

# 공유 전동킵보드의 공간적 이용특성 분석: 공간자기상관모형을 중심으로

## Analysing Spatial Usage Characteristics of Shared E-scooter: Focused on Spatial Autocorrelation Modeling

김수재\* · 박민정\*\* · 추상호\*\*\* · 김상훈\*\*\*\*

\* 주저자 : 홍익대학교 도시계획과 박사과정  
 \*\* 공저자 : 홍익대학교 도시공학과 학부과정  
 \*\*\* 교신저자 : 홍익대학교 도시공학과 교수  
 \*\*\*\* 공저자 : 주식회사 피유엠피 서비스 이사

Sujae Kim\* · Minjung Koack\*\* · Sangho Choo\*\*\* · Sanghun Kim\*\*\*\*

\* Dept. of Urban Planning, Univ. of Hongik  
 \*\* Dept. of Urban Design and Planning, Univ. of Hongik  
 \*\*\* Dept. of Urban Design and Planning, Univ. of Hongik  
 \*\*\*\* PUMP Co.  
 † Corresponding author : Sangho Choo, shchoo@hongik.ac.kr

Vol.20 No.1(2021)

February, 2021  
pp.54~69

pISSN 1738-0774  
eISSN 2384-1729  
<https://doi.org/10.12815/kits.2021.20.1.54>

Received 4 February 2021  
Revised 10 February 2021  
Accepted 18 February 2021

© 2021. The Korea Institute of  
Intelligent Transport Systems. All  
rights reserved.

### 요약

도로교통법이 개정되며 개인형 이동수단(특히, 전동킵보드) 이용에 대한 정책적인 개선방안이 제시되고 있다. 하지만 많은 기기들이 보도 위에 방치되는 등 이용상의 문제점을 해결하고자 하는 논의는 부족한 실정이다. 이에 따라 본 연구에서는 서울시를 200m 격자로 구분하여 공유 전동킵보드의 대여량과 반납량에 영향을 미치는 요인을 분석하고자 한다. 특정공간을 기준으로 집계된 자료의 특성을 반영하기 위해 공간자기상관모형인 공간시차모형과 공간오차모형, 공간더빈모형, 공간더빈오차모형을 구축하였으며, 최종모형으로 공간더빈모형을 선정하였다. 영향요인 분석결과, 인구지표, 토지이용지표, 교통시설지표가 통계적으로 유의하게 영향을 미치는 것으로 분석되었다. 본 연구의 결과는 평일과 주말의 이용특성을 고려한 효율적인 운영방안을 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

핵심어 : 공유 전동킵보드, 무거치대 서비스, 격자, 공간자기상관모형

### ABSTRACT

Policy improvement such as the revision of the Road Traffic Act are proposed for personal mobility(especially e-scooter) usage. However, there is not enough discussion to solve the problem of using shared e-scooter. In this study, we analyze the influencing factors that amount of pick-up and drop-off of shared e-scooter by dividing the Seoul into a 200m grid. we develop spatial autocorrelation model such as spatial lag model, spatial error model, spatial durbin model, and spatial durbin error model in order to consider the characteristics of the aggregated data based on a specific space, and the spatial durbin error model is selected as the final model. As a result, demographic factor, land use factor, and transport facility factors have statistically significant impacts on usage of shared e-scooter. The result of this study will be used as basic data for suggesting efficient operation strategies considering the characteristics of weekday and weekend.

Key words : Shared e-scooter, Dockless service, Grid, Autocorrelation model

## I. 서론

2020년 12월 10일 도로교통법 개정에 의해 기존에는 원동기장치자전거로 분류되었던 개인형 이동수단이 새로운 법적지위를 갖게 되면서 별도의 수단으로 분류되었다. 이에 따라 원칙적으로 차도가 아닌 자전거 도로에서도 운행이 가능하게 되었으며, 별도의 면허 없이도 이용이 가능해졌다. 하지만 법 개정안 발표 이후 전동킥보드 관련 사고가 지속적으로 발생하면서 추가적인 법 개정안에 대한 논의가 이루어졌고, 2021년 5월 부터 새로운 개정안이 시행될 예정이다. 주요 개정사항으로는 개인형 이동수단의 전용면허가 신설되어 무면허 운전자에 대한 처벌이 가능해지며, 운전자 주의의무에 대한 처벌도 가능해진다. 이렇듯 전동킥보드의 이용에 대한 관심이 높아져 다양한 정책적 개선방안이 제시되고 있으나, 보행로 무단 점용 및 방치로 인한 도시미관 저해, 보행통행 방해 등 운영상의 문제에 대해서는 논의되고 있지 않은 실정이다.

현재 개인형 이동수단은 주로 스테이션 없이 자유롭게 이용 가능한 dockless(free floating) 방식의 공유서비스의 형태로 이용되고 있으며, 2017년 미국에서부터 현재 전세계적으로 서비스되고 있다(Clewllo, 2019; Liu et al., 2019; Shaheen et al., 2017; McKenzie, 2019). 국내에서는 2018년 킥고잉을 시작으로 썬썬, 일레클, 카카오토티바이크 등 다양한 서비스들이 약 3만 6천대 이상(2020년 8월 기준) 서비스되고 있다. 다양한 서비스들이 dockless 방식으로 운영되면서 많은 기기들이 보도 위에 방치되는 등 새로운 문제가 야기되고 있다. 따라서 이용상의 문제뿐만 아니라 이러한 운영상의 문제점들에 대한 논의도 필요하며, 각 지역에서 필요로 하는 적정 운영대수에 대한 연구가 필요할 것으로 생각된다. 따라서 본 연구는 적정 운영대수 산정을 위한 선행연구로 공유 전동킥보드의 이용자료를 활용하여 이용수요에 영향을 미치는 요인을 분석하고자 한다.

본 연구는 다음과 같이 진행된다. 우선, 공유 전동킥보드 이용행태를 분석한 선행연구와 공유 자전거 이용수요의 영향요인을 분석한 연구를 검토하여 연구의 분석방법론을 결정하였다. 다음으로 공유 전동킥보드의 이용 실적자료와 이용수요 영향요인으로 고려할만한 인구지표, 토지이용지표, 교통시설지표 등을 구축하였다. 공유 전동킥보드 이용 실적자료는 피유엠피 사의 공유 전동킥보드 서비스인 썬썬의 이용 실적자료를 활용하였다. 공유 전동킥보드의 이용량은 구독 가능한 자료 중 강우일이 가장 적은 2020년 4월의 이용량을 평일과 주말, 대여량과 반납량을 구분하여 집계하였다. 서울시를 200m 격자 단위로 분할하여 각 격자별로 이용량과 설명변수들을 집계하였으며, 이를 분석단위로 하여 이용수요 영향요인 분석모형을 구축하였다. 일반적인 선형회귀모형인 최소자승모형(ordinary least square)과 공간자기상관모형인 공간시차모형(spatial lag model: SLM), 공간오차모형(spatial error model: SEM), 공간더빈모형(spatial durbin model: SDM), 공간더빈오차모형(spatial durbin error model: SDEM)을 구축하였으며, 각 모형의 AIC(akaikie information criterion)와 SC(schwarz criterion)를 비교하여 최적모형을 선정하였다.

## II. 선행연구검토

본 연구에서는 연구의 분석대상인 공유 전동킥보드 관련 연구와 분석방법론인 공간자기상관분석에 관한 연구로 구분하여 검토하였다. 공유 전동킥보드 관련 연구에서는 다양한 지역들의 이용특성 분석사례를 검토하였다. 또한, 공유 전동킥보드의 이용자료의 특성을 고려하여 공간자기상관분석에 관한 연구들을 검토하였다. 공유 전동킥보드를 대상으로 공간자기상관분석을 수행한 연구가 많지 않아, 유사한 수단인 공유 자전거를 대상으로 공간자기상관분석을 수행한 연구들도 함께 검토하였다. 마지막으로 검토한 선행연구들을 간단하게 요약하여 이용특성 분석 시 반영한 영향요인에 대하여 검토하고, 본 연구의 결과와 비교하였다.

## 1. 공유 전동키토드 관련 연구

공유 전동키토드 이용특성으로는 통행특성과 이용행태에 관한 연구를 검토하였다. 먼저 통행특성 관련 연구를 살펴보면, Liu et al.(2019)은 미국 인디애나폴리스 지역의 2018년 9월 4일부터 11월 30일까지 총 3개월 간의 이용실적 자료를 활용하여 월별, 요일별, 시간대별 분석을 수행하였다. 월별 이용량을 살펴보면, 10월에 이용량이 가장 많고, 11월에 가장 적은 것으로 나타났는데, 이는 날씨에 의한 영향으로 분석되었다. 요일별 이용량을 살펴보면, 평일의 경우 주말에 비해 일일 총 이용량이 적게 나타나지만 출근시간대인 7-9시에는 더 많이 이용되는 것으로 나타났다. 시간대별 이용량을 살펴보면, 6시 이후 이용량이 증가하기 시작하며, 11~12시에 이용량이 급격하게 증가하는 것으로 나타났다. 이후 다시 꾸준히 증가하다가 20시 이후 이용량이 감소하는 것으로 나타났다. 이용특성을 살펴보면, 전체 통행의 약 60%는 10분 이하의 이용시간을, 약 65%의 통행은 1 mile 이하의 단거리 통행으로 나타나 공유 전동키토드는 출퇴근 시 보다는 단거리 통행 시 주로 이용되는 것으로 분석되었다.

Mckenzie(2019)는 워싱턴 DC의 2018년 6월 13일부터 8월 23일까지 약 70일 간의 이용실적 자료를 활용하여 기존 공유 자전거와 공유 전동키토드의 통행특성을 비교하였다. 시간대별 이용행태 분석결과, 공유 전동키토드 이용객은 평일에는 8시부터, 주말에는 10시부터 이용량이 증가하는 것으로 나타났다. 기존 공유 자전거의 경우 정기권 이용자(member)와 일반 이용자(casual)로 구분하였다. 정기권 이용자의 경우 뚜렷한 오전, 오후 침두 형태가 나타나 출퇴근용으로 활용되고 있는 것으로 해석할 수 있으며, 일반 이용자의 경우 공유 전동키토드와 유사한 이용행태를 보이는 것으로 나타났다. 공간적 이용분포를 살펴보면, 공유 전동키토드가 공유 자전거보다 도시 중심부에서 이용량이 집중되는 것으로 나타났다. 또한, 도시 중심부에서는 공유 자전거의 일반 이용자와 공유 전동키토드 이용분포가 유사하게 나타났다.

Zou et al.(2020)은 워싱턴 DC의 2019년 3월 11일부터 4월 14일까지 약 5주간의 공유 전동키토드 실시간 이용자 및 공유 자전거 이용자료를 활용하여 이용행태를 분석하여 공유 전동키토드의 도입방안을 제시하였다. 시간대별 이용행태 분석결과, 대부분의 통행이 침두시간대(5시, 16시)에 발생하는 공유 자전거와 달리, 공유 전동키토드의 통행은 특별한 침두형태 없이 낮시간대(10~15시)에 고루 발생하는 것으로 나타났다. 또한, 주말에는 주로 여가(leisure)통행으로 이용되어 평일보다 조금 늦은 11~15시의 이용량이 집중되는 것으로 나타났다. 공간적 이용분포를 살펴보면, 이용량의 약 70% 이상이 비교적 차량의 통행이 적은 집산도로나 이면도로에서 발생하는 것으로 나타났다. 공유 전동키토드의 이용행태와 함께 공유 자전거 통행량, 사고자료 등을 분석하여 공유 전동키토드 이용 위험지역을 선정하였다. 이를 바탕으로 혼잡 지역에 거치대를 설치하고, 이용수요가 많은 경로에 대한 안전 관리의 필요성을 제시하는 등 공유 전동키토드의 원활한 도입방안을 제시하였다.

Bai and Jiao(2020)은 규모가 다른 두 대상지(텍사스 오스틴, 미네소타 미니애폴리스)를 선택하여, 2018년 8월부터 11월까지 약 4개월간의 공유 전동키토드 이용자료를 바탕으로 지역별 공유 전동키토드 이용행태를 분석하고, 이용 영향요인을 분석하였다. 지역별 이용특성을 비교해보면, 오스틴 지역의 경우 평균 통행거리 0.9 mile, 평균 통행시간 12분, 평균 통행속도 5 mile/h로 미니애폴리스 지역(평균 통행거리 1.3 mile, 평균 통행시간 19분, 평균 통행속도 6 mile/h)에 비해 더 작게 나타났다. 일주일간 이용패턴을 분석한 결과, 오스틴 지역은 주말에 가까울수록 이용량이 증가하는 것으로 나타났으나, 미니애폴리스 지역은 요일별 이용량이 유사한 것으로 나타났다. 공간적 이용분포를 살펴보면, 두 지역 모두 도시 중심부 및 대학 캠퍼스 주변에서 주로 이용이 되는 것으로 나타났다. 또한, 음이항 회귀모형을 구축하여 공유 전동키토드 이용에 영향을 미치는 요인을 분석하였다. 독립변수로 사회경제지표(25세 이하의 인구비율(percentage of young population), 연령별

인구밀도, 성별 비율, 고학력자 비율(percentage of high education population), 가구 소득, 가구원수)와 토지이용 지표(도심까지의 거리, 토지이용 다양성, 토지이용 복합도, 토지이용도), 대중교통 접근성(transit accessibility) 등을 고려하였다. 두 지역에서 모두 통계적으로 유의한 변수를 살펴보면, 고학력자 비율이 높을수록, 도심까지의 거리가 가까울수록, 대중교통 접근성이 좋을수록, 토지이용 다양성이 높을수록, 업무시설이 밀집할수록 많은 이용이 발생하는 것으로 분석되었다. 두 지역에서 다른 영향력을 미치는 변수를 살펴보면, 오스틴 지역에서는 소득이 낮을수록, 단독주택 대비 공업시설 지역 및 교통시설지역이 많을수록 이용량이 많은 것으로 분석되었으나, 미네아폴리스 지역에서는 소득이 높을수록, 단독주택 지역이 많을수록 이용량이 많은 것으로 분석되었다.

## 2. 공간자기상관분석 관련 연구

공유 전동키토드의 이용량은 특정 공간을 기준으로 집계되기 때문에 집계된 이용자료는 공간자기상관성이 발생할 수 있다. 이에 본 연구에서는 공간자기상관성을 통제할 수 있는 공간자기상관모형을 구축하고자 하며, 이와 관련된 다양한 선행연구를 살펴보았다. 먼저, El-Assi et al.(2017)은 토론토 지역의 2013년 1년 간의 자전거 이용실적 자료를 활용하여 이용특성과 이용 영향요인을 분석하였다. 요일별 이용특성 분석결과, 일반 이용자(casual)는 평일과 주말의 이용이 거의 유사하지만, 정기권 이용자(registered)는 주말에 비해 평일에 약 60.5% 더 많이 이용하는 것으로 나타나 통근수단으로 활용되는 것으로 분석되었다. 계절별 시간대별 분석결과, 가을의 시간대별 이용비율은 오전첨두(6~10시)에 24%, 오후첨두(14~18시)에 34%, 낮 시간대(10~14시)에 22%로 나타났으며, 봄과 여름 역시 가을과 이용패턴이 유사한 것으로 나타났다. 반면, 겨울의 경우 낮 시간대 이용비율은 19%로 감소하고, 오전첨두와 오후첨두는 각각 28%, 37%로 증가하는데, 이는 정기권 이용자의 통근통행은 지속되나 일반 이용자의 통행이 감소하기 때문인 것으로 분석되었다. 계절, 사회경제지표, 토지이용 등을 고려한 자전거 이용행태를 분석하기 위해 distributed lag model을 활용하여 분석을 수행하였다. 인구밀도, 종사자 밀도, 온도, 강설량, 습도, 강우량, 교차로 수, 자전거도로, 자전거 거치대, 대여 장소, 대학 여부, 대중교통 여부, 이동 거리를 독립변수로 설정하였으며, 평일과 주말의 발생모형과 도착모형을 각각 구축하였다. 모형 분석결과, adjusted R2는 평일 모형의 경우 0.63~0.65, 주말 모형의 경우 0.62~0.64로 도출되었다. 평일 모형을 살펴보면, 변수들은 발생모형과 도착모형에서 모두 유사한 영향력을 나타내고 있다. 온도, 거치대, 대중교통 시설, 대학, 종사자 밀도, 인구밀도, 대여 장소는 양의 영향이 있는 것으로, 습도, 강우량, 강설량은 음의 영향이 있는 것으로 분석되었다. 주말 모형의 경우도 발생모형과 도착모형에서 모두 유사한 영향력을 나타내고 있으며, 온도, 거치대, 인구밀도는 양의 영향력이 있는 것으로, 습도, 강우량, 강설량은 음의 영향력이 있는 것으로 분석되었다.

Caspi et al.(2020)은 텍사스 오스틴 지역의 2018년 8월 15일부터 2019년 2월 28일까지 약 6개월간의 공유 전동키토드 이용자료를 활용하여 분석을 수행하였다. 6개월 동안 발생한 이용량은 총 2,237,588통행이며, 이 중 64%가 평일에 이용된다. 일평균 통행량은 11,358통행이며, 오전 첨두(7~10시)에 전체 통행의 약 8%, 오후 첨두(16~19시)에 전체 통행의 약 18%가 발생하는 것으로 나타났다. 공간적 이용분포를 살펴보면, 대부분의 이용량이 도시 중심부인 다운타운과 오스틴대학교 인근에서 발생하였다. 공유 전동키토드 이용에 영향을 미치는 요인을 분석하기 위해 공간분석모형인 spatial lag model과 spatial durbin model을 활용하였으며, 모형의 독립변수로는 토지이용 면적비율과 토지이용 복합도(entropy), 자전거도로 및 버스정류장 유무, 평균 소득, 종사자 및 교차로 밀도, 학생 비율, 도심까지의 거리 등을 설정하였다. 두 모형의 결과는 대부분 유사한 것으로 나타났으며, 주거, 상업, 교육, 공업시설의 면적비율, 자전거 도로, 버스정류장, 종사자 밀도가 양의 영향이

있는 것으로 분석되었다. *Spatial lag model*에서는 학생 비율, 도심까지의 거리 역시 양의 영향력이 있는 것으로 분석되었으며, *spatial durbin model*에서는 여가시설 면적비율, 교차로 밀도기 양의 영향력이 있는 것으로 분석되었다. 마지막으로, 영향요인별 공유 전동키토드 수요에 미치는 영향을 공간적으로 분석하기 위해 *geographically weighted regression model* 구축하였다. 분석결과, 주거시설 면적비율의 증가는 오스틴 지역 중심부의 서쪽 및 남쪽의 이용수요를 증가시키는 것으로 분석되었으며, 평균 소득과 학생 비율의 증가는 서쪽의 이용수요를 감소시키는 것으로 분석되었다.

Munira and Sener(2020)는 텍사스 오스틴 지역의 2017년 4월부터 10월까지의 공유 자전거 실적자료를 활용하여 자전거 이용에 영향을 미치는 요인에 대한 분석을 수행하였다. 영향요인 분석에는 *geographically weighted poisson regression model*을 활용하였으며, 공간적 분석범위를 교차로를 기준으로 반경 0.1~1.0 mile로 다양하게 설정하였으며, 설명변수는 공유 자전거 이용량을 종속변수로 하여 일반적인 선형회귀분석을 통해 신뢰도 90%에서 통계적으로 유의한 변수들을 추출하였다. 통계적으로 유의미한 변수는 18~34세 인구, 대졸 이상 인구, 수입 중위값, 분석 범위 내 학교와 사업체 수, 대중교통 시설까지의 거리, 보행로가 있는 도로 연장, 포장 및 비포장도로 연장으로 추정되었다. 각 설명 변수들의 공간적 분포를 살펴보면, 도심지에 대학이 위치하여 도심에 젊은 계층의 인구가 많이 분포하고, 동쪽에 비해 서쪽에 부유한 계층이 많이 분포하는 것으로 나타났다. 중심지에 많은 사업체가 존재하며, 중심지에 가까울수록 대중교통 시설과의 거리는 짧아지고, 중심지에서 멀어질수록 비포장도로 길이는 증가하는 것으로 나타났다. 각 설명변수에 따른 공유 자전거 이용량의 영향력 분석결과, 18세에서 34세의 인구가 많을수록, 대학 이상 졸업자가 많을수록, 학교가 적을수록, 사업체가 적을수록, 대중교통 접근거리가 길수록, 대중교통 정류장이 많을수록, 보행로가 없을수록, 포장 및 비포장도로의 연장이 길수록 자전거 이용은 증가하는 것으로 분석되었다.

Yang et al.(2020)은 시카고의 2016년 1년간의 공유 자전거 평일 이용자료를 활용하여 자전거 이용에 영향을 미치는 요인에 대하여 분석하였다. 공유 자전거 이용의 시간대별 분포를 살펴보면, 오전 침투(6~10시) 및 오후 침투(15~19시)가 뚜렷하게 나타났다. 공간적 분포를 살펴보면, 중심업무지구에서 주로 이용되는 것으로 나타났다. 공간분석에 앞서 일반적인 선형회귀분석을 통해 공유 자전거의 대여량, 반납량, 정기권 이용량에 대하여 대중교통 역까지의 거리, 저소득층 밀도, 자전거 거치대 용량, 종사자 수, 고용자 수, 자동차 보유 여부, 도로밀도가 미치는 영향에 대하여 분석하였다. 분석결과, 대중교통 역까지의 거리가 짧을수록, 저소득층 밀도가 낮을수록, 자전거 거치대 용량이 클수록, 종사자 수가 많을수록 자전거 이용이 많은 것으로 분석되었다. 다음으로 *semi-parametric geographically weighted regression model*을 구축하였다. 발생량에 따른 모형 구축결과, *adjusted R2*는 0.82로 산출되었으며, 자전거 거치대 용량은 양의 영향력을, 저소득층 밀도는 음의 영향력이 있는 것으로 분석되었다. 도착량에 따른 모형 구축결과, *adjusted R2*는 0.84로 산출되었으며, 자전거 거치대 용량과 종사자 수는 양의 영향력을, 저소득층 밀도는 음의 영향력이 있는 것으로 분석되었다. 정기권 이용량에 따른 모형 구축결과, *adjusted R2*는 0.82로 산출되었으며, 자전거 거치대 용량과 도로밀도가 양의 영향력이 있는 것으로 분석되었다.

공유 전동키토드 관련 연구는 주로 국외에서 수행되었으며, 대부분의 연구들에서는 이용자료를 단순하게 집계하여 이용행태를 분석하였고, 이용에 미치는 영향요인을 분석한 연구는 미비하였다. 또한, 이용자료의 특성을 고려하여 공간분석을 수행한 연구에서는 *spatial lag model*, *spatial durbin model*, *geographically weighted regression* 등 다양한 모형을 활용하였으나, 공유 전동키토드를 대상으로 한 연구는 부족하였다. 더불어 국내에서는 공유 전동키토드의 실제 이용자료를 활용하여 이용특성을 분석한 연구는 전무하였다. 따라서 본 연구에서는 공유 전동키토드의 이용자료를 기반으로 이용자료의 특성을 반영할 수 있는 공간분석을 수행하여 공유 전동키토드 이용에 영향을 미치는 요인을 규명하고자 한다.

<Table 1> Summary of literature review

Authors	Area	Period	Method	Target	Variables
Liu et al.	Indianapolis	2018.9. ~ 2018.11.	Descriptive analysis	E-scooter	-
Mckenzie	Washington D.C.	2018.6. ~ 2018.8.	Descriptive analysis	E-scooter Bike	-
Zou et al.	Washington D.C.	2019.3. ~ 2019.4.	Descriptive analysis	E-scooter Bike	-
Bai and Jiao	Austin, Minneapolis	2018.8. ~ 2018.11.	Negative binomial regression	E-scooter	Average daily trip*, Population density, Gender, Age, Education, Income level, Distance to city center, Transit accessibility, Land use diversity, Land use entropy, Dominant land use type
El-Assi et al.	Toronto	2013	Distributed lag model	Bike	Public bicycle trip*, Population density, Employment density, University, Bike station, Transit, Capacity, Temperature, Snow, Humidity, Precipitation
Caspi et al.	Austin	2018.8. ~ 2019.2.	Spatial lag model Spatial durbin model Geographically weighted regression	E-scooter	Average daily trip*, Land use, Bikeways, Annual income, Bus stops, Employment density, Intersection density, Entropy, Student ratio, Distance to city center
Munira and Sener	Austin	2017.4. ~ 2017.10.	Geographically weighted poisson regression	Bike	Intersection bicycle volume*, Population density, High education, Income, University, Office establishment, Distance from transit hub, Transit, Sidewalk, Trail length
Yang et al.	Chicago	2016	Ordinary least squares Geographically weighted regression Semi-parametric geographically weighted regression	Bike	Annual average number of trips*, Employment density, Income, Car possession, Distance to CBD, Capacity

Note: \* means dependent variable

### III. 분석자료

#### 1. 공유 전동킥보드 실적자료

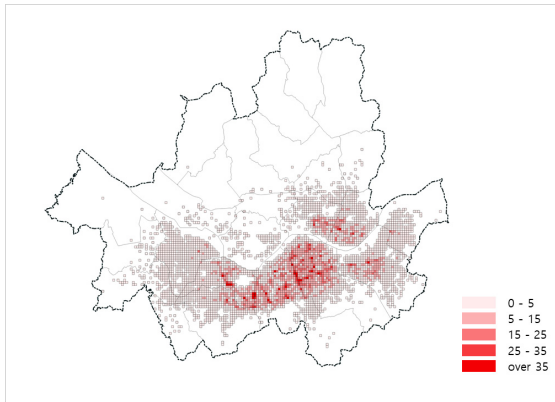
본 연구에서는 주식회사 피우엠피사의 공유 전동킥보드 서비스인 썬썬의 2020년 4월 실적자료를 활용하였다. 2020년 4월 기준 썬썬은 서울시, 부산시, 원주시, 진주시 총 4개 지역에서 서비스하고 있으며<sup>1)</sup>, 본 연구에서는 공간적 범위를 서울시로 한정하여 서울시의 실적자료만을 활용하였다. 실적자료는 기기ID와 이용자ID, 대여시각 및 위치, 반납시각 및 위치, 이용시간 및 거리정보를 포함하고 있다.

1) 2021년 1월 기준 서울시 12개 구(강남구, 서초구, 송파구, 강동구, 광진구, 성동구, 관악구, 구로구, 동작구, 영등포구, 중구, 마포구)와 서울 외 29개 지역(인천광역시(송도, 영종도), 경기도 수원시, 용인시, 안산시, 광주시, 부천시, 의정부시, 화성시(동탄), 하남시, 평택시, 고양시(일산), 강원도 원주시, 춘천시, 대전광역시, 충청북도 청주시, 충청남도 천안시, 광주광역시, 전라북도 진주시, 익산시, 전라남도 여수시, 대구광역시, 부산광역시, 울산광역시, 경상북도 포항시, 경산시, 경상남도 진주시, 거제시, 진해시)에서 서비스하고 있다.

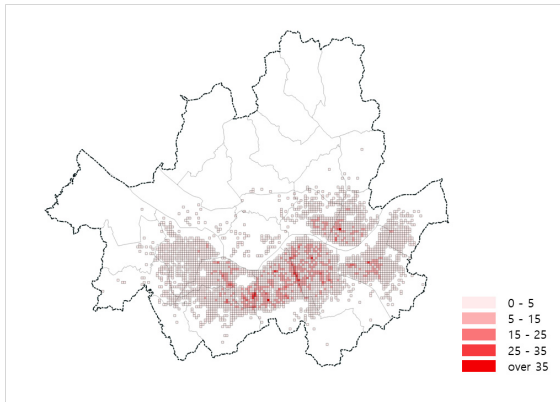
서울시의 2020년 4월 실적자료 중 오류와 강우일을 제외한 254,697건을 대상으로 분석을 수행하였다. 오류 내용은 위치정보 누락, 이용시간 20초 미만(정책 상 미이용 처리), 이용거리 0m, 평균 이동속도 25km/h 초과(기기 제한속도) 등이 있으며, 강우일에는 공유 전동킥보드 이용이 어려워 분석에서 제외하였다.

실적자료는 2020년 4월의 평일 20일 중 강우일을 제외한 18일, 주말 및 공휴일 10일 중 강우일을 제외한 9일에 대하여 평균 대여량과 반납량을 집계하였다. 집계 기준은 서울시를 200m 격자로 나누어 대여 및 반납 위치를 기반으로 집계하였다. 격자의 크기는 보행량과 가로환경의 관련성에 관한 연구(Yoon and Choi, 2013; Yoon et al., 2014)에서 보행권을 200m로 설정하였으며, 공유 자전거 이용에 영향을 미치는 환경요인에 관한 연구(Sa and Lee, 2018)에서 공유 자전거 대여소의 반경 100m의 특성을 환경영향요인으로 고려하여 200m로 설정하였다. 서울시를 200m 격자로 나눈 결과 총 14,603개의 격자가 생성되었으며, 이 중 2020년 4월에 1회 이상 대여 및 반납이 이루어진 3,809개 격자를 분석범위로 설정하였다.

공유 전동킥보드의 이용지역을 살펴보면, 강남구, 서초구, 동작구, 광진구, 성동구, 송파구 등에서 주로 이용되는 것으로 나타났다. 이 지역들은 주로 지하철역 인근에 상권이 크게 형성되어 유동인구가 많은 지역이다. 주말의 경우 이용분포는 평일과 유사하게 나타나지만, 전체적으로 이용량은 감소하는 것으로 나타났다.



<Fig. 1> Heatmap of shared e-scooter usage on weekday



<Fig. 2> Heatmap of shared e-scooter usage on weekend

## 2. 변수구축

본 연구의 종속변수는 분석 범위에 해당하는 3,809개 격자에 평일과 주말의 공유 전동킥보드 반납량 및 대여량으로 구축하였다. 독립변수는 인구지표, 토지이용지표, 교통시설지표로 구성하였다.

인구지표는 40세 이상의 거주인구, 거주인구와 유동인구를 합한 생활인구, 3차산업 종사자수로 구성하였으며, 1,000명 단위로 구축하였다. 거주인구는 통계청 통계지리정보서비스에서 제공하는 2018년 집계구별 인구자료를 격자 단위로 재집계하였다. 거주인구는 공유 전동킥보드 이용에 소극적인 40대 이상 인구를 구분하였다. 생활인구는 서울시 공공데이터 및 통신데이터를 이용하여 측정한 인구지표로, 집계구별 시간대별로 제공하고 있다. 시간대별 자료를 일단위로 합하여 격자 단위로 재집계하였다. 종사자수도 거주인구와 동일하게 통계청 통계지리정보서비스에서 제공하는 2018년 집계구별 종사자수 자료를 격자 단위로 재집계하였다. 제10차 한국표준산업 분류 중 21개 산업 대분류를 기준으로 3차산업에 해당하는 업종의 종사자수를 구분하

였다.

토지이용지표는 평균 경사도, 주거지역/상업지역/녹지지역 면적 비율, 토지이용 혼합도, 1km 반경 내 대학교시설 및 공공용시설로 구성하였다. 경사도는 국토지리정보원에서 제공하는 수치표고모델을 이용하여 각 격자별 평균 경사도를 추출하였다. 용도지역의 경우 서울 열린데이터 광장에서 제공하는 서울시 용도지역 위치 정보 데이터를 활용하여, 각 격자별 용도지역의 면적 비율을 계산하여 구축하였다. 토지이용 혼합도는 앞에서 언급한 용도지역별 면적을 엔트로피 지수계산식에 적용하여 구축하였다. 엔트로피 지수는 0~1의 값을 가지며, 1에 가까울수록 다양한 토지이용이 혼합되어 있음을 의미한다. 대학교시설과 공공용시설은 행정안전부 도로명주소 위치정보 요약DB를 활용하였다. 자료에서 제시하는 시설별 주 출입구의 위치를 점 데이터로 추출하여, 각 격자의 반경 1km 내에 포함되는 시설의 개수를 산정하였다.

마지막으로 교통시설지표는 지하철역 출구 수, 버스 정류장 수, 교차로 수, 총 도로 연장으로 구성하였다. 지하철역 출구, 버스정류장 위치정보는 2019년 4월 기준의 산림 빅데이터 거래소의 데이터를 활용하였으며, 격자별로 포함하는 출구 및 정류장의 개수를 집계하였다. 교차로의 경우, 서울 열린데이터광장의 서울교차로 관련 정보 공간 데이터를 활용하였으며, 격자별로 포함하는 교차로의 개수를 집계하였다. 도로 연장의 경우, 행정안전부 도로명주소 전자지도 서비스의 도로구간 DB를 활용하였으며, 도로명주소 기준에 따라 2차로 미만의 이면도로를 구분하여 각 격자에 포함되는 도로의 연장을 km 단위로 집계하였다.

<Table 2> Descriptive statistics of the dependent variables and independent variables

Variables		Mean	Std. Dev.	Min	Max	
Dependent variables	Average daily pick-up on weekday	2.57	4.67	0.00	49.11	
	Average daily pick-up on weekend	2.29	3.99	0.00	47.56	
	Average daily drop-off on weekday	2.57	4.43	0.00	45.00	
	Average daily drop-off on weekend	2.29	3.78	0.00	45.67	
Independent variables	Demographic factor	Population of older than 40 years	0.46	0.35	0.00	2.28
		De facto population on weekday	29.19	17.27	0.20	133.07
		De facto population on weekend	22.81	13.85	0.23	112.68
		No. of third industrial sector worker	0.57	0.80	0.00	7.33
	Land use factor	Average slope	3.78	4.13	0.05	35.66
		Percent of residential area	0.75	0.36	0.00	1.00
		Percent of commercial area	0.07	0.20	0.00	1.00
		Percent of green area	0.12	0.27	0.00	1.00
		Land use mix	0.13	0.20	0.00	0.88
		No. of university facility within 1km	1.05	1.60	0.00	11.00
	Transport facility factor	No. of institution facility within 1km	0.15	0.42	0.00	3.00
		No. of intersection	0.72	0.85	0.00	5.00
		No. of subway exits	0.36	1.49	0.00	24.00
No. of bus stops		1.08	1.40	0.00	11.00	
	Length of road less than 2 lanes	0.62	0.51	0.00	3.15	



## IV. 공유 전동키토드 이용의 영향요인 분석

### 1. 분석모형

본 연구에서는 공유 전동키토드 이용 영향요인을 규명하기 위해 공유 전동키토드 실적자료를 200m 격자 단위로 수집하였다. 이처럼 특정 공간을 기준으로 수집된 자료를 활용하여 분석할 때는 공간적 종속성을 고려해야 한다. 즉, 수집된 자료가 전체 공간에 동일하게 분포하고 있음을 가정하는 일반적인 회귀분석모형인 최소자승모형으로 분석한다면 신뢰성이 떨어지는 결과값이 도출되는 문제가 발생하게 된다(Anselin, 1995). 따라서 본 연구에서는 공간상의 집계 자료가 갖는 공간자기상관성<sup>2)</sup>을 고려할 수 있는 공간자기상관모형인 공간시차모형과 공간오차모형, 일반공간모형, 공간더빈모형, 공간더빈오차모형을 활용하고자 한다.

공간시차모형이란 종속변수의 공간적 종속성이 공간상의 인접정도에 따라 서로 다른 영향을 미치고, 이를 공간가중치행렬을 통해 통제하는 모형이다. 이는 Equation 1과 같이 나타나며,  $W$ 는 공간가중치행렬을 의미하고,  $\rho$ ,  $\beta$ 값은 각각 공간가중치행렬과 독립변수로부터 추정될 추정계수,  $\epsilon$ 은 오차항을 의미한다. 이때,  $\rho$ 값이 통계적으로 유의하다면 공간자기상관을 통제한다고 할 수 있다.

$$y = \rho W_y + X\beta + \epsilon \dots\dots\dots (1)$$

$$\epsilon \sim N(0, \sigma^2 I_n) \dots\dots\dots (2)$$

공간오차모형이란 공간적 종속정도가 오차항과 상관이 있어 공간적 종속성이 오차항에 의해 통제되는 모형이다. 이는 Equation 3과 같이 나타나며,  $\lambda$ 는 공간가중치행렬로부터 추정될 추정계수를 의미하고  $\lambda$ 가 통계적으로 유의할 때 공간자기상관성을 통제한다고 할 수 있다.

$$y = X\beta + \mu, \mu = \lambda W_\mu + \epsilon \dots\dots\dots (3)$$

공간더빈모형과 공간더빈오차모형은 종속변수와 오차항의 공간적 종속성을 고려한 공간시차모형과 공간오차모형에 각 독립변수들의 공간적 종속성을 추가로 반영한 모형이다. 두 모형의 일반식은 각각 Equation 4, Equation 5와 같이 나타나며 이때,  $\theta$ 는 각 독립변수의 공간상관계수를 의미한다.

$$y = \rho W_y + X\beta + \theta WX + \epsilon \dots\dots\dots (4)$$

$$y = X\beta + \theta WX + \mu, \mu = \lambda W_\mu + \epsilon \dots\dots\dots (5)$$

### 2. 모형적용의 타당성 검증

공간자기상관모형을 적용함에 앞서 종속변수인 공유 전동키토드 이용량의 공간자기상관성 여부를 통계적으로 검증하였다. 검증에는 Anselin(2005)에서 제시한 Moran's I 검증기법을 활용하였다. Moran's I 계수는 -1에서 1 사이의 값을 가지며, 1에 가까울수록 공간자기상관성이 높다고 해석할 수 있다. Moran's I 계수는 Equation 6과 같이 나타나며,  $w_{ij}$ 는 공간가중치행렬( $W$ )의 원소로 격자 $i$ 와  $j$ 의 공간적 종속성을 나타낸다.

2) 공간자기상관은 공간을 기준으로 집계된 자료들은 서로 상관성을 가지며, 위치의 유사성이 높아지면 그 특성의 유사성도 높아지는 현상을 말한다(Anselin and Bera, 1998).

$$Moran's\ I = \frac{n \sum_i \sum_j w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{(\sum_i \sum_j w_{ij}) \sum_i (x_i - \bar{x})^2} \dots\dots\dots (6)$$

Moran's I 계수 산정을 위해 공간가중치행렬을 구축하였으며, 모든 지점에서 최소 1개 이상의 지점이 인접하도록 구축하였다. 구축한 공간가중치행렬을 통해 Moran's I 계수를 산정하여 공간자기상관성을 검증한 결과, 평일 대여량, 평일 반납량, 주말 대여량, 주말 반납량 모두 공간자기상관성을 갖는 것으로 분석되었다. 따라서 공유 전동키토드 이용량의 영향요인을 보다 정확히 규명하기 위해서는 공간자기상관모형을 적용하는 것이 타당한 것으로 분석되었다.

<Table 3> Results of testing spatial autocorrelation(Moran's I)

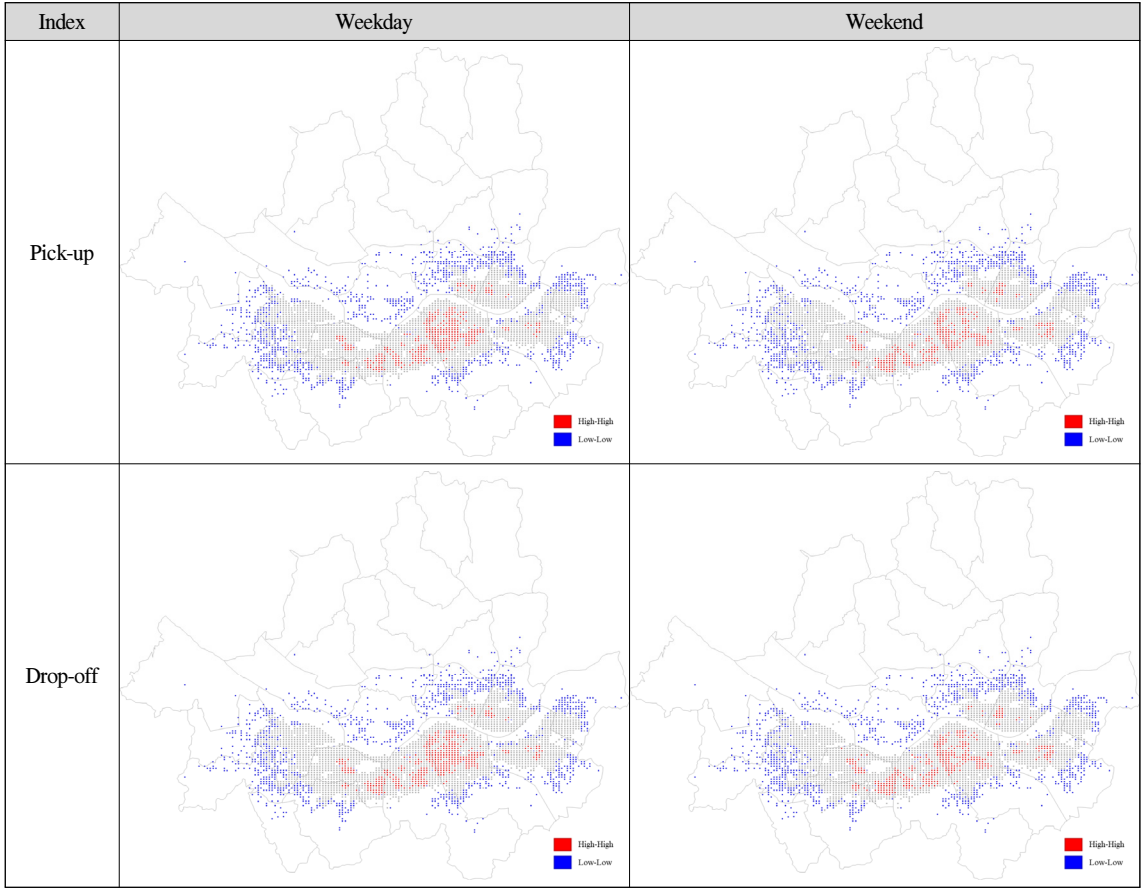
Index	Pick-up		Drop-off	
	Weekday	Weekend	Weekday	Weekend
Moran's I	0.481	0.494	0.513	0.520
P-value	0.000	0.000	0.000	0.000

또한, LM 검정(lagrange multiplier test)을 통해 공간적 종속성의 존재 여부를 다시 한번 확인하였다. LM 검정은 공간적 종속성의 위치를 판단하기 위해 수행되며, LM 계수가 통계적으로 유의할 시 공간적으로 종속적인 것으로 판단할 수 있다. 또한, LM(lag) 계수와 LM(error) 계수의 통계적 유의 여부에 따라 공간적 종속성이 종속변수에 있는지, 오차항에 있지를 판단할 수 있다. LM 검정 결과, 평일 대여량, 평일 반납량, 주말 대여량, 주말 반납량 모형 모두 공간적 종속성을 나타내고 있으며, LM(lag) 계수, LM(error) 계수 모두 통계적으로 유의하게 나타나 공간적 종속성이 종속변수와 오차항에 모두 존재하는 것을 확인하였다.

<Table 4> Results of testing spatial autocorrelation(lagrange multiplier)

Index	Pick-up				Drop-off			
	Weekday		Weekend		Weekday		Weekend	
	value	p-value	value	p-value	value	p-value	value	p-value
Lagrange multiplier(lag)	549.729	0.000	578.938	0.000	632.242	0.000	642.810	0.000
Lagrange multiplier(error)	556.150	0.000	586.302	0.000	632.667	0.000	647.848	0.000

Anselin(1995)에서 제시한 국지적 모란지수 통계기법(local indicator of spatial association: LISA)을 통해 공유 전동키토드 이용량의 군집화된 공간적 분포를 살펴보았다. 군집결과는 대체적으로 유사하게 나타났으며, 강남역과 교대역, 서초역, 이수역 등 지하철역 인근 지역과 건국대학교, 숭실대학교, 서울대학교입구 등 대학가 인근 지역, 송리단길, 방배동 카페골목 등 유동인구가 많은 지역에서 이용이 많은 것으로 나타났으며, 이용 지역의 외곽에는 이용량이 적은 것으로 나타났다. 주말에는 평일에 비해 강남역과 교대역, 서초역 등 업무지역에 이용량이 많은 군집이 적어지는 것으로 나타났으며, 송리단길과 이수역 등 유동인구가 많은 지역에서 이용량이 많은 군집이 많아지는 것으로 나타났다.



<Fig. 3> Hotspot of shared e-scooter usage

### 3. 모형구축 결과

공유 전동킥보드의 대여량과 반납량에 대한 영향요인 추정결과는 각각 <Table 4>, <Table 5>와 같이 나타난다. 앞서 Moran's I 검증기법을 통해 공유 전동킥보드의 대여량과 반납량의 공간자기상관성을 확인하여 기본 모형인 OLS와 더불어 공간자기상관모형의 추정결과를 모두 제시하였다. 또한, LM 검정을 통해 종속변수와 오차항 모두 공간적 종속성이 존재하여 종속변수와 오차항의 공간적 종속성을 동시에 통제할 수 있는 일반공간모형(*general spatial model*)이 통계적으로 우수하지만, 유의미한 변수들이 적어 본 연구에서는 제외하였다. 본 연구에서 제시한 모형구축 결과의 AIC와 SC를 비교하여 최적모형을 선정하였다. AIC와 SC 모두 공간더빈모형이 가장 낮게 분석되어 이를 최적모형으로 선정하였다. 또한, 모형의 설명력을 나타내는  $R^2$  역시 공간더빈모형이 가장 높게 나타났다(평일 대여량 추정모형: 0.502, 주말 대여: 0.452, 평일 반납: 529, 주말 반납: 0.472).

추정된 공간자기상관모형의 공간가중치행렬 계수값인  $\rho$ 와  $\lambda$ 는 각각 0.31~0.36, 0.33~0.37로 추정되었다. 이를 선행연구와 비교하면, 텍사스 오스틴 지역의 공유 전동킥보드 이용특성을 분석한 Caspi et al.(2020)의 분석결과인 0.77~0.83에 비해 낮게 추정되었는데, 이는 선행연구에서는 이용량이 집중되어있는 오스틴 지역의 도심만을 분석대상지로 설정하여 모든 분석단위(격자)가 서로 인접하고 있으나, 본 연구에서는 서울시 내

에서 공유 전동키토드가 이용된 전체 지역에 대하여 분석을 수행하여 모든 분석단위가 서로 인접하지 않기 때문에 판단된다. 또한, 토론토에서 공유 자전거의 이용특성을 분석한 El-Assi et al.(2017)은 본 연구와 마찬가지로 전체 분석단위(census block)에 대하여 분석을 수행하여 본 연구와 유사한 0.42~0.45로 분석되었다.

공간더빈모형의 평일 대여량 영향요인 추정결과를 살펴보면, 생활인구가 1천 명 증가할 때 대여량은 0.05회 증가하는 것으로 분석되었다. 3차산업 종사자수의 경우 천 명 증가할 때 대여량은 약 1.64회 증가하는 것으로 나타났다. 3차산업 종사자수가 많은 지역일수록 유동인구가 많기 때문에 공유 전동키토드 대여량이 많은 것으로 해석되며, 이는 고용밀도와 종사자수가 공유 전동키토드, 공유 자전거 이용량에 양의 영향을 미친다는 결론을 도출한 선행연구와 유사한 결과로 나타났다(Caspi et al., 2020; El-Assi et al.2017; Yang et al., 2020). 토지이용지표에서는 토지이용 복잡도가 통계적으로 유의하게 나타났다. Caspi et al.(2020)의 연구에서는 본 연구에서 활용한 용도지역과 유사한 토지피복도 변수를 활용하였으며, 토지피복도 중 주거용지, 상업용지, 교육용지, 공업용지가 통계적으로 유의하게 나타났으며, 모두 공유 전동키토드 이용에 양의 영향을 미친다고 밝혔다. 토지피복도를 통해 산정한 토지이용 복잡도 역시 양의 영향을 미친다고 제시하였다. 본 연구에서도 선행연구와 마찬가지로 토지이용 복잡도가 클수록 대여량이 많은 것으로 나타났다. 이는 토지이용 복잡도가 클수록 다양한 시설이 혼재되어 있고, 유동인구가 많기 때문인 것으로 판단된다. 또한, 반경 1km 내 대학교 시설이 많을수록 공유 전동키토드의 대여량이 증가하는 것으로 나타났다. 이는 El-Assi et al.(2017)과 Munira and Sener(2020)의 연구와 유사한 결과이다. El-Assi et al.(2017)에서는 분석지역에 대학교가 위치할 때 공유 자전거의 이용량이 증가한다고 밝혔고, Munira and Sener(2020)에서는 초중고등학교 인근에서는 공유 자전거 이용량이 감소하나, 대학교 인근에서는 공유 자전거 이용량이 증가한다고 제시하였다. 비록 공유 전동키토드와 공유 자전거라는 수단의 차이는 있지만, 대학생들이 공유 수단을 많이 이용함을 확인할 수 있었다. 마지막으로 교통시설지표를 살펴보면, 지하철역 출구, 버스정류장 수가 많을수록 공유 전동키토드 대여량이 증가하는 것으로 나타났다. 지하철역 출구와 버스정류장 수가 많다는 것은 대중교통 접근성이 뛰어난 지역임을 의미하며, 대중교통 접근성 지표와 공유 수단과의 관계를 파악한 선행연구(Caspi et al., 2020; El-Assi et al., 2017; Munira and Sener, 2020)와 유사한 결과로 도출되었다. 또한, 2차로 미만의 이면도로 연장이 길수록 공유 전동키토드 이용량이 증가하는 것으로 분석되었는데, 이는 공유 전동키토드 이용자가 자동차, 보행자와의 상충을 줄이기 위해 차도나 보행로에서 이용하지 않고 이면도로에서 주로 이용하기 때문인 것으로 판단된다. 이는 차량의 속도가 빠른 보차분리도로에서 공유 자전거 이용이 줄어든다는 Munira and Sener(2020)의 연구와 유사한 결과로 볼 수 있다. 교통시설지표 중 지하철 출구 수의 영향요인 추정계수가 0.712로 가장 높아 공유 전동키토드 대여량에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 분석되었다. 독립변수에 공간가중치를 적용한 변수에서도 일부 변수들에 한해 통계적으로 유의한 것으로 분석되었다. 즉, 일부 독립변수들의 경우 공간자기상관이 발생하는 것으로 해석된다.

주말에 경우에는 평일에 비해 이용량이 적어 대부분의 독립변수들의 영향력이 더 작게 추정되었으나, 생활인구, 버스정류장 수, 이면도로 연장은 주말 대여량에 더 큰 영향을 미치는 것으로 분석되었다. 주말의 경우에는 공유 전동키토드가 주로 여가목적으로 이용되어 유동인구가 많고, 작은 상권들이 분포되어 있는 이면도로에서 많이 이용되는 것으로 해석된다.

공유 전동키토드 반납량의 영향요인을 추정한 결과를 살펴보면 대부분의 변수들은 대여량과 유사한 영향력을 보이는 것으로 나타났다. 이는 대부분의 반납이 일어난 지역에서 대여가 일어나기 때문이다. 또한, 지하철역 출구 수의 경우에는 대여량에 비해 반납량의 추정계수가 0.11 작게 추정되어 다른 변수들에 비해 크게 차이가 나는데, 이는 공유 전동키토드가 특정 지역에서 지하철로의 접근 시(first mile) 보다는 지하철에서 특정 지역으로의 접근 시(last mile) 많이 이용되는 것으로 해석할 수 있다.

<Table 5> Results of estimation for pick-up of shared e-scooter

Variables		Weekday					Weekend				
		OLS	SLM	SEM	SDM	SDEM	OLS	SLM	SEM	SDM	SDEM
Constant		-3.02***	-2.59***	-2.68***	-1.88***	-2.97***	-2.12***	-1.9***	-2.03***	-1.15***	-1.86***
Demographic factor	Population of older than 40 years	-1.71***	-1.03***	-0.92***	-0.67***	-0.94***	-1.57***	-0.98***	-0.78***	-0.64***	-0.92***
	De facto population	0.07***	0.05***	0.06***	0.05***	0.06***	0.08***	0.06***	0.06***	0.06***	0.06***
	No. of third industrial sector worker	1.85***	1.40	1.64***	1.32***	1.47***	1.24***	0.92	1.06***	0.83***	0.94***
Land use factor	Average slope	0.04**	0.02***	0.02	-0.04	-0.02	0.01	0.00***	0.00	-0.04*	-0.03
	Percent of residential area	2.88***	2.04	2.27***	0.40	1.00**	2.29***	1.63	1.92***	0.74	1.13**
	Percent of commercial area	0.12	-0.12***	0.68	-0.61	-0.56	0.07	-0.18***	0.46	-0.30	-0.29
	Percent of green area	1.89***	1.61**	1.57***	0.03	0.47	1.48***	1.27**	1.32***	0.34	0.61
	Land use mix	0.89**	0.72***	1.05***	1.06***	1.03***	0.64*	0.59***	0.98***	0.95***	0.85***
	No. of university facility within 1km	0.32***	0.22*	0.3***	0.09*	0.15**	0.27***	0.18**	0.25***	0.07*	0.12*
	No. of institution facility within 1km	0.34**	0.25	0.38**	0.09	0.18	0.39***	0.29	0.44***	0.28	0.35*
Transport facility factor	No. of intersection	-0.29***	-0.09***	-0.01	-0.06	-0.17**	-0.23***	-0.06***	0.03	-0.02	-0.13*
	No. of subway exits	0.66***	0.66***	0.71***	0.69***	0.69***	0.58***	0.57***	0.62***	0.60***	0.60***
	No. of bus stops	0.08	0.12	0.14***	0.16***	0.15***	0.12***	0.15*	0.18***	0.19***	0.18***
	Length of road less than 2 lanes	0.21	0.19***	0.35**	0.35**	0.30**	0.19	0.20***	0.39***	0.40***	0.32**
$\rho$			0.31		0.33***		0.32		0.34***		
$\lambda$				0.34***		0.33***		0.35***		0.33***	
Weighted factor	Population of older than 40 years				-0.83***	-1.07***				-0.84***	-1.11***
	De facto population				0.00	0.02***				0.00	0.02***
	No. of third industrial sector worker				0.05	0.60***				0.09	0.42***
	Average slope				0.07***	0.06***				0.05**	0.04*
	Percent of residential area				1.72***	2.13***				0.84	1.22***
	Percent of commercial area				0.38	0.28				0.04	-0.06
	Percent of green area				1.25*	1.52**				0.59	0.84
	Land use mix				-0.54	-0.13				-0.77**	-0.42
	No. of university facility within 1km				0.12	0.16**				0.11	0.14**
	No. of institution facility within 1km				0.15	0.18				-0.02	0.04
	No. of intersection				-0.45***	-0.47***				-0.42***	-0.44***
	No. of subway exits				-0.27***	-0.03				-0.22***	0.00
	No. of bus stops				-0.13***	-0.06				-0.13***	-0.05
Length of road less than 2 lanes				-0.30*	-0.15				-0.41***	-0.27*	
Number of observation		3,809	3,809	3,809	3,809	3,809	3,809	3,809	3,809	3,809	3,809
$R^2$		0.321	0.471	0.482	0.502	0.498	0.250	0.421	0.434	0.452	0.448
Log-likelihood		-10,540	-10,209	-10,197	-10,115	-10,126	-10,128	-9,785	-9,769	-9,700	-9,710
Akaike information criterion(AIC)		21,109	20,449	20,424	20,291	20,310	20,286	19,602	19,567	19,460	19,478
Schwarz criterion(SC)		21,203	20,549	20,517	20,478	20,491	20,380	19,702	19,661	19,647	19,659

Note: \* p<0.1, \*\* p<0.05, \*\*\* p<0.01

<Table 6> Results of estimation for drop-off of shared e-scooter

Variables		Weekday					Weekend				
		OLS	SLM	SEM	SDM	SDEM	OLS	SLM	SEM	SDM	SDEM
Constant		-2.89***	-2.45***	-2.52***	-1.69***	-2.81***	-2.04***	-1.83***	-1.97***	-1.03***	-1.74***
Demographic factor	Population of older than 40 years	-1.71***	-0.99***	-0.83***	-0.63***	-0.93***	-1.51***	-0.91***	-0.67***	-0.57***	-0.85***
	De facto population	0.07***	0.05***	0.05***	0.05***	0.05***	0.08***	0.05***	0.06***	0.06***	0.06***
	No. of third industrial sector worker	1.8***	1.34**	1.61***	1.33***	1.46***	1.22***	0.89	1.05***	0.85***	0.96***
Land use factor	Average slope	0.04***	0.03***	0.03	-0.02	-0.01	0.01	0.00***	0.00	-0.04*	-0.02
	Percent of residential area	2.82***	1.93	2.14***	0.34	0.96**	2.30***	1.59	1.90***	0.68	1.09***
	Percent of commercial area	0.15	-0.06***	0.82*	-0.41	-0.41	0.12	-0.16***	0.45	-0.40	-0.36
	Percent of green area	1.78***	1.50**	1.47***	0.01	0.43	1.47***	1.24**	1.32***	0.30	0.57
	Land use mix	0.86**	0.67***	0.97***	0.97***	0.96***	0.63**	0.58***	0.98***	0.95***	0.84***
	No. of university facility within 1km	0.32***	0.21	0.30***	0.11*	0.17***	0.26***	0.17**	0.24***	0.08*	0.13**
	No. of institution facility within 1km	0.30**	0.20	0.34**	0.12	0.19	0.36***	0.26	0.43***	0.30	0.36*
Transport facility factor	No. of intersection	-0.29***	-0.09***	0.00	-0.05	-0.16**	-0.23***	-0.06***	0.03	-0.02	-0.13*
	No. of subway exits	0.54***	0.54***	0.60***	0.58***	0.57***	0.50***	0.49***	0.53***	0.52***	0.52***
	No. of bus stops	0.07	0.12	0.15***	0.16***	0.14***	0.10**	0.14	0.17***	0.18***	0.16***
	Length of road less than 2 lanes	0.21	0.19***	0.36***	0.36***	0.30**	0.16	0.17***	0.38***	0.38***	0.30**
$\rho$			0.34		0.36***		0.34		0.36***		
$\lambda$				0.37***		0.36***		0.37***		0.35***	
Weighted factor	Population of older than 40 years				-0.87***	-1.13***				-0.82***	-1.07***
	De facto population				0.00	0.02***				0.00	0.02***
	No. of third industrial sector worker				-0.07	0.51***				0.00	0.35***
	Average slope				0.06***	0.06***				0.05**	0.04**
	Percent of residential area				1.63***	2.07***				0.84*	1.25***
	Percent of commercial area				0.18	0.10				0.21	0.09
	Percent of green area				1.12*	1.4**				0.54	0.80
	Land use mix				-0.49	-0.08				-0.79***	-0.43
	No. of university facility within 1km				0.09	0.13*				0.09	0.13**
	No. of institution facility within 1km				0.08	0.10				-0.06	0.00
	No. of intersection				-0.43***	-0.45***				-0.39***	-0.41***
	No. of subway exits				-0.25***	-0.03				-0.19***	0.01
	No. of bus stops				-0.14***	-0.08				-0.14***	-0.06
Length of road less than 2 lanes				-0.32**	-0.17				-0.42***	-0.28**	
Number of observation		3,809	3,809	3,809	3,809	3,809	3,809	3,809	3,809	3,809	3,809
$R^2$		0.325	0.496	0.509	0.529	0.525	0.250	0.440	0.455	0.472	0.468
Log-likelihood		-10,327	-9,939	-9,925	-9,835	-9,848	-9,917	-9,530	-9,511	-9,440	-9,451
Akaike information criterion(AIC)		20,684	19,910	19,880	19,730	19,753	19,864	19,092	19,052	18,940	18,961
Schwarz criterion(SC)		20,777	20,010	19,974	19,917	19,934	19,958	19,191	19,146	19,127	19,142

Note: \* p<0.1, \*\* p<0.05, \*\*\* p<0.01

## V. 결 론

본 연구는 공유 전동키토드의 이용자료 특성을 고려한 공간자기상관모형을 구축하여 공유 전동키토드의 이용수요에 영향을 미치는 요인에 분석하였다. 연구의 주요 내용은 다음과 같다.

2020년 4월 서울시의 공유 전동키토드 이용 실적자료를 활용하였으며, 이용의 공간적 분포를 살펴보면, 강남구, 서초구, 동작구, 광진구, 성동구, 송파구 등 주로 지하철역 인근에 상권이 크게 형성되어 있거나 대학교가 위치하고 있어 유동인구가 많은 지역에서 많이 이용되는 것으로 나타났다.

다음으로 서울시를 200m 격자 단위로 구분하여 평일과 주말의 대여량과 반납량을 집계하고, 설명변수로 인구지표, 토지이용지표, 교통시설지표 변수를 구축하였다. 영향요인 분석에는 이용자료의 특성을 고려하여 공간자기상관모형을 구축하였다. 공유 전동키토드 이용량 영향요인 분석을 위해서는 공간자기상관모형 중 공간더빈모형이 적합한 것으로 나타났다. 평일 대여량 기준 모형 구축결과, 생활인구와 3차산업 종사자수가 많을수록 대여량이 증가하는 것으로 나타났다. 토지이용지표에서는 토지이용 복잡도가 높을수록, 반경 1km 내 대학교시설이 많을수록 대여량이 증가하는 것으로 분석되었다. 마지막으로 교통시설지표에서는 교차로 수가 적고, 지하철역 출구, 버스정류장 수가 많을수록, 2차선 미만의 이면도로 연장이 길수록 대여량이 증가하는 것으로 분석되었다. 주말의 경우 평일에 비해 이용량이 적어 대부분의 변수들의 추정계수가 작게 분석되었으며, 반납이 이루어진 곳에서 대여가 이루어지는 수단의 특성상 반납량의 영향요인도 대여량과 비슷하게 추정되었다.

종합적으로 살펴보면, 공유 전동키토드는 유동인구가 많고, 대중교통 접근성이 뛰어난 지역에서 주로 이용되며, 평일에는 출퇴근 시 대중교통의 접근수단으로 활용되고 주말에는 주로 도심지 등에서 여가목적으로 활용되는 것으로 해석된다. 향후 공유 전동키토드 이용활성화 측면에서 본 연구의 결과가 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구의 결과를 통해 평일과 주말의 이용특성을 고려한 공유 전동키토드의 이용수요를 추정할 수 있다. 평일과 주말의 대여 및 반납행태 등의 이용특성을 고려하여 서울시 내 공간별 이용수요를 추정하고, 이용수요에 맞는 인프라 시설을 제공할 수 있을 것이다. 이처럼 본 연구의 결과는 평일과 주말의 이용특성을 반영한 효율적인 운영방안을 위한 교통정책 수립을 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

본 연구에서는 공유 전동키토드의 이용량을 평일과 주말, 대여량과 반납량으로 구분하여 각각의 영향요인을 추정하였다. 하지만 본 연구에서 활용한 공유 전동키토드 이용 실적자료는 서울시에서 운영되고 있는 여러 서비스 중 하나의 실적자료를 활용하여 영향요인이 과소추정될 수 있는 한계를 지닌다. 그리고 2020년 4월 이용 실적자료만을 활용하였다는 점에서 분석 범위의 한계를 지닌다. 따라서 서울시에서 운영되고 있는 전체 서비스의 월별 이용 실적자료를 활용하여 보다 정확한 이용수요의 영향요인을 추정한다면 각 월별, 계절별 이용수요를 예측하고, 이에 해당하는 적정 운영대수를 산정할 수 있을 것으로 생각된다. 또한, 정확한 이용수요 예측을 통해 공유 전동키토드 운영에 필요한 인프라 시설(거치대 및 전용도로 등)의 입지와 필요용량을 산정하여 제공할 수 있을 것으로 생각된다.

## ACKNOWLEDGEMENTS

본 연구는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단 이공분야 기초연구사업의 지원으로 수행하였습니다(NRF-2020R1A2C2014561).

## REFERENCES

- Clewlow R. R.(2019), “The Micro-Mobility Revolution: The Introduction and Adoption of Electric Scooters in the United States,” *98th annual meeting of the Transportation Research Board*.
- Liu M., Seeder S. and Li H.(2019), “Analysis of E-Scooter Trips and Their Temporal Usage Patterns, Institute of Transportation Engineers,” *ITE Journal*, vol. 89, no. 6, pp.44-49.
- Shaheen S., Bell C., Cohen A. and Yelchuru B.(2017), “Travel behavior: Shared mobility and transportation equity,” *report PL-18-007*, Federal Highway Administration(FHWA).
- 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.
- Zou Z., Younes H., Erdoğan S. and Wu J.(2020), “Exploratory Analysis of Real-Time E-Scooter Trip Data in Washington, DC.,” *Transportation Research Record*, vol. 2674, no. 8, pp.285-299.
- 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.
- El-Assi W., Mahmoud M. S. and Habib K. N.(2017), “Effects of built environment and weather on bike sharing demand: a station level analysis of commercial bike sharing in Toronto,” *Transportation*, vol. 44, pp.589-613.
- 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, 102396.
- Munira S. and Sener I. N.(2020), “A geographically weighted regression model to examine the spatial variation of the socioeconomic and land-use factors associated with Strava bike activity in Austin, Texas,” *Journal of Transport Geography*, vol. 88, 102865.
- Yang H., Zhang Y., Zhong L., Zhang X. and Ling Z.(2020), “Exploring spatial variation of bike sharing trip production and attraction: A study based on Chicago’s Divvy system,” *Applied Geography*, vol. 115, 102130.
- Yoon N. and Choi C.(2013), “Relationship between pedestrian volume and pedestrian environmental factors on the commercial streets in Seoul,” *Journal of Korea Planning Association*, vol. 48, no. 4, pp.135-150.
- Yoon Y., Choi C., Thanousorn V. and Sung H.(2014), “Analyzing an impact of the location and type of parks on street vitality in Seoul,” *Journal of Korea Planning Association*, vol. 49, no. 6, pp.95-107.
- Sa K. and Lee S.(2018), “Analysis of physical characteristics affecting the usage of public bike in Seoul, Korea-Focused on the different influences of factors by distance to bike station-,” *Journal of Korea Planning Association*, vol. 53, no. 6, pp.39-59.
- Anselin L.(1995), “Local indicators of spatial association-LISA,” *Geographical analysis*, vol. 27 no. 2, pp.93-115.
- Anselin L. and Bera A. K.(1998), “Spatial dependence in linear regression models with an introduction to spatial econometrics,” *Handbook of Applied Economic Statistics Springer-Verlag, Berlin*, 21, 74.
- Anselin L.(2005), “Exploring spatial data with GeoDa TM: A workbook,” *Center for spatially integrated social science*.