



# 생활인구의 시공간 분포가 공유자전거 이용에 미치는 영향 : 공간빅데이터를 활용하여

## The Effect of Spatiotemporal Distribution of the De Facto Population on the Public Bicycle Usage : Using Spatial Big Data

진정규\* · 진장익\*\*

Jin, Jungkyu · Jin, Jangik

### Abstract

Recently, public bicycles have been receiving increasing attention as alternatives to mitigate social and environmental problems caused by automobile-oriented transportation systems. However, factors associated with public bicycle usage have not been completely investigated to date. In this study, we attempt to examine the factors affecting the public bicycle usage by focusing on the city of Seoul. Particularly, we focus on the effect of de facto population on the public bicycle usage because de facto population data is considerably more appropriate to measure the real demander for the bicycle usage as compared with the census-based population data. Therefore, we employ a fixed-effects panel data analysis model with several spatial big data. The main findings from the panel model were as follows: First, the de facto population was closely related to public bicycle usages in Seoul. However, the effects differed by age groups. Whereas an increase in the age group between 40 and 59 years old near a bicycle station has a negative effect on the public bicycle usages, an increase in other age groups shows a positive effect. Second, the effect of the de facto population on the public bicycle usage was related to air quality. When the particulate matter concentration was  $80 \mu\text{g}/\text{m}^2$  or more, the effect of the de facto population on the public bicycle usage decreased by half. Third, the effect of the de facto population on the public bicycle usage significantly differed between weekends and weekdays. Our empirical results showed that various factors had to be considered when establishing public bicycle plans. The plans had to encourage the bicycle usage and improve sustainable transportation system.

**주제어** 생활인구, 공공자전거, 공간빅데이터, 패널모형, 고정효과  
**Keywords** De Facto Population, Public Bicycle, Spatial Big Data, Panel Model, Fixed-effects

## 1. 서론

공공자전거는 도시의 지속가능성을 증진시키는 친환경 교통수단이며, 자동차 중심의 교통체계로 인해 발생하는 다양한 사회·환경적 문제를 해결할 수 있는 대안 중 하나로 주목받고 있다. 서

울시는 2000년대 초반 자전거 이용 활성화 정책의 하나로 공공자전거 대여시스템을 도입하였으며, 2017년 공공자전거 대여소와 자전거 운용 대수를 대폭 증설하였다. 이에, 연간 약 11만 건(2015년 기준)이던 공공자전거 이용 횟수가 약 676만 건으로 증가했으며, 스마트폰과 연동되는 앱 서비스(application)의 개발로

\* Doctorate Candidate, Department of Urban Planning and Real Estate, Chung-ang University (First Author: jjk140424@gmail.com)

\*\* Professor, Department of Urban Planning and Real Estate, Chung-ang University (Corresponding Author: arcane03@cau.ac.kr)

공공자전거 이용 편의성이 크게 증진되었다. 또한, COVID-19의 확산 속에서도 공공자전거의 이용 횟수는 2019년 1분기(약 138만 건)에 비해 2020년 1분기에는 약 67%(약 230만 건) 증가한 것으로 집계되었다.<sup>1)</sup>

자전거는 화석연료를 연소하지 않기 때문에 오염물질 배출이 없어 친환경적이며, 에너지 소비를 줄이는 이점이 있다(원동혁 외 2012). 또한, 근거리 이동 시 승용차 사용의 수요를 완화하고, 거점교통망과 상호보완적인 역할을 담당한다. 즉, 출발·종착지로부터 퍼스트마일(First Mile)과 라스트마일(Last Mile)을 이어 줌으로써 'Door to Door'를 실현하고, 도시민의 이동성(Mobility)을 증진하는 교통수단이다. 이런 이유에서 서울시 공공자전거인 "따릉이" 대여소는 주거·상업 밀집 지역과 거점교통망인 지하철역에 설치되고 있다.

하지만 이러한 장점에도 불구하고, 서울시 공공자전거 대여소의 일부는 이용 횟수가 없거나 매우 저조하고, 이용 후 반납이 잘 이루어지지 않는 경우가 있다(사경은 외, 2018). 또한, 지역적으로 대여소별 이용분포가 고르지 못한데, 이는 공간적으로 물리적 환경과 인구사회학적 특성이 균일하지 않은 특징과 함께, 기상·교통체증 등이 시간대별로 급변하여 공공자전거 이용편중이 발생할 수 있기 때문이다(장재민 외, 2018). 따라서 지역별 이용량을 적절히 모니터링하고, 지역 특성을 고려해 대여소와 자전거를 배치·배분하는 것은 효과적인 공공자전거 정책 시행의 선결과제다.

공공자전거의 이용에는 이용자 선호와 함께 특정한 조건에 대한 회피행동이 영향을 줄 수 있고, 환경 및 교통요인이 복합적으로 작용할 가능성이 있다(Miranda-Moreno and Nosal, 2011; 김동준 외, 2012; Thomas et al., 2013). 특히, 공공자전거 대여소 배후지역의 인구특성은 공공자전거의 계획 및 비계획적 이용을 결정하는 중요한 인자이다(장재민 외, 2016). 그러나 관련한 연구가 활발히 진행되지 못했다. 일부 연구는 거주인구(센서스·주민등록인구통계)를 분석에 활용함으로써 거주지와 활동지가 분리되는 도시적 특성을 연구에 반영하기 어렵고, 미시적인 시간단위의 인구변화를 관찰할 수 없다는 한계가 있다.

이에 본 연구는 서울시 공공자전거("따릉이") 이용에 영향을 주는 시공간적 요인을 분석하고자 한다. 이때, 거주인구가 아닌 생활인구의 공간적 분포에 초점을 맞추으로써 공공자전거 이용에 대한 수요변화를 미시적인 시공간 단위에서 규명하고자 한다. 이를 위해 도시공간빅데이터를 활용해 다양한 공간적 특성을 종합적으로 반영한 상태에서 관계성을 분석하고자 한다.

분석 모형으로는 공공자전거 이용에 영향을 주는 시공간적 효과를 적절히 통제할 수 있는 패널모형(Panel Model) 중 고정효과(Fixed-Effects)모형을 활용하고자 한다. 또한, 생활인구 분포는 특정 환경과 시기에 따라 변화양상이 복잡하므로 미세면지가 심한 날과 그렇지 않은 날, 평일과 주말의 분포패턴에 차이가 있을 것으로 예상된다. 따라서, 본 연구에서는 이러한 차이를 구분

하도록 분석 모형을 설계하고자 한다. 본 연구를 통해 제시된 결과는 교통수요 관련 정책 수립에 다양한 시사점을 제공할 것으로 여겨진다.

## II. 공공자전거 이용 선행연구 검토

공공자전거는 공공에서 운영하는 공유자전거(bike-sharing)를 의미하며, 국내에서 운영 중인 공공자전거는 사용 완료 후에 대여소에 반납하는 시스템적 특징을 가지고 있다. 공공자전거의 이용은 개인소유 자전거(이하 개인 자전거)와 마찬가지로 자전거 인프라의 영향을 받지만, 구조적으로 대여소가 주차장 역할을 하기 때문에 개인소유 자전거에 비해 이용이 쉽고, 대여소의 입지 특성상 다른 교통수단으로 환승이 용이한 특징이 있다.

공공자전거가 세계적으로 처음 도입된 사례는 1965년 네덜란드 암스테르담으로 보고되고 있다(윤승용 외, 2020). 도입 당시에는 도난과 파손으로 제구실을 하지 못하였고, 이를 해결하기 위해서 일정한 금액을 지불하게끔 이용방식을 개선했음에도 불구하고 문제가 끊이지 않아 공공자전거 이용이 활성화되지 못했다. 그러다가 1996년 영국에서 디지털 등록을 거치는 자전거 공유시스템이 도입되면서 세계 곳곳에서 공공자전거의 이용이 본격적으로 활성화되기 시작했다(윤승용 외, 2020).

국내에서는 창원시의 "누비자", 대전시의 "타슈"가 2008년 공공자전거 서비스를 개시하였고, 서울시 공공자전거는 그보다 이른 2000년 4월에 시범서비스를 시작한 것으로 알려진다(김하경 외, 2018). 그리고 서울시 공공자전거의 정식 서비스는 2015년 "따릉이"로 명명되면서부터 시작되었다. 당시에 서울시에 설치된 공공자전거는 2,000대, 회원 수는 약 3.4만 명이었는데, 2017년 설치된 공공자전거는 20,000대로 2015년에 비해 약 10배 증가하였고, 회원 수는 60만 명으로 약 20배 증가했다(장재민 외, 2018).

공공자전거를 정책적으로 도입한 시기는 국내외적으로 오래되지 않았지만, 공공자전거에 관한 다양한 연구성과가 축적되고 있다. 선행연구를 살펴보면, 대부분 공공자전거 이용 활성화를 위해 공공자전거 이용에 영향을 미치는 요인을 찾고, 관계성과 영향력을 규명하는 연구가 주를 이룬다. 최근에는 미시적 수준의 공공자전거 이용 정보가 제공되면서 기계학습(Machine Learning) 기법을 활용해 공공자전거 이용 패턴을 분석하고, 공공자전거 이용(수요)량을 예측하는 수준에까지 이르고 있다. 본 연구에서는 공공자전거 이용에 영향을 미치는 인구특성, 입지와 교통요인, 환경 요인에 관한 선행연구들을 중점적으로 검토하였다.

### 1. 공공자전거 이용과 인구특성

공공자전거의 이용은 이용자들의 개별 특성과 함께 배후지역의 인구사회학적 특성에 영향을 받는 것으로 알려져 있다(원동혁

외, 2012; 장재민 외 2016; 장재민 외 2018; Sun et al., 2018). 일반적으로 공공자전거 대여소(이하 대여소) 주변 지역에 거주인구가 많을수록 공공자전거를 이용하고자 하는 수요가 높을 가능성이 있다. 따라서 대여소 주변지역의 인구 규모는 곧 공공자전거의 잠재적 수요로 볼 수 있다. 즉, 대여소 주변의 인구규모와 인구특성을 이해하는 것은 공공자전거 정책이 실효성을 거두기 위한 조건이자, 적절한 공공자전거 정책사업 규모를 결정하는 데 중요한 요건이라 할 수 있다.

Sun et al.(2018)은 미국 시애틀 공공자전거 “Pronto” 이용과 영향요인 사이의 관계성을 규명하였다. 영향요인으로 가구밀도와 고용밀도를 고려하였는데, 도심지(Downtown District)에서는 고용밀도가, 대학가(University District)에서는 가구밀도가 공공자전거의 이용을 증가시키는 요인인 것으로 나타났다. 이와 같은 분석결과는 도심지에서는 공공자전거를 이용한 이동이 업무시설에서 시작하거나 끝날 수 있으며, 대학가에서는 집 근처 또는 학교에서 시작하거나 끝날 가능성이 있음을 의미한다. 또한, 대여소 주변 인구특성이 공공자전거 이용규모를 결정하는 요인임을 시사한다.

장재민 외(2018)의 연구에서는 서울시 공공자전거 “따릉이”를 대상으로 공공자전거 O-D 데이터를 분석하여 이용 영향요인을 도출하였다. 분석 결과 “따릉이” 통행량은 계절에 따라 차이가 발생하는데, 이와 같은 계절적 차이는 대여소 주변에 유동인구 규모의 영향을 받았을 것이라고 주장하였다. 또한, 일일권 이용빈도의 증가는 레저활동과 같은 비계획적 이용 증가가 영향을 주었을 것이라고 주장하였다. 이와 같은 분석결과를 근거로 공공자전거 이용을 결정하는 인자로서 대여소 주변의 거주인구뿐만 아니라, 실제 생활하고 있는 인구특성을 고려할 필요가 있을 것으로 판단된다.

Li et al.(2019)은 중국 쿤밍시 2세대 공공자전거(PBS: Public Bicycle sharing)와 3세대 공공자전거(Free Floating Bike sharing, FFBS)의 이용 영향요인을 도출하고자 이용자 개인 특성을 분석에 고려하였다. 연령과 소득에 따라 PBS와 FFBS를 선택할 확률이 크게 달라지는 것으로 분석되었는데, 이는 공공자전거를 활용하는 목적이 이용자의 연령에 따라 다르기 때문으로 설명하고 있다. 이와 같은 분석결과는 국내 연구사례인 이재영 외(2012)의 연구에서도 유사하게 나타났다. 이재영 외(2012)는 대전 “타슈”, 고양시 “피프틴”, 창원시 “누비자” 이용자를 대상으로 연령별 차이가 있는지 분석하였다. “타슈”는 20대 이하 연령의 이용자 비율이, “피프틴”은 20~29세 연령의 이용자 비율이, “누비자”는 3·40대 연령의 이용자 비율이 높아 지역별로 연령에 따른 이용패턴이 다른 것으로 나타났다.

이상의 연구결과를 통해 대여소 주변지역의 인구특성이 공공자전거 이용을 결정하는 요인임을 알 수 있다. 특히 대여소 주변 지역 거주인구는 통근과 같이 공공자전거를 계획적으로 이용하

는 수요를 대변할 수 있으며, 유동인구는 레저와 같이 비계획적 이용으로 이어질 개연성이 있다. 또한, 인구의 총 규모뿐만 아니라 연령과 같이 세부적인 인구 구성에 따라 공공자전거 이용 빈도가 달라질 수 있다고 예상되기 때문에 이를 연구에 반영할 필요가 있다.

## 2. 공공자전거 이용과 입지 및 교통여건

공공자전거는 자전거 전용도로나 자전거 주차장과 같은 자전거 인프라가 잘 조성되면 이용률이 증가하는 것이 일반적이다(김동준 외, 2010; 원동혁 외, 2012). 또한, 공공자전거는 출발지(Origin)와 도착지(Destination)를 이동하는 교통수단이 되기도 하고, Door to Door 기능을 보완하는 보조적 교통수단의 역할도 수행하기 때문에 대여소 주변의 대중교통시스템과 상호작용한다(이장호 외, 2016). 즉, 대여소의 입지 및 교통 여건에 따라 공공자전거의 활용성이 달라질 수 있다.

원동혁 외(2012)의 연구는 개인 자전거 이용자의 이용행태 및 만족도와 자전거 이용 접근성 사이의 관계성을 규명하였다. 개인 자전거 이용자는 자전거 도로, 주차장 등 자전거 교통 인프라가 잘 구축되어 있거나 자전거로 이동 가능한 거리에 직장·교육시설·마트·공원 등 목적지가 위치할수록 자전거를 이동 수단으로 이용하길 원하는 것으로 나타났다.

이장호 외(2016)는 고양시 “피프틴”을 대상으로 공공자전거 이용과 입지특성 사이의 관계성을 규명하는 연구를 시도하였다. 분석결과, 회원 이용자의 경우 시간대별로 인자의 영향력이 다른데, 출·퇴근 시간대에는 지하철역 인접성 요인의 영향력이 높았으며, 심야시간과 새벽시간에는 유흥주점이 밀집한 일반상업지역 및 공원 인접성 요인의 영향력이 높은 것으로 나타났다. 분석결과를 통해 입지적 특성이 자전거 이용에 영향을 주는 요인임이 실증적으로 규명되었다.

Wang and Zhou(2017)은 미국의 96개 지역을 대상으로 공공자전거 이용과 교통체증 사이의 관계성을 검증하였으며, 공공자전거 서비스는 주변지역의 교통체증을 감소시킴을 규명하였다. 특히, 교통체증 완화효과는 대여소가 위치한 대여소 주변에 인구가 많을수록 증가하기 때문에 소규모 도시에 비해 대도시에서 완화효과가 크다고 주장하였다.

Fan and Zheng(2020)은 베이징의 공공자전거 “Mobike” 이용 데이터를 활용해 공공자전거와 지하철의 상호보완성을 비롯하여 공공자전거의 교통체증 완화효과를 분석하였다. 분석결과, 공공자전거 이용은 지하철 이용률을 증가시키며, 특히 공공자전거의 이용량이 많은 지역이 적은 지역에 비해 지하철 이용률을 8% 더 높이는 것으로 나타났다. 또한, 공공자전거 서비스는 교통첨두시간(Peak Time) 때 교통체증을 4% 감소시키는 효과가 있는 것으로 나타났는데, 이는 일부 공공자전거 이용자가 교통체증

을 고려해 승용차가 아닌 공공자전거를 이동 수단으로 이용했기 때문이라고 주장하였다. 이와 같은 연구결과는 국내 연구에서도 유사하게 나타났는데, 사경은 외(2018)의 연구에서는 공공자전거 대여와 반납에 평균 교통량이 정(+)의 효과 즉, 교통량이 많을수록 공공자전거 이용이 활발해지는 관계가 있는 것으로 분석되었다.

이상의 연구결과는 공공자전거 이용과 대여소 주변의 교통환경이 매우 밀접한 관계가 있음을 시사하며, 교통입지 외에도 교통상황이 공공자전거 이용을 결정하는 요인으로 작용할 수 있음을 보여준다고 할 수 있다.

### 3. 공공자전거 이용과 환경여건

자전거는 외부 환경변화의 영향을 받는 교통수단이다. 가령, 강우, 강풍, 급격한 기온변화가 발생할 경우 물리·신체적 제약이 발생하며, 이는 자전거 이용 회피로 연결될 가능성이 있다. 따라서 공공자전거 이용을 개선하기 위해서는 계절적 요인이나 기상학적 요인의 영향력을 검증할 필요가 있다.

El-Assi et al.(2017)의 연구에서는 캐나다 토론토의 “BST (Bike Share Toronto)” 이용과 기상인자 사이의 관계성을 검증하였다. 연구의 결과를 통해, 강우(눈·비)의 발생과 높은 습도는 공공자전거 이용을 감소시키는 반면, 기온이 높아질수록 공공자전거 이용이 증가하는 것으로 나타났다.

김동준 외(2012)의 연구에서는 고양시 공공자전거 피프틴의 이용 데이터를 분석하여 이용 빈도와 기온·강수량 등 기상여건의 관계성을 검증하였다. 기온이 23℃를 기준으로 온도가 변화하거나 강우가 발생하면 공공자전거 이용이 감소하는 것으로 나타났다. 이와 같은 연구 결과는 이장호 외(2016)의 연구에서도 유사하게 나타났는데, 일평균 기온이 29℃ 이상으로 고온이 유지되거나, 일평균 10mm 이상의 강우, 7m/s 이상의 강풍이 발생할 때 공공자전거 이용이 줄어드는 것으로 분석되었다. 즉, 자전거를 이용할 수 있는 기상·기후 환경적 여건이 갖춰지지 않으면, 공공자전거 이용이 적게 발생할 가능성이 있음을 시사한다.

공공자전거 이용과 관련하여 이상의 다양한 연구가 진행되었지만, 방대한 자료를 종합하여 공공자전거 이용의 시공간적 변화를 살펴본 연구는 많지 않다. 대부분의 연구가 대여소의 입지 조건과 같은 물리적인 공간 특성 반영에 집중하는 반면, 인구사회학적 인자를 반영한 연구는 많지 않다.

공공자전거 대여소 주변 지역의 인구구성은 공공자전거의 계획 및 비계획적 이용을 결정짓고 수요를 가늠할 수 있는 핵심적인 인자이다. 일부 연구에서 거주인구 규모에 따라 공공자전거 이용 빈도에 차이가 발생하는 것으로 분석되었는데, 미시적인 단위의 시공간적 변화를 확인할 수 있는 구체적 인구구성 정보를 반영한 연구는 매우 제한적이다. 특히 거주인구를 분석에 반영함으로써

공공자전거의 비계획적 이용 수요를 확인하기 어렵고 수요를 과소하게 평가하는 한계가 있다. 더하여 공공자전거 이용목적이 연령에 따라 달라질 가능성이 있기 때문에 공공자전거 이용과 인구구성 사이의 명확한 관계성을 규명하기 위해서는 미시적인 시공간 단위의 연령별 인구구성 정보 즉, 도시생활에 기반한 인구 정보를 반영할 필요가 있다고 판단된다. 본 연구에서는 미시적인 시공간 단위의 연령별 생활인구가 공공자전거 이용에 어떤 영향을 미치는지 실증적으로 분석하고자 한다.

또한, 서울과 같은 대도시 특성을 고려한 시사점을 제시하기 위해서는 인구구성정보 외에도 공공자전거 이용에 영향을 줄 수 있는 다양한 인자를 종합적으로 고려할 필요가 있다. 도시는 교통·기상·대기질 등 공공자전거 이용 유인 및 회피로 이어질 수 있는 요인이 급격하게 변화하고, 상호작용이 일어나기 때문에 이를 연구에 반영해야 공공자전거 이용과 인구구성 사이의 관계를 명확하게 규명할 수 있다.

## III. 연구자료 및 분석방법

### 1. 연구자료 및 변수 구축

공공자전거의 이용과 생활인구의 관계성을 분석하기 위해서 본 연구는 서울특별시(이하 서울시) 열린데이터 광장에서 제공하는 공공자전거 이용현황정보 및 생활인구 데이터를 활용하였다. 또한, 공공자전거 이용에 영향을 주는 교통 및 환경 요인에 대한 변수를 구축하기 위해 서울시 교통정보센터(Transport Operation & Information Service, TOPIS)에서 제공하는 서울시 차량통행속도와 한국환경공단에서 제공하는 대기오염측정자료, 기상자료개방포털에서 제공하는 기상정보를 활용하였다.

#### 1) 공공자전거 이용현황정보

「서울시 공공자전거 이용현황」은 서울 열린데이터 광장에서 제공하는 공공데이터로 2017년 한 해 동안 집계된 「따릉이」 이용 빈도 정보를 분석에 활용하였다. 이 자료에는 1,029개의 대여소에서 발생하는 성별·연령별 이용 빈도를 비롯해 이용자들의 운동량·탄소저감량·이동거리·이동시간 등의 정보가 매 시간 단위로 포함되어 있다. 본 연구는 대여소별로 발생한 공공자전거 이용규모에 영향을 미치는 요인을 파악하고자 여러 가지 정보 중에서 이용 빈도 정보를 분석에 활용하였다.

서울시 공공자전거 이용현황 자료에는 각각의 대여소 ID가 부여되어 있지만, 대여소의 정확한 위치정보는 제공되어 있지 않다. 따라서 공공자전거 관련한 또 다른 데이터인 「공공자전거 대여소 운영현황」에 포함된 대여소(ID)별 경위도 좌표정보(WGS 1984)를 결합하여, 공간데이터의 형태로 구축하였다. 본 연구에서 사용하는 생활인구 자료가 집계구별로 제공되기 때문에, 집계

구 구획과 교차(Intersect)하는 과정을 거쳐 집계구 단위의 공공자전거 이용 데이터를 구축하였다. 2017년 기준 1,029개 대역소에서 집계된 정보는 결측치를 제외하고 총 4,183,547(1,029개 대역소×365일×24시간) 건으로 이중 단일 집계구에 다수의 대역소 정보가 있는 경우가 있어 집계구를 기준으로 평균화하는 과정을 거쳐 최종적으로 2,099,851건의 관측치를 분석에 활용하였다.

### 2) 생활인구 데이터

본 연구에 적용된 「생활인구 데이터」는 서울시 공공빅데이터(주민등록통계, 대중교통이용통계, 사업체조사자료, 건물데이터베이스 등)와 KT의 통신데이터를 활용해 통계적인 방법으로 추정된 인구 데이터로 「특정지역, 특정시점에 존재하는 인구」로 정의된다.<sup>2)</sup>

일반적으로 인구 데이터는 센서스(Census) 통계자료 또는 주민등록통계가 활용되는데, 관측지역의 연·월 거주인구의 총량 변화만을 확인할 수 있다. 반면, 「생활인구 데이터」는 데이터 관측 시점이 시간 단위임을 고려했을 때 관측지역에서 발생한 활동 기반의 실제 인구 규모를 확인할 수 있다는 장점이 있다. 특히 생활인구 데이터를 활용함으로써 기존의 인구 데이터로는 확인할 수 없었던 하루 중 오전과 오후, 주중 및 주말과 같은 미시적인 시간 단위의 인구 정보 변화를 확인할 수 있고, 매시간(Hourly) 단위로 생산되는 다양한 주제의 데이터와 비교·분석이 가능하다는 장점이 있다.

「생활인구 데이터」의 생산 주체는 서울시<sup>3)</sup>로 서울시의 19,153개 집계구<sup>4)</sup>를 기준으로 365일 24시간 추계하여 연간 167,780,280건(19,153개 집계구×365일×24시간)의 정보를 생산하며, 2017년 기준 55,410건의 결측치(Missing Values)가 존재해 이를 제외하고 약 1억 6,772만 건의 관측치를 분석에 활용하였다.

### 3) 교통체증지수

도시민이 자전거를 사용하는 이유 중 하나는 도심의 심각한 교통체증이다. 따라서 인근지역의 교통체증에 따라 공공자전거 이용이 달라질 수 있다. 공공자전거 이용객은 이동하고자 하는 경로의 교통상황을 고려해 교통이 혼잡할 때 대안적 이동 수단으로 자전거를 선택한다(이재영, 2010). 교통상황에 관한 판단은 이동하고자 하는 경로만을 대상으로 이루어질 수도 있지만, 이동 경로를 포함하여 주변 지역의 교통체증까지도 함께 고려할 가능성이 있다. 따라서 본 연구에서는 단일 도로의 교통체증을 평가하기보다 단위 지역 전반의 교통상황을 평가하기 위해 교통체증지수(Real-time Congestion Index, RCI)를 산출하고, 공간 단위에 맞게 표준화하는 과정을 거쳤다.

본 연구에서 활용한 교통체증지수는 도로의 체증정도를 평가하기 위한 지수체계로 각 도로에 부여된 규정 제한속도와 관측된 속도정보를 토대로 산출된다. 이때 관측정보인 속도정보는 서울

교통정보센터에서 제공하는 「서울시 차량통행속도」를 활용하였다. 해당 정보는 서울시 소재 10,505개 도로에서 관측된 속도정보를 매 시각 단위로 생산하기 때문에 연간 약 9,200만 건의 정보가 생산된다. 속도정보는 도시고속도로와 일반도로의 측정방식이 다른데 도시고속도로는 영상·루프감지기 및 단거리전용통신기 등의 감지기를 활용하며, 일반도로는 서울시 관내 약 7만 대의 택시 GPS 위치정보를 활용해 5분 단위로 이동속도를 추계한다.

교통체증(Congestion)은 다양하게 정의될 수 있지만, 일반적으로 도로의 용량을 초과하는 과다한 교통수요를 비롯하여 다양한 원인에 의해 차량의 흐름이 지·정체 되는 현상을 말한다(복기찬 외, 2009). 본 연구에서의 교통체증은 다양한 원인에 의해 차량의 흐름이 자유 흐름(Free Flow)에 미치지 못하는 이동상태로 정의하며, 도로별 규정 제한속도의 80%의 속도를 기준으로 체증을 판정한다. 만약 기준속도보다 느리게 통과하면 감소한 속도만큼 체증이 발생한 것으로 볼 수 있으며, 빠르게 통과하면 체증이 발생하지 않는 상태로 판정할 수 있고, 산출하는 방법은 아래 식 (1)과 같다. 본 연구에서 설정한 교통체증지수는 0~∞ 사이의 값으로 산출되며, 지수 1을 기준으로 지수 값이 클수록 교통체증 발생한 것으로, 지수 값이 작을수록 교통체증이 발생하지 않아 흐름이 원활한 것으로 판정한다.

$$rci_i = \frac{LTT_i}{\left(\frac{3600 \times D_i}{CS_i}\right)} \tag{1}$$

- $rci_i$ :  $i$ 번째 링크의 교통체증지수
- $LTT_i$ :  $i$ 번째 링크의 통행 소요 시간
- $D_i$ :  $i$ 번째 링크의 연장(m)
- $CS_i$ :  $i$ 번째 링크의 제한속도에 80% 속도

본 연구의 분석단위는 서울시 집계구이기 때문에, 도로별로 산출된 교통체증지수를 분석단위에 부합하게 표준화할 필요가 있다. 단, 집계구 단위로 교통체증지수를 표준화할 경우 도로 정보가 분리되는 과정에서 일부 데이터가 소실될 우려가 있어서 도로가 분리되지 않는 자치구 수준으로 표준화를 진행하였다. 이때 서로 다른 도로의 연장 규모를 고려해 표준화하였다. 표준화 방식은 아래 식 (2)와 같다.

$$RCI_i = \frac{\sum_{i=1}^n rci_i \times D_i}{\sum_{i=1}^n D_i} \tag{2}$$

- $RCI_i$ :  $i$ 번째 자치구의 교통체증지수
- $rci_i$ :  $i$ 번째 링크의 교통체증지수
- $D_i$ :  $i$ 번째 링크의 연장(m)

4) 대기오염정보 및 기상정보

공공자전거 이용에 대기질과 기상여건이 영향을 줄 것으로 판단되며 특히, 국내 계절적 특성에 따라 공공자전거 이용 가능성이 달라질 수 있다. 가령, 상대적으로 활동성이 좋은 계절(여름~가을)에 공공자전거 이용 빈도가 높을 가능성이 있는 반면, 활동이 제한적인 계절(겨울)에는 공공자전거 이용이 다른 계절에 비해 저조할 가능성이 있어 이와 같은 계절적 특성을 적절히 통제할 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 기상정보를 변수화하기 위해 한국환경공단에서 제공하는 「대기오염측정자료」와 기상자료개방포털에서 제공하는 「기상정보」를 활용하였다. 「대기오염측정자료」는 전국 451개 측정소에서 대기오염물질(SO<sub>2</sub>·CO·O<sub>3</sub>·NO<sub>2</sub>·PM<sub>10</sub>·PM<sub>2.5</sub>)을 측정해 발표하는 자료이다. 서울시에서는 25개 도시대기측정소와 14개의 도로변 대기측정소가 설치되어 있다. 「기상정보」는 종관기상관측소(Automated Synoptic Observing System, ASOS)와 자동기상관측장비(Automatic Weather System, AWS)를 통해 매 시각 기온·강수량·풍속·풍향 등의 정보를 수집하여 발표하는 자료이다. 서울시에는 종관기상관측소와 자동기상관측장비가 총 28개소 설치·운영되고 있다.

두 자료 모두 관측장비가 정상적으로 동작하지 않거나 관측된 값이 전후 시점에 비해 비이상적인 경우 결측값(-999)으로 반환하는 특징이 있어 별도의 가공과정을 거쳐야 한다. 또한, 측정된 정보는 관측소 지점의 상태정보이기 때문에 관측되지 않은 특정 지점 또는 지역의 대기오염물질 농도나 기상여건이 인접한 관측소의 관측정보와 다를 수 있다. 따라서 자료를 분석에 활용하기 위해서는 보간법(Interpolation)을 활용해 미관측지점의 대기오염물질 농도나 기상정보를 추정해야 하지만, 매 시각 단위의 자료를 보간하는 것은 현실적으로 어렵기 때문에 자치구별 평균값을 산출해 분석단위인 집계구 정보에 결합(Matching)하는 방식으로 자료를 구축하였다.

2. 분석모형

본 연구의 목적은 연령별 생활인구와 공공자전거 이용과의 관

계를 실증적으로 분석하는 것이다. 이를 위해 시간대별 공공자전거 이용 및 생활인구 자료를 활용해 패널모형을 구축하였다. 패널모형은 동일한 개체를 시간에 따라 반복적으로 관측하기 때문에 정적(Static)인 연구에 적합한 횡단면 모형과 달리 변수 간의 동적(Dynamic)인 관계를 추정할 수 있다. 또한, 관찰되지 않은 이질성(unobserved heterogeneity)을 통제할 수 있는 장점이 있으며, 횡단면 모형과 시계열 모형에 비해 더 많은 자료를 기반으로 분석이 가능하기 때문에 효율적인 추정량(efficient estimator)을 획득할 수 있는 장점을 가진다. 본 연구에 활용된 실증분석 모형은 식 (3)과 같다.

$$U_{it} = \alpha + \beta_1 M_{it} + \beta_2 C_{it} + \beta_3 P_{it} + \beta_4 W_{it} + \eta_i + \omega_t + \epsilon_{it} \tag{3}$$

- $U_{it}$  =  $i$ 지역  $t$ 시점에 공공자전거 이용 빈도
- $M_{it}$  =  $i$ 지역  $t$ 시점에 생활인구수(연령별)
- $C_{it}$  =  $i$ 지역  $t$ 시점에 교통체증지수
- $P_{it}$  =  $i$ 지역  $t$ 시점에 미세먼지 및 초미세먼지 농도
- $W_{it}$  =  $i$ 지역  $t$ 시점에 기상정보(기온, 강수량, 풍속)
- $\eta_i$  =  $i$ 지역의 지역고정효과
- $\omega_t$  =  $t$ 시점의 시간고정효과
- $\epsilon_{it}$  =  $i$ 지역  $t$ 시점에 오차항

본 연구의 종속변수는 공공자전거의 이용 빈도이며, 주요관심 변수는 생활인구이다. 공공자전거 이용 빈도에 영향을 미치는 통제변수로는 교통체증지수, 미세먼지와 초미세먼지 농도, 기상정보(기온·강수량·풍속) 등을 활용하였다. 공공자전거의 이용 빈도는 지역 및 시간대별로 차이가 존재할 것으로 판단된다. 이는, 공공자전거 대여소의 공간적인 분포가 균일하지 않기도 하고, 서울시 관내 자전거 전용도로의 분포도 지역 간 차이가 나타나기 때문이다. 그뿐만 아니라, 시간대별로 공공자전거 이용 빈도가 다르기 때문에, 이에 대한 고정효과변수를 추가하여 고정효과(Fixed-effect) 패널모형을 구축하였다.

본 연구에서 활용된 변수를 요약하면 <표 1>과 같다. 본 연구의

Table 1. Variable list

Category	Variable	Unit	Data size (number of row)	Observations
Dependent variable	Public bicycle usage	Number of count	4,196,232	2,099,851
	The De Facto Population	Number of population	167,724,870	2,099,851
	RCI	Index	91,822,080	2,099,851
Independent Variable	PM <sub>10</sub>	µg/m <sup>3</sup>	341,640	2,083,854
	PM <sub>2.5</sub>	µg/m <sup>3</sup>		2,042,528
	Temperature	°C		2,092,112
	Precipitation	mm/hour	245,208	1,900,790
	Wind speed	m/secmm/hour		2,089,607

시간적 단위는 매시간(hourly)이며, 공간적 단위는 집계구이다. 구축된 변수 자료들은 집계구 정보와 시간을 기준으로 매칭시켰다. 이때 교통혼잡지수, 미세먼지(PM<sub>10</sub>), 초미세먼지(PM<sub>2.5</sub>), 기온, 강수량, 풍속 변수는 자치구 단위로 데이터를 구축하고, 자치구 소재 집계구에 할당하는 방식으로 분석 데이터셋을 구축하였다. 또한, 공간빅데이터를 활용하여 연구를 진행했기 때문에 실제로 분석에 활용된 데이터 샘플(sample) 수는 약 2백만 건 정도로 나타났지만, 이를 구축하기 위한 원데이터의 크기(row)는 데이터 샘플의 규모보다 훨씬 크다. 원데이터의 전처리 이전 크기(row)는 최대 1억 6,772만 건에 이르기 때문에 약 27.8GB의 저장소를 차지하였다. 가공이 완료된 데이터셋의 경우 통계분석패키지 STATA 15의 데이터 이미지(\*.dta) 기준으로 21.6GB의 저장소를 차지하기 때문에 RAM(Random Access Memory) 상주형 분석프로그램을 활용하거나 PC의 하드웨어(Hardware) 성능에 따라 분석이 제한적일 가능성이 있음을 밝혀둔다.

#### IV. 실증분석

##### 1. 기술통계 및 데이터 분석

###### 1) 기술통계

〈표 2〉는 연구에 활용된 변수들의 기술통계 결과를 보여준다. 대여소별 평균 1시간에 2.2대의 이용이 이루어지는 것으로 나타났으며, 최대 89건도 이루어지는 것으로 나타났다.

각 대여소가 속한 집계구의 시간당 생활인구는 20세 미만은 213명, 20~39세는 1,145명, 40~59세는 843명, 60세 이상은 456명으로 나타났다. 교통체증지수(RCI)는 1.8로 나타났으며, 미세먼지 평균 농도는 44.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 초미세먼지 농도는 22.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 나

Table 2. Summary of descriptive statistics

Variable	Mean	S.D	Min	Max
Public bicycle usage	2.2	2.2	1.0	89.0
De Facto Population under 20 years	213.5	426.9	0.0	26,730.0
De Facto Population 20~39 years	1,145.0	3,076.9	0.0	37,678.0
De Facto Population 40~59 years	843.9	2,204.5	0.0	26,898.0
De Facto Population older than 60 years	456.9	935.1	0.0	34,602.0
RCI	1.8	0.4	0.0	4.5
PM <sub>10</sub>	44.2	26.5	1.0	423.0
PM <sub>2.5</sub>	22.4	15.4	1.0	164.0
Temperature	16.9	9.7	-17.0	36.4
Precipitation	0.03	0.5	0.0	50.5
Wind speed	1.9	1.1	0.0	11.0

타났다. 기온은 평균 16.9도, 강수량은 0.03mm/hour, 풍속은 2.2m/sec로 나타났다.

###### 2) 변인들의 탐색적 분석

패널분석을 시행하기 전에 분석에 활용된 각 자료의 현황을 자세히 살펴보았다. 〈그림 1〉은 연평균 수준의 생활인구 자료의 공간적인 분포를 나타낸다. 연령대별로 생활인구의 분포는 서로 다르게 나타나고 있음을 확인할 수 있다. 이를 공공자전거 이용 빈도와 중첩해서 살펴보았을 때 대체로 연령대별로 분포가 높은 지역에서 공공자전거의 이용량이 높게 나타나는 경향을 확인할 수 있었다. 다만, 지도상으로는 생활인구와 공공자전거와의 관계를 명확히 확인하기가 힘든데, 이는 자료의 공간 단위가 생활인구는 집계구인 반면, 따릉이 대여소 정보는 점(Point)의 형태로 다르기 때문에 정교한 통계분석을 통해 관계성을 명확히 규명할 필요가 있을 것으로 여겨진다.

〈그림 2〉에서는 2017년 연간 공공자전거의 이용 빈도와 생활인구의 패턴이 어떻게 변하는지를 시계열적으로 살펴본 그래프이다. 왼쪽 그림에서 나타난 것처럼 봄(5월)과 가을(9월)에 공공자전거의 이용 빈도가 대체로 높은 것을 확인할 수 있었는데, 이를 통해 공공자전거의 이용은 계절적인 요인에 크게 영향을 받을 수 있다. 생활인구 패턴은 1월부터 4월까지 지역별로 편차가 큰 반면, 5월 이후부터는 편차가 일정함을 알 수 있다. 이에 대한 정확한 원인은 파악하기가 쉽지 않지만, 생활인구 역시 연간 패턴에 차이가 존재함을 알 수 있다.

〈그림 3〉에서 나타난 것처럼 공공자전거 이용과 생활인구의 연간 분포패턴의 차이는 지역별로도 차이가 나타나는 것을 확인할 수 있었는데, 마포구는 공공자전거 이용 빈도가 가장 높게 나타났으며, 중랑구는 가장 낮은 분포를 보였다. 생활인구의 분포는 중구에서 가장 높게 나타났으며, 양천구에서 가장 낮게 나타났다.

〈그림 4〉는 공공자전거 이용과 생활인구의 요일별 패턴을 나타낸다. 공공자전거 이용 빈도가 높았던 마포구에서는 주중보다 주말 이용 빈도가 평균적으로 높게 나타나고 있음을 알 수 있다. 반면, 중구의 생활인구는 주중에 높게 나타나며, 주말에는 낮게 나타남을 알 수 있다. 이는 중구가 도심에 위치하기 때문에 경제활동인구가 주중에 많이 분포하기 때문으로 판단된다.

마지막으로 〈그림 5〉에서처럼 공공자전거 이용과 생활인구 사이에는 시간대별로 차이가 존재했는데, 공공자전거 이용 빈도는 하루 중 퇴근시간인 오후 6시가 가장 이용량이 많았으며, 출근시간인 오전 7시에도 다른 오전 시간대에 비해 이용량이 급격히 증가함을 알 수 있다. 아마도, 통근을 위해 공공자전거를 이용하는 사람이 많이 존재하기 때문으로 여겨진다. 반면, 생활인구는 하루 중 낮 시간대에 가장 많이 분포하는데, 대부분 지역에서 유사한 패턴을 보였다. 이를 통해 생활인구 자료의 편차는 경제활동인구에 의해 크게 나타남을 확인할 수 있었다.

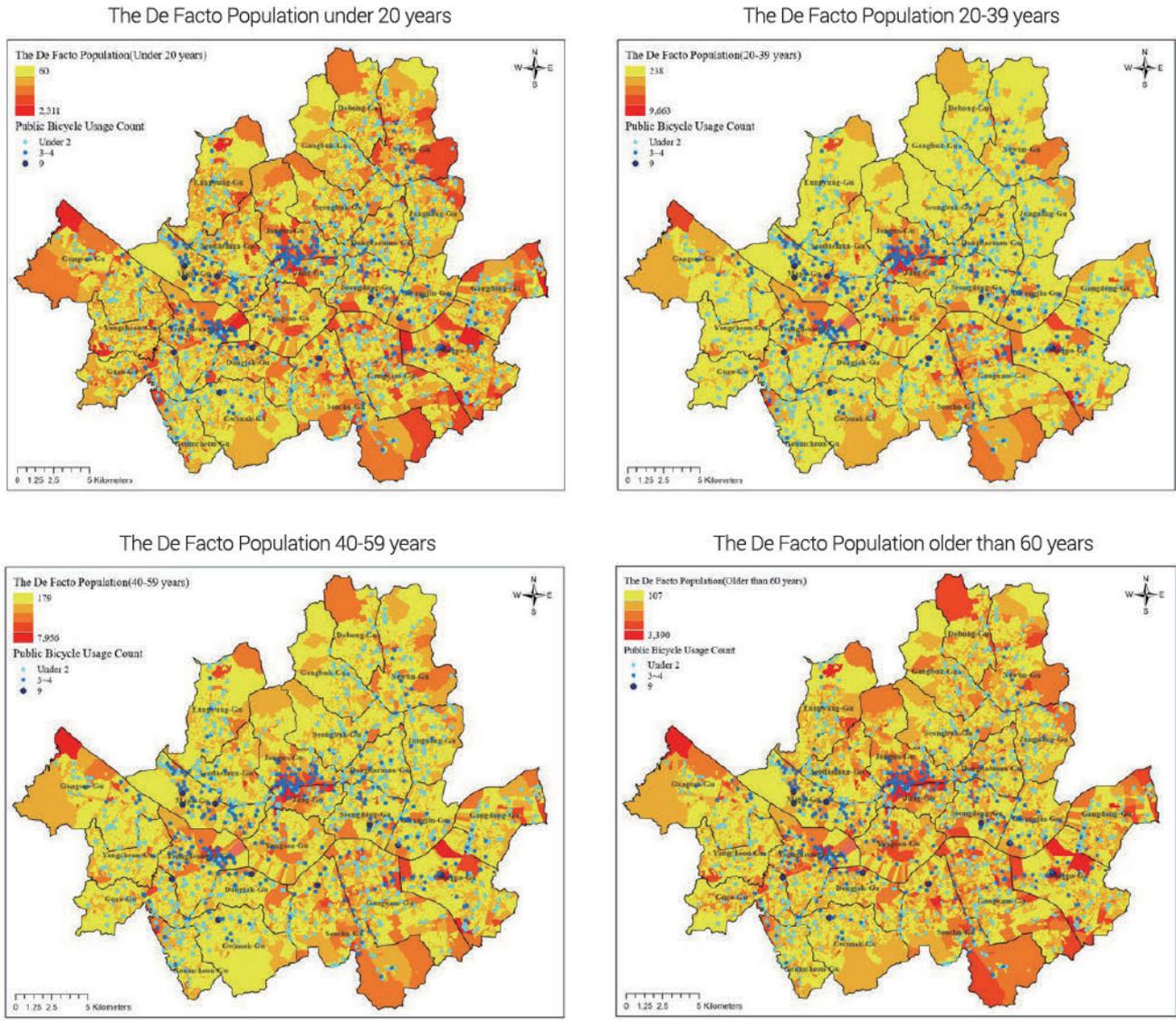


Figure 1. The De Facto Population distribution by age map

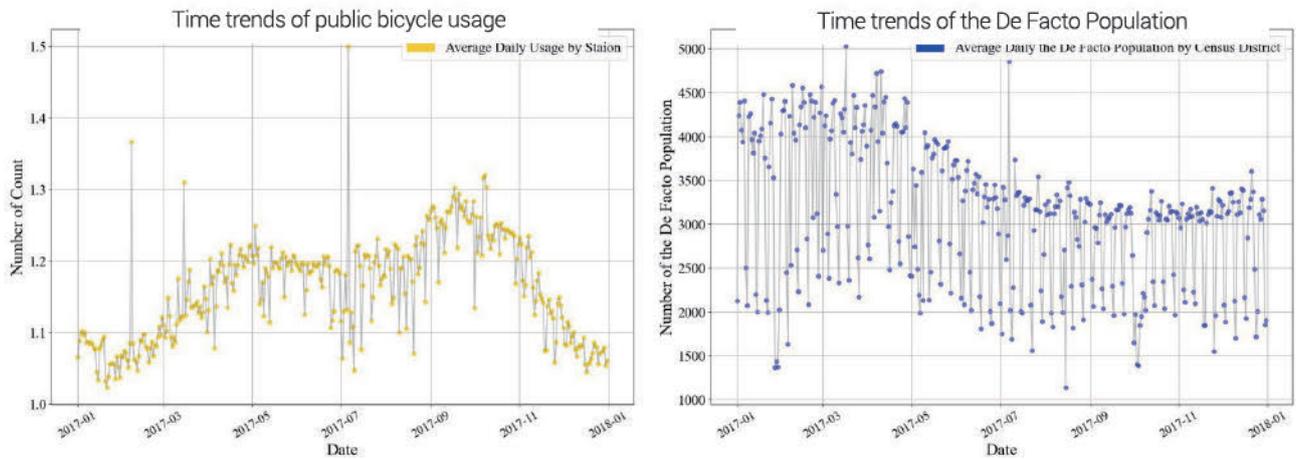


Figure 2. Time trends of public bicycle usage, the De Facto Population

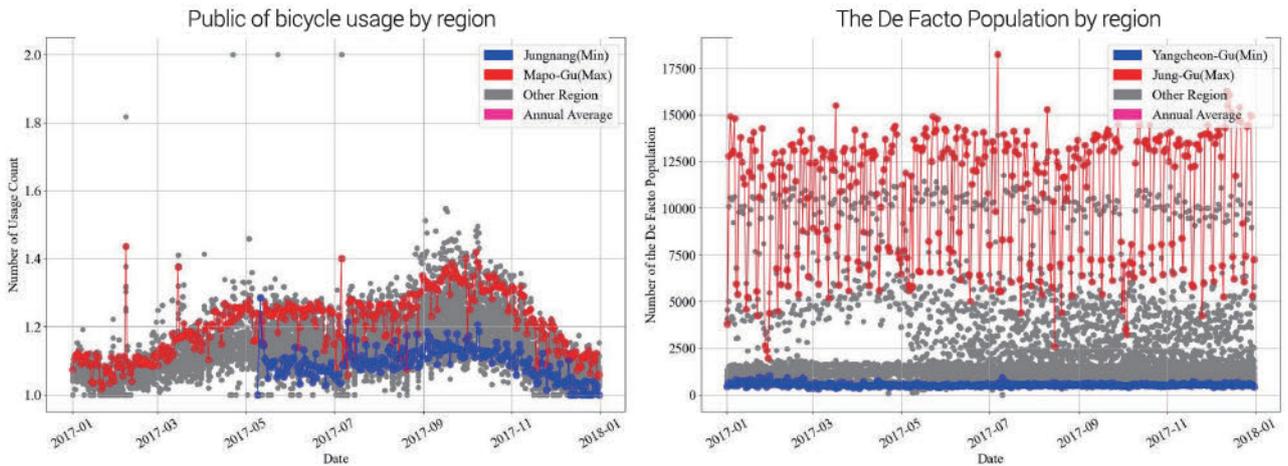


Figure 3. Time trends of public bicycle usage, the De Facto Population by region

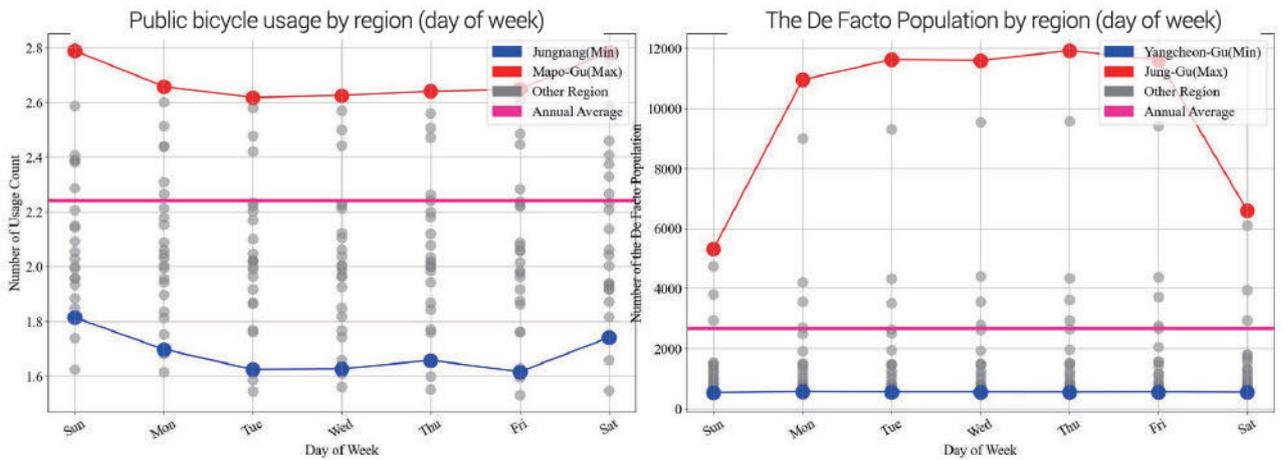


Figure 4. Time trends of public bicycle usage, the De Facto Population by region and day of week

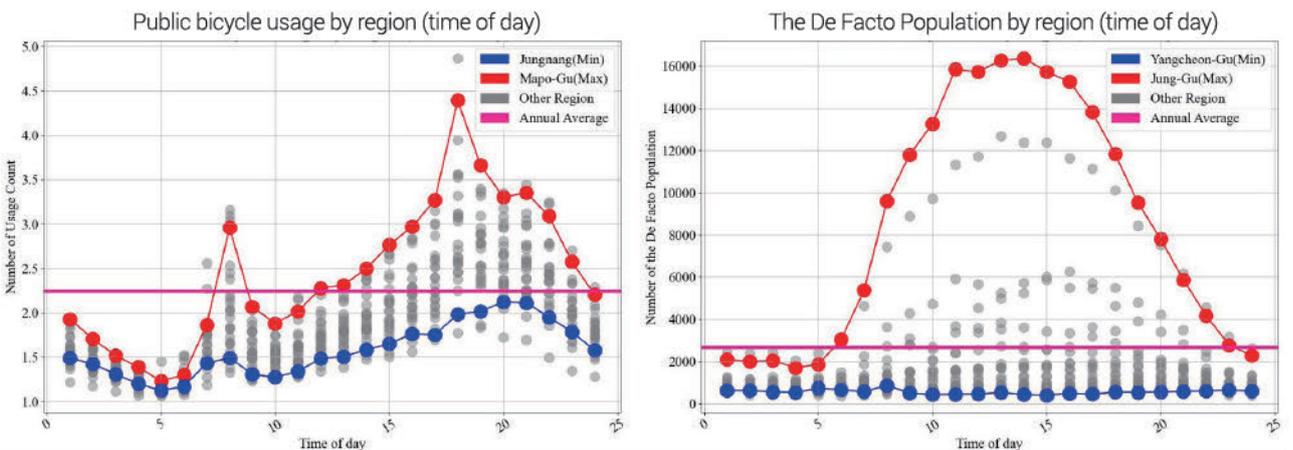


Figure 5. Time trends of public bicycle usage, the De Facto Population by region and time of day

## 2. 패널모형 분석 결과

### 1) 공공자전거 이용 모형

〈표 3〉은 공공자전거 이용 빈도에 미세먼지 정보를 포함한 패널모형 분석결과이다. 모형의 안정성과 계수추정의 정확성을 높

이기 위해 모형을 1에서 4로 순차적으로 구성하였다. 모형1-1은 생활인구 변수만을 활용한 지역별 고정효과모형이며, 모형1-2는 교통체증지수 변수를 추가한 모형, 모형1-3은 나머지 통제변수들을 모두 추가한 모형, 모형1-4는 시간과 요일 고정효과를 추가한 모형을 의미한다. 모형이 1-4로 갈수록 설명력이 높아지는 것

으로 보아, 모든 통제변수뿐만 아니라 시간과 요일에 대한 고정 효과를 고려한 모형이 가장 공공자전거 이용 빈도를 잘 설명하는 것으로 여겨진다. 모형 1-4에서 활용된 샘플 수는 1,878,377개로 나타났다. 모형 1-3에 비해 모형 1-4에서 설명력이 개선된 이유는 <그림 4>와 <그림 5>와 같이 공공자전거 이용 빈도는 주중에 높게 나타나며, 하루 중에는 오후 시간에 높아 특정 시간에 공공자전거 이용 빈도가 변화하는 효과가 작용하고 있을 것으로 보인다. 이를 고정효과로 분석 모형에 반영하였기 때문에 설명력이 개선된 것으로 여겨진다. 이와 같은 분석 결과는 모형 2-3과 2-4의 차이에서도 동일하게 나타났다.

모형 1-4를 중심으로 결과를 해석하면, 관심 변수인 생활인구 변수는 모두 통계적으로 유의하였으며, 장년층인 40~59세의 생활인구의 분포만 자전거 이용 빈도와 음의 관계를 나타냈고, 청소년인 20세 미만, 청년층인 20~39세, 노년층인 60세 이상의 생활인구는 양의 관계를 나타냈다. 즉, 장년층의 증가는 따름이 이용 빈도에 부정적인 영향을 미치는 반면, 나머지 생활인구의 증가는 따름이 이용을 증가시키는 것으로 설명할 수 있다. 그 이유는 아마도 장년층보다 시간적 여유가 많은 청소년·청년·노년층이 공공자전거를 더욱 많이 이용하고 있기 때문으로 판단된다. 이는 장년층이 많이 분포하고 있는 지역이 아닌, 장년층 이외의 생활인구가 많이 분포하고 있는 지역을 중심으로 따름이의 보급이 필요함을 의미한다.

통제변수를 해석하면, 교통체증이 증가하면 공공자전거의 이

용 빈도는 증가하는 것으로 나타났다. 즉, 교통체증을 피하기 위해 공공자전거를 이용하는 이용자가 존재함을 의미하기 때문에 교통체증이 심각한 지역을 중심으로도 공공자전거의 배치가 필요함을 의미한다. 미세먼지 농도증가는 공공자전거의 이용을 감소시키는 것으로 나타났으며, 강수량이 높을수록, 풍속이 강할수록 공공자전거 이용은 감소하는 것으로 나타났다. 반면, 기온이 높을수록 공공자전거 이용 빈도는 증가하는 것으로 나타났다.

미세먼지와 초미세먼지 농도는 공공자전거 이용에 서로 다른 영향을 줄 가능성이 있기 때문에 본 연구에서는 <표 3>의 모형과 동일한 모형을 미세먼지 농도변수만 초미세먼지 농도변수로 대체하여 수행하였다. 이렇게 모형을 따로 구성한 이유는 미세먼지와 초미세먼지 농도는 상관성이 높게 나타나기 때문이다. <표 4>는 공공자전거 이용 빈도에 초미세먼지 농도를 포함한 패널분석 결과이며, 초미세먼지 농도의 증가는 미세먼지와 유사하게 공공자전거 이용을 감소시키는 것으로 나타났다. 구체적으로 보면, 초미세먼지 농도가 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  증가하면, 따름이 이용 빈도는 대역소별로 평균적으로 0.07건 감소하는 것으로 나타났다.

2) 미세먼지 농도별 모형

공공자전거 이용은 대중교통 활성화를 위해 장려되어야 하는 정책이지만, 안타깝게도 미세먼지와 같이 대기오염이 심한 날에는 이용 빈도가 감소할 수밖에 없다. 본 연구는 과연 미세먼지 및 초미세먼지 농도가 심한 날과 좋은 날의 생활인구가 공공자전거

Table 3. Empirical results of public bicycle usage panel model (with PM<sub>10</sub>)

Variables	Model 1-1	Model 1-2	Model 1-3	Model 1-4
De Facto Population under 20 years	0.0004***	0.0004***	0.0004***	0.0004***
De Facto Population 20~39 years	0.0003***	0.0003***	0.0003***	0.0003***
De Facto Population 40~59 years	-0.0004***	-0.0004***	-0.0005***	-0.0003***
De Facto Population older than 60 years	0.000002	-0.0001***	-0.00003***	0.0001***
RCI	-	1.0159***	0.9036***	0.2642***
PM <sub>10</sub>	-	-	-0.0022***	-0.0024***
Temperature	-	-	0.0365***	0.0368***
Precipitation	-	-	-0.1503***	-0.1411***
Wind speed	-	-	-0.0011	-0.0060***
Constant	2.1053***	0.3299***	0.0186*	0.7397***
Fixed effect	Region	Yes	Yes	Yes
	Day of the week	No	No	No
	Time	No	No	No
R2 (within)	0.011	0.037	0.068	0.112
n	2,099,851	2,099,851	1,878,377	1,878,377
P>F	0.000	0.000	0.000	0.000

\*p<0.05, \*\*p<0.01, \*\*\*p<0.001

**Table 4.** Empirical results of public bicycle usage panel model (with PM<sub>2.5</sub>)

Variables		Model 2-1	Model 2-2	Model 2-3	Model 2-4
De Facto Population under 20 years		0.0004***	0.0004***	0.0004***	0.0003***
De Facto Population 20~39 years		0.0003***	0.0003***	0.0003***	0.0002***
De Facto Population 40~59 years		-0.0004***	-0.0004***	-0.0005***	-0.0003***
De Facto Population older than 60 years		0.000002***	-0.0001***	-0.00003***	0.0001***
RCI		-	1.0159***	0.9035***	0.2575***
PM <sub>2.5</sub>		-	-	-0.0058***	-0.0068***
Temperature		-	-	0.0359***	0.0360***
Precipitation		-	-	-0.1500***	-0.1409***
Wind speed		-	-	-0.0118***	-0.0194***
Constant		2.1053***	0.3299***	0.0791***	0.8306***
Fixed effect	Region	Yes	Yes	Yes	Yes
	Day of the week	No	No	No	Yes
	Time	No	No	No	Yes
R2 (within)		0.011	0.037	0.069	0.113
n		2,099,851	2,099,851	1,841,116	1,841,116
P>F		0.000	0.000	0.000	0.000

\*p<0.05, \*\*p<0.01, \*\*\*p<0.001

이용 빈도에 어떤 영향을 주는지에 대해서 실증적으로 분석해보고자 하였다. <표 5>는 미세먼지와 초미세먼지 농도의 판정이 각각 “나쁨(PM<sub>10</sub>≥80, PM<sub>2.5</sub>≥30)”일 때와 “좋음(PM<sub>10</sub>≤35,

PM<sub>2.5</sub>≤15)”일 때<sup>3)</sup>의 샘플만을 대상으로 분석한 결과를 정리한 표이다. 앞에서 시간과 요일 고정효과를 활용한 모형이 설명력이 좋았기 때문에 이를 동일하게 분석에 적용하였다.

**Table 5.** Empirical results of PM<sub>10</sub> & PM<sub>2.5</sub> daily average level panel model

Variables		Model 3-1 PM <sub>10</sub> ≤ 35	Model 3-2 PM <sub>10</sub> ≥ 80	Model 3-3 PM <sub>2.5</sub> ≤ 15	Model 3-4 PM <sub>2.5</sub> ≥ 30
De Facto Population under 20 years		0.0005***	0.0004***	0.0005***	0.0004***
De Facto Population 20~39 years		0.0003***	0.0001***	0.0003***	0.0002***
De Facto Population 40~59 years		-0.0004***	-0.0002***	-0.0004***	-0.0002***
De Facto Population older than 60 years		0.0006***	-0.00004	-0.0001**	0.00004***
RCI		0.1234***	0.4655	0.1870***	0.2239***
PM <sub>10</sub>		-0.0019***	-0.0021***	-	-
PM <sub>2.5</sub>		-	-	-0.0029***	-0.0041***
Temperature		0.0176***	0.0546***	0.0278***	0.0383***
Precipitation		-0.1245***	-0.7987***	-0.1209***	-0.0789***
Wind speed		-0.0043	0.0413***	-0.0264***	0.0285***
Constant		1.2289***	0.3299***	0.8405***	0.8480***
Fixed effect	Region	Yes	Yes	Yes	Yes
	Day of the week	Yes	Yes	Yes	Yes
	Time	Yes	Yes	Yes	Yes
R2 (within)		0.100	0.108	0.108	0.110
n		593,761	77,852	603,777	246,479
P>F		0.000	0.000	0.000	0.000

\*p<0.05, \*\*p<0.01, \*\*\*p<0.001

분석 결과, 생활인구가 공공자전거 이용에 미치는 영향은 미세먼지 농도가 좋음일 때와 나쁨일 때에 큰 차이를 보이는 것으로 나타났다. 미세먼지와 초미세먼지 농도가 좋음일 때보다 나쁨일 때 생활인구가 공공자전거 이용 빈도에 미치는 영향은 절반 정도로 감소하는 것으로 나타났다. 다만, 20세 미만의 청소년 연령층은 미세먼지 농도에 의한 효과 차이가 매우 작게 나타났다. 즉, 20대 미만의 생활인구는 미세먼지 농도가 심하더라도 공공자전거 이용 빈도가 크게 감소하지 않을 것으로 예상할 수 있다. 흥미로운 사실은 60대 이상의 연령층은 미세먼지 농도가 나쁨일 때 공공자전거 이용 빈도에 미치는 영향이 유의하지 않았다. 즉, 연령이 낮을수록 공공자전거 이용 시 미세먼지에 대한 영향력이 낮고, 연령이 증가할수록 그 영향력이 크게 나타남을 알 수 있다. 그 이유는 아마도, 일반적으로 노년층의 신체 능력이 다른 연령층에 비해 약하고, 대기질에 따라 공공자전거 이용을 회피할 가능성이 다른 연령층에 비해 높기 때문으로 판단된다.

3) 주중/주말 모형

〈그림 4〉에서도 설명했듯이, 서울시 공공자전거 이용은 주중과 주말에 차이가 존재하며, 생활인구의 패턴도 주중과 주말에 따라 다르게 나타난다. 이에 본 연구는 주중과 주말을 구분하여 생활인구가 공공자전거 이용 빈도에 미치는 영향을 분석하였다.

〈표 6〉에서 나타난 것처럼, 모든 연령층에 있어 생활인구와 공공자전거와의 관계는 효과성 측면에서 봤을 때 양(+)의 효과가 동일하게 나타나지만, 영향력 측면에서 주중과 주말에 생활인구와 공공자전거와의 관계가 다르게 나타났다. 즉, 청소년(20세 미만)과 청년(20~39세)의 생활인구 분포는 주중보다 주말에 공공자전거 이용 빈도를 1.5~2.0배 정도 증가시키는 것으로 나타났지만, 노년층(60세 이상)은 주중보다 주말 자전거 이용 빈도에 15~20배 정도 더 큰 영향을 주는 것으로 나타났다. 계층별로 시간에 따른 활동 범위를 자세히 파악함과 동시에 생활인구의 분포에 대한 정밀한 분석이 뒤따라야 정확한 원인 파악이 가능하겠지만, 아마도 노년층의 주말 여가활동의 증가 때문일 것으로 판단된다.

주중과 주말의 영향력은 통제변수에서도 차이를 보였다. 예를 들어, 미세먼지와 초미세먼지 농도의 영향력은 주말보다 주중에 더 강하게 나타났다. 즉, 미세먼지 농도가 심할수록 공공자전거 이용 빈도의 감소는 주말보다 주중에 더 많이 줄어드는 것으로 나타났다. 이는, 주중 통근에 활용하는 공공자전거 이용 빈도보다 주말 여가활동을 위한 공공자전거 이용량이 더 크기 때문인 것으로 판단된다. 미세먼지 농도변수와 마찬가지로, 기온과 풍속도 주말과 주중 공공자전거 이용량에 다른 영향을 미치는 것으로 나타났다으며, 주중에비해 주말에는 제약이 심하더라도 이용량에 큰 영향을 주지 않는 것으로 나타났다. 이러한 결과는, 공공자전거

Table 6. Empirical results of weekdays & weekend panel model

Variables	Weekdays		Weekend	
	Model 4-1 (PM <sub>10</sub> )	Model 4-2 (PM <sub>2.5</sub> )	Model 4-3 (PM <sub>10</sub> )	Model 4-4 (PM <sub>2.5</sub> )
De Facto Population under 20 years	0.0002***	0.0002***	0.0003***	0.0003***
De Facto Population 20~39 years	0.0002***	0.0002***	0.0004***	0.0004***
De Facto Population 40~59 years	-0.0002***	-0.0002***	-0.0006***	-0.0006***
De Facto Population older than 60 years	0.00003***	0.00004***	0.0002**	0.0002***
RCI	0.1597	0.1284***	0.1850***	0.1582***
PM <sub>10</sub>	-0.0024***		-0.0015***	
PM <sub>2.5</sub>		-0.0071***		-0.0053***
Temperature	0.0360***	0.0352***	0.0424***	0.0410***
Precipitation	-0.1384***	-0.1378***	-0.1353***	-0.1354***
Wind speed	-0.0267***	-0.0386***	0.0338***	0.0193***
Constant	0.8700***	0.9925***	1.6155***	1.7082***
Fixed effect	Region	Yes	Yes	Yes
	Day of the week	Yes	Yes	Yes
	Time	Yes	Yes	Yes
R2 (within)	0.140	0.142	0.110	0.110
n	1,302,153	1,270,627	576,224	570,489
P>F	0.000	0.000	0.000	0.000

\*p<0.05, \*\*p<0.01, \*\*\*p<0.001

의 활용이 통근·통학에도 많이 활용되지만, 주말 여가활동에 많이 활용되고 있음을 의미한다. 따라서 여가활동 목적으로서의 공유자전거에 대한 정책적인 배려 역시 필요함을 시사한다.

## V. 결론 및 시사점

최근 들어 공유경제에 대한 이슈가 화두이다. 서울시의 대표적인 공유경제를 실현한 사업인 따릉이는 많은 사람들에게 다양한 혜택을 제공하며 서울시의 중요한 교통시설 및 여가시설로 자리잡아가고 있다. 하지만, 여전히 서울시 공공자전거는 지역적으로 고르게 분포하지 못하고, 특정 지역에 집중되는 현상이 나타나고 있기 때문에 공공자전거의 신규 설치 및 확충이 필요한 실정이다. 하지만, 어떤 이용자가 이를 많이 이용하는지, 그 목적은 무엇이고, 어느 지역에서 어느 시간대에 주로 이용하는지에 대한 정보가 부재한 상황이다.

이에, 본 연구는 최근 들어 개방되고 있는 생활인구 빅데이터를 활용하여 사람들의 공간적인 분포가 공공자전거 이용량에 어떠한 영향을 주는지를 실증적으로 분석하고자 하였다. 연구를 위해 2017년 서울시 전역 시간대별 공공자전거(따릉이) 이용 빈도와 생활인구 데이터, 교통 및 대기환경에 관한 빅데이터 자료를 활용해 고정효과 패널모형을 구축하여 실증분석을 진행하였다.

연구의 결과를 요약하면 다음과 같다. 첫째, 생활인구의 분포는 서울시 공공자전거 이용과 밀접한 상관관계가 있다. 특히, 연령별로 그 영향력이 서로 다르게 나타났다. 예를 들어, 장년층(40~59세)의 생활인구 증가는 따릉이 이용 빈도에 부정적인 영향을 미치는 반면, 청소년·청년·노년층의 생활인구 증가는 긍정적인 영향을 미치는 것으로 나타났다. 그 이유는 아마도 장년층보다 시간적 여유가 많은 청소년, 청년, 노년층이 공공자전거를 더욱 많이 이용하고 있기 때문으로 판단된다.

둘째, 생활인구가 공공자전거 이용 빈도에 미치는 영향은 미세먼지 농도와 관련이 있었다. 즉, 미세먼지 농도 판정이 좋음일 때와 나쁨일 때 생활인구와 공공자전거와의 관계에는 큰 차이가 나타났다. 예를 들어, 미세먼지와 초미세먼지 농도가 좋음일 때보다 나쁨일 때 생활인구가 공공자전거 이용 빈도에 미치는 영향은 절반 정도로 감소하는 것으로 나타났다. 다만, 20세 미만의 청소년들 사이에서는 그 효과의 차이가 매우 작게 나타났고, 60세 이상의 노년층에게는 크게 나타났다. 즉, 미세먼지는 청소년들의 공공자전거 이용에 큰 영향을 주지 않는 반면, 노년층의 이용 빈도는 크게 감소하는 것으로 나타났다.

셋째, 생활인구와 공공자전거 이용 빈도 사이에는 주말과 주중에 큰 차이를 보였다. 예를 들어, 청소년(20세 미만)과 청년(20~39세)의 생활인구 분포는 주중보다 주말에 공공자전거 이용 빈도를 1.5~2배 정도 증가시키는 것으로 나타났지만, 노년층(60세 이상) 생활인구 분포는 주중보다 주말에 공공자전거 이용 빈도

를 15~20배 정도 더 증가시키는 영향력의 차이가 발생하는 것으로 나타났다.

넷째, 공공자전거 이용 빈도에 영향을 미치는 요인은 생활인구 이외에도, 교통체증, 미세먼지, 시간, 요일, 날씨 등으로 나타났다. 이는 공공자전거의 이용을 늘리기 위해 다양한 영향요인을 고려할 필요가 있음을 실증적으로 보여준다.

본 연구의 결과는 다음과 같은 정책적 시사점을 제시한다. 첫째, 서울시 공공자전거의 이용률을 증가시키기 위해서는 시간과 요일, 장소 등 미시적으로 복잡·다양하게 변화하는 도시 활동을 고려한 연령대별 공간분포를 고려할 필요가 있다. 즉, 공공자전거 이용 빈도는 연령대별로 다르게 나타나고, 이러한 이용 빈도는 청년과 노년층을 비롯한 다양한 계층에서 시간대별, 주중 주말, 미세먼지 농도의 심각 정도에 따라서 다르게 나타난다. 따라서 보다 많은 사람이 공공자전거를 이용하기 위해서는 자전거 대여소의 재배치와 신규 설치가 필요하며, 실제 사람들의 공간적인 분포를 고려해야 한다. 이를 위해서는 생활인구 자료를 활용해서 연령대별, 시간별, 장소별 사람들의 활동 패턴을 파악한 후 정책에 반영할 필요가 있다.

둘째, 공공자전거의 목적별 이용 패턴에 관한 배려가 필요하다. 즉, 공공자전거는 통근·통학에 이용되는 비중이 높기도 하지만, 주말에 여가활동에 이용되는 경향이 높기도 하며, 이러한 패턴은 앞으로 더욱 가속화될 것으로 여겨진다. 이는 도시공간 내에서 사람들의 여가에 대한 수요가 점차 증가하는 현시점에서 공공자전거의 이용은 더욱 증가할 수 있을 것으로 예상되기 때문이다. 따라서 공공자전거의 확대 방안을 고려할 때 사람들의 목적별 이용에 대한 고려가 앞으로 더욱 중요할 것으로 여겨지며, 주말에 활동이 집중되는 지역적인 수요에 적절히 대응하도록 Dock-less 대여소, 간이 대여소 시스템 등을 고려할 필요가 있다.

셋째, 대기질이 나쁠 때 공공자전거 이용 빈도가 낮아 교통 및 환경 부하 저감 역할 수행이 원활하지 못할 가능성이 존재한다. 즉, 교통량을 분산시키는 공공자전거의 효과가 미세먼지가 심한 날에는 낮아지고, 교통체증은 더욱 심해질 수도 있다고 할 수 있다. 따라서 이와 같은 특성을 함께 고려한 보완적인 교통수요 정책을 마련할 필요가 있다.

본 연구는 생활인구 데이터와 같이 매시간 단위로 변화하는 인구 정보를 분석에 활용함으로써 시간 및 요일 등 미시적으로 복잡·다양하게 변화하는 도시 상황을 고려한 분석이 이루어졌다는 점에서 의의가 있다. 분석을 통해 밝힌 다양한 결과와 시사점에 도 불구하고, 본 연구는 몇 가지 한계점을 가진다. 첫째, 본 연구에서 활용한 공공자전거 이용 빈도 데이터는 연령별로 구분되지 않은 이용 총량 정보이기 때문에 연령별 생활인구의 증감이 특정 연령별 공공자전거 이용 빈도의 증감으로 연결되는지 파악하기 어렵다. 따라서 공공자전거 이용 빈도 정보를 연령별로 세분화하여 분석하는 후속 연구가 진행될 필요가 있다.

둘째, 본 연구에서는 2017년 1년간의 자료만을 활용하여 서울시 공공자전거와 생활인구와의 관계를 분석하였다. 하지만, 사람들의 생활 방식은 지속해서 변하기 때문에 보다 장기간의 연구를 통해 생활인구의 공간적 패턴과 공공자전거와의 관계를 연구할 필요가 있다.

셋째, 본 연구에서 활용한 변수는 제한적이다. 가장 큰 이유는 본 연구의 분석단위가 시간별이기 때문이다. 시간대별 자료를 활용하면, 실시간으로 변화하는 사람들의 이동 패턴과 날씨 변화에 대한 영향력을 보다 정확히 추정할 수 있다. 하지만, 그로 인해 활용할 수 있는 변수에 제약이 생긴다. 이는 시간대별로 축적되고 있는 자료가 많지 않기 때문이다. 향후에는 보다 다양한 공간빅 데이터를 활용하여 연구를 진행할 필요가 있을 것으로 판단되며, 자료가 부족하면, 모형의 개선을 통해서 연구를 진행하는 방법도 고려할 필요가 있다. 향후에는 공공자전거의 확대를 위한 정책적인 연구를 위해 생활인구뿐만 아니라 다양한 공간빅데이터를 활용한 연구가 진행되기를 희망한다.

- 주1. 서울시청 자전거정책과 발표자료(2020년 4월 8일)를 인용함.
- 주2. 생활인구데이터 생산·발표 주체인 서울시(서울 열린데이터 광장: "https://data.seoul.go.kr/")가 정의한 개념임.
- 주3. 서울 열린데이터 광장의 서울생활인구 통계자료를 활용함(https://data.seoul.go.kr/).
- 주4. 센서스(Census)를 목적으로 인구 및 사업체 조사의 최소단위구역을 의미하며, 인구를 비롯해 도로·하천·철도·산능성 등과 같은 준항구적인 지형 지물을 이용한 구획임.
- 주5. 미세먼지와 초미세먼지 농도의 좋음과 나쁨의 판정 기준은 「환경정책기본법 시행령」 제2조에서 규정하고 있는 대기환경기준으로 삼음.

인용문헌  
References

1. 김동준·신희철·정경옥·오수보, 2010. "자전거 이용환경이 자전거 통학에 미치는 영향", 「교통연구」, 17(2): 83-95.  
Kim, D.J., Shin, H.C., Jeong, G.O., and Oh, S.B., 2010. "Study on the Impact of Bicycle Environment on School Commute", *Journal of Transport Research*, 17(2): 83-95.
2. 김동준·신희철·박준식·임형준, 2012. "날씨가 자전거 이용에 미치는 영향 분석 -고양시 공공자전거를 대상으로", 「교통연구」, 19(3): 77-88.  
Kim, D.J., Shin, H.C., Park, J.S., and Im, H.J., 2012. "The Impact of Weather on Bicycle Usage -Focus on Usage of Bike-sharing System in Goyang", *Journal of Transport Research*, 19(3): 77-88.
3. 김하경·김승인, 2018. "국내 공공자전거 발전 방향에 관한 연구 -파릉이와 누비자를 중심으로", 「디지털융복합연구」, 16(8): 263-267.  
Kim, H.K. and Kim, S.I., 2018. "A Study on the Direction of

Public Bicycle Development in Korea -Focused on Ttareungyi and Nuviza", *Journal of Digital Convergence*, 16(8): 263-267.

4. 복기찬·이승준·최윤혁·강정규·이승환, 2009. "고속도로 소통상 태지수 개발에 관한 연구", 「대한교통학회지」, 27(5): 85-95.  
Bok, G.C., Lee, S.J., Choi, Y.H., Kang, J.G., and Lee, S.H., 2009. "Development of a Traffic Condition Index (TCI) on Expressways", *Journal of Korean Society of Transportation*, 27(5): 85-95.
5. 사경은·이수기, 2018. "서울시 공공자전거 이용에 영향을 미치는 물리적 환경 요인 분석 -대여소별 거리에 따른 요인의 영향력 차이를 중심으로", 「국토계획」, 53(6): 39-59.  
Sa, K.E. and Lee, S.G., 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*, 53(6): 39-59.
6. 원동혁·이경환, 2012. "지역주민들의 자전거이용에 영향을 미치는 근린환경 요인분석 -창원시를 대상으로", 「대한건축학회논문집-계획계」, 28(12): 323-329.  
Won, D.H. and Lee, K.H., 2012. "Effect of Neighborhood Environment on Residents Bicycle Use in Changwon", *Journal of The Architectural Institute of Korea Planning & Design*, 28(12): 323-329.
7. 윤승용·민경훈·고하정, 2020. "서울시 공공자전거 공유시스템 (PBSS)의 시공간적 이용 패턴 분석 -서울시 여의도동을 중심으로", 「한국조경학회지」, 48(1): 1-14.  
Yun, S.Y., Min, K.H., and Ko, H.J., 2020. "Spatio-Temporal Patterns of a Public Bike Sharing System in Seoul -Focusing on Yeouido District", *Journal of The Korean Institute of Landscape Architecture*, 48(1): 1-14.
8. 이장호·정경옥·신희철, 2016. "기상조건과 입지특성이 공공자전거 이용에 미치는 영향 분석", 「대한교통학회지」, 34(5): 394-408.  
Lee, J.H., Jeong, G.O., and Shin, H.C., 2016. "Impact Analysis of Weather Condition and Locational Characteristics on the Usage of Public Bike Sharing System", *Journal of Korean Society of Transportation*, 34(5): 394-408.
9. 이재영, 2010. "통근시간대 자전거 이용자의 이용행태특성 및 경로선택 영향요인 분석", 「대한교통학회지」, 28(5): 77-87.  
Lee, J.Y., 2010. "Bicyclists' Behavioral Characteristics and Impacts on Route Choice Using Stated Preference Survey in Commuting Time", *Journal of Korean Society of Transportation*, 28(5): 77-87.
10. 이재영·박진희·임윤택, 2012. "도시특성에 따른 공공자전거 이용특성 및 정책방향 연구", 「국토계획」, 47(3): 295-308.  
Lee, J.Y., Park, J.H., and Leem, Y.T., 2012. "Characteristics and Strategic Lessons through a Comparative Analysis of Public Bikes Usage in Three Cities of Korea", *Journal of Korea Planning Association*, 47(3): 295-308.
11. 장재민·김태형·이무영, 2016. "서울시 공공자전거 이용특성에 관한 연구 -여의도 및 상암 지구를 사례로", 「서울도시연구」, 17(4): 77-91.  
Jang, J.M., Kim, T.H., and Lee, M.Y., 2016. "A Study on the Seoul Public Bikes Use Characteristics -A Case of the Districts of Yeouido and Sangam", *Seoul Studies*, 17(4): 77-91.

12. 장재민·이승봉·이영인·이무영, 2018. “계절 및 회원 특성이 공유자전거 통행에 미치는 영향분석: 서울시 따릉이를 대상으로”, 『한국도로학회논문집』, 20(4): 47-58.  
Jang, J.M., Lee, S.B., Lee, Y.I., and Lee, M.Y., 2018. “Effects of Seasonal and Membership Characteristics on Public Bicycle Traffic: Focusing on the Seoul Bike”, *International Journal of Highway Engineering*, 20(4): 47-58.
13. 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*, 44: 589-613.
14. Fan, Y. and Zheng, S., 2020. “Dockless Bike Sharing Alleviates Road Congestion by Complementing Subway Travel: Evidence from Beijing”, *Cities*, 107: 102895.
15. Li, X., Zhang, Y., Du, M., and Yang, J., 2019. “Social Factors Influencing the Choice of Bicycle: Difference Analysis among Private Bike, Public Bike Sharing and Free-Floating Bike Sharing in Kunming, China”, *KSCE Journal of Civil Engineering*, 23(5): 2339-2348.
16. Miranda-Moreno, L.F. and Nosal, T., 2011. “Weather or Not to Cycle: Temporal Trends and Impact of Weather on Cycling in an Urban Environment”, *Journal of the Transportation Research Board*, 2247(1): 42-52.
17. Sun, F., Chen, P., and Jiao, J., 2018. “Promoting Public Bike-Sharing: A Lesson from the Unsuccessful Pronto System”, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 63: 533-547.
18. Thomas, T., Jaarsma, R., and Tutert, B., 2013. “Exploring Temporal Fluctuations of Daily Cycling Demand on Dutch Cycle Paths: the Influence of Weather on Cycling”, *Transportation*, 40(1): 1-22.
19. Wang, M. and Zhou, X., 2017. “Bike-sharing Systems and Congestion: Evidence from US Cities”, *Journal of Transport Geography*, 65: 147-154.

Date Received 2021-08-03  
 Reviewed(1<sup>st</sup>) 2021-09-09  
 Date Revised 2021-12-09  
 Reviewed(2<sup>nd</sup>) 2021-12-27  
 Date Accepted 2021-12-27  
 Final Received 2022-05-06