와 같은 비모수적 상관관계 분석을 실시한다.

개인형 이동장치 유형별 주행 안전성과 주행 이동성 간의 상관관계를 분석하기 위해 SPSS를 활용하여 정규성 검정과 상관분석을 실시하였다.

정규성 검정방법으로는 왜도와 첨도를 이용하는 방법, Kolmogorov-Smirnov 방법 등이 있다. 그중 가장

일반적으로 사용하는 Kolmogorov-Smirnov 방법을 사용하였다. 변수의 p-value 값이 유의수준 0.05 이상일 경우 정규성이 있다고 판단한다(김남현 2004; Drezner and Turel 2011, 1241).

이에 따라, 개인형 이동장치의 주행특성에 대한 두 변수인 DCI와 속도에 대한 정규성 검정을 개인형 이동장치 유형별로 실시하였으며, 결과는 <Table 7>과 같다. 분석 결과 모든 개인형 이동장치 유형의 주행특성 관측치가 정규분포를 따른다는 귀무가설을 기각하였으므로, 스피어만 상관분석을 진행하였다.

Table 7 _ Kolmogorov-Smirnova^a Test

Vehicles	Variable	Statistic	df	P-value
Normal Bicycle	DCI	0.068	291	0.003
	Speed	0.119	291	0.000
Electric Bicycle	DCI	0.084	1176	0.000
	Speed	0.061	1176	0.000
E-scooter	DCI	0.083	291	0.000
	Speed	0.032	291	0.001

Note: a. Lilliefors Significance Correction.

Table 8 _ Correlation between DCI and Speed

Statistics	Normal Bicycle	Electric Bicycle	E-scooter
Spearman's Rho(ρ)	-0.271**	-0.031	-0.051**
p-value	<0.001	0.289	0.004

Note: **Correlation is significant at the 0.01 level.

스피어만 상관계수(ρ) 값의 범위는 -1에서 +1 사이이며, 절댓값이 높을수록 두 변수 간 상관관계가 강하다는 것을 의미한다. '-'는 음의 상관관계, '+'는 양의 상관관계를 나타낸다. 상관계수(ρ)의 절댓값이 0이면 두 변수의 관계가 성립되지 않는다. 상관계수(ρ)가 0.4 이하일 경우, 상관관계가 약하거나 없는 것으로 판단한다(Tetali, Baird and Klima 2022, 4; 박영민, 김중구 2020, 635).

각 개인형 이동장치 유형별 주행 안정성과 주행 이동성 간의 상관관계를 분석하였으며 결과는 <Table 8>과 같다.

상관관계 분석결과, 일반자전거와 전동킥보드의 주행 안전성과 주행 이동성의 상관계수(ρ)는 각각 -0.271, -0.051로 상호 간의 상관성이 다소 낮은 것으로 판단되었으며, 전기자전거의 경우, 유의미한 상관

관계가 존재하지 않았다.

개인형 이동장치 중에서 일반자전거는 DCI와 주행 속도 간의 음(-)의 상관관계가 약하게 도출된 것으로 보아 주행 이동성이 높을수록, 주행 안전성이 다소 저하될 수 있음을 유추할 수 있었다.

2. 클러스터·이상치 추출 및 주행환경 분석

개인형 이동장치의 주행환경이 주행특성에 미치는 영향을 분석하기에 앞서 통계적으로 유의한 주행특성 표본을 추출하기 위해 Local Moran's I 모형과 ArcGIS Pro의 Optimized Outlier Analysis 기능을 활용하였다.

클러스터·이상치 분석을 통해 공간적 자기상관성을 가지는 표본들이 공간 패턴 군집을 형성하는 것을 확인하였다. 통계적으로 유의한 특이값을 가진 표본을 추출하기 위해, p-value가 0.05 미만인 표본을 선택하였다. 추출된 표본의 기술적 통계는 <Table 9>에 정리하였다.

주행 안전성의 경우, 일반자전거의 HH, HL, LH, LL는 전체 표본의 12.9%였으며 주로 이면도로와 공원 내 자전거보행자겸용도로에 집중되었다. 전기자전

Table 9 _ Summary of Local Spatial Auto-Correlation(Moran's I)

Variable	Vehicles	N (%)					Raw N	Max	Min	Mean	Std.Dev
		HH	HL	LH	LL	Total					
DCI	Normal Bicycle	15 (4.043)	9 (2.426)	8 (2.156)	16 (4.313)	48 (12.938)	371	0.304	0.019	0.106	0.057
	Electric Bicycle	138 (12.946)	36 (3.377)	40 (3.752)	190 (17.824)	404 (37.899)	1066	0.499	0.039	0.187	0.092
	E-scooter	176 (27.500)	56 (8.750)	56 (8.750)	182 (28.438)	470 (73.438)	640	0.453	0.035	0.183	0.099
Speed (km/h)	Normal Bicycle	30 (9.901)	9 (2.97)	0 (0)	39 (12.871)	78 (25.743)	303	27.117	0.000	12.914	9.010
	Electric Bicycle	376 (31.229)	107 (8.887)	52 (4.319)	313 (25.997)	848 (70.432)	1204	33.293	0.000	13.318	6.628
	E-scooter	377 (25.387)	84 (5.657)	84 (5.657)	378 (25.455)	923 (62.155)	1485	39.924	0.000	14.278	7.506

거의 HH, HL, LH, LL은 전체 표본의 37.9%였으며, HH는 이면도로, 공원 내 자전거보행자겸용도로, 신호교차로 인근에 분포하였다. 전동킥보드의 HH, HL, LH, LL은 전체 표본의 73.4%였으며, LL은 공원 내 자전거보행자겸용도로, 상업지역 및 하천구간 도로 일부, HH는 주거지역의 자전거보행자겸용도로에 군집을 이루어 분포하였다.

주행 이동성의 경우, 일반자전거의 HH, HL, LH, LL은 전체 표본의 25.7%였으며, LL은 교차로, HH는 공원 내 자전거보행자겸용도로 및 인접한 주거지역 내 자전거보행자겸용도로, 상업지역의 자전거보행자겸용도로에서 나타났다. 전기자전거의 HH, HL, LH, LL은 전체 표본의 70.4%였으며, LL은 이면도로와 교차로, 아파트 출입구, HH는 공원 내 자전거보행자겸용도로, 주거지역 내 자전거보행자겸용도로, 상업지역의 자전거보행자겸용도로, 하천변 자전거전용도로

에서 나타났다. 전동킥보드의 HH, HL, LH, LL은 전체 표본의 62.2%였으며, LL은 교차로, HH는 공원 내 자전거보행자겸용도로 및 인접한 주거지역 내 자전거보행자겸용도로, 상업지역의 자전거보행자겸용도로, 하천변 자전거전용도로에서 나타났다(<Figure 5> 참조).

3. 주행환경이 주행특성에 미치는 영향 분석

1) 주행환경 데이터 도출

앞서 도출한 클러스터 및 이상치 표본 지점을 기준으로 개인형 이동장치의 주행 안전성과 이동성에 영향을 끼칠 것이라 예상되는 반경 5m 범위 내의 주행환경 데이터를 구축하였다.

주행환경 데이터 구축을 위해 선행연구에서 제시된 주행환경 지표를 정리하여 분석에 활용하였으며,

Figure 5 _ Maps of Local Spatial Auto-Correlation(Moran's I)



Table 10 _ Example of Driving Environment Survey (Every 5m)

ID	DCI	SPEED	Cluster	Road Type	Land Use	Slope (°)	Intersection	Cross	Bicycle Dock	Parking Lot	Bus Stop	Curb	Manhole	Speed Bump	Road surface Type
1	0.204	0.171	HL	2	0	-19.413	0	0	0	0	0	0	0	0	2
2	0.204	0.241	HL	2	0	-18.324	0	0	0	0	0	0	0	0	2
3	0.146	0.419	LH	2	1	-17.022	2	1	0	0	0	1	0	0	1
...
1187	0.329	1.210	HL	1	2	8.415	0	0	0	0	0	0	0	0	2
1188	0.204	0.968	HL	2	0	9.827	0	0	0	0	0	0	0	0	2

연구자와 실험참여자가 현장에서 주행환경 기초조사를 진행하였다. 개인형 이동장치에 동영상 촬영기기 GoPro를 설치하여 주행 영상을 촬영하였으며, 주행실험 종료 후 동영상을 확인하여 클러스터 및 이상치 표본 지점 주변의 주행환경을 조사하였다. 표본(ID)별 주행환경 분석 데이터는 <Table 10>의 예시와 같다.

2) 기술통계

본 연구에서는 주행환경이 주행특성에 미치는 영향을 분석하기 위해 다중회귀모형을 사용하였다. 앞서 언급한 바와 같이, 독립변수는 연구자와 실험자가 조사한 주행환경 요소이며, 종속변수는 DCI와 속도로 설정하였다.

독립변수인 주행환경은 도로 유형, 토지이용 유형, 경사도, 교차로 유형, 횡단보도 유무, 자전거 거치대 유무, 주차장 진입로 유무, 버스정류장 유무, 연석 유형, 맨홀 유무, 과속방지턱 유무, 노면 유형 등의 세부 지표로 구성하였으며 경사도를 제외한 변수들은 더미 변수이다. 각 변수들의 기술통계량은 <Table 11>에 정리하였다.

개인형 이동장치의 주행특성이 다양한 주행환경에 영향을 받을 것이라는 가정을 고려하여 동력으로 이동하는 장치에 주목하여 일반자전거를 제외한 전기가

전거와 전동킥보드를 분석대상으로 선정하였다.

3) 분석결과

개인형 이동장치의 두 가지 유형(전기자전거, 전동킥보드)에 대하여 주행환경이 주행 안전성(DCI) 및 주행 이동성(속도)에 영향을 미치는 다중회귀분석 결과는 각각 <Table 12> 및 <Table 13>과 같다.

모델의 적합도와 유의성 검증을 위해 R Squared 값과 선택 변수에 대한 유의수준을 확인한 결과, 설명력(R Squared)은 전기자전거의 주행 안전성(0.291)을 제외한 3개의 모델 모두 0.4 이상으로 유의미한 해석이 가능했으며, 유의수준 1% 내에서 모든 모델이 적합한 것으로 판단되었다.

주행 안전성(DCI)의 경우, 전기자전거는 교차로와 맨홀 유무에 유의미한 영향을 받는 것으로 나타났다. 교차로에서는 교차로가 없는 지점과 비교하여 신호횡단 교차로, 비신호횡단 교차로순의 크기로 양(+)의 상관관계가 나타났는데, 신호가 있는 교차로에서는 전기자전거가 정차하므로, 진동이 없는 경우가 많아 교차로가 없는 지점에 비해 주행 안전성이 높게 나타난 것으로 판단된다. 맨홀의 경우, 맨홀이 없는 지점에 비해 맨홀이 있는 지점에서 양(+)의 상관관계가 높게 나타났으나, 전기자전거의 주행 안전성과 맨홀

Table 11 _ Descriptive Statistics of Driving Characteristics and Environments

Variables	Measurement Method	Driving Safety (DCI)						Driving Mobility (Speed, km/h)						
		Electric Bicycle			E-scooter			Electric Bicycle			E-scooter			
		N	Mean	Std.D	N	Mean	Std.D	N	Mean	Std.D	N	Mean	Std.D	
Dependent Variable	DCI / Speed	404	0.187	0.092	470	0.183	0.099	848	13.318	6.628	923	14.278	7.506	
Type of Road	Local Road*	0	214		2			126			102			
	Sidewalk	1	35		166			157			182			
	Park Road	2	110		218			372			360			
	Bicycle Road	3	36		64			187			224			
	Road	4	9		20			6			55			
Land Use	Residential Area*	0	275		196			328			373			
	Commercial Area	1	66		56			177			146			
	Park	2	63		218			343			404			
Slope	°(angle)	404	404	-1.360	2.140	470	-0.674	11.869	848	-0.881	2.947	923	-0.791	4.463
Intersection	None*	0	306		434			742			738			
	Unsignalized	1	35		32			12			124			
	Signalized	2	63		4			94			61			
Cross	None*	0	295		442			698			744			
	Exist	1	109		28			150			179			
Facility Obstacles	Parking Lot	None*	0	404		468			840			917		
		Exist	1	0		2			8			6		
	Bus Stop	None*	0	396		452			840			915		
		Exist	1	8		18			8			8		
	Bicycle Dock	None*	0	403		466			840			892		
		Exist	1	1		4			8			31		
Road Obstacles	Curb	None*	0	349		410			731			780		
		Normal	1	51		50			109			120		
		Stone	2	4		10			8			23		
	Manhole	None*	0	343		368			739			806		
		Exist	1	61		102			109			117		
	Speed Bump	None*	0	404		470			848			923		
		Exist	1	0		0			0			0		
Road Surface Type	Asphalt*	0	236		16			150			158			
	Sidewalk block	1	75		106			157			190			
	Urethane	2	87		306			540			574			
	Faulty surface	3	6		42			1			1			
N of Records			404			470			848			923		

Note: *Reference Variables.

의 상관관계는 비교적 낮다고 판단된다.

전동킥보드는 토지이용, 연석 유무, 불량 노면에서

유의미한 상관관계가 나타났다. 공원에서는 주거지역

에 비해 음(-)의 상관관계가 높게 나타났다. 연석의 경

Table 12 _ Result of Multiple Regression Analysis for the DCI

Variables		Model 1-1 : Electric Bicycle			Model 1-2 : E-scooter		
		B	t	p-value	B	t	p-value
(Constant)		0.157	23.506	0.000	0.296	5.028	0.000
Slope	°(angle)	-0.002	-1.007	0.315	0	1.378	0.169
Road Type	Sidewalk	-0.028	-0.723	0.470	-0.041	-0.725	0.469
	Park Road	-0.033	-0.924	0.356	-0.051	-0.943	0.346
	Bicycle Road	0.014	0.405	0.686	-0.031	-0.558	0.577
	Road	-0.048	-1.087	0.278	-0.004	-0.073	0.942
Land Use	Commercial Area	0.006	0.216	0.829	-0.012	-0.999	0.318
	Park	0.003	0.097	0.923	-0.103	-6.006	0.000***
Intersections	Unsignalized Intersection	0.048	1.771	0.077*	-0.022	-0.863	0.388
	Signalized Intersection	0.158	4.653	0.000***	-0.074	-1.289	0.198
Cross	Exist	-0.026	-1.183	0.238	-0.003	-0.125	0.901
Bicycle Dock	Exist	0.0810	0.994	0.321	-0.023	-0.519	0.604
Parking Lot	Exist	-	-	-	-0.059	-1.090	0.276
Bus Stop	Exist	0.014	0.430	0.668	-0.003	-0.147	0.883
Curb	Normal	-0.009	-0.362	0.717	-0.042	-3.194	0.002***
	Stone	-0.12	-2.645	0.008	-0.083	-3.177	0.002***
Manhole	Exist	0.039	3.086	0.002***	-0.080	-8.390	0.000***
Road Surface Type	Block	0.011	0.333	0.739	0.029	1.189	0.235
	Urethane	0.047	1.344	0.180	0.013	0.553	0.580
	Faulty Surface	-0.037	-1.001	0.317	-0.107	-3.993	0.000***
Summary		R Squared:0.291, F:8.771, p-value:0.000***			R Squared:0.470, F:21.028, p-value:0.000***		
Reference Variables		Type of Road : Local Road / Land Use : Residential Area / Intersection : None / Cross : None / Parking Lot : None / Bus Stop : None / Bicycle Dock : None / Curb : None / Manhole : None / Road Surface Type : Asphalt					

Note: *P<0.1, **P<0.05, ***P<0.01.

우, 연석이 없는 경우에 비해 음(-)의 상관관계가 크게 나타났는데, 일반 연석보다 사괴석이 더 큰 음(-)의 상관관계를 보였다. 전동킥보드는 손잡이를 잡고 서서 이동하는 구조이므로 회피와 자세의 안정을 위하여 일반자전거에 비해 더욱 큰 진동이 발생하는 것으로 추정된다. 행정중심복합도시에는 보도 내 자전거도로가 있을 경우, 개인형 이동장치 진행 동선상 보도와의 경계지점에 사괴석을 설치하였는데, 이러한 시설이 전동킥보드의 주행 안전성을 저하시키는 요인이 되는 것으로 나타났다.

노면 유형 중에서는 불량노면이 아스팔트 노면에 비

해 강한 음(-)의 상관관계를 보였다. 전동킥보드가 전기자전거보다 불량노면에 의한 주행 안전성의 저하가 두드러지는 것은 전동킥보드의 바퀴가 일반자전거 바퀴보다 작은 구조적 원인도 작용하는 것으로 판단된다.

한편, 주행 이동성(속도)의 경우, 전기자전거의 이동평균 속도가 가장 낮았으며, 전동킥보드가 두 번째로 낮았다. 전기자전거는 전기와 모터로 이동하므로 사람의 힘으로 움직이는 일반자전거보다 평균 주행이동속도가 높을 것으로 예상되었으나 오히려 일반자전거, 전기자전거보다 낮게 도출되었다. 이는 주행경로의 평균 경사도가 -0.881° 정도로 낮았기 때문에, 오

Table 13 _ Result of Multiple Regression Analysis for the Speed(km/h)

Variables		Model 2-1 : Electric Bicycle			Model 2-2 : E-scooter		
		B	t	p-value	B	t	p-value
(Constant)		10.333	17.297	0.000	9.643	13.218	0.000
Slope	°(angle)	0.035	0.555	0.579	0.460	1.030	0.303
Road Type	Sidewalk	-7.068	-4.168	0.000***	2.349	1.532	0.126
	Park Road	-6.863	-3.397	0.001***	7.278	2.720	0.007***
	Bicycle Road	-3.75	-2.266	0.024**	4.998	3.369	0.001***
	Road	7.918	2.810	0.005***	3.927	2.819	0.005***
Land Use	Commercial Area	2.986	4.283	0.000***	-0.926	-0.935	0.350
	Park	0.747	0.618	0.536	3.202	1.439	0.151
Intersection	Unsignalized Intersection	-9.113	-4.854	0.000***	-11.412	-12.886	0.000***
	Signalized Intersection	-4.873	-4.727	0.000***	-9.474	-6.364	0.000***
Cross	Exist	-1.533	-1.846	0.065*	5.479	5.727	0.000***
Bicycle Dock	Exist	3.441	1.808	0.071*	3.96	3.005	0.003***
Parking Lot	Exist	-4.9	-2.666	0.008***	-0.84	-0.296	0.767
Bus Stop	Exist	3.03	1.639	0.101	1.475	0.695	0.487
Curb	Normal	-2.818	-3.208	0.001***	-2.993	-3.237	0.001***
	Stone	1.412	0.748	0.455	-0.412	-0.248	0.804
Manhole	Exist	-1.272	-1.825	0.068*	-3.696	-5.308	0.000***
Road Surface Type	Block	8.434	4.525	0.000***	-2.009	-0.838	0.402
	Urethane	11.051	5.680	0.000***	1.385	0.485	0.628
	Faulty Surface	16.895	3.087	0.002***	7.464	1.153	0.249
Summary		R Squared:0.420, F:31.597, p-value:0.000			R Squared:0.418, F:36.136, p-value:0.000		
Reference Variables		Type of Road : Local Road / Land Use : Residential Area / Intersection : None / Cross : None / Parking Lot : None / Bus Stop : None / Bicycle Dock : None / Curb : None / Manhole : None / Road Surface Type : Asphalt					

Note: *P<0.1, **P<0.05, ***P<0.01.

히려 속도 제한이 있는 전기 동력의 이동장치(전기자전거, 전동킥보드)에서 평균 주행이동속도가 낮게 측정된 것으로 판단된다.

전기자전거의 주행 이동성은 도로 유형, 상업지역, 교차로, 횡단보도, 자전거 거치대, 주차장 출입로, 연석, 맨홀, 노면 유형에서 유의미한 상관관계가 나타났다.

도로 유형의 경우, 이면도로에 비해 도로변 자전거 보행자겸용도로, 공원 내 자전거보행자겸용도로, 자전거도로 순의 크기로 음(-)의 상관관계가 나타났으며, 일반 도로는 이면도로보다 양(+)의 상관관계가 높게 나타났다. 도로변과 공원에 있는 자전거보행자

겸용도로에는 보행자 및 다른 개인형 이동장치 이용자의 경합으로 인해 주행 이동성이 저하되었을 것이라 판단되며, 하천변에 위치한 자전거 전용도로의 경우에도 보행자와 다른 개인형 이동장치와의 경합이 다소 발생하여 주행 이동성을 저하시키는 요인이 되었다.

토지이용의 경우, 주거지역에 비해 상업지역에서 주행 이동성과 더 큰 양(+)의 상관관계를 보였다.

교차로에서는 교차로가 없는 지점과 비교하여 비신호횡단 교차로, 신호횡단 교차로순의 크기로 음(-)의 상관관계가 나타났으며, 횡단보도가 있는 지점에

서는 횡단보도가 없는 지점에 비해 음(-)의 상관관계가 크게 나타났다. 자전거 거치대가 있는 지점과 주차장 출입로가 있는 지점은 그렇지 않은 지점에 비해 각각 양(+)의 상관관계를 보였다.

연석과 맨홀의 경우, 주행 이동성과 음(-)의 상관관계를 보였으며, 노면 유형 중에서는 아스팔트에 비해 불량노면, 우레탄, 블록순의 크기로 양(+)의 상관관계가 나타났다. 다만, 주행 이동성 변화에 미치는 영향에 있어서 노면 환경과 다른 변수와의 차이점에 대해서는 추가적인 연구가 필요하다고 판단된다.

전동킥보드의 주행 이동성은 도로 유형, 교차로, 횡단보도, 자전거 거치대, 일반연석, 맨홀에서 유의미한 상관관계를 보였다.

도로 유형 중에서는 이면도로에 비해 공원 내 자전거 거보행자겸용도로, 자전거전용도로, 일반도로순의 크기로 양(+)의 상관관계가 나타났다. 전동킥보드는 이면도로나 보행로보다 자전거도로에서 전반적으로 주행 이동성이 높음을 알 수 있었다.

교차로에서는 교차로가 없는 지점에 비해 주행 이동성에 음(-)의 영향이 크게 나타났으며, 이는 전기자전거와 동일하다.

횡단보도, 자전거 거치대가 있는 지점은 없는 지점과 비교하여 주행 이동성에 양(+)의 상관관계를 보였으며, 연석이 있는 지점은 없는 지점에 비해 음(-)의 상관관계가 있는 것으로 나타났다. 이는 연석의 유무가 개인형 이동장치 이용자들에게는 체감적으로 이동성과 안전성에 상당한 영향을 끼침을 알 수 있다.

맨홀이 있는 지점은 없는 지점에 비해 음(-)의 상관관계를 보였으며, 노면 유형으로는 불량노면에서 음(-)의 상관관계가 나타났다.

요약하자면, 주행환경이 개인형 이동장치의 주행 특성에 미치는 영향은 개인형 이동장치 유형별로 다르게 나타났다. 전기자전거의 경우, 주행환경이 주행

안전성에 미치는 영향은 전동킥보드에 비해 낮은 것으로 판단되었으며, 주행 이동성 측면에서는 자전거 보행자겸용도로, 교차로, 연석 등이 이동성 저하에 영향을 끼치는 것으로 나타났다.

전동킥보드의 경우, 주행 안전성을 저하시키는 요인으로 공원, 연석, 사괴석, 맨홀, 불량노면 등이 있었으며, 주행 이동성을 저하시키는 요인으로는 교차로, 연석, 맨홀 등이 있었다.

전기자전거와 전동킥보드는 공통적으로 연석이 있는 곳에서 주행 안전성 및 이동성이 저하되었으며, 이는 연석과 같은 노면 장애물의 유무가 주행 이용자들이 체감하는 안전이나 쾌적성에 적지 않은 영향을 미치는 것을 나타낸다.

특히, 전동킥보드는 전기자전거에 비해 노면 장애물과 노면상태에 따른 주행 안전성의 변화가 큼을 알 수 있다. 이는 전동킥보드가 손잡이를 잡고 서서 이동하는 구조이며 방향 전환 시에 사람의 무게중심이 개입되는 방식이므로 회피와 자세의 안정을 위하여 일반자전거에 비해 더욱 큰 진동이 발생하는 것으로 추정된다.

또한 전기자전거에 비해 바퀴의 지름이 작으므로 노면 장애물과 불량한 노면상태에 더욱 취약한 것으로 사료된다. 현재 공유 개인형 이동장치가 전동킥보드 위주로 확대되고 있는 상황에 대비하여 건조환경에 대한 지속적인 관리와 개선이 필요하다.

V. 결론 및 시사점

본 연구는 행정중심복합도시 1생활권을 대상지로 개인형 이동장치의 주행 이동성과 안전성을 평가하고 주행환경과 주행특성의 상관관계를 도출하고자 하였다. 이를 위해, 다중회귀분석을 통해 주행특성과 주행환경의 상관관계를 분석하였으며, 결과적으로 다음과

같은 결론에 도달하였다.

첫째, 선행연구를 바탕으로 개인형 이동장치의 주행 안전성과 이동성을 평가하는 방법론을 제시하였으며, 일반자전거, 전기자전거, 전동킥보드를 주행실험 장비로 선정하여 유의미한 분석 결과를 도출하였다.

구체적으로, 주행 안전성과 주행 이동성은 전반적으로 상관관계가 낮았는데, 전기자전거는 상관성이 존재하지 않았으나 일반자전거는 주행 이동성이 높을수록 주행 안전성이 다소 감소하는 경향을 보였다.

둘째, 전기자전거와 전동킥보드에서는 공통적으로 연석의 존재가 주행 안전성과 이동성 저하에 영향을 미쳤다. 특히, 전동킥보드의 경우에는 연석과 맨홀, 불량노면이 주행 안전성을 저하시키는 주요 요인으로 나타났다.

개인형 이동장치의 주행 안전성을 높이기 위해서는 자전거도로상의 연석의 높이를 낮추는 등의 조치가 필요하다고 사료되며, 공유 개인형 이동장치 중에서는 상대적으로 주행환경이 주행 안전성에 미치는 영향이 적은 전기자전거 비중의 확대 역시 고려할 필요가 있다고 판단된다.

셋째, 자전거보행자겸용도로, 하천변 자전거 전용 도로에서의 주행 이동성은 개인형 이동장치의 유형별로 다르게 나타났으며, 전기자전거는 음(-)의 상관관계, 전동킥보드는 양(+)의 상관관계를 보였다.

비슷한 도로 유형에서 개인형 이동장치 유형별로 영향관계가 다르게 나타나는 것은, 도로 유형이라는 변수 외에 보행자 및 다른 개인형 이동장치와의 경합 등 상황적 요소 역시 주행 이동성에 영향을 미친 것으로 판단된다. 실제로 공원이나 하천변에 위치한 자전거도로의 경우, 보행과 자전거가 혼재하여 이동성의 저하가 발생하였다.

따라서, 개인형 이동장치의 주행 이동성 향상을 위해서는 이동수단별 물리적 통행 구분과 함께, 개인형

이동장치의 도로 폭 확대 등의 방안이 필요하다고 판단된다.

본 연구에서 제시한 방법론과 분석 결과는 향후 공유 개인형 이동장치의 주행 안전성과 이동성을 평가하고 개선방안을 마련하는 정책 수립에 기여할 것으로 기대된다. 본 연구는 개인형 이동장치 유형별로 주행특성을 분석한 선행연구와는 달리, 3가지 개인형 이동장치의 주행특성을 통합적으로 분석하였으며, 동일한 구간에서 주행특성과 주행환경의 상관관계를 파악하였다는 점에서 연구의 본질적 의의가 있다.

한편, 본 연구를 통해 주행실험 및 측정 과정에서 데이터 손실이나 오류가 발생할 여지가 있음을 알게 되었는데, 이를 상쇄하기 위해서는 여러 실험자에 의한 반복적 주행실험이 필요해 보인다.

또한, 본 연구의 방법론을 바탕으로 다양한 대상지에 대해 여러 시간대 및 기후 조건 등을 고려하여 향후 주행실험이 수행된다면 보다 구체적이며 새로운 결과가 도출될 수 있을 것이다.

마지막으로, 주행환경 외에 주행특성에 영향을 미칠 수 있는 다양한 요소 역시 측정하고 분석하는 방법론이 향후 개발되어 개인형 이동장치의 주행특성에 대한 이해 및 지식이 심화되기를 기대한다.

참고문헌 •••••

1. 고상필, 이준, 천호영. 2020. 철도역 접근성 강화를 위한 무선급전 기반 공유형 개인형 이동장치 기반기술 개발에 관한 연구. *교통기술과정책* 17권, 2호: 59-71.
Ko Sangpil, Lee Jun and Cheon Ho-Young. 2020. A study on the development of the WPT-based, shared personal mobility technology to improve rail accessibility. *Korean Society of Transportation* 17, no.2: 59-71.
2. 국가통계포털. <https://kosis.kr/> (2022년 1월 15일 검색)
Korean Statistical Information Service. <https://kosis.kr/>

(accessed Jan 15, 2022)

3. 김남현. 2004. 정규성 검정을 위한 다변량 왜도와 첨도의 이 용에 대한 고찰. *응용통계연구* 17권, 3호: 507-518.
Kim Namhyun. 2004. Remarks on the use of multivariate skewness and kurtosis for testing multivariate normality. *The Korean Journal of applied Statistics* 17, no.3: 507-518.
4. 김수성, 송기욱, 정현영, 하승우. 2011. 자전거 주행환경이 자전거 통근자 경로선택에 미치는 영향에 관한 연구. *국토계획* 46권, 2호: 223-233.
Kim Susung, Song Kiwook, Jung Hunyoung and Ha Seungwoo. 2011. A study on the effect of bicycling environment in the route choice of bicycle commuters. *Journal of Korea Planning Association* 46, no.2: 223-233.
5. 김승호, 김수홍, 김주연. 2020. 개인형 이동수단의 자전거도로 사용을 위한 도로환경디자인에 관한 연구. *한국공간디자인학회 논문집* 15권, 3호: 149-160.
Kim Seungho, Kim Soohong and Kim Jooyun. 2020. A study on the road environment design for the use of personal mobility on bicycle roads. *Journal of the Korea Institute of Spatial Design* 15, no.3: 149-160.
6. 도로교통공단. 2018. 개인형 이동수단 자전거도로 이용 안전성 평가 연구. 원주: 도로교통공단.
The Road Traffic Authority. 2018. *A Study on the Safety Evaluation of Personal Mobility on Bicycle Roads*. Wonju: The Road Traffic Authority.
7. 박범진, 노창균, 김지수. 2018. 퍼스널 모빌리티(Personal Mobility)의 주행안전성 평가지표 연구. *한국ITS학회 논문지* 17권, 5호: 1-13.
Park Bumjin, Roh Changgyun and Kim Jisoo. 2018. A study on driving safety evaluation criteria of personal mobility. *The Journal of The Korea Institute of Intelligent Transport Systems* 17, no.5: 1-13.
8. 박영민, 김종구. 2020. 국내 대도시의 주거지 분리 추이와 대규모 아파트단지와의 상관분석. *대한토목학회 논문집* 40 권, 6호: 633-641.
Park Youngmin and Kim Jonggu. 2020. The residential segregation in metropolitan cities and correlation with large apartment complexes in Korea. *Journal Of The Korean Society Of Civil Engineers* 40, no.6: 633-641.
9. 박재민, 이진선. 2021. 대중교통연계시 PM의 안전성을 고려한 교통환경 개선연구. *한국철도학회 논문집* 24권, 3호: 264-273.
Park Jaemin and Lee Jinsun. 2021. Study on improvement of transportation environment for safety of PM in public transportation linkage function. *Journal of the Korean Society for Railway* 24, no.3: 264-273.
10. 신희철, 정경옥, 이재용, 박성용, 이동운. 2019. 개인형 이동 수단 활성화 및 안전에 관한 연구. 세종: 한국교통연구원.
Shin Heecheol, Jeong Gyeongok, Lee Jaeyong, Park Seongyong and Lee Dongyoun. 2019. *A Study on the Activation and Safety of Personal Transportation*. Sejong: The Korea Transport Institute.
11. 조형욱, 김다솜, 이삼수. 2022. 코로나19 전후 대구광역시 도시공간의 유동인구 분포 변화 : 핫스팟 분석을 중심으로. *국토계획* 57권, 2호: 5-17.
Cho Hyungwook, Kim Dasom and Lee Samsu. 2022. Examining the characteristics of floating population distribution in the urbanized area of daegu metropolitan city before and after COVID-19: An application of hotspot analysis. *Journal of Korea Planning Association* 57, no.2: 5-17.
12. 주신혜. 2013. 프로브 자전거를 이용한 지능형 자전거 주행 환경 모니터링 기법. 석사학위논문, 한양대학교.
Joo Shinhye. 2013. *Intelligent Monitoring Method for Evaluating Bicycling Environment using Probe Bicycle*. M.D. diss., Hanyang University.
13. 최민혜, 정현영. 2020. Personal Mobility 공유서비스 이용의 향에 미치는 영향요인에 관한 연구. *대한교통학회지* 38권, 1호: 1-13.
Choi Minhye and Jung Hunyoung. 2020. A study on the influencing factor of intention to use personal mobility sharing services. *Journal of Korean Society of Transportation* 38, no.1: 1-13.
14. 최정환, 양윤석, 유문호. 2011. 3축 가속도센서를 이용한 자전거의 주행 상황 인식 기술 개발. *대한전자공학회 논문지* 48권, 6호: 63-70.
Choi Junghwan, Yang Yoonseok and Ryu Munho. 2011. Bicycle riding-state recognition using 3-axis accelerometer. *The Institute of Electronics Engineers of Korea - System and Control* 48, no.6: 63-70.
15. 홍두호, 길은지, 김수진, 주신혜, 오철. 2012. GPS프로브 자전거 주행속도를 이용한 자전거 주행환경 평가방법론. *한국 도로학회 논문집* 14권, 2호: 73-81.
Hong Duho, Kil Eunji, Kim Sujin, Joo Shinhye and Oh

- Cheol. 2012. Methodology for evaluating cycling environment using GPS-based probe bicycle speed data. *International JOURNAL of HIGHWAY Engineering* 14, no.2: 73-81.
16. Anselin, Luc. 1995. Local indicators of spatial association-LISA. *Geographical analysis* 27, no.2: 93-115.
17. Bíl, M., Andrášik, R. and Kubeček, J. 2015. How comfortable are your cycling tracks? A new method for objective bicycle vibration measurement. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* 56: 415-425
18. Drezner, Z. and Turel, O. 2011. Normalizing variables with too-frequent values using a Kolmogorov-Smirnov test: A practical approach. *Computers & Industrial Engineering* 61, no.4: 1240-1244.
19. Gomes, H. M. and Savionek, D. 2014. Measurement and evaluation of human exposure to vibration transmitted to hand-arm system during leisure cyclist activity. *Revista Brasileira de Engenharia Biomédica* 30, no.4: 291-300.
20. Kwon, Y. 2015. Sejong Si (City): Are TOD and TND models effective in planning Korea's new capital? *Cities* 42: 242-257.
21. Nelson, T. A. and Boots, B. 2008. Detecting spatial hot spots in landscape ecology, *Ecography* 31, no.5: 556-566.
22. Tetali, S., Baird, N. and Klima, K. 2022. A multicity analysis of daytime surface urban heat islands in India and the US. *Sustainable Cities and Society* 77: 1-11.

-
- 논문 접수일: 2022. 1. 20.
 - 심사 시작일: 2022. 1. 27.
 - 심사 완료일: 2022. 6. 20.

요약

주제어: 개인형 이동장치, 주행 안전성, 주행 이동성, 주행환경, 행정중심복합도시

본 연구는 행정중심복합도시의 1생활권을 중심으로 개인형 이동장치의 주행특성을 주행 안전성과 이동성 측면에서 평가하고, 주행특성과 주행환경의 상관관계를 도출하고자 하였다. 이를 위해, 개인형 이동장치의 주행 안전성과 이동성을 평가하는 방법론을 제시하였으며, 일반자전거, 전기자전거, 전동킥보드를 주행실험 장비로 선정하여 주행과정에서의 가속도와 속도를 측정하였다. 이어서, 주행환경이 주행특성에 미치는 영향을 파악하기 위해 상관분석, 클러스터 및 이상치 분석, 다중회귀분석을 실시하여 다음과

같은 결론에 도달하였다. 우선, 개인형 이동장치의 유형과 상관없이 주행 안전성과 주행 이동성의 상관관계는 전반적으로 낮게 나타났다. 다음으로, 개인형 이동장치의 유형별로 주행환경이 주행특성에 미치는 영향은 다르게 나타났다. 특히, 주행 안전성 측면에서 전동킥보드는 전기자전거에 비해 노면 환경에 더 큰 영향을 받은 것으로 분석되었다. 한편, 주행 이동성 측면에서 도로 유형의 변수 외에 보행자 및 다른 개인형 이동장치와의 경합 등 상황적 요소 역시 중요한 것으로 판단되었다.

