

전동키토드 통행분포모형 추정을 위한 적정 존단위 선정 연구

How to Set an Appropriate Scale of Traffic Analysis Zone for Estimating Travel Patterns of E-Scooter in Transportation Planning?

김 규 혁* · 김 상 훈** · 송 태 진***

* 주저자 : 충북대학교 도시공학과 박사과정
** 공저자 : ㈜PUMP 대표
*** 교신저자 : 충북대학교 도시공학과 조교수

Kyu hyuk Kim* · Sang hoon Kim** · Tai jin Song***

* Dept. of Urban Eng., Univ. of Chungbuk
** PUMP Corporation
*** Dept. of Urban Eng., Univ. of Chungbuk

† Corresponding author : Tai jin Song, tj@chungbuk.ac.kr

Vol. 22 No.3(2023)
June, 2023
pp.51~61

pISSN 1738-0774
eISSN 2384-1729
<https://doi.org/10.12815/kits.2023.22.3.51>

Received 8 May 2023
Revised 1 June 2023
Accepted 22 June 2023

© 2023. The Korea Institute of
Intelligent Transport Systems. All
rights reserved.

요 약

정확한 전동키토드 증장기수요예측은 지역별 수요공급 불균형 문제해결 및 MaaS 등 연계 교통체계 마련을 위해 필요하다. 공유 전동키토드의 지역별 발생-유입량을 예측하는 연구는 많지만, 공유 전동키토드의 존간 통행분포를 예측하는 연구는 전무한 실정이다. 본 연구에서는 공유 전동키토드의 통행분포모형 추정을 위한 적정 존단위를 선정하고자 하였다. 분석 대상 존단위는 250m, 500m, 750m, 1,000m 정사각형 그리드로 설정하였다. 공유 전동키토드 이용 이력 데이터는 각 공간 단위별 통행거리, 통행시간 계산 및 중력모형 도출을 위해 활용되었다. 평균제곱오차는 각 중력모형의 적정성을 검증하는데 활용되었다. 분석 결과, 250m 그리드가 실제 공유키토드 통행분포를 가장 잘 묘사하는 것으로 나타났다.

핵심어 : 공유 전동키토드, 통행분포모형, 중력모형, 그리드, 평균제곱오차

ABSTRACT

Travel demand estimation of E-Scooter is the start point of solving the regional demand-supply imbalance problem and plays pivotal role in a linked transportation system such as Mobility-as-a-Service (a.k.a. MaaS). Most focuses on developing trip generation model of shared E-Scooter but it is no study on selection of an appropriate zone scale when it comes to estimating travel demand of E-Scooter. This paper aimed for selecting an optimal TAZ scale for developing trip distribution model for shared E-Scooter. The TAZ scale candidates were selected in 250m, 500m, 750m, 1,000m square grid. The shared E-Scooter usage historical data were utilized for calculating trip distance and time, and then applying to developing gravity model. Mean Squared Error (MSE) is applied for the verification step to select the best suitable gravity model by TAZ scale. As a result, 250m of TAZ scale is the best for describing practical trip distribution of shared E-Scooter among the candidates.

Key words : E-Scooter, Trip distribution model, Gravity model, Mean squared error

I. 서론

최근 First-and-last mile 등 단거리·단시간 통행에 있어 공유 전동키토보드의 사용량이 점진적으로 증가하고 있는 추세이다. Korea Consumer Agency(2021)에 따르면, COVID-19로 인한 사회적 거리두기 확대에도 불구하고 공유 전동키토보드의 이용자는 수 배의 증가 추세를 보이고 있다고 한다. 이와 같은 공유 전동키토보드 활성화에 따라, 관련된 법제도 정비 및 연구 등을 통해 공유 전동키토보드의 이용 여건 및 편의성은 날이 갈수록 개선되고 있다.

그럼에도 불구하고, 공유 전동키토보드 시스템 운영의 가장 큰 문제는 시간에 따라 발생하는 지역별 수요·공급의 불균형 문제이다(James et al., 2019; Kim et al., 2022). 이러한 수요·공급 불균형으로 인해 공유 전동키토보드 이용이 필요한 상황임에도 이용하지 못하는 경우가 흔히 발생하고 있다. 현재 공유 전동키토보드 업체에서는 이러한 문제의 해결책으로 키토보드 수송차량이 배회하며 키토보드 재배치를 수행하고 있다. 그러나, 이러한 방식은 단기적이며 비효율적인 운영 방법으로, 근본적으로 공유 전동키토보드 시스템의 서비스 향상과 운영 효율화를 위해서는 지역별 공유 전동키토보드 수요를 정확히 예측하는 것이 필수적이다(Kim and Lee, 2021; Ham et al., 2021).

현재까지 마이크로모빌리티의 수요를 예측하고자 하는 다양한 연구들이 수행되었으며, 해당 연구들은 시계열 분석(Lim and Chung, 2019), 고급통계분석(Ham et al., 2021; Kim et al., 2022)을 활용하여 마이크로모빌리티의 수요를 예측했지만, 이러한 수요예측 방법론은 단기적인 수요만을 추정할 수 있고, 중장기적인 수요를 추정하기에는 한계가 있어 공유 전동키토보드의 근본적인 수요공급 불균형 문제를 해결하기에는 명확한 한계가 존재한다.

따라서, 공유 전동키토보드의 수요예측에 있어서도 예비타당성 조사에서 중장기적인 미래 수요 예측을 위해 사용하는 수요예측 방법인 4단계 수요추정 중심의 수요예측 방법을 적용해 볼 필요성이 존재한다. 현재 상당히 많은 공유 전동키토보드 관련 연구에서 4단계 수요추정 단계의 첫 번째 단계인 통행발생모형 구축 관련 요인분석 연구가 수행되었지만, 4단계 수요추정 단계의 두 번째 단계인 통행분포모형을 구축하는 연구는 전무한 실정이다.

공유 전동키토보드는 타 교통수단과 달리 단거리, 단시간 통행을 위해 활용되는 교통수단이기 때문에 통행분포모형의 도출을 위한 공간 단위가 새롭게 정립되어야 한다. 그러나, 대부분의 공유 전동키토보드 관련 연구에서는 통계적 근거 없이 연구의 공간 단위를 설정하고 있다. 이에 따라, 보다 명확하고 신뢰성 있는 공유 전동키토보드 통행분포모형을 개발하기 위해 본 연구에서는 실제 공유 전동키토보드 이용 이력 데이터를 활용해 공유 전동키토보드의 통행분포모형을 구축하기 위한 적정 공간 단위를 선정하는 것을 목표로 한다.

본 연구의 이하 내용은 다음과 같이 구성되었다. 2장에서는 통행분포모형의 개념과 관련 연구 동향, 마이크로모빌리티의 수요예측과 관련한 연구 동향 등을 살펴보고, 연구의 차별성을 도출한다. 3장에서는 본 연구의 공간적 범위 및 연구에 활용한 데이터, 분석 방법 등에 대해 설명한다. 4장에서는 중력모형을 기반으로 한 공유 전동키토보드 통행분포모형 도출 결과 및 적정성 검토 결과를 설명한다. 5장에서는 분석 결과가 갖는 정책적 시사점, 학술적 의의, 연구의 한계점 및 향후 연구방향 등에 대해 서술한다.

II. 선행연구 고찰

1. 통행분포모형

4단계 수요예측의 두 번째 단계인 통행분포 단계에서는 1단계인 통행발생 단계에서 추정한 통행발생 및

유입량의 출발지와 목적지를 일치시킨다(Abdel-Aal, 2014). 해당 단계의 결과물로 지역별 OD매트릭스가 생성된다. 통행분포 단계에서 가장 흔하게 사용되는 모델은 중력모형과 성장인자모형 등이 있다(Clifton et al., 2016; Lenormand et al., 2016; Ortuzar and Willumsen, 1994). Korea Transport Institute 역시 전국 여객 OD의 전수화와 장래수요예측을 위한 통행분포모형으로 중력모형을 사용하고 있다(The Korea Transport Institute, 2012). 그러나, 통행분포모형에서 이중제약 중력모형을 활용하는 것이 정확한 결과를 산출한다는 사실이 경험적으로 입증됨에 따라(Mozolin et al., 2000), 다양한 연구에서 통행분포모형 도출을 위해 이중 및 삼중제약 모델을 활용하고 있다.

2. 마이크로모빌리티 수요예측 관련 연구

Kim et al.(2022)은 고급통계분석을 기반으로 공유 전동키토보드 수요예측모델을 개발하고자 하였다. 2020년 10월 한 달 간의 공유 전동키토보드 이용 이력 데이터를 활용하였으며, 공간적 범위는 서울특별시 서초구와 강남구로 설정하였다. 분석의 공간 단위는 200m 정사각형 그리드를 활용하였으며, 딥러닝 기법 중 하나인 LSTM(Long Short-Term Memory) 분석 방법으로 시간대별 공유 전동키토보드 수요량을 집계하였다. 해당 연구에서는 그리드별 시간대별 수요량은 도출할 수 있지만, 도출된 수요량들의 통행분포는 예측할 수 없다는 한계가 존재한다.

Ham et al.(2021) 역시 딥러닝 기법을 기반으로 공유 전동키토보드 수요예측 방법론을 개발하였다. 2020년 9월에서 10월까지 약 한 달 간의 공유 전동키토보드 이용 이력 데이터를 활용하였으며, 공간적 범위는 서울특별시 광진구로 설정하였다. 분석의 공간 단위는 250m 정사각형 그리드를 활용하였다. 수요예측을 위한 분석 기법으로는 오토인코더를 활용하였다. 해당 연구 역시 그리드 별로 발생하는 통행량을 예측할 수는 있었으나, 통행분포값은 예측할 수 없었다.

Lim and Chung(2019)은 서울시 공유자전거 시스템인 따릉이 데이터를 기반으로 공유자전거 이용자 수요예측 모델을 개발하고자 하였다. 향후 공유자전거 이용수요를 예측하기 위해 시계열 수요예측 방법 중 지수평활법 기반의 모델을 활용하였으며, 2017년 5월부터 2018년까지의 수요를 예측하였다. 해당 연구 또한 선행 연구들과 마찬가지로 수요발생량 예측 위주로 진행되었으며, 통행분포값 예측은 수행하지 않은 것으로 나타났다.

3. 연구의 차별성

첫째, 대부분의 마이크로모빌리티 수요예측 관련 연구는 단순히 TAZ(Traffic Analysis Zone)에서 발생하는 통행발생 및 유입량을 예측하는 데 초점이 맞추어져 있었다. 정책 관련자나 해당 업계의 입장에서는 수요의 규모도 중요하지만, 발생한 통행량이 어떠한 지역으로 배분되는지도 매우 중요하게 고려되어야 할 사항일 것이다. 본 연구에서는 그 동안 관련 연구에서 시도되지 않았던 마이크로모빌리티, 그 중 공유 전동키토보드의 통행분포모형을 개발했다는 점에서 타 연구와의 차별성이 존재한다.

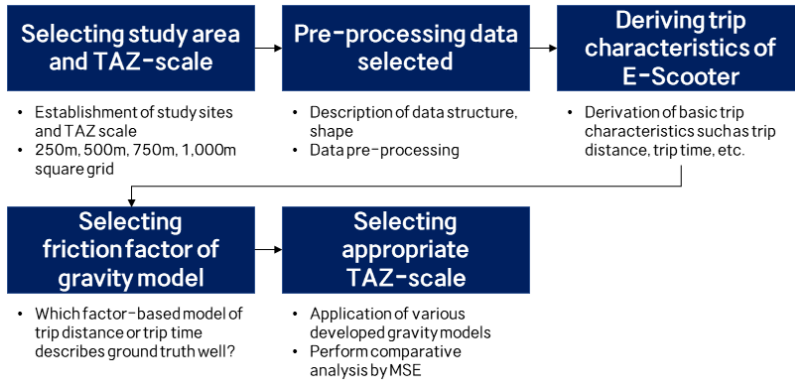
둘째, 공유 전동키토보드와 같은 마이크로모빌리티의 통행특성을 반영할 수 있는 적정 공간 단위 산정에 관한 연구가 전무한 실정이다. 연구의 공간 단위로 그리드 단위를 활용한 기존 관련 연구의 경우 200m, 250m, 500m, 1,000m 크기의 그리드 단위를 활용하였지만, 해당 크기의 그리드 단위가 공유 전동키토보드의 통행분포를 반영할 수 있는지에 대해서는 검증되지 않았다. 본 연구에서는 각 그리드 크기 별로 도출된 공유 전동키토보드 통행분포모형의 적정성을 검증하여 공유 전동키토보드 관련 연구에서 활용될 수 있는 적정 그리드 크기

를 제시하였다는 점에서 타 연구와의 차별성을 확보하였다.

III. 분석 방법론

1. 연구의 흐름

본 연구의 흐름은 <Fig. 1>과 같다. 첫 번째, 연구의 공간적 범위와 TAZ 단위를 설정한다. 두 번째, 본 연구에서 활용한 공유 전동킥보드 이용 이력 데이터의 구조와 형태 등을 설명한다. 세 번째, 공유 전동킥보드 이용 이력 데이터를 활용해 통행거리, 통행시간 등 기본적인 통행특성을 분석한다. 네 번째, 실증 데이터와의 비교분석을 통해 그리드 크기별로 거리변수와 시간변수 중 공유 전동킥보드에 적합한 마찰인자를 도출한다. 다섯 번째, 도출된 그리드 크기별 공유 전동킥보드 통행분포모형을 실증 데이터와 비교하여 현실 통행분포 형태를 가장 잘 묘사할 수 있는 형태의 그리드 크기에 대해 논의한다.

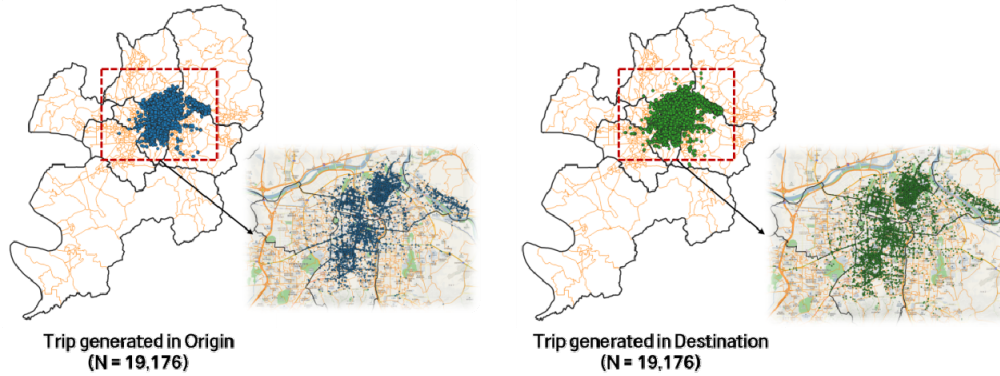


<Fig. 1> Overall research process

2. 공간적 범위 및 공간 단위 설정

본 연구의 공간적 범위는 대구광역시로 설정하였다. 대구광역시 인구는 2023년 2월 기준 2,360,662명으로 전국에서 서울, 부산, 인천에 이어 네 번째로 인구가 많은 도시이다. 또한, 대구광역시는 타 대도시와 다르게 인구가 인프라가 도시 중심부에 집중된 단핵 구조의 도시공간구조를 보인다는 특성이 있다(Yim, 2018). <Fig. 2>는 실제 전동킥보드 이용 이력 데이터의 출발 및 도착지역을 GIS에 도식화 한 것으로, 도시 중심부에 모든 통행이 집중되어 있음을 알 수 있다.

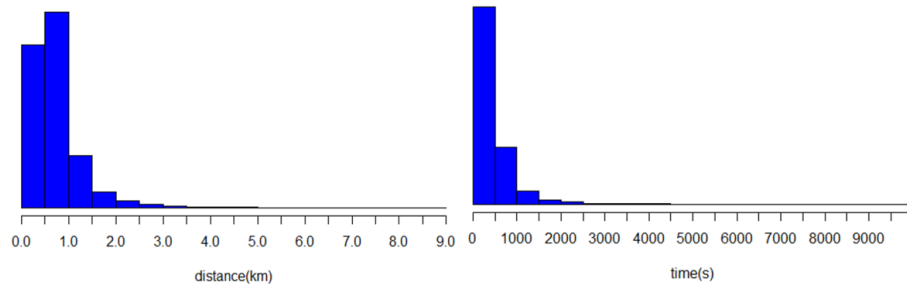
또한, 본 연구에서의 통행분포모형 도출을 위한 공간 단위는 선행연구에서의 마이크로모빌리티 수요예측 사례와 통행패턴 연구에서 흔하게 사용하는 500m, 1,000m 단위 그리드 크기를 포함하여 250m, 500m, 750m, 1,000m 정사각형 그리드 단위로 설정하였다.



<Fig. 2> Trip distribution of E-Scooter

3. 공유 전동키토보드 이용 이력 데이터

본 연구에서는 ㈜PUMP의 XingXing 공유키토보드의 이용 이력 데이터를 활용하였다. XingXing의 공유키토보드 이용 이력 데이터는 비식별화된 이용자 ID, 성별, 연령, x좌표, y좌표, 연월일, 시분초 등의 정보를 포함하고 있으며, 10초 주기로 데이터가 수집된다. 본 연구에서는 꺾적 형태의 이용 이력 데이터를 OD(Origin-Destination)의 형태로 변환하기 위해 Kwon(2022)과 같이 전체 꺾적데이터에서 이용자 ID가 달라지는 첫 번째 행을 O로, 10초 이상의 통행시간차가 발생하는 행을 D로 설정하여 OD 데이터를 추출하였다.

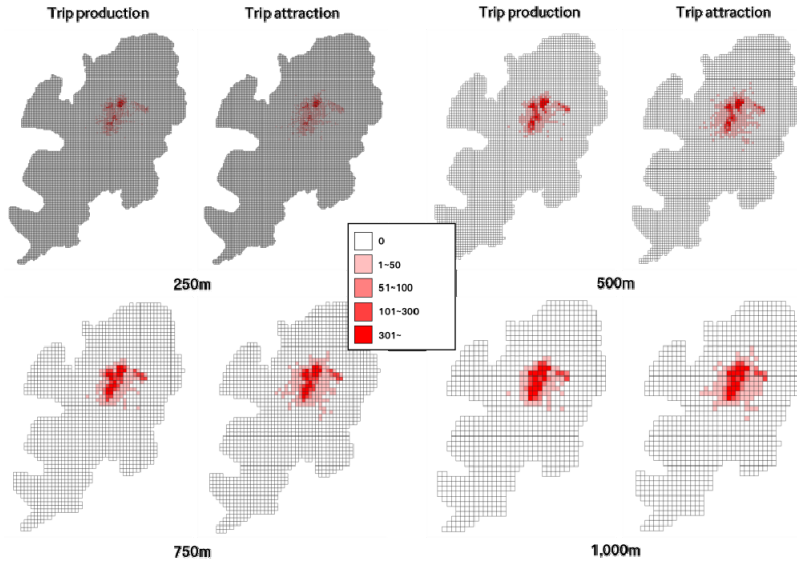


<Fig. 3> Distribution of E-Scooter trip distance and time

4. 공유 전동키토보드 통행특성

본 절에서는 앞서 구축한 공유 전동키토보드 OD 데이터를 기반으로 통행거리, 통행시간 등 통행특성을 분석하였다. 공유 전동키토보드의 통행거리는 좌표와 좌표 간의 유클리디안 거리로 산정하였으며, 통행시간은 도착시간에서 출발시간을 뺀 값을 초 단위로 환산하여 도출하였다.

공유 전동키토보드의 통행특성은 <Fig. 3>, <Fig. 4>와 같이 도출되었다. 통행특성 분석을 통해 공유 전동키토보드의 통행이 주로 1km 이내의 통행거리와 500초 미만의 통행시간을 갖는 단거리 통행 위주로 이루어지고 있음을 알 수 있다. 또한, 공유 전동키토보드의 통행발생 및 유입량 모두 도시 중심부 지역에 집중되어 있는 것으로 나타났으며, 특히 통행발생량은 유입량과 비교시 특정 TAZ에 집중되는 경향을 나타냈다.



<Fig. 4> Spatial distribution of E-Scooter trip

5. 분석 기법

본 연구에서는 공유 전동키토보드 통행분포모형을 도출하기 위해 중력모형을 활용하였다. 중력모형의 기본 가정은 TAZ i에서 TAZ j로 향하는 통행은 TAZ i의 유출통행량, TAZ j의 유입통행량의 비례하고, 두 TAZ 간의 거리, 시간에 반비례한다는 것이다. 그러나, 일반적으로 중력모형에서는 거리, 시간 인자 중 하나의 인자만을 활용하고 있다.

중력모형은 식(1)에 의해 계산되며, K , α , β , γ 등 계수값을 추정해 예측모형을 구축한다. 식(1)에서 \hat{x}_{ij} 은 TAZ i에서 TAZ j로의 통행량을 나타내며, o_i 와 d_j 는 TAZ i와 j의 유출 및 유입통행량을 나타낸다. $C_{i,j}$ 는 TAZ i와 TAZ j 간의 마찰인자를 나타낸다. α 는 통행발생량에 대한 계수값, β 는 통행유입량에 대한 계수값을 나타내며, γ 는 마찰인자에 대한 계수값을 나타낸다.

$$\hat{x}_{ij} = K \cdot \frac{o_i^\alpha \cdot d_j^\beta}{C_{i,j}^\gamma} \dots\dots\dots (1)$$

본 연구에서는 공유 전동키토보드의 통행거리를 마찰인자로 설정했을 때와 통행시간을 마찰인자로 설정했을 때의 중력모형 파라미터를 도출하기 위해, 식(2)와 같이 변수에 대해 대수변환(Log transformation)을 수행하고, 최소자승법을 수행하였다.

$$\ln \hat{x}_{i,j} = \ln K + \alpha \ln o_i + \beta \ln d_j - \gamma \ln C_{i,j} \dots\dots\dots (2)$$

또한, 본 연구에서는 통행거리 기반 중력모형과 통행시간 기반 중력모형으로 추정된 통행분포 매트릭스와 실제 통행 매트릭스와의 비교를 통해 모형의 적합도를 판단하기 위해 평균제곱오차법(Mean Squared Error)을

활용하였다. 모형에 의해 도출된 추정값과 실제값을 비교하는 방법은 크게 평균제곱오차법과 부등계수법이 있으나, 부등계수법은 기본적으로 평균제곱오차법에 의해 정의되기 때문에, 본 연구에서는 평균제곱오차법만을 활용하여 모형의 적합도를 판단하였다(Jeong et al., 2009). 평균제곱오차법은 식(3)과 같이 계산되며, y_i 는 실제값, t_i 는 추정값을 나타낸다.

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - t_i)^2 \dots\dots\dots (3)$$

IV. 분석 결과

1. 공간 단위별 통행분포모형 도출

<Table 1>은 최소자승법을 통해 거리변수를 마찰인자로 설정하였을 때 중력모형 파라미터 도출 결과이다. 먼저, 거리변수를 마찰인자로 설정한 경우 중력모형 파라미터는 공간 단위인 그리드 크기에 관계없이 K , α , β , γ 파라미터가 유의하게 도출되었다. 모형 적합성을 나타내는 R^2 의 경우, 250m 크기 그리드에서는 0.709, 500m 크기에서 0.811, 750m 크기에서 0.858, 1,000m 크기에서 0.848로 나타났다. 그리드 별 통행분포모형 분석 결과, 모든 모형에서 종속변수인 TAZ 간 통행량은 통행발생량 및 통행유입량이 증가할수록 증가하는 것으로 나타났으며, 마찰인자인 통행거리가 감소할수록 증가하는 것으로 나타났다. 이는 통행거리 변수가 통행분포모형 상에서 마찰인자 변수로써 역할 수행이 가능함을 의미한다고 해석할 수 있다.

<Table 1> Result of calibration for trip distribution model of E-Scooter on distance-based model

| | Parameter | Coef. | t-value | R^2 |
|--------------|-----------|-----------|---------|-------|
| 250x250m | K | -1.019*** | -18.982 | 0.709 |
| | α | 0.422*** | 36.721 | |
| | β | 0.474*** | 37.547 | |
| | γ | -0.085*** | -7.426 | |
| 500x500m | K | -0.959*** | -11.977 | 0.811 |
| | α | 0.419*** | 23.443 | |
| | β | 0.509*** | 26.508 | |
| | γ | -0.119*** | -8.194 | |
| 750x750m | K | -0.911*** | -8.280 | 0.858 |
| | α | 0.451*** | 18.776 | |
| | β | 0.475*** | 19.843 | |
| | γ | -0.161*** | -8.383 | |
| 1,000x1,000m | K | -0.849*** | -5.664 | 0.848 |
| | α | 0.451*** | 13.354 | |
| | β | 0.446*** | 13.154 | |
| | γ | -0.168*** | -6.840 | |

<Table 2>는 최소자승법을 통해 시간변수를 마찰인자로 설정하였을 때 중력모형 파라미터 도출 결과이다. 시간변수를 마찰인자로 설정한 경우 중력모형 파라미터는 공간 단위인 그리드 크기가 250m일 경우에 한해 K , α , β , γ 파라미터가 유의하게 도출되었으며, 그리드 크기가 500m 이상인 경우의 γ 파라미터는 유의하지 않은 것으로 나타났다. 모형 적합성을 나타내는 R^2 의 경우, 250m 크기 그리드에서는 0.699, 500m 크기에서 0.787, 750m 크기에서 0.822, 1,000m 크기에서 0.808로 나타났다. 그리드별 통행분포모형 분석 결과, 모든 모형에서 종속변수인 TAZ 간 통행량은 통행발생량 및 통행유입량이 증가할수록 증가하는 것으로 나타났으며, 마찰인자인 통행시간이 증가할수록 증가하는 것으로 나타났다. 이는 통행시간 변수가 통행분포모형 상에서 마찰인자 변수로써 역할 수행에 한계가 있음을 의미한다고 해석할 수 있다. 뿐만 아니라, 250m 그리드 모형을 제외한 모든 모형에서는 종속변수인 TAZ 간 통행량과 마찰인자인 통행시간 간에 통계적 유의성이 발견되지 않았기 때문에, 해당 모형들의 실제 적용은 어려울 것으로 판단된다.

<Table 2> Result of calibration for trip distribution model of E-Scooter on time-based model

| | Parameter | Coef. | t-value | R^2 |
|--------------|-----------|-----------|---------|-------|
| 250x250m | K | -1.647*** | -7.724 | 0.699 |
| | α | 0.449*** | 39.112 | |
| | β | 0.508*** | 42.771 | |
| | γ | 0.079* | 2.368 | |
| 500x500m | K | -1.634*** | -3.595 | 0.787 |
| | α | 0.438*** | 22.199 | |
| | β | 0.543*** | 27.264 | |
| | γ | 0.082 | 1.183 | |
| 750x750m | K | -1.268* | -2.102 | 0.822 |
| | α | 0.490*** | 17.939 | |
| | β | 0.532*** | 20.324 | |
| | γ | -0.001 | -0.011 | |
| 1,000x1,000m | K | -1.900* | -1.998 | 0.808 |
| | α | 0.494*** | 12.270 | |
| | β | 0.506*** | 13.412 | |
| | γ | 0.108 | 0.740 | |

2. 공간 단위 및 마찰인자별 통행분포모형의 적정성 검토

<Table 3>은 공간 단위별, 마찰인자별로 도출된 공유 전동키토보드 통행분포모형의 MSE값을 나타낸 것이다. 통행시간을 마찰인자로 한 500m, 750m, 1,000m 그리드 단위 기반의 통행분포모형은 γ 파라미터는 유의하지 않은 것으로 나타났기 때문에 적정성 검토에서 제외되었다. 분석 결과, 통행시간을 마찰인자로 하는 250m 그리드 단위 통행분포모형의 MSE 값이 385.53으로 5개 분석 모형 중 가장 낮았다. 다음으로, 통행거리를 마찰인자로 하는 250m 그리드 단위 통행분포모형의 MSE 값이 609.98로 나타났다. 500m 그리드 단위 통행분포모형의 MSE 값은 7,792.84로 나타났으며, 750m 그리드 단위 통행분포모형의 MSE 값은 37,982.21,

1,000m 그리드 단위 통행분포모형의 MSE 값은 88,739.27로 나타났다.

<Table 3> Result of MSE by each trip distribution model

| Friction factor | Time | Distance | | | |
|-----------------|--------|---------------|----------|-----------|-----------|
| Scale of grid | 250m | 250m | 500m | 750m | 1,000m |
| MSE | 385.53 | 609.98 | 7,792.84 | 37,982.21 | 88,730.27 |

V. 결 론

본 연구의 목적은 실제 공유 전동키토보드 이용 이력 데이터를 기반으로 공유 전동키토보드의 최적 통행분포모형을 도출하기 위한 적정 공간 단위를 수립하는 것이다. 공유 전동키토보드 이력 데이터 기반의 통행거리, 통행시간 등 통행특성 분석 결과, 공유 전동키토보드 이용은 단거리와 단시간 위주로 이루어지고 있음을 확인할 수 있었으며 거리와 시간이 증가함에 따라 통행량이 감소하는 패턴을 보였다. 이에 따라, 통행거리와 통행시간을 마찰인자로 하는 중력모형을 적용하여 공유 전동키토보드의 통행분포모형을 도출하고자 하였다. 분석을 위한 공간 단위는 250m, 500m, 750m, 1,000m 크기의 정사각형 그리드 형태로 설정하였으며, 통행거리를 마찰인자로 하는 중력모형과 통행시간을 마찰인자로 하는 중력모형을 별개로 도출하였다. 도출된 통행분포모형의 적정성을 검증하기 위해, 평균제곱오차법을 활용하여 공유 전동키토보드의 모형별 추정 통행분포값과 실제 통행분포값의 차이를 비교하였다.

분석 결과는 다음과 같다. 첫째, 거리를 마찰인자로 하는 중력모형은 그리드 크기에 관계없이 마찰인자의 계수값을 나타내는 γ 파라미터가 유의하게 나타났지만, 시간을 마찰인자로 하는 중력모형은 250m 그리드 크기에서의 γ 파라미터만이 유의하게 나타났다. 따라서 통행분포모형 적용시 이러한 부분을 고려할 필요가 있다. 둘째, 평균제곱오차법을 활용해 통행분포모형의 적정성을 검토한 결과, 평균제곱오차값이 가장 낮은 모형은 통행시간을 마찰인자로 한 250m 그리드 기반 모형이었으며, 통행거리를 마찰인자로 한 경우에는 250m 그리드, 500m 그리드, 750m 그리드, 1,000m 그리드 순으로 나타났다.

본 연구의 결과에 따라 그리드 크기가 작으며, 통행시간을 마찰인자로 한 통행분포모형을 활용할 경우 실제 전동키토보드 통행분포를 잘 묘사할 수 있을 것으로 판단되나, 통행시간을 마찰인자로 한 통행분포모형의 경우 마찰인자의 계수값에 해당하는 γ 파라미터가 양수로 도출되었으며, 통행거리를 마찰인자로 했을 때 만큼의 유의성이 도출되지 않았기 때문에 실제 수요예측 상에서 통행시간을 마찰인자로 한 중력모형을 적용하는 것은 한계가 있을 수 있다. 따라서, 본 연구에서는 실제 수요예측 시 250m, 500m, 750m, 1,000m 그리드와 시간, 거리 마찰인자 중에서 통행거리를 마찰인자로 한 250m 크기 그리드 기반 모형을 활용하는 것을 제안한다.

본 연구는 그동안 공유 전동키토보드 관련 연구에서 수행되지 않았던 통행분포모형 도출 및 분석을 위한 적정 공간 단위를 제시하였다는 점에서 연구의 학술적 의의가 존재하지만, 다음과 같은 한계점을 보완하여 향후 연구로 발전시켜야 할 것이다. 첫째, 본 연구에서는 연구결과의 범용성을 고려하여 250m~1,000m까지의 그리드 범위를 공간 단위로 설정하였으나, 실제 공유 전동키토보드 통행분포모형의 적정성은 200m 이하의 그리드 단위에서 더 적절하게 도출될 수 있으므로, 향후 200m 이하의 그리드 단위를 고려하여 적정 공간 단위를 산정해야 할 것이다. 둘째, 본 연구에서는 그리드 형태로 가장 흔하게 활용되는 정사각형 형태를 연구의

공간 단위로 준용하였지만, 그리드 형태에서는 다이아몬드 형, 육사곤 형 등 다양한 형태로 구분되며, 그리드 형태에 따라 개별 그리드에 집계되는 통행량이 상이할 수 있기 때문에 향후에는 다양한 그리드 형태에 따른 통행분포 차이를 규명하는 연구가 수행되어야 할 것이다. 셋째, 집계구와 같은 행정구역은 공간 해상도가 매우 높기 때문에 이를 공간 단위로 설정할 경우 그리드 이상의 모형 적합도와 적정성을 가질 수 있으므로, 향후에는 그리드와 행정구역 기반 통행분포모형을 비교하는 연구가 수행되어야 할 것이다. 넷째, 본 연구에서 중력모형 분석을 위한 마찰인자로 활용한 통행거리는 유클리디안 거리로 산정되었다. 유클리디안 거리는 실제 네트워크 거리에 비해 통행거리가 과소추정된다는 한계가 존재하기 때문에, 향후 연구에서는 실제 네트워크 통행거리를 고려할 필요가 있다.

ACKNOWLEDGEMENTS

본 논문은 한국ITS학회 2023년도 춘계학술대회(2023.04.20.~2023.04.21.)에서 발표된 내용을 수정·보완하여 작성하였습니다.

This research was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Education (NRF-2020R1C1C1012456).

REFERENCES

- Abdel-Aal, M. M. M.(2014), “Calibrating a trip distribution gravity model stratified by the trip purposes for the city of Alexandria”, *Alexandria Engineering Journal*, vol. 53, no. 3, pp.677-689.
- Clifton, K. J., Singleton, P. A., Muhs, C. D. and Schneider, R. J.(2016), “Development of destination choice models for pedestrian travel”, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, vol. 94, pp.255-265.
- De Dios Ortuzar, J. and Willumsen, L. G.(1994), *Modelling Transport*, Wiley, Chichester.
- Ham, S. W., Cho, J. H., Park, S. and Kim, D. K.(2021), “Spatiotemporal demand prediction model for e-scooter sharing services with latent feature and deep learning”, *Transportation Research Record*, vol. 2675, no. 11, pp.34-43.
- James, O., Swiderski, J. I., Hicks, J., Teoman, D. and Buehler, R.(2019), “Pedestrians and E-scooters: An Initial Look at E-scooter Parking and Perceptions by Riders and Non-riders”, *Sustainability*, vol. 11, p.5591.
- Jeong, C. Y., Son, U. Y. and Kim, D. G.(2009), “A Study on Forecasting Trip Distribution of Land Development Project Using Middle Zone Size And Gravity Model”, *Journal of Korean Society of Transportation*, vol. 27, no. 6, pp.19-28.
- Kim, K. and Lee, C. H.(2021), “A K-Means-Based Clustering Algorithm for Traffic Prediction in a Bike-Sharing System”, *KIPS Transactions on Software and Data Engineering*, vol. 10, no. 5, pp.169-178.
- Kim, S., Choo, S., Lee, G. and Kim, S.(2022), “Predicting Demand for Shared E-Scooter Using Community Structure and Deep Learning Method”, *Sustainability*, vol. 14, no. 5, p.2564.

- Korea Consumer Agency(2021), *Safety Survey on Electric Kickboard Sharing Service*, pp.1-51.
- Kwon, S. I.(2022), *Trip boundary identification of Personal Mobility and Applications based on Trip Patterns*, Master's Thesis, Chungbuk National University.
- Lenormand, M., Bassolas, A. and Ramasco, J. J.(2016), "Systematic comparison of trip distribution laws and models", *Journal of Transport Geography*, vol. 51, pp.158-169.
- Lim, H. and Chung, K.(2019), "Development of demand forecasting model for Seoul shared bicycle", *The Journal of the Korea Contents Association*, vol. 19, no. 1, pp.132-140.
- Mozolin, M., Thill, J. C. and Usery, E. L.(2000), "Trip distribution forecasting with multilayer perceptron neural networks: A critical evaluation", *Transportation Research Part B: Methodological*, vol. 34, no. 1, pp.53-73.
- The Korea Transport Institute(2012), *National Passenger OD Transmission and Forecast of Future Demand II*, pp.1-396.
- Yim, S.(2018), "An Analysis of Daegu Metropolitan Area Focusing on Functional Relations in City-region", *Journal of the Korean Geographical Society*, vol. 53 no. 1, pp.19-35.