

서비스 구역 수준별 공유 전동킵보드 통행발생모형 개발

Development of Trip Generation Models for Shared E-Scooter by Service Areas
Clustered by Level of Trip Density

송 태 진* · 김 규 혁** · 이 창 훈***

* 주저자 : 충북대학교 도시공학과 부교수

** 공저자 : 충북대학교 도시공학과 박사과정

*** 교신저자 : 자율주행기술개발혁신사업단 선임연구원

Tai-jin Song* · Kyuhyuk Kim** · Changhun Lee***

* Dept. of Urban Eng., Chungbuk National University

** Dept. of Urban Eng., Chungbuk National University

*** Transport Service Team, Korea Autonomous driving Development Innovation Foundation

† Corresponding author : Changhun Lee, chlee1259@kadif.kr

Vol. 22 No.6(2023)
December, 2023
pp.124~140pISSN 1738-0774
eISSN 2384-1729
<https://doi.org/10.12815/kits.2023.22.6.124>Received 24 October 2023
Revised 1 November 2023
Accepted 14 November 2023© 2023. The Korea Institute of
Intelligent Transport Systems. All
rights reserved.

요 약

세계적으로 공유 전동킵보드의 이용이 급증하면서 해당 수단과 관련된 다양한 연구들이 진행되고 있다. 아직은 초기 단계의 연구 결과가 나타나고 있으며, 그 중 통행에 영향을 미치는 주요 요인을 파악하는 연구들이 결과로 나타나고 있다. 특히 통행발생 모형 개발은 교통계획 측면의 활용에서 아주 중요하며 신교통수단인 공유 전동킵보드는 국내외적으로 통행발생모형 개발이 부재한 실정이다. 본 연구는 선행연구를 면밀히 검토하여 유의미한 변수들을 활용한 공유 전동킵보드 통행발생 모형을 개발하고자 한다. 공유 전동킵보드 특성 상 주요 서비스 지역과 그 외 지역의 통행 특성이 상이하다. 서비스 통행량에 근거하여 서비스 수준별 지역을 구분하여 지역별 통행발생 모형을 구축했다. 분석 결과, 주요 서비스 지역 내 공유 전동킵보드 통행에 영향을 미치는 요인은 대학 유무, 근접중심성, 문화지역 면적 등으로 나타난 반면, 그 외 지역 내 공유 전동킵보드 통행에 영향을 미치는 요인은 대학 유무, 매개중심성, 통행거리 등으로 나타났다.

핵심어 : 전동킵보드, 통행발생모형, 마이크로모빌리티, 준포아송 회귀분석

ABSTRACT

The rapid growth in shared E-scooters worldwide has led to many studies on the topic. The results of these studies are still in the early stages, and the main factors affecting trips are being identified. In particular, the development of trip-generation models is very important for transportation planning, and a new transportation mode for developing the models for shared E-scooters is lacking both domestically and internationally. This study aims to develop a trip generation model for shared E-scooters using significant variables by thoroughly reviewing previous studies. The trip characteristics of major service areas and other areas may differ owing to the trip characteristics of the mode. The trip generation models were developed based on the service trip density by dividing the areas by service level. The factors affecting shared E-scooter trips in major service areas included the presence of universities, closeness centrality, and cultural areas, while factors affecting the trips in minor service areas included the presence of universities, betweenness centrality, and trip distance. The developed models provide basic information that can be used to establish transport policies for introducing shared E-scooters in cities in the future.

Key words : E-Scooter, Trip generation model, Micromobility, Quasi-poisson regression analysis

I. 서론

공유 전동킵보드는 출발지에서 목적지까지 도보나 대중교통 이용 및 자동차 운전이 애매한 단거리를 편리하게 이동할 수 있는 주요 교통수단으로 떠오르는 중이다. 한국퍼스널모빌리티산업협회에 따르면 공유 전동킵보드 운영대수는 2021년 15만대에서 2022년 23만 6천대로 가파르게 증가하고 있다(Park, 2023). 또한 McKinsey에서 발간한 보고서에는 2035년 개인형 이동수단의 전 세계 수송분담율은 2022년 대비 20% 가까이 증가되는 것으로 전망 중이다(Heineke et al., 2023). 특히 다양한 수단이 연결될 수 있는 대중교통 중심 도시에는 수단 간 연계 통행을 유도함으로써 탄소중립 사회로의 전환을 위한 핵심 수단으로 고려되고 있다(Glavic et al., 2021; Shaheen and Cohen, 2019). 이에 대한 중요성을 인지하여 관련 연구자들은 해당 서비스의 질적 향상을 위해 안전성 강화, 적정 주차공간 산정, 통행요인 도출 등 다양한 연구를 수행 중이다. 이 중 공유 전동킵보드의 통행요인을 도출하는 연구는 현재 가장 활발히 진행 중이다.

공유 전동킵보드 서비스는 도시 유형에 따라 그 이용률이 상이할 것이다. 특히, 다양한 대중교통 수단이 존재하는 서울과 같은 주요 도시지역은 수단 간 연계된 연계 수단으로 그 의미가 존재한다. 반면에 지방 도시 내 해당 서비스는 대중교통 수단 선택에 다양성이 결여되어 직접 통행으로 해당 수단으로 활용될 수 있다. 몇몇 연구 결과는 지역별로 공유 전동킵보드 통행특성이 상이하다는 사실을 밝혀냈다(Caspi et al., 2020; Heumann et al., 2021). 따라서, 공유 전동킵보드 서비스 내의 중심지역과 그 외 지역에서 공유 전동킵보드 통행발생 및 유입에 영향을 미치는 요인이 상이할 것으로 보인다. 하지만, 현재까지 지역에 따른 공유 전동킵보드의 통행 영향요인 분석을 별도로 수행한 연구사례는 전무하다.

본 연구는 공유 전동킵보드 서비스 내의 중심지역과 그 외 지역의 공간적 범위를 나누고, 다양한 통행유발요인을 고려하여 통행발생모형을 개발하는 것이다. 연구의 세부 목표는 다음과 같다. 첫째, 군집분석을 이용해 TAZ (Traffic Analysis Zone)를 기준으로 도시를 서비스 내의 중심지역과 그 외 지역으로 구분한다. 둘째, 공유 전동킵보드 통행특성 및 요인분석에 대한 선행연구를 바탕으로 모형 개발에 고려할 변수를 선택한다. 셋째, 공유 전동킵보드 통행발생 및 유입모형은 상관관계분석 및 회귀분석을 통해 개발된다.

II. 선행연구 고찰

공유 전동킵보드 서비스는 2019년을 기해 전세계적으로 활성화되었기 때문에, 공유 전동킵보드 이용 이력 데이터가 수집되기 시작한 것은 비교적 매우 최근의 일이다. 그럼에도 불구하고, 단기간 내에 공유 전동킵보드와 관련하여 데이터 기반의 다수 연구가 수행되었다. 이 연구들 중 비교적 활발히 수행 중인 연구 영역은 공유 전동킵보드 통행에 영향을 미치는 요인 도출에 관한 것이다. 요인분석을 통해 도출된 통행발생 및 유입 모형은 향후 공유 전동킵보드 운영전략 및 배치계획 등을 수립하는 데 중요한 기초자료인 장래 통행발생량을 예측할 수 있게 한다. 따라서 선행연구 고찰은 통행발생모형의 개념과 공유 전동킵보드 등 마이크로모빌리티의 통행유발요인 도출 위주로 진행되었다.

1. 통행발생모형

4단계 수요추정의 첫 번째 단계인 통행발생 단계에서는 나머지 단계의 수요 정보를 추정하기 위한 기초 데이터를 추정한다. 추정된 통행 발생 및 유입량은 도시지역의 교통문제를 해결하기 위한 인프라와 서비스

제공의 근거가 된다(Etu and Oyedepo, 2018; Mukherjee and Kadali, 2022). 통행발생 및 유입량 추정 값이 신뢰성을 갖지 못한다면 이후 수요추정 단계에 신뢰성을 확보하기 어렵기 때문에 통행발생모형을 구축하는 것은 매우 중요하다. 통행발생모형에 투입되는 주요 독립변수는 소득, 차량소유 여부, 인구, 고용지표 등이 있으며, 1970년대 이후 이러한 변수들과 통행량을 연결하는 수학적 모델을 채택해 통행발생모형을 구축하는 연구가 수행되기 시작했다(Takyi, 1990). 통행발생모형의 구축을 위한 대표적인 수학적 모델은 선형회귀법, 카테고리법 등이 있다(Wilfred et al., 2015). 대한민국에서는 통행발생모형을 구축하기 위해 주로 선형회귀법을 활용하고 있으며, 독립변수로는 인구, 종사자 수, 학생 수 등이 활용되고 있다(MOLIT and KOTI, 2020). 최근에는 토지이용 변수와 대중교통 변수 등 그 외 다양한 변수들이 통행발생모형에 포함될 수 있다는 사실이 증명되고 있다(Caspi et al., 2020). 이러한 연구 동향은 공유 전동킵보드의 통행발생모형을 구축하기 위해 공유 전동킵보드의 통행특성 및 이용 요인을 면밀히 파악해야 한다는 요구를 뒷받침한다.

2. 공유 전동킵보드 등 마이크로모빌리티 통행특성 및 이용요인 관련 연구

OECD ITF (International Transport Forum)에서는 마이크로모빌리티를 중량이 350kg 이하이며 설계속도가 45km/h 이하인 수단으로 정의하고 있다. 이에 따라, 공유 전동킵보드, 자전거, 보드 등이 마이크로모빌리티 수단으로 분류된다(ITF, 2020). 마이크로모빌리티 수단의 속도와 중량 제한으로 인해, 마이크로모빌리티 수단은 타 수단과 명확히 구별되는 통행특성을 가지고 있다. Fishman et al.(2015)은 공유자전거의 자전거 통행에 영향을 미치는 요인을 파악하였다. 로지스틱 회귀분석은 요인 분석을 위해 활용되었다. 분석 결과, 18~34세 등 젊은 인구가 공유 자전거를 이용할 확률이 높은 것으로 나타났다. Noland et al.(2016)은 뉴욕시의 공유자전거 통행요인을 분석했다. 종속변수인 공유자전거 통행량이 정규성을 띠지 않는 것으로 나타났기 때문에, 음이항 회귀분석기법이 해당 연구에 활용되었다. 분석 결과, 자전거 인프라 규모, 지하철역과의 근접성, 주거용 토지이용 등이 자전거 통행에 영향을 미치는 요인으로 나타났다. Hampshire and Marla(2012)는 세비야와 바르셀로나의 공유자전거 통행발생 및 유입에 영향을 미치는 요인을 규명하고자 하였다. 패널 분석은 공유자전거 통행요인을 규명하기 위해 사용되었다. 분석 결과, 공유자전거는 주로 아침시간대에는 통근목적으로 활용되며, 저녁시간대에는 다양한 목적으로 활용되는 것으로 나타났다.

전술한 바와 같이 효율적인 서비스의 특징을 지니고 있는 공유 전동킵보드는 공유자전거를 넘어 마이크로모빌리티의 핵심 연구주제로 급부상 중이다. 공유 전동킵보드의 통행특성은 크게 인적, 시간적, 공간적 특성으로 나눌 수 있었다. 먼저 인적 특성의 경우, 대부분의 연구에서 공유 전동킵보드의 이용층이 젊은층과 남성이라는 결과가 나타났다(Bai and Jiao, 2020; Bielinski and Wazna, 2020; Chen et al., 2020; Degele et al., 2018; Glavic et al., 2021; Hong et al., 2023; Hong and You, 2021; Hosseinzadeh et al., 2021b; Jiao and Bai, 2020; McKenzie, 2019). Pazzini et al.(2022)은 반대로, 공유 전동킵보드의 통행량은 성별, 연령과는 큰 상관성이 없는 것으로 나타났다. 시간적 특성의 경우, Hong and You(2021)의 연구에서 공유 전동킵보드는 주로 퇴근시간대에 사용된다는 결과가 나타났으며, Lee and Choo(2021)는 공유 전동킵보드가 비점두시간대 타 마이크로모빌리티의 이용수요를 감소시키는 것으로 분석 결과를 제시했다. 공간적 특성은 다음과 같다. Tokey et al.(2022)의 연구에 따르면, 공유 전동킵보드는 주로 대학캠퍼스에서 사용되는 것으로 나타났다. 뿐만 아니라, 공유 전동킵보드는 도시 중심부에서의 통행량이 많은 것으로 나타났으며(Bai and Jiao, 2020; Caspi et al., 2020), 도심지의 공유 전동킵보드 평균속도가 도시 외곽지역에 비해 낮은 것으로 나타났다(Heumann et al., 2021). 공유 전동킵보드의 통행특성에 관련한 문헌고찰 결과는 <Table 1>과 같이 요약된다.

<Table 1> Summary of literature reviews on shared E-Scooter trip characteristics

Element	Trip characteristic	Literature
Human	More riding on younger driver	Bai and Jiao, 2020; Bielinski and Wazna, 2020; Chen et al. 2020; Degele et al. 2018; Glavic et al. 2021; Hong et al. 2023; Hong and You, 2021; Hosseinzadeh et al. 2021b; Jiao and Bai, 2020; McKenzie, 2019
	More riding on male driver	Bai and Jiao, 2020; Bielinski and Wazna, 2020; Chen et al. 2020; Degele et al. 2018; Glavic et al. 2021; Hong et al. 2023; Hong and You, 2021; Hosseinzadeh et al. 2021b; Jiao and Bai, 2020; McKenzie, 2019
	No correlation on human characteristics	Pazzini et al. 2020
Temporal	More riding during peak hour	Hong and You, 2021
	More riding shared E-Scooter as an alternative mode in non peak hour	Lee et al. 2021
Spatial	More riding in university campus	Tokey et al. 2022
	More riding in urban area	Bai and Jiao, 2020; Caspi et al. 2020
	Riding slower in urban area than in the other area	Heumann et al. 2021

공유 전동킵보드의 이용 요인은 크게 토지이용, 교통인프라, 사회경제적 요인으로 구분된다. 먼저 공유 전동킵보드 통행량에 영향을 미치는 토지이용 관련 요인은 다음과 같다. 공유 전동킵보드의 통행량은 주거지역, 상업지역, 공업지역, 업무지역, 공공시설, 교육시설, 문화시설 등과 모두 양의 상관관계가 있는 것으로 나타났다(Bai and Jiao, 2020; Caspi et al. 2020; Feng et al. 2022; Hosseinzadeh et al. 2021b; Jiao and Bai, 2020; Tokey et al. 2022). Heumann et al. (2021)의 연구에서는 공공장소에서 주말에 공유 전동킵보드 통행량이 증가하는 것으로 나타났다. 공유 전동킵보드 통행량에 영향을 미치는 교통인프라 관련 요인은 다음과 같다. Caspi et al. (2020), Hosseinzadeh et al. (2021b) 은 자전거 인프라가 공유 전동킵보드 통행량과 양의 상관관계가 있음을 밝혔으며, Caspi et al. (2020) 은 버스정류장 개수가 공유 전동킵보드 통행량과 양의 상관관계가 있음을 주장하였다. 마지막으로, 공유 전동킵보드 통행량에 영향을 미치는 사회경제적 요인은 다음과 같다. Bai and Jiao (2020), Jiao and Bai (2020)는 공유 전동킵보드 통행량이 인구 또는 인구밀도와 양의 상관관계가 있음을 밝혔다. 또한, Jiao and Bai (2020)는 공유 전동킵보드 통행량이 학력과 양의 상관관계가 있음을 주장하였다. 특이하게도, 소득이 공유 전동킵보드 통행량에 미치는 영향은 연구자마다 상이하게 나타났다. Hong et al. (2023), Li et al. (2018), Shaheen et al. (2014) 은 소득이 마이크로모빌리티 수단 통행량과 양의 상관관계가 있음을 주장한 반면, 몇몇 연구자들은 소득이 마이크로모빌리티 수단 통행량과 음의 상관관계가 있음을 주장하였다(Bai and Jiao, 2020; Fishman, 2016; Jiao and Bai, 2020). 공유 전동킵보드 이용 요인에 관련한 문헌 고찰 결과는 <Table 2>와 같이 요약된다.

<Table 2> Summary of literature reviews on factors on shared E-Scooter and micromobility trips

Element	Factor	Impact	Literature
Land use	Residential area	+	Caspi et al., 2020; Tokey et al., 2022
	Commercial area	+	Caspi et al., 2020; Feng et al., 2022; Hosseinzadeh et al., 2021b; Tokey et al., 2022
	Cultural area	+	Bai and Jiao, 2020
	Industrial area	+	Caspi et al., 2020; Hosseinzadeh et al., 2021b

Element	Factor	Impact	Literature
	Governmental area	+	Tokey et al., 2022
	Governmental area(Only weekend)	+	Heumann et al., 2021
	Business area	+	Hosseinzadeh et al., 2021b
	Educational area	+	Bai and Jiao, 2020; Jiao and Bai, 2020
Transport Infrastructure	Bike infrastructure	+	Caspi et al., 2020; Hosseinzadeh et al., 2021b
	# of bus stop	+	Caspi et al., 2020
Socioeconomic	Population / Population density	+	Bai and Jiao, 2020; Jiao and Bai, 2020
	Education	+	Jiao and Bai, 2020
	Income	+	Hong et al., 2023; Li et al., 2018; Shaheen et al., 2014
	Income	-	Bai and Jiao, 2020; Fishman, 2016; Jiao and Bai, 2020

3. 연구의 차별성

본 연구의 차별성은 크게 세 가지로 분류된다. 첫 번째, 기존 행정구역 수준의 TAZ 대비 공간적 해상도가 높은 TAZ를 활용하였다. 공유 전동킵보드의 통행패턴 분석 신뢰도는 분석에 활용되는 TAZ의 공간적 해상도가 높을수록 개선된다(Kim et al., 2023). 본 연구에서는 승용차, 버스, 화물차 등 기존 수단의 통행발생모형을 개발하는 데 활용되는 시군구, 읍면동 단위 TAZ에 비해 공간적 해상도가 높은 TAZ를 활용했다.

두 번째, 공유 전동킵보드 서비스 중심 지역과 그 외 지역 등 지역별 공유 전동킵보드 통행발생모형을 개발하였다. 기존 연구에서 지역별로 공유 전동킵보드 통행특성이 상이하다는 연구결과는 확인되었지만(Heumann et al., 2021; Tokey et al., 2022), 공유 전동킵보드가 주로 활용되는 서비스 내의 중심지역과 그 외 지역을 구분하여 공유 전동킵보드 통행의 영향요인을 분석한 사례는 존재하지 않았다. 본 연구는 전동 킵보드가 주로 활용되는 서비스 내의 중심지역과 그 외 지역을 구분하여 지역별 통행발생 모형을 제시하여 지역에 따른 영향 요인의 차이를 면밀히 살펴보고자 했다.

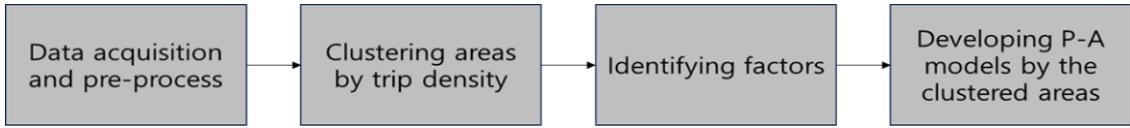
세 번째, 지역별 통행발생모형을 개발하기 위해 기존 연구에서 고려되지 않은 변수를 추가로 구축하였다. 본 연구에서는 다음의 두 가지 사항에 부합하는 변수를 지역별 통행발생모형을 개발하기 위한 추가 변수로 설정했다. 1) 변수 특성이 지역에 따라 상이해야 한다. 2) 공유 전동킵보드 통행에 영향을 미칠 수 있어야 한다. 결과적으로, 연결중심성, 매개중심성, 근접중심성 등의 중심성 변수와 통행거리 변수, 전문대학 유무, 종사자 수 변수가 추가로 고려되었다.

Ⅲ. 연구 방법론 및 결과

1. 연구의 흐름

본 연구는 주요 서비스 지역과 그 외 지역의 공유 전동킵보드 통행발생모형을 도출하기 위해 <Fig. 1>과 같은 과정을 거쳤다. 첫 번째, 연구에 활용된 공유 전동킵보드 데이터의 구조를 소개하였다. 두 번째, 군집분석을 활용해 서비스 내의 중심지역과 그 외 지역을 구분하였다. 세 번째, 공유 전동킵보드 요인 분석 관련 선행연구 결과에 기반하여 통행발생모형 도출에 활용할 변수를 구축하였다. 구축된 변수들 중 종속변수인 공유 전동킵보드 통행발생 및 유입량과의 상관성이 일정 수준 이상 존재하는 변수만이 통행발생모형 개발

분석에 활용되었다. 마지막으로, 준포아송 회귀분석을 활용해 공유 전동키토보드 서비스 내의 중심지역과 그 외 지역의 통행발생모형을 도출한다.

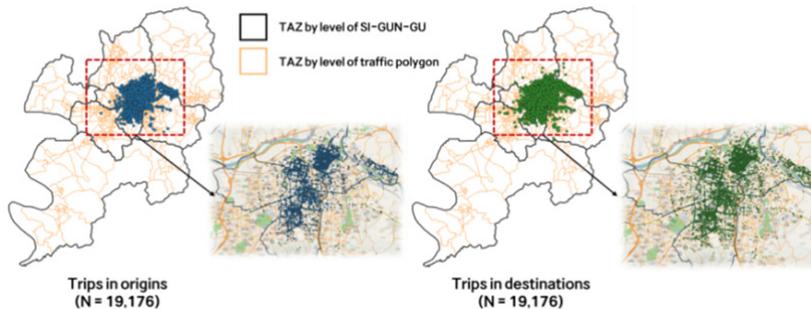


<Fig. 1> Overall research flow

2. 공유 전동키토보드 이용 이력 데이터

본 연구에 활용된 공유 전동키토보드 데이터는 공유 전동키토보드 업체로부터 수집한 2021년 4월 15일~6월 15일 2달치 대구광역시 공유 전동키토보드 이용 이력 데이터이다. 데이터는 이용자 ID, 대여시간, 대여시점의 x좌표와 y좌표, 반납시간, 반납시점의 x좌표와 y좌표, 연령, 성별 등이 기록되어 있다. 이용자 ID는 개인정보 보호를 위해 비식별화되었다.

본 연구에서는 공유 전동키토보드 통행발생 및 유입량과 여러 독립변수를 집계하기 위한 공간 단위로 기초국 기반 TAZ를 활용했다. 일반적으로 통행발생모형을 도출하는 데는 KTDB에서 제공되는 읍면동 단위의 TAZ를 활용하지만, 공유 전동키토보드와 같은 단거리 통행수단의 수요를 모델링하기에 읍면동 단위의 TAZ는 공간적 해상도가 낮다고 판단된다. 기초국 기반 TAZ는 본래 모바일폰 데이터의 통행량을 집계하기 위해 만들어진 공간 단위로, 주 기초국에 보로노이 다이어그램을 적용하고 오류 데이터를 제거 및 보정하여 생성된다(Kim et al., 2021). Kim et al.(2023)의 결과 공유 전동키토보드 통행패턴을 추정하기 위해서는 TAZ 공간적 해상도가 높을수록 모형 추정이 높아지며, 250m TAZ 규모가 적절한 것으로 나타났다. 기초국 단위 TAZ에 공유 전동키토보드 통행발생 및 유입 데이터를 DB화한 결과는 <Fig. 2>와 같으며, 대구광역시 전체 678개의 기초국 단위 TAZ 중 공유 전동키토보드의 통행발생은 중심부 인근 269개 TAZ에서, 통행유입은 중심부 인근 319개 TAZ에서만 나타났다.

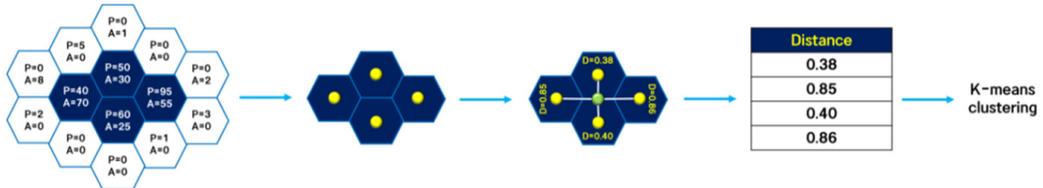


<Fig. 2> Trips generated by origin or destination superimposed onto a shapefile of GIS TAZ polygons

3. 주요 서비스 구역 및 그 외 지역 군집

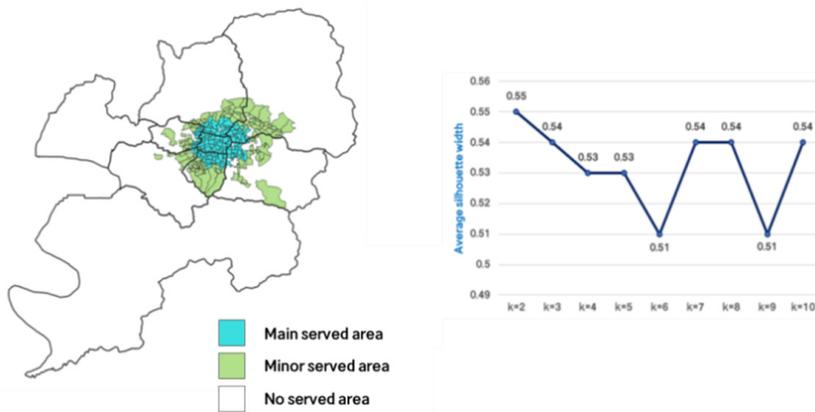
본 연구에서는 주요 서비스 지역과 그 외 지역 구분을 위해 K-means 군집 분석을 실시했다. 해당 분석기법은 분석 데이터의 대해 군집 내 유사성은 최대화하며 군집 간 유사성은 최소화하는 방식으로 최적 군집을 형성한다 (MacQueen, 1967; Ankerst et al., 1999). <Fig. 3>은 군집분석 기반으로 주요 서비스 지역과 그 외 지

역을 구분하는 과정을 도식화 한 것이다. 첫 번째, 공유 전동키토보드 통행발생 및 유입량이 모두 0이 아닌 TAZ만을 선택하였다. 이 과정에서, 전체 678개의 대구광역시 TAZ 중 266개의 TAZ만이 선택되었다. 두 번째, 이전 단계에서 선택된 TAZ의 중심점을 도출하고 중심점 집합의 중심점을 별개로 도출하여 도시중심점을 선정하였다. 세 번째, 도시중심점(녹색점)으로부터의 거리를 변수로 하여 k-means 클러스터링 분석을 수행하였다.



<Fig. 3> A conceptual schematic diagram for clustering trip density level

추가로, K-means 클러스터링 결과의 신뢰도를 파악하기 위해 Silhouette 분석을 실시했다. Silhouette 분석은 군집분석의 결과물로서 산출된 군집이 얼마나 잘 분리되었나를 평가하기 위해 활용되며, Silhouette 계수가 높을수록 군집이 잘 되었다고 평가된다(Rousseeuw, 1987). <Fig. 4>는 <Fig. 3>의 과정을 통해 도출된 주요 서비스 지역 및 그 외 지역 군집 및 신뢰도 분석 결과를 나타낸 것이다. k=2(주요 서비스 지역 및 그 외 지역)로 대구광역시 TAZ를 군집한 결과, 서비스 내의 중심지역에 해당하는 TAZ는 137개, 그 외 지역에 해당하는 TAZ는 129개로 나타나 군집을 구성하는 TAZ 개수가 적절하게 균형을 이루고 있는 것으로 나타났다. 군집 결과에 대한 신뢰도 분석 결과, k=2일 때 silhouette 계수 값이 0.55로 가장 높아 군집이 가장 적절하게 형성되는 것으로 나타났다.



<Fig. 4> Results of the K-means clustering and Silhouette analysis

4. 변수 구축

<Table 3>는 공유 전동키토보드 통행발생모형을 도출하기 위해 구축된 독립변수다. 모든 변수는 교통폴리곤 단위 TAZ로 집계되며, 변수의 기술통계는 <Table 4>, <Table 5>와 같다. 대부분의 변수는 선행연구에서 공유 전동키토보드 통행과 연관이 있다는 사실이 나타난 변수로 구성되었다. 변수는 크게 사회경제적 항목, 교통 인프라 항목, 통행관련 항목, 토지이용 항목으로 구성된다. 먼저, 사회경제적 항목은 인구, 남성 비율, 종사자

수, 전문대학 수, 대학교 수 등 5가지 변수로 구성되었다. 인구나 남성 비율은 대표적으로 공유 전동킵보드 통행에 영향을 미치는 변수이다(Bai and Jiao, 2020; Hosseinzadeh et al., 2021a; Huo et al., 2021; Merlin et al., 2021; Tokey et al., 2022). 기 선행연구에서 20대로 대표되는 청년 인구가 공유 전동킵보드 서비스의 주 이용층이라는 사실이 밝혀졌으며, 본 연구에서 활용된 공유 전동킵보드의 20대 이용비율이 전체 이용자의 약 68% 정도로 나타남에 따라, 해당 변수들은 20대 인구에 한정하여 구축했다.

대학교 유무는 여러 연구에서 공유 전동킵보드 통행의 이용 요인임이 밝혀졌다(Bai and Jiao, 2020; Tokey et al., 2022). 종사자 수와 전문대학 유무는 본 연구에서 추가로 구축한 변수이다. 종사자 수 변수의 경우, 최근 출퇴근 통행에도 공유 전동킵보드를 적극적으로 활용하는 추세임에 따라, 지역의 종사자 수가 공유 전동킵보드 통행에 영향을 미칠 것으로 판단하여 추가하였다. 또한, 대구광역시의 경우 일반 4년제대학은 주로 공유 전동킵보드 서비스 밀집 지역에, 전문대학은 공유 전동킵보드 서비스 비밀집 지역에 분포하는 특성을 보임에 따라, 전문대학 유무 변수가 추가로 구축되었다.

교통인프라 항목은 버스정류장 밀도와 지하철역 밀도 등 2가지 변수로 구성되었다. 버스정류장 및 지하철역 밀도는 여러 연구에서 공유 전동킵보드 통행의 이용 요인임이 밝혀졌다(Caspi et al., 2020; Kim et al., 2021; Lee and Choo, 2021). 통행관련 항목은 통행거리와 연결중심성, 매개중심성, 근접중심성 등 4가지 변수로 구성되었다. 4가지 변수 모두 본 연구에서 추가로 고려한 변수이다. 먼저, 통행거리 변수는 다음과 같은 과정을 통해 구축되었다. 첫 번째, 개별 TAZ에서 발생 또는 유입한 통행의 통행패적을 GIS 상에 표시한다. 두 번째, 개별 통행의 기점과 종점을 제외한 통행패적을 모두 제거한다. 세 번째, 개별 통행의 기점과 종점 간의 유클리드 거리를 계산하고, TAZ별 통행거리를 평균하여 개별 TAZ에 집계한다.

연결중심성, 매개중심성, 근접중심성 등 각 중심성 변수의 정의는 다음과 같다(Zhang and Luo, 2017). 연결중심성은 하나의 TAZ가 얼마나 많은 다른 TAZ와 통행을 주고 받는지를 나타내는 척도이다. 특정 TAZ와 다른 TAZ와의 통행 교류가 많을수록, 해당 TAZ의 연결중심성은 높아진다. 매개중심성은 기점에서 종점까지 이동할 때 얼마나 많은 사람들이 특정 TAZ를 거쳐갔는지를 나타내는 척도이다. 특정 TAZ를 거쳐간 통행이 많을수록, 해당 TAZ의 매개중심성은 높아진다. 근접중심성은 도시 내 하나의 TAZ에서 다른 TAZ로의 거리를 나타내는 척도를 나타낸다. 특정 TAZ와 타 TAZ와의 거리가 가까울수록, 해당 TAZ의 근접중심성은 높아진다. 각 중심성 변수들은 2019년 5월 일주일치 모바일폰 네트워크 데이터를 활용해 계산되었다.

토지이용관련 항목은 주거지역 면적, 상업지역 면적, 문화지역 면적, 공업지역 면적, 공공지역 면적, 업무지역 면적, 교육지역 면적, 농업지역 면적 등 8가지 변수로 구성되었다. 이 중 농업지역 면적은 본 연구에서 추가로 구축한 변수이며, 나머지 변수는 여러 연구에서 공유 전동킵보드 통행의 이용 요인으로 나타났다(Kim et al., 2021; Feng et al., 2022; Hosseinzadeh et al., 2021a; Jiao and Bai, 2020; Tokey et al., 2022). 모든 토지이용 변수는 건물통합정보 데이터의 건축면적을 기반으로 구축되었다.

<Table 3> Variables selection

Category	Variable	Literature review
Socioeconomic	Population (X1)	Bai and Jiao, 2020; Hosseinzadeh et al., 2021a; Huo et al., 2021; Merlin et al., 2021; Tokey et al., 2022
	Rate of male (X2)	
	# of workers (X3)	-
	Presence of colleges (X4)	-
	Presence of universities (X5)	-
Transport infrastructure	Bus stop density (X6)	Caspi et al., 2020; Kim et al., 2021; Lee and Choo, 2021
	Subway station density (X7)	

Category	Variable	Literature review
Trip	Trip distance (X8)	-
	Degree centrality (X9)	-
	Betweenness centrality (X10)	-
	Closeness centrality (X11)	-
Land use	Residential area (X12)	Kim et al., 2021; Feng et al., 2022; Hosseinzadeh et al., 2021a; Jiao and Bai, 2020; Tokey et al., 2022
	Commercial area (X13)	
	Cultural area (X14)	
	Business area (X15)	

<Table 4> Descriptive statistics of variables in main served area

Variable	Unit	Mean	S.D.	Min.	Max.	Median
Population	Count	349.39	306.59	0.00	2,372.00	308.00
Rate of male	%	40.30	22.17	0.00	68.42	49.11
# of workers	Count	1,753.78	1,772.42	113.00	10,405.00	1,214.00
# of colleges	Count	0.07	0.25	0.00	1.00	0.00
# of universities	Count	0.18	0.39	0.00	1.00	0.00
Bus stop density	Count/km ²	1.85	3.45	0.00	16.73	0.00
Subway station density	Count/km ²	0.91	2.18	0.00	10.80	0.00
Trip distance	Km	0.91	0.51	0.09	4.51	0.81
Degree centrality	Score	111.42	106.74	8.00	701.00	86.00
Betweenness centrality	Score	677.12	1,362.33	0.00	10,467.98	237.11
Closeness centrality	Score	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Residential area	m ²	26,631.49	15,632.26	468.22	79,548.00	24,968.88
Commercial area	m ²	2,464.50	4,754.33	0.00	26,920.53	695.73
Cultural area	m ²	13,167.33	19,970.18	146.29	213,745.60	8,558.53
Business area	m ²	9,151.47	8,477.03	42.00	43,830.04	6,685.05

<Table 5> Descriptive statistics of variables in minor served area

Variable	Unit	Mean	S.D.	Min.	Max.	Median
Population	Count	455.43	317.17	0.00	2,121.00	389
Rate of male	%	36.57	23.98	0.00	65.45	49.72
# of workers	Count	1,329.94	1,703.31	21	13,976.00	827
# of colleges	Count	0.16	0.36	0.00	1.00	0.00
# of universities	Count	0.06	0.24	0.00	1	0.00
Bus stop density	Count/km ²	1.00	2.3	0.00	10.72	0.00
Subway station density	Count/km ²	0.71	1.97	0.00	9.35	0.00
Trip distance	Km	0.97	0.62	0.00	3.94	0.81
Degree centrality	Score	94.51	69.82	7.00	389	74
Betweenness centrality	Score	466.03	632.51	2.36	3,657.77	238.53
Closeness centrality	Score	0.00	0.00	0.00	267.11	0.00
Residential area	m ²	70,321.11	352,586.57	267.11	4,045,201.62	31,516.72
Commercial area	m ²	2,524.35	7,735.57	0.00	81,707.03	461.45
Cultural area	m ²	12,911.70	12,364.49	91.58	75,688.63	8,434.92
Business area	m ²	17,054.13	66,705.41	0.00	694,736.50	6,142.48

5. 중요 변수 도출

해당 절에서는 구축된 독립변수 중 공유 전동킵보드 통행발생모형에 상관성이 높은 변수를 도출하고자 한다. Pearson 상관계수는 종속변수인 공유 전동킵보드 통행발생 및 유입량과 개별 독립변수 간의 상관관계를 파악하기 위해 활용되었다(Pearson, 1896). 공유 전동킵보드 통행발생 및 유입량과 개별 독립변수와의 상관관계 분석 결과는 <Table 6>, <Table 7>과 같다. <Table 6>은 공유 전동킵보드 통행발생량에 대한 개별 독립변수의 상관계수를 나타낸다. 서비스 내의 중심지역의 경우, 공유 전동킵보드 통행발생량이 인구, 종사자 수, 대학교 수, 연결중심성, 매개중심성, 근접중심성, 문화지역 면적 등 7개 변수와 상관관계가 존재하는 것으로 나타났다. 그 외 지역의 경우, 공유 전동킵보드 통행발생량이 인구, 전문대학 수, 대학교 수, 연결중심성, 매개중심성, 근접중심성 등 6개 변수와 상관관계가 존재하는 것으로 나타났다.

<Table 6> Result of pearson's correlation analysis in trip production

Variable	Main served area		Minor served area	
	Corr.	p-value	Corr.	p-value
Population	0.638***	0.000	0.548***	0.000
Rate of male	0.096	0.265	0.121	0.170
# of workers	0.176*	0.040	0.044	0.619
Presence of colleges	0.076	0.377	0.307***	0.000
Presence of universities	0.266**	0.002	0.378***	0.000
Bus stop density	0.056	0.518	-0.049	0.578
Subway station density	0.002	0.981	-0.013	0.882
Trip distance	-0.110	0.202	-0.103	0.244
Degree centrality	0.476***	0.000	0.386***	0.000
Betweenness centrality	0.395***	0.000	0.497***	0.000
Closeness centrality	0.285**	0.001	0.219*	0.013
Residential area	-0.129	0.134	0.075	0.396
Commercial area	0.023	0.786	0.049	0.580
Cultural area	0.887***	0.000	0.147	0.096
Business area	0.001	0.992	0.014	0.871

<Table 7>은 공유 전동킵보드 통행유입량에 대한 개별 독립변수의 상관계수를 나타낸다. 서비스 내의 중심지역은 공유 전동킵보드 통행유입량이 인구, 종사자 수, 대학교 유무, 통행거리, 연결중심성, 매개중심성, 근접중심성, 문화지역 면적 등 8개 변수와 상관관계가 존재하는 것으로 나타났다. 그 외 지역은 인구, 전문대학 유무, 대학교 유무, 연결중심성, 매개중심성, 근접중심성 등 6개 변수와 통행발생량의 상관관계가 존재하는 것으로 나타났다.

<Table 7> Result of pearson's correlation analysis in trip attraction

Variable	Main served area		Minor served area	
	Corr.	p-value	Corr.	p-value
Population	0.652***	0.000	0.552***	0.000
Rate of male	0.093	0.279	0.118	0.182
# of workers	0.170*	0.048	0.050	0.573
Presence of colleges	0.073	0.397	0.306***	0.000
Presence of universities	0.270**	0.001	0.381***	0.000
Bus stop density	0.051	0.557	-0.049	0.579
Subway station density	-0.012	0.887	-0.024	0.789
Trip distance	-0.167*	0.050	-0.159	0.073
Degree centrality	0.471***	0.000	0.389***	0.000
Betweenness centrality	0.387***	0.000	0.499***	0.000
Closeness centrality	0.283**	0.001	0.219*	0.013
Residential area	-0.112	0.193	0.076	0.393
Commercial area	0.017	0.842	0.059	0.508
Cultural area	0.891***	0.000	0.154	0.082
Business area	0.002	0.978	0.009	0.916

6. 서비스 지역별 공유 전동킵보드 통행발생모형 도출

통행발생모형은 상관관계 분석에서 공유 전동킵보드 통행발생 및 유입량과 상관관계가 존재하는 변수만을 활용한다. 공유 전동킵보드 특성 상 종속변수인 통행 발생 및 유입량은 1 이상인 count 형태의 변수이다. 일반적으로 통행발생모형을 개발할 때는 선형회귀분석을 활용한다. 그러나, 본 연구에서 종속변수로 활용한 공유 전동킵보드 통행발생 및 유입량은 <Table 8>와 같이 왜도가 높고 정규성이 존재하지 않는 것으로 나타났다. 이러한 경우에는 통행발생모형을 도출하기 위해 포아송 회귀모형을 일반적으로 사용하지만, 본 연구에서 활용한 공유 전동킵보드 통행발생 및 유입량 데이터가 등분산 가정을 만족시키지 못하는 것으로 나타났기 때문에 포아송 회귀모형을 사용하기에 한계가 존재하였다. 따라서, 본 연구에서는 종속변수가 포아송 회귀모형의 기본가정인 등분산 가정을 만족하지 못할 때 활용 가능한 준포아송 회귀모형(quasi-poisson regression model)을 활용하였다.

<Table 8> Descriptive statistics by dependent variables

Statistics	Main served area		Minor served area	
	Production	Attraction	Production	Attraction
Mean	104.956	102.168	37.147	39.512
S.D.	356.507	344.478	173.429	173.475
Skew.	9.972	10.079	9.933	9.937
Kurt.	109.303	110.918	105.858	105.896
Normality (Shapiro-wilks test)	0.000***	0.000***	0.000***	0.000***
Overdispersion	0.000***	0.000***	0.000***	0.000***

또한, 일반적인 선형회귀모형의 모형적합도를 판단하기 위한 척도로 Adjusted R-Square 값을 사용하는 것과 다르게, 준포아송 회귀분석과 같은 일반화 회귀모형의 모형적합도를 판단하기 위해 가장 흔하게 사용하는 척도는 McFadden's R-Square이다(McFadden, 1973). McFadden's R-Square는 0에서 1 사이의 스칼라 값으로 도출되며, 그 값이 1에 가까울수록 모델에 적합한 것으로 판단할 수 있다.

본 연구에서는 준포아송 회귀분석 후 다중공선성 문제를 해결하기 위해 VIF 값을 추가로 확인하여 10 이상인 변수는 하나의 변수를 제외하고 모두 제거하였다. <Table 9>은 서비스 내의 중심지역과 그 외 지역의 공유 전동키토드 통행발생모형 도출 결과를 표로 나타낸 것이다. 통행발생모형 도출 과정에서, VIF 값이 10 이상으로 도출된 변수가 존재할 경우, VIF 값이 가장 높은 변수를 제거한 뒤 준포아송 회귀분석을 재수행하였다. 서비스 내의 중심지역 공유 전동키토드 통행발생모형의 구성요소는 대학교 존재여부, 근접중심성, 교육지역 면적으로 나타났으며, 통행유입모형의 구성요소는 대학교 존재유무, 통행거리, 근접중심성, 교육지역 면적인 것으로 나타났다. 반면, 그 외 지역 내 공유 전동키토드 통행발생모형의 구성요소는 전문대학교 존재여부, 대학교 존재여부, 매개중심성인 것으로 나타났으며, 통행유입모형의 구성요소는 전문대학 존재유무, 대학교 존재유무, 통행거리, 매개중심성인 것으로 나타났다.

통행발생모형 도출 결과는 공유 전동키토드 통행 유입의 영향요인이 서비스 내의 중심지역, 그 외 지역 등 지역에 관계없이 동일하다는 것을 보여준다. 또한, 통행거리 변수는 그 외 지역에 국한된 통행발생 영향요인인 것으로 나타났다.

<Table 9> Summary of result in trip generation model for shared E-Scooter

Area	Production / Attraction	Model	R ²
Main	Production	-2.977e+00 + 7.224e-01(X5) + 9.825e+03(X11) + 1.292e-05(X14)	0.714
	Attraction	4.995e-01 + 4.519e-01(X5) -2.452e+00(X8) + 7.861e+03(X11) + 1.141e-05(X14)	0.773
Minor	Production	2.123e+00 + 1.486e+00(X4) + 1.365e+00(X5) + 7.032-04e(X10)	0.818
	Attraction	2.291e+00 + 1.379e+00(X4) + 1.347e+00(X5) + 6.890e-04(X10)	0.781

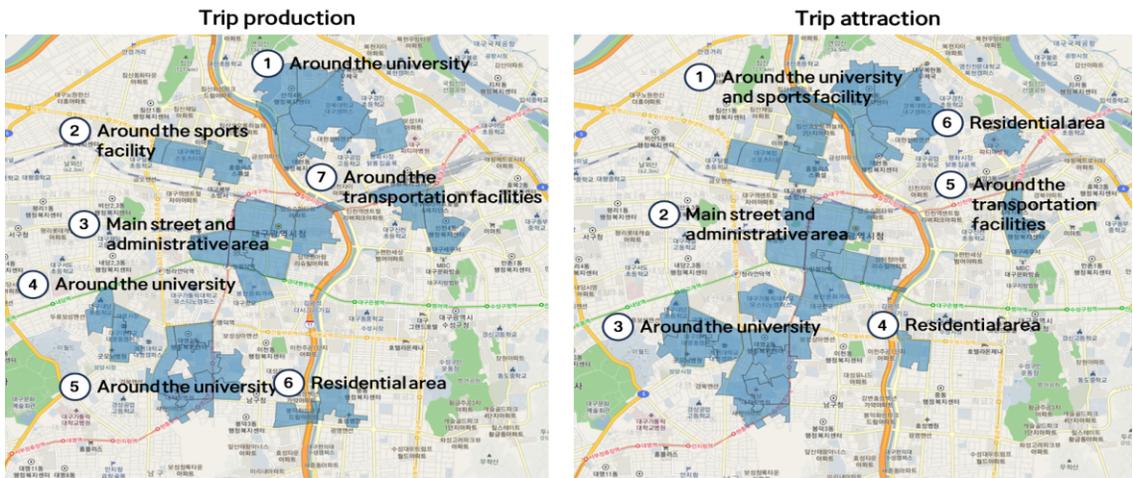
IV. 토 론

본 연구의 분석 결과는 다음과 같이 요약된다. 첫 번째, 대학교 유무 변수(X5)는 지역에 관계없이 공유 전동키토드 통행발생 및 유입에 양의 영향을 미치는 주요 변수인 것으로 나타났다. 두 번째, 전문대학 유무 변수(X4)는 서비스 내의 중심지역의 통행에는 영향을 미치지 않지만, 그 외 지역의 공유 전동키토드 통행발생 및 유입량에 양의 영향을 미치는 것으로 나타났다. 세 번째, 통행거리 변수(X8)는 서비스 내의 중심지역의 공유 전동키토드 통행발생에는 음의 영향을 미치지만, 그 외 지역 공유 전동키토드 통행에는 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 네 번째, 중심성 변수는 모든 공유 전동키토드 통행에 대해 유의하나, 서비스 내의 중심지역에서는 근접중심성 변수가(X11) 통행발생 및 유입모형에 포함되며, 그 외 지역에서는 매개중심성 변수가(X10) 통행발생 및 유입모형에 포함되는 것으로 나타났다. 다섯 번째, 문화지역 면적 변수(X14)는 서비스 내의 중심지역에서 공유 전동키토드 통행에 양의 영향을 미치는 것으로 나타났다.

추가로, 본 연구의 분석 결과는 선행연구의 결과와 비교할 때 몇 가지 차이점이 있는 것으로 확인되었다. 첫 번째, 주거지역, 상업지역, 업무지역 등의 토지이용 관련 변수는 선행연구 상에서 공유 전동키토드 통행에 영향을 미치는 변수로 나타났지만, 본 연구에서는 공유 전동키토드 통행에 유의한 영향을 미치지 않는 것

으로 나타났다. 두 번째, 버스정류장 밀도, 지하철역 밀도 등 교통인프라 변수 역시 선행연구 상에서는 공유 전동키토드 통행에 영향을 미치는 변수로 나타났지만, 본 연구에서는 공유 전동키토드 통행에 유의한 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 세 번째, 여러 선행연구에서 남성이 많은 곳에서는 공유 전동키토드 통행도 많다는 연구 결과가 있었지만, 본 연구에서는 남성비율이 공유 전동키토드 통행에 미치는 영향은 거의 없었다.

<Fig. 5>는 본 연구의 모형에 기반하여 실제 TAZ별 주요 통행발생 및 유입지역을 분석한 결과이다. 서비스 내의 중심지역에서는 추정된 통행발생 및 유입량이 100통행 이상인 TAZ가 주요 통행발생 및 유입지역으로 선정되었다. 서비스 내의 중심지역의 경우, 대학교 주변, 대형 스포츠시설 주변, 주요 번화가 및 행정기관 주변, 터미널, 기차역 등 교통유발시설 주변, 일부 주거지역 등이 주요 통행발생 및 유입지역으로 나타났다. 따라서, 향후 연구에서는 대형 스포츠시설 개수, 행정기관 유무, 번화가 유무, 터미널, 기차역, 공항 등 교통유발시설 유무 등의 변수가 공유 전동키토드 통행발생 및 유입에 영향을 미치는 요인으로 고려될 수 있다.



<Fig. 5> The TAZs in high trip density of trip production and attraction in main served area

V. 결 론

본 연구에서는 공유 전동키토드 이용 이력 데이터를 활용하여 공유 전동키토드 통행발생모형을 구축하였다. 주요 서비스 지역과 그 외 지역에서 공유 전동키토드 이용 요인이 다를 것이라고 판단하여 해당 지역을 구분 후 통행발생모형을 도출하였다. 모형의 신뢰도를 높이기 위해, 분석의 공간 단위는 교통폴리곤 TAZ를 활용하였다. 독립변수는 공유 전동키토드 요인 분석 관련 선행연구 결과를 기반으로 구축하였다. 지역별 통행발생모형을 개발하기 위해, 중심성 변수, 통행거리, 전문대학 유무, 종사자 수 등 지역별로 변수 특성이 상이하다고 판단되는 변수들을 추가하였으며, 중심성 변수, 통행거리 변수 등이 최종적으로 모형에 포함되는 것으로 나타났다. Pearson 상관계수는 전체 변수 중 공유 전동키토드 통행발생 및 유입량에 유의한 영향을 미치는 변수만을 도출하기 위해 사용되었으며, 유의확률이 0.1 미만인 변수만이 통행발생모형 도출에 활용되었다. 준포아송 회귀분석은 통행발생모형을 도출하기 위해 사용되었으며, VIF 값이 10 이상인 변수는 제외하고 분석하여 최종적으로 공유 전동키토드의 지역별 통행발생모형을 도출했다.

본 연구는 공유 전동킵보드라는 신교통수단의 통행발생모형을 새롭게 개발했다는 점, 서비스 지역 수준에 따라 통행발생모형을 개발했다는 점, 기존 연구에서 고려되지 않았던 통행 특성 변수(통행거리, 중심성 등)를 고려하여 분석을 수행했다는 점 등에서 연구의 의의가 존재하지만, 다음과 같은 한계점 또한 존재한다.

첫 번째, 공간 단위 매칭의 한계로 인해, 소득과 같이 공유 전동킵보드 통행에 영향을 미치는 주요 변수를 분석에 반영하지 못하였다. 본 연구에서 활용한 교통폴리곤 TAZ는 공간적 해상도가 높다는 장점이 있지만, GIS 상에 포인트 형태로 제공되는 데이터 또는 집계구 단위로 제공되는 데이터만을 집계 가능하다는 한계가 존재한다. 특히, 상당수의 선행연구에서 소득 관련 변수가 공유 전동킵보드 통행에 유의미한 영향을 미치는 것으로 나타났지만, 현재 공공데이터로 구득할 수 있는 소득 관련 데이터는 교통폴리곤 TAZ보다 공간적 해상도가 낮은 읍면동 단위로 구축되어 있다. 이러한 한계점은 추후 우편번호 단위로 구축된 소득 데이터를 취득한다면 극복할 수 있을 것으로 판단된다.

두 번째, 모형 개발에 있어 공유 전동킵보드 통행의 시간적 특성을 반영하지 못하였다. 공유 전동킵보드 통행특성은 지역별로 상이할 뿐만 아니라 시간대별, 주중·주말별로도 상이할 것으로 예상됨에도 불구하고 본 연구에서는 지역별 통행발생모형을 개발하는 데만 중점을 두었다. 시간대별, 주중·주말별 등 시간적 특성을 고려한 통행발생모형 개발 연구 역시 공유 전동킵보드 분야에서는 연구되지 않았으므로, 향후에는 시간적, 공간적 특성을 모두 고려한 공유 전동킵보드 통행발생모형 개발 연구가 수행되어야 할 것으로 사료된다.

REFERENCES

- Ankerst, M., Breunig, M. M., Kriegel, H. P. and Sander, J.(1999), "OPTICS: Ordering points to identify the clustering structure", *ACM Sigmod Record*, vol. 28, no. 2, pp.49-60.
- Bai, S. and Jiao, J.(2020), "Dockless E-scooter usage patterns and urban built Environments: A comparison study of Austin, TX, and Minneapolis MN", *Travel Behaviour and Society*, vol. 20, pp.264-272.
- Bieliński, T. and Wazna, A.(2020), "Electric scooter sharing and bike sharing user behaviour and characteristics", *Sustainability*, vol. 12, no. 22, p.9640.
- Caspi, O., Smart, M. J. and Noland, R. B.(2020), "Spatial associations of dockless shared e-scooter usage", *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, vol. 86, p.102396.
- Chen, M., Wang, D., Sun, Y., Waygood, E. O. D. and Yang, W.(2020), "A comparison of users' characteristics between station-based bikesharing system and free-floating bikesharing system: Case study in Hangzhou, China", *Transportation*, vol. 47, no. 2, pp.689-704.
- Degele, J., Gorr, A., Haas, K., Kormann, D., Krauss, S., Lipinski, P., Tenbih, M., Koppenhoefer, C., Fauser, J. and Hertweck, D.(2018), "Identifying e-scooter sharing customer segments using clustering", *2018 IEEE International Conference on Engineering, Technology and Innovation (ICE/ITMC)*, pp.1-8.
- Etu, J. E. and Oyedepo, O. J.(2018), "Forecasting trip generation for high density residential zones of Akure, Nigeria: Comparability of artificial neural network and regression models", *Journal of Civil Engineering, Science and Technology*, vol. 9, no. 2, pp.76-86.
- Feng, C., Jiao, J. and Wang, H.(2022), "Estimating e-scooter traffic flow using big data to support planning for micromobility", *Journal of Urban Technology*, vol. 29, no. 2, pp.139-157.

- Fishman, E.(2016), “Bikeshare: A review of recent literature”, *Transport Reviews*, vol. 36, no. 1, pp.92-113.
- Fishman, E., Washington, S., Haworth, N. and Watson, A.(2015), “Factors influencing bike share membership: An analysis of Melbourne and Brisbane”, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, vol. 71, pp.17-30.
- Gabriella, A., Abdullah, S. and Soemartojo, S. M.(2019), “Comparison of Poisson and Quasi-Poisson Regression: A Simulation study”, *ICSA-International Conference on Statistics and Analytics 2019*, pp.1-8.
- Glavić, D., Trpković, A., Milenković, M. and Jevremović, S.(2021), “The E-Scooter Potential to Change Urban Mobility-Belgrade Case Study”, *Sustainability*, vol. 13, no. 11, p.5948.
- Hampshire, R. C. and Marla, L.(2012), “An analysis of bike sharing usage: Explaining trip generation and attraction from observed demand”, *91st Annual Meeting of the Transportation Research Board*, Washington, DC, pp.12-2099.
- Heineke, K., Laverty, N., Moller, T. and Zigeler, F.(2023), “The Future of Mobility”, *McKinsey Quarterly*, pp.1-14.
- Heumann, M., Kraschewski, T., Brauner, T., Tilch, L. and Breitner, M. H.(2021), “A spatiotemporal study and location-specific trip pattern categorization of shared e-scooter usage”, *Sustainability*, vol. 13, no. 22, p.12527.
- Hong, D., Jang, S. and Lee, C.(2023), “Investigation of shared micromobility preference for last-mile travel on shared parking lots in city center”, *Travel Behaviour and Society*, vol. 30, pp.163-177.
- Hong, S. D. and You, Y. Y.(2021), “Analysis and Improvement of Utilization Status through GPS Data Analysis of Shared Electric Kickboard in Wirye New Town”, *The Journal of the Korea Contents Association*, vol. 21, no. 9, pp.471-476.
- Hosseinzadeh, A., Algomaiah, M., Kluger, R. and Li, Z.(2021a), “E-scooters and sustainability: Investigating the relationship between the density of E-scooter trips and characteristics of sustainable urban development”, *Sustainable Cities and Society*, vol. 66, p.102624.
- Hosseinzadeh, A., Algomaiah, M., Kluger, R. and Li, Z.(2021b), “Spatial analysis of shared e-scooter trips”, *Journal of Transport Geography*, vol. 92, p.103016.
- Huo, J., Yang, H., Li, C., Zheng, R., Yang, L. and Wen, Y.(2021), “Influence of the built environment on E-scooter sharing ridership: A tale of five cities”, *Journal of Transport Geography*, vol. 93, p.103084.
- ITF(2020), *Safe Micromobility*, OECD/ITF, International Transport Forum Corporate Partnership Board.
- Jiao, J. and Bai, S.(2020), “Understanding the shared e-scooter travels in Austin, TX”, *ISPRS(International Society for Photogrammetry and Remote Sensing) International Journal of Geo-Information*, vol. 9, no. 2, p.135.
- Kim, K. H., Kim, S. H. and Song, T. J.(2023), “How to Set an Appropriate Scale of Traffic Analysis Zone for Estimating Travel Patterns of E-Scooter in Transportation Planning?”, *The Journal of The Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, vol. 22, no. 3, pp.51-61.
- Kim, S. J., Lee, G. J., Choo, S. H. and Kim, S. H.(2021), “Study on shared e-scooter usage characteristics and influencing factors”, *The Journal of The Korea Institute of Intelligent*

- Transport Systems*, vol. 20, no. 1, pp.40-53.
- Lee, S. and Choo, S.(2021), “Development of Trip Generation and Trip Distribution Models for Car-sharing Considering Land Use and Transport Characteristics”, *Journal of Korea Planning Association*, vol, 56, no. 5, p.69.
- Li, X., Zhang, Y., Sun, L. and Liu, Q.(2018), “Free-floating bike sharing in Jiangsu: Users’ behaviors and influencing factors”, *Energies*, vol. 11, no. 7, p.1664.
- MacQueen, J.(1967), “Classification and analysis of multivariate observations”, *Proceedings of the 5th Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability*, pp.281-297.
- McFadden, D.(1973), *Conditional logit analysis of qualitative choice behavior*, University of California at Berkeley.
- McKenzie, G.(2019), “Spatiotemporal comparative analysis of scooter-share and bike-share usage patterns in Washington, DC”, *Journal of Transport Geography*, vol. 78, pp.19-28.
- Merlin, L. A., Yan, X., Xu, Y. and Zhao, X.(2021), “A segment-level model of shared, electric scooter origins and destinations”, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, vol. 92, p.102709.
- Ministry of Land, Infrastructure, and Transport and The Korea Transport Institute(2020), *The 2019 National Transportation Demand Survey & the Operation and Maintenance of Transportation DB system*, Se-jong.
- Mukherjee, J. and Kadali, B. R.(2022), “A comprehensive review of trip generation models based on land use characteristics”, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, vol. 109, p.103340.
- Noland, R. B., Smart, M. J. and Guo, Z.(2016), “Bikeshare trip generation in New York city”, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, vol. 94, pp.164-181.
- Part, P. Y.(2023), “The present and Future of Shared Personal Mobility”, *Joint Session of Korea Transportation Safety Authority & Road Traffic Authority, Joint Conference of Korean Society of Transportation & Korea Planning Association*, Pusan.
- Pazzini, M., Cameli, L., Lantieri, C., Vignali, V., Dondi, G. and Jonsson, T.(2022), “New Micromobility Means of Transport: An Analysis of E-Scooter Users’ Behaviour in Trondheim”, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 19, no. 12, p.7374.
- Pearson, K.(1896), “VII. Mathematical contributions to the theory of evolution.—III. Regression, heredity, and panmixia”, *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A*, containing papers of a mathematical or physical character 187, pp.253-318.
- Rousseeuw, P. J.(1987), “Silhouettes: A graphical aid to the interpretation and validation of cluster analysis”, *Journal of Computational and Applied Mathematics*, vol. 20, pp.53-65.
- Shaheen, S. A., Martin, E. W., Cohen, A. P., Chan, N. D. and Pogodzinski, M.(2014), “Public Bikesharing in North America During a Period of Rapid Expansion: Understanding Business Models”, *Industry Trends & User Impacts*, MTI Report, pp.12-29.
- Shaheen, S. and Cohen, A.(2019), *Shared micromobility policy toolkit: Docked and dockless bike and scooter sharing*, UC Berkeley.
- Takyi, I. K.(1990), “Trip generation analysis in a developing country context”, *Transportation Research Record*, vol. 1285, pp.9-21.

- Tokey, A. I., Shioma, S. A. and Jamal, S.(2022), “Analysis of spatiotemporal dynamics of e-scooter usage in Minneapolis: Effects of the built and social environment”, *Multimodal Transportation*, vol. 1, no. 4, p.100037.
- Wilfred, G., Bwire, H., Mattsson, L. and Jonsson, D.(2015), “Effects of land use on trip generation in urban areas: Comparison between estimated trip generation rates and planning practices in Dar es Salaam, Tanzania”, *Southern African Transport Conference*.
- Zhang, J. and Luo, Y.(2017), “Degree centrality, betweenness centrality, and closeness centrality in social network”, *2017 2nd International Conference on Modelling, Simulation and Applied Mathematics(MSAM2017)*, pp.300-303.
- Zhang, W., Buehler, R., Broaddus, A. and Sweeney, T.(2021), “What type of infrastructures do e-scooter riders prefer? A route choice mode”, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, vol. 94, p.102761.