

# 공영자전거 스테이션의 효율적 활용 방안에 관한 연구

박기준\* · 정헌영\*\*

Park, Ki Jun\*, Jung, Hun Young\*\*

## Efficient Utilization of Public Bicycle Stations

### ABSTRACT

Public bicycles are a representative eco-friendly transportation means that can reduce carbon emissions and play an important role in first/last mile mobility and that can be linked to public transportation in the future MaaS era. In 2008, Changwon City started operating donor bicycles for the first time in Korea. However, as the infrastructure of public bicycles has expanded without a theoretical basis for over 10 years, operating costs are increasing due to a decrease in operational efficiency, which makes it difficult to quantitatively expand the service. In this study, a method for calculating the number of stands suitable for the use of public bicycles was presented, and an efficiency index was developed to evaluate the efficiency of public bicycle infrastructure. The method presented in this study was found by examining the relationship between numbers of rentals and returns of public bicycles and the number of bicycle holders. It is expected that the results can be used by other local governments.

**Key words** : Eco-friendly transportation, Public bicycle, Shared bike, Optimization, Operational efficiency, Efficiency index

### 초록

공영자전거는 대표적인 친환경 교통수단으로서 탄소배출을 감소시키고 향후 MaaS 시대에 버스나 도시철도와 같은 대중교통 수단과 연계할 수 있는 First/Last mile mobility로서 중요한 역할을 수행할 수 있을 것으로 여겨지는 교통수단으로서, 국내에서는 2008년 창원시가 최초로 도입하여 운영을 시작했다. 그러나, 10여년 간 이론적 근거 없이 공영자전거의 인프라가 확장되면서 효율성 저하로 운영비가 증가하고 있으며, 이로 인해 서비스의 양적확장이 어려운 상황이다. 본 연구에서는 공영자전거의 이용량에 적합한 거치대수 산정 방안을 제시하고, 공영자전거 인프라의 효율성을 평가할 수 있는 효율성 지수를 개발하였다. 본 연구에서 제시한 방법은 공영자전거의 대여량 및 반납량과 거치대수와의 관계 규명을 통해 찾아낸 일반적인 방법으로서 타 지자체에서도 충분히 활용 가능할 것이라 판단되며, 향후 공영자전거의 효율성 향상과 공영자전거의 인프라 확대로 이어질 수 있기를 기대한다.

**검색어** : 친환경 교통, 공공자전거, 공유자전거, 최적화, 운영효율화, 효율성 지수

## 1. 서론

### 1.1 연구의 배경 및 목적

지구 온난화와 기후변화에 대비한 친환경 정책과 탄소배출 감소는 세계적 관심사라 할 수 있다. 이는 교통정책에 있어서도 마찬가지이며, 그 중 자전거는 친환경 교통과 관련된 정책에서 항상 빠지지 않는 교통수단이라 할 수 있다. 특히 공영자전거는 이용자가 직접 자전거를 소유하지 않아도 편리하게 이용할 수 있는 교통수단으로서 2000년대부터 국내 도시에 도입되어 시민들의 많은 사랑을 받고 있으며,

\* 정희원 · 창원시정연구원 연구위원 (Changwon Research Institute · [kjpark@chari.re.kr](mailto:kjpark@chari.re.kr))

\*\* 종신회원 · 교신저자 · 부산대학교 도시공학과 교수 (Corresponding Author · Pusan National University · [huyjung@pusan.ac.kr](mailto:huyjung@pusan.ac.kr))

Received August 18, 2021/ revised August 30, 2021/ accepted September 13, 2021

향후 MaaS (Mobility as a Service) 시대에 버스나 도시철도와 같은 대중교통 수단과 연계할 수 있는 First/Last mile mobility로서 중요한 역할을 수행할 수 있을 것으로 여겨지는 교통수단이다.

국내의 공영자전거 중 창원시의 누비지는 국내에서 최초로 도입된 공영자전거 서비스이다. 2008년 서비스 시작 이후, 창원시를 대표하는 친환경 공유교통수단으로서 시민들에게 많은 사랑을 받아왔으나, 최근 누비자 이용량의 감소와 운영비의 증가로 인해 창원시의 재정 부담이 증가하고 있다. 최근 5년(2015년-2019년) 동안 누비자의 연간이용량은 570만건에서 2019년 약 490만건으로 약 80만건이 감소하였으며, 운영비용은 43.7억원에서 55.1억원으로 11.4억원이 증가하였다. 이러한 이유로 인해 더 이상 누비자 서비스의 양적 확장은 어려운 상황이다. 따라서, 공영자전거 서비스를 지속적으로 유지하고 확장하기 위해서는 현재 공영자전거 운영 시스템을 더욱 효율적인 구조로 변경해 나갈 필요가 있으며, 그 중 하나의 방법으로 각 스테이션의 자전거 보유량을 자전거 이용수요와 매칭시키는 것을 생각할 수 있다. 자전거 보유량과 자전거 이용수요를 매칭시키기 위해서는 스테이션에 자전거를 구비할 수 있는 자전거 거치대의 개수를 수요에 맞게 확보할 필요가 있다.

공영자전거는 수요특성과 지형적 특성 등 다양한 요인들로 인해 특정 스테이션에 자전거가 집중되는 현상이 발생하며, 이렇게 집중된 자전거들을 자전거가 부족한 스테이션에 재배치하는데 많은 인력과 비용이 소요된다. 창원시의 공영자전거 누비자 역시 운영비의 70% 이상은 자전거 재배치를 위한 인건비와 차량의 구입에 사용되고 있다. 창원시에서는 누비자 운영 효율을 높이기 위해 위탁기관의 운영 경험을 바탕으로 매년 이용량이 적은 스테이션의 거치대를 일부 이전하고 있으나, 거치대 이전에 대한 명확한 이론적 근거는 없는 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 창원시 공영자전거 누비자 이용기록 데이터를 활용하여, 자전거 이용수요에 적합한 스테이션별 거치대 개수를 산정하는 방안을 제시하고, 스테이션별 필요 거치대 개수 대비 실제 거치대 개수가 확보되어 있는지를 판단할 수 있는 효율성 지수를 개발하였다. 본 연구에서 제시한 방법론을 창원시 공영자전거 누비자에 적용해 봄으로서 누비자 스테이션별 거치대의 수요대비 과·부족량을 산정하고 더욱 효율적인 운영방향을 제시하고자 한다.

## 1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구의 공간적 범위는 창원시의 공영자전거 서비스인 누비자이다. 연구를 진행하기 위해 먼저 공영자전거를 주제로 한 선행연구들을 검토함으로써 본 연구와 기존 연구들과의 차별성을 확인하였다. 현황분석 파트에서는 창원시 공영자전거 누비자의 1년간 이용기록을 바탕으로 GIS 프로그램의 Network Analysis를 활용하여

누비자 이용량에 대한 공간분석을 실시하였다. 이후 공영자전거의 각 스테이션에서 발생하는 자전거 대여/반납량과 거치대 개수와의 관계를 규명하고, 각 자전거 대여/반납 수요에 따른 적정 거치대 개수를 산정하는 방법을 제시하였다. 다음으로 스테이션별 적정 거치대 필요량과 실제 거치대 보유량과의 오차를 측정하는 지수를 개발하여 공영자전거 인프라 구축의 효율성을 측정하는 방법을 제시하였다. 마지막으로 본 연구에서 제시한 방법을 활용하여 창원시 공영자전거 누비자 시스템에 시범적으로 적용해 봄으로서 누비자 각 스테이션의 거치대 과부족 수를 파악하고, 운영 효율성을 높일 수 있는 방안을 제시하였다.

## 1.3 선행연구 고찰

본 연구의 진행을 위해 먼저 공영자전거와 관련한 선행연구들을 검토하였다.

Jeong et al.(2021)는 공영자전거의 자전거 쏠림현상을 해소하기 위해 SARIMA 알고리즘을 적용하여 일별 터미널별 쏠림 정도, 재배치량, 재배치 빈도를 예측하고, 다익스트라 알고리즘을 변형한 최적 재배치 라우팅 모형을 제시하여 배송 트럭이 터미널의 쏠림현상이 없어질 때까지 과소쏠림과 과잉쏠림 터미널 사이를 이동하는 최단 경로를 결정하는 방법론을 제안하고 창원시 공영자전거 누비자를 통해 제시한 모형의 유효성을 확인하였다.

Lee(2012)은 조건부가치측정법을 활용하여 창원시 공영자전거 서비스의 이용가치를 추정하는 연구를 진행하였다. 연구를 통해 공영자전거의 지불의사액(WTP)에 영향을 미치는 사회경제적 특성들을 규명하고, 창원시 공영자전거 누비자의 1년간 이용가치를 추정하였다.

Kim et al.(2020)는 조건부가치측정법을 활용하여 서울시 공영전동자전거인 E-따릉이에 대한 적정 이용요금 및 이용가치를 평가하였다.

Sa et al.(2020)는 서울시 공영자전거 따릉이의 O/D 자료를 분석하여 주중 오전 출근시간대에 자전거 이용에 미치는 출발지와 도착지의 특성과 최단거리 주행경로 특성을 분석하였다. 분석을 통해 주거밀도가 밀집되어 있는 지역에서 통행이 빈번하게 발생한 것을 확인하고, 지하철 출입구까지 거리가 먼 대여소에서 공영자전거의 출발과 도착이 많이 발생하는 것을 확인하였다. 또한 경로 길이 대비 자전거보행자 겸용도로의 비율이 높은 곳에서 공영자전거 주행이 많이 나타나는 특성을 확인하였다.

Min and Jung(2021)는 서울시 공영자전거 대여 이력 자료를 바탕으로 시계열 데이터 예측과 관련된 방법, 머신러닝 기법, 딥러닝 기법을 다양하게 적용하여 자전거 대여 데이터를 모델링하고 수요예측의 정확도를 비교하였다.

Kim et al.(2021)는 서울시 공영자전거 이용자를 대상으로 설문

조사를 실시하여 서울시 공유자전거 만족도에 영향을 미치는 요인을 파악하고, IPA 분석을 통해 시급히 개선이 필요한 이용환경 요인들을 도출하였다.

Kim and Lee(2020)은 수원시의 스테이션 없는 공유자전거에 대한 시민의식조사를 통해 공유자전거를 이용하는 만족도 차이가 발생하는 원인을 분석하여 스테이션 없는 자전거 활성화에 위한 정책의 방향을 제시하였다.

Do and Noh(2014)은 대전시의 공유자전거 타슈의 이용수요에 미치는 영향을 다중회귀 분석을 통해 파악하고자 하였다. 연구를 통해 버스승하차 인원, 자전거도로 연장, 공원여부, 수변공간까지의 거리, 젊은층의 비율 등이 공유자전거 이용수요에 영향을 미치는 요인이라 주장하였다.

Borgnat et al.(2011)는 프랑스 리옹의 공공자전거의 사·공간적 이용 패턴을 분석하고, 시간대별 이용 수요는 스테이션 입지선정 및 밀도 등과 관련이 있다고 주장하였다.

Efthymiou et al.(2013)은 요인분석을 통해 정거장의 위치, 반납의 용이성, 이용시간대, 연령 등이 공유자전거의 이용활성화를 위한 주요 결정요인임을 주장하였다.

O'Brien et al.(2014)은 주요 도시를 대상으로 자전거 이용의 시간특성 및 공간특성을 분석하고, 통근 특성과 레저특성 등 도시별 통행특성을 분류하였다.

국내의 공유자전거와 관련한 논문들은 공유자전거를 운행하고 있는 주요 도시인 서울시, 대전시, 창원시, 수원시 등을 대상으로 연구들이 진행되고 있었으며, 공유자전거의 가치측정, 공유자전거 이용수요, 이용특성, 만족도 등에 미치는 영향에 대한 연구들이 주로 진행되어 왔다. 해외의 공유자전거와 관련한 선행연구에서도 국내의 연구와 유사하게 공유자전거의 이용수요, 이용활성화 요인, 통행패턴 등에 관한 연구들이 진행되어 온 것을 알 수 있었다. 그러나 본 연구에서와 같이 공유자전거의 효율성과 관련한 연구로서는 최적 재배치 경로를 결정하는 방법에 대한 국내의 연구가 유일하다. 본 연구는 창원시 공유자전거 이용데이터를 활용하여 효율적인 자전거 인프라 구축을 위한 스테이션별 적정 거치대 할당 방안을 제시하고, 공유자전거 인프라 구축의 효율성을 평가하는 지수를 개발했다는 점에서 선행연구와의 차별성이 있다.

## 2. 공유자전거 거치대 최적할당 방안

### 2.1 자전거 거치대와 재배치와의 관계 고찰

국내의 대표적인 공유자전거인 서울의 따릉이, 창원의 누비자, 대전의 타슈 등의 공유자전거 스테이션에는 자전거를 대여, 반납할 수 있는 거치대가 있다.

한편, 공유자전거는 이용자의 통행 특성이나 지형적 특성에

따라 편도 이용이 많아질 경우가 있다. 예를 들어 출퇴근 목적으로 공유자전거를 이용할 경우 공동주택 또는 상업시설 등에 이용수요가 높다(Lee and Ko, 2020). 또한, 이용자의 출발지와 목적지 사이에 경사로가 있을 경우 오르막길 보다는 내리막길에 공유자전거를 더 많이 이용한다. 이 외 다양한 이용특성들로 인해 특정 시간대나 특정 스테이션에 자전거가 집중되는 현상들이 발생하며, 이렇게 집중되어 있는 자전거는 자전거수가 부족한 스테이션이나, 다음 시간대에 자전거 이용수요가 많이 발생할 것으로 예상되는 스테이션으로 인위적인 재배치를 해 주어야 한다. 특히, 각 스테이션에서 보유하고 있는 거치대 개수보다 더 많은 반납수요가 있거나, 더 많은 대여수요가 있다면 불필요한 자전거 재배치 횟수는 더욱 많아지게 될 것이다. 이 경우 공유자전거 운영효율성이 낮아지게 되며, 재배치에 소요되는 비용이 더욱 증가하게 된다. 따라서 각 스테이션별 자전거 이용/반납 수요를 고려하여 자전거가 부족하거나 남지 않게 하는 적합한 거치대 수를 확보한다면 운영효율성이 더욱 높아질 것이라 생각된다. 이에 본 연구에서는 스테이션별 자전거 대여/반납 건수와 자전거 거치대 개수와의 관계를 규명하여, 공유자전거 스테이션별 최적 거치대 개수를 산정하는 방안을 찾고자 하였다.

### 2.2 스테이션별 자전거 거치대 최적 할당 방안

우선 임의의 스테이션  $k$ 에 필요한 적정 거치대 개수를  $S_k$ 라고 하고, 공공자전거 운영시간 중 특정시점에  $k$  스테이션에 보유중인 자전거의 대수를  $B_n$ 이라 정의하였다. 공유자전거 운영시간 중 자전거 대여량에 대비해 부족하지 않을 만큼 자전거를 보유해야 함으로,  $S_k$ 는 스테이션  $k$ 에 보유중인 자전거의 최대 대수( $\max(B_n)$ )보다 많거나 같아야 할 것이다. 이 조건을 식으로 표현하면 Eq. (1)과 같다.

$$S_k \geq \max(B_n) \quad (1)$$

즉,  $k$  스테이션의 자전거 이용/반납 수요를 충족시키기 위해 필요한 거치대의 최소개수는  $\max(B_n)$ 을 구함으로서 찾을 수 있다.  $\max(B_n)$ 을 구하기 위해 공유자전거 운영을 시작한 시점의 최초 자전거 대수를  $B_1$ 이라 하고, 특정 단위시간이 지난 이후의 자전거 대수를  $B_2$ 라 한다면,  $B_2$ 는  $B_1$ 에서 단위시간동안 발생한 자전거 대여량( $X_1$ )를 빼고, 단위시간동안 발생한 반납량( $Y_1$ )을 더한 값과 같다고 할 수 있다. 이러한 방법으로 특정 시점에서  $k$ 스테이션의 자전거 보유대수( $B_n$ )은 Table 1과 같이 일반화 할 수 있다.

즉, 공공자전거 이용기록을 통해  $k$  스테이션에서 발생한 단위시간별 자전거 대여량( $X_n$ ) 및 반납량( $Y_n$ )을 알 수 있다면, 특정시점

Table 1. A Generalization Process for the Relationship between the Number of Bicycles in the Station and the Rental and Return of Bicycles

	Number of bikes in the station	Number of rentals	Number of returns	Prerequisite
1	$B_1$	$X_1$	$Y_1$	$B_1 \geq X_1$
2	$B_2 = B_1 - X_1 + Y_1$	$X_2$	$Y_2$	$B_2 \geq X_2$
3	$B_3 = B_2 - X_2 + Y_2 = B_1 - (X_1 + X_2) + (Y_1 + Y_2)$	$X_3$	$Y_3$	$B_3 \geq X_3$
...	...	...	...	...
n	$B_n = B_1 - \sum X_{n-1} + \sum Y_{n-1}$	$X_n$	$Y_n$	$B_n \geq X_n$

에서 스테이션 k의 자전거 보유대수( $B_n$ )는 모두  $B_1$ 에 의해 결정되는 특징을 가진다. 또한 공영자전거 운영중 모든 시간대에서 자전거가 부족하지 않기 위해서는  $B_n$ 이 각 단위시간대별 대여량인  $X_n$ 보다 항상 크거나 같은 값을 가져야하기 때문에  $B_n \geq X_n$ 의 조건을 만족해야 한다. 이러한 조건을 활용하여  $B_n$ 에 관한 식을  $B_1$ 에 관한 식으로 변경하면 Eq. (2)와 같다.

$$\begin{aligned}
 B_n &= B_1 - \sum X_{n-1} + \sum Y_{n-1} \geq X_n \\
 B_1 &\geq X_n + \sum X_{n-1} - \sum Y_{n-1}
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

만약,  $B_1$ 이  $X_n + \sum X_{n-1} - \sum Y_{n-1}$ 이 가질 수 있는 최대값 이상의 값을 가지면 (Eq. (2))의 조건을 항상 만족하게 된다. 따라서,  $B_1 = \text{Max}(X_n + \sum X_{n-1} - \sum Y_{n-1})$ 이라 할 수 있다. 이를 활용하면  $B_n$ 을 Eq. (3)과 같이 표현할 수 있다.

$$B_n = \text{Max}(X_n - \sum X_{n-1} + \sum Y_{n-1}) - \sum X_{n-1} + \sum Y_{n-1} \tag{3}$$

Eq. (3)이 의미하는 바는 공공자전거 이용기록을 통해 k 스테이션에서 발생한 시간대별 대여량( $X_n$ ) 반납량( $Y_n$ )을 알 수 있다면 k 스테이션에서 발생하는 자전거 이용/반납 수요를 충족시키기 위한 자전거 보유대수  $B_n$ 을 구할 수 있다는 의미이다. 또한,  $B_n$ 이 가질 수 있는 최대값은 Eq. (1)에서 언급한 바와 같이 k 스테이션의 자전거 이용/반납 수요를 충족시키기 위해 필요한 거치대의 최소개수를 의미하며 Eq. (4)와 같이 각 시간대별 대여량/반납량 데이터를 통해 구할 수 있다.

$$\text{Max}(B_n) = \text{Max}[\text{Max}(X_n - \sum X_{n-1} + \sum Y_{n-1}) - \sum X_{n-1} + \sum Y_{n-1}] \tag{4}$$

### 3. 공영자전거 스테이션별 거치대 최적할당 방법론의 적용

#### 3.1 창원시 공영자전거 누비자의 현황 및 이용패턴 분석

본 연구에서 제시한 방법을 창원시 공영자전거 누비자에 적용해 봄으로서 누비자의 스테이션별 적정 거치대 대수를 산정해 보고자

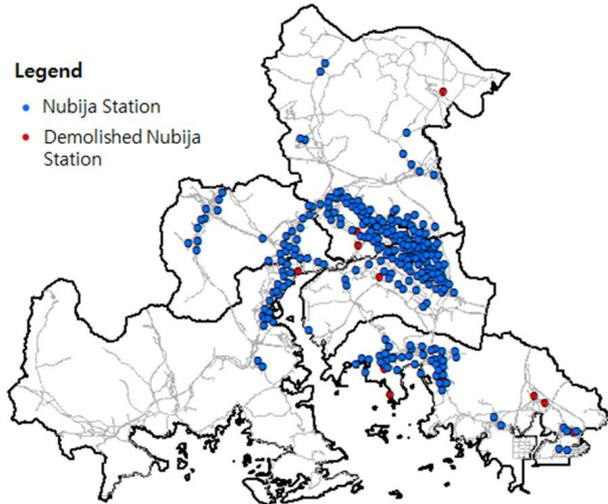


Fig. 1. Status of Nubija Stations in Changwon-si

한다. 또한 실제 누비자의 스테이션 분포가 누비자 이용량에 비해 얼마나 적절하게 잘 구축이 되어 있는지를 평가해 보고자 한다.

먼저, 누비자의 현황부터 살펴보면 2019년 말을 기준으로 누비자의 스테이션은 총 298개소 중 16개가 폐지되어 총 282개소를 운영하고 있으며, 누비자의 거치대수는 총 6,399개를 보유중인 것으로 나타났으며, 거치대의 현황은 Fig. 1과 같다.

누비자의 이용패턴을 파악하기 위해 2019년 1월 1일~2019년 12월 31일까지 1년간 창원시 공영자전거 누비자를 이용한 4,917,323건의 이용기록 전수 데이터를 활용하여 가중점 분석을 실시하였다. 282개의 자전거 스테이션에서 발생하는 통행량을 활용하여 282×282개의 통행패턴을 구성하는 O/D Matrix 구축하고, 통행패턴별 3,000통행 이상, 2,000통행 이상, 1,000통행 이상, 365통행 이상 발생한 통행패턴끼리 이용량의 합계를 누적하여 산출하였다. 각 통행량 기준 이상 발생한 이용패턴의 통행발생 누적량을 분석한 결과는 Table 2와 같다.

누비자 이용기록을 통한 가중점 분석결과 누비자 이용패턴은 1년 동안 스테이션간 이동량이 전혀 없는 0건의 이용패턴부터 최대 14,118통행까지 나타나는 이동패턴을 보였으며, 연간 3,000통행 이상 발생하는 이용패턴이 전체 통행량의 11.6%, 연간 2,000

Table 2. O/D Analysis Result of Nubija Usage Record

	Trips	Cumulative percentage
Total trips	4,917,323	100.0 %
More than 365 Trips	3,419,150	69.5 %
More than 1,000 Trips	2,112,106	43.0 %
More than 2,000 Trips	1,065,229	21.7 %
More than 3,000 Trips	570,375	11.6 %

Table 3. Results of Calculating Optimal Number of Bicycle Holders for Nubija Station

Classification	Number of Bicycle holders	Classification	Number of Bicycle holders
Total number of optimal bicycle holders (A)	9,101	Total number of Insufficient bicycle holders (C)	3,664
Total number of actual bicycle holders (B)	6,399	Total number of extra bicycle holders (D)	962
A-B	2,702	C-D	2,702

통행 이상 발생하는 이용패턴이 전체 통행량의 21.7 %로 나타났다. 또한, 연간 365통행(1통행/일) 미만 발생하는 이용패턴은 전체 통행량의 약 30.5 %를 차지하는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 누비자 전체 이용량 중 특정 지역 간의 통행발생 빈도가 높게 나타난다는 것을 의미하며, 특정 지역 또는 구간에 누비자 이용량이 상대적으로 집중됨을 의미한다고 볼 수 있을 것이다.

### 3.2 누비자 스테이션별 최적 거치대수 산정

2.2절에서 제시한 누비자 스테이션별 최적 거치대수 산정 방법론을 적용하기 위해, 누비자의 운영시간은 오전 4시-익일 오전 1시까지 때문에, 282개의 스테이션별로 각 일자별  $\max(B_n)$  값을 산출한 후 2019년 중  $\max(B_n)$  중 가장 큰 값을 적정 거치대 개수로 선정하였으며, 산정결과를 요약하면 Table 3과 같다.

우선 누비자 스테이션별 최적 거치대수를 산정하여 모두 합산한 결과 총 필요 거치대수는 9,101개로, 현재 보유중인 거치대수에 비해 2,702개의 거치대가 부족한 것으로 나타났다.

또한, 현재 스테이션별 최적 거치대수에 비해 거치대수가 부족한 스테이션을 분류하여 부족한 거치대수를 합산한 결과 3,664개로 나타났고, 최적 거치대수에 비해 거치대가 남는 스테이션을 분류하여 여분의 거치대수를 합산한 결과 962개로 나타났다. 스테이션별 최적 거치대수 대비 부족한 거치대수와 남는 거치대수의 총 합계 (C-D)는 총 필요 거치대수 대비 실제 보유중인 거치대수(A-B)의 값과 같다.

본 연구의 분석결과를 바탕으로 Fig. 2와 같이 누비자 이용패턴이 연간 2,000통행 이상 발생하는 통행패턴(붉은색 화살표)과 각 스테이션의 거치대 과부족 현황을 함께 GIS상에 도식화하였다. 각 스테이션별 거치대 과부족 현황과 누비자 통행패턴 분석결과를 종합적으로 검토해보면, 전반적으로 누비자 통행량이 많이 발생하

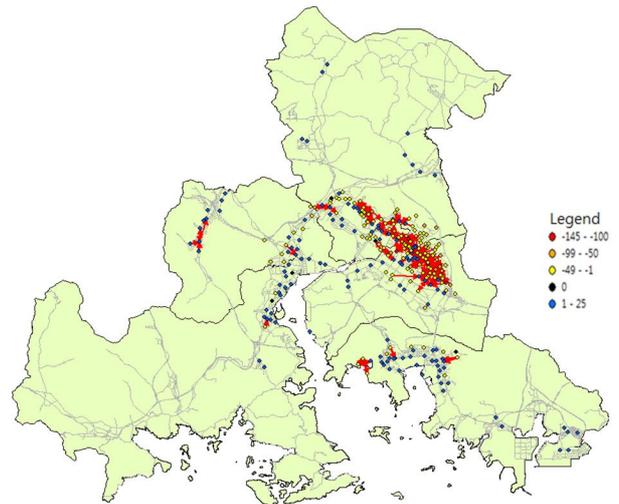


Fig. 2. Result of Over-Shortage Status by Station and O/D Analysis (more than 2,000 trips)

는 스테이션에서 거치대 부족현상이 나타나는 것을 볼 수 있다. 즉, 현재 창원시 공영자전거 누비자 거치대 인프라는 이용량이 많은 지역에 부족하고, 이용량이 적은 지역에는 거치대수가 대체적으로 여유가 있는 현상이 발생한다고 볼 수 있으며, 누비자 이용수요와 거치대 인프라 공급의 불균형이 발생하고 있다고 판단할 수 있다.

### 4. 공영자전거 효율성 지수(Public Bicycle Efficiency Index)의 산정

본 연구에서는 공영자전거 이용수요와 거치대 인프라 공급의 불균형을 측정하기 위해 공영자전거 효율성 지수를 개발하고, 이를 창원시 공영자전거 누비자에 적용해 보고자 한다.

먼저, 공영자전거 스테이션별 이용수요에 맞는 적정 거치대수를  $S_k$ , 실제 스테이션의 거치대수를  $\bar{S}_k$ 라 하면, 공영자전거 거치대 공급의 효율성은 이상적인 거치대수와 실제 거치대수의 차이가 최소화 될수록 효율적이라 할 수 있으므로 공영자전거의 효율성 지수(PBEI)는  $S_k$ 와  $\bar{S}_k$ 의 차이에 대한 제곱의 합의 평균에 제곱근을 한 값으로 Eq. (5)와 같이 표현할 수 있다.

$$PBEI = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^n (S_k - \bar{S}_k)^2}{n}} \quad (5)$$

$S_k$  : 공영자전거 스테이션 k의 적정 거치대수  
 $\bar{S}_k$  : k 스테이션에서 보유중인 실제 거치대수  
 n : 총 자전거 스테이션수

여기에서 공영자전거 효율성 지수(PBEI)는 0에 가까울수록 거치대 인프라가 자전거 이용수요에 적절하게 확충되었다는 의미이며, 값의 크기가 커질수록 거치대 인프라가 자전거 이용수요 대비 효율적으로 확충되지 않았다는 것을 의미한다.

본 연구에서 제시한 공영자전거 효율성 지수에 3.2절에서 산정한 창원시 누비자의 282개 스테이션별 적정 거치대수와 실제 거치대수를 적용하여 지수를 산정하였다. 그 결과 창원시 누비자의 효율성 지수는 27.8로 산정되었다. 향후 정기적으로 누비자 이용데이터를 바탕으로 지수를 산정하여 운영 효율성을 평가하고 거치대 인프라를 조정·확충 해 나가야 할 것이다.

## 5. 요약 및 결론

본 연구에서는 공영자전거 운영효율성을 제고하기 위해 각 스테이션별 공영자전거 이용수요에 따른 최적 거치대수를 구할 수 있는 방법을 제시하고, 공영자전거 인프라 구축 효율성을 측정할 수 있는 지수를 개발하였다. 또한, 본 연구에서 제시한 방법을 창원시 공영자전거 누비자에 적용해 보았다. 본 연구를 통해 도출된 결과를 요약하면 다음과 같다.

스테이션별 자전거 이용수요와 적정 거치대수와의 관계를 규명하고, 창원시에 적용해 본 결과 현재 창원시 공영자전거 누비자 스테이션에 보유중인 거치대수는 전체적으로 이용량 대비 부족한 것으로 나타났다. 또한, 누비자의 이용데이터를 활용한 가·종점 분석과 스테이션별 거치대 과·부족 현황을 비교해 본 결과, 전반적으로 통행량이 많은 스테이션에서 거치대 부족현상이 나타났고 통행량이 적은 스테이션의 거치대수는 여유가 있는 것으로 나타났다. 재배치를 줄여 누비자의 운영 효율성을 높이기 위해서는 누비자

의 이용수요가 높고 동일한 통행패턴이 많이 발생하는 지역을 중심으로 누비자의 스테이션 및 거치대를 확충해 나가야 할 것이라 판단된다.

본 연구에서 제시한 스테이션별 적정 거치대수 산정방법을 바탕으로 공영자전거의 운영 효율을 평가할 수 있는 효율성 지수를 제시하고, 창원시 공영자전거 누비자의 효율성 지수를 평가해 보았다. 향후 매년 누비자 이용기록을 바탕으로 효율성 지수를 측정하고 비교·평가하여 누비자 시스템의 효율성을 높여 나가야 할 것이다.

한편, 창원시는 현재 BRT 건설을 추진 중에 있으며 2021년 9월부터 시내버스 준공영제가 시행될 예정으로, 공영자전거와 연계를 통한 MaaS 구축의 기반이 조성되고 있다. 공영자전거는 향후 창원시 MaaS 구축시 BRT, 준공영제 버스와 연계를 통해 이용자의 FMM/LMM을 담당할 교통수단으로서 기대되는 만큼 도시 곳곳에 공백없는 서비스가 필요할 것이라 생각한다. 공영자전거 서비스 영역의 확대시 지자체의 비용적 부담을 줄이기 위해서는 공영자전거 운영시스템 효율성 제고가 선결되어야 할 것이다.

본 연구에서 제시한 방법은 공영자전거의 이용기록을 바탕으로 스테이션별 필요 거치대수를 산정하였기 때문에 미래의 수요를 반영하지 못한다는 한계점이 존재한다. 따라서 자전거 이용 수요에 대비하여 거치대 재배치시 주변에 주거단지의 건설 등과 같은 신규 자전거 이용 수요가 급격히 변할 것으로 예상되는 요인이 있다면 이를 충분히 고려해야할 필요가 있다.

본 연구에서 제시한 방법은 공영자전거의 대여량 및 반납량과 거치대수와의 관계 규명을 통해 찾아낸 일반적인 방법으로서 창원시뿐만 아니라 거치대가 있는 공영자전거를 운영하는 타 지자체에서도 충분히 활용 가능할 것이라 판단되며, 향후 공영자전거의 효율성 향상과 공영자전거의 인프라 확대 및 MaaS 구축으로 이어져 발전해 나갈 수 있기를 기대한다.

## 감사의 글

이 논문은 부산대학교 기본연구 지원사업(2년)에 의하여 연구되었음.

## References

- Borgnat, P., Abry, P., Flandrin, P., Robardet, C., Rouquier, J. B. and Fleury, E. (2011). "Shared bicycles in a city: A signal processing and data analysis perspective." *Advances in Complex Systems*, Vol. 14, No. 3, pp. 415-438. DOI: <https://doi.org/10.1142/S0219525911002950>.
- Do, M. S. and Noh, Y. S. (2014). "Analysis of the affecting factors on the bike-sharing demand focused on Daejeon City." *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, KSCE, Vol. 34, No. 5, pp.

- 1517-1524. DOI: <https://doi.org/10.12652/Ksce.2014.34.5.1517> (in Korean).
- Efthymiou, D., Antoniou, C. and Waddell, P. (2013). "Factors affecting the adoption of vehicle sharing systems by young drivers." *Transport Policy*, Vol. 29, pp. 64-73.
- Jeong, H. Y., Lee, T. H., Kim, J. K., Kim, O. J. and Kim, C. Y. (2021). "A dynamic relocation routing model for mitigating the hot-spot congestion of public bike: A case of Nubija in Changwon city." *The Korean Data and Information Science Society*, Vol. 32, No. 1, pp. 75-95. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2013.04.009> (in Korean).
- Kim, S. H. and Lee, N. I. (2020). "A study on the satisfaction differences in dockless bike in Suwon city." *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, KSCE, Vol. 40, No. 2, pp. 157-166. DOI: <https://doi.org/10.12652/Ksce.2020.40.2.0157> (in Korean).
- Kim, S. Y., Lee, K. H. and Ko, E. J. (2021). "An analysis of factors affecting satisfaction with seoul public bike." *Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society*, Vol. 22, No. 2, pp. 475-486. DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2021.22.2.475> (in Korean).
- Kim, S. Y., Lee, K. H., Ahn, D. E. and Ko, E. J. (2020). "Assessment of the willingness to pay of public electric bicycle service-A case study of Seoul in Korea." *Journal of the Architectural Institute of Korea*, Vol. 36, No. 12, pp. 163-169. DOI: <https://doi.org/10.5659/JAIK.2020.36.12.163> (in Korean).
- Lee, K. H. (2012). "Assessment of the use value of public bicycle service: Focus on changwon-si in Korea." *Journal of the Korea Planners Association*, Vol. 47, No. 7, pp. 119-128. (in Korean).
- Lee, K. H. and Ko, E. J. (2020). "Analysis of factors influencing the travel mode choice of bicycle by trip purpose-a case study of Seoul." *Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society*, Vol. 21, No. 12, pp. 33-42. DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2020.21.12.33> (in Korean).
- Min, S. A. and Jung, Y. S. (2021). "Comparative study of prediction models for public bicycle demand in Seoul." *The Korean Data and Information Science Society*, Vol. 32, No. 3, pp. 585-592. DOI: <https://doi.org/10.7465/jkdi.2021.32.3.585> (in Korean).
- O'Brien, O., Cheshire, J. and Batty, M. (2014). "Mining bicycle sharing data for generating insights into sustainable transport systems." *Journal of Transport Geography*, Vol. 34. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2013.06.007>.
- Sa, K. E., Seo, J. M. and Lee, S. G. (2020). "Analysis of origin-destination characteristics and the shortest travel path of public bike users in the morning peak-hour period." *Journal of the Urban Design Institute of Korea Urban Design*, Vol. 21, No. 6, pp. 105-120. DOI: <https://doi.org/10.38195/judik.2020.12.21.6.105> (in Korean).