

빅데이터 기반 공유형 마이크로 모빌리티의 주차시설 입지 최적화 연구

최낙현* · 김정화**

Choi, Nakhyeon*, Kim, Junghwa**

Optimizing Locations for Micro-mobility Parking Area based on User Big-data Analysis

ABSTRACT

Most of the Micro-mobility parking in Korea use Dockless system. However, Dockless can result in cluttering, infrastructure deficiencies, and safety challenges as has been observed in cities. It is necessary to introduce a Station Parking system in order to solve the drawbacks of the dockless, but the introduction without engineering has low accessibility and induces side effects. In this study, to decide optimal location about number of the Micro-mobility Station, we has been applied the MCLP model about the coverage range, usage demand, usage time in order to classify the type of Micro-mobility Station. For the MCLP, User Date input to reflect realistic demand in Bundang new town, Korea. The result show that the optimal number of facilities in 400 m was 146, and the coverage ratio was 99.83 %, which was most suitable coverage for solving the parking problem. We also classified the demand into 4 levels and the usage time into 3 levels, and by crossing them, we were able to classify the Parking lot types into 12 types. It is possible to propose strategic policies in the installation and operation of Micro-mobility Parking System.

Key words : Micro-mobility, E-scooter, Dockless, Station, Parking zone, MCLP, User big-data

초 록

최근 마이크로 모빌리티는 비대면 사회에서 라스트 마일을 이용하는데 유용한 교통수단으로 정의되고 있지만, 현재 주차방식을 비교정형으로 채택하고 있어 교통수단이 가지는 장점보다는 단점이 더 부각되고 있다. 본 연구는 마이크로 모빌리티의 주차방식을 비교정형에서 고정형으로 전환하면서 필요한 주차장 입지를 공학적 분석을 통해 마이크로 모빌리티의 주차문제 해결에 목적이 있다. 마이크로 모빌리티 주차장의 최적 개수 및 위치를 도출하기 위해서 입지선정모형인 MCLP 모형을 사용하였다. MCLP 모형 적용의 대상지는 분당 1기 신도시로 현실적인 공유 전동킴보드의 수요에 대응하는 최적입지 도출을 위해 실제 이용 데이터를 수집하여 반영하였으며, 최적입지에 시간대별 이용 수요를 반영하기 위해 커버 범위, 수요, 시간대별로 모형을 적용 및 분류하였다. 분석 결과, 커버 범위를 400 m로 적용하였을 때 최적 주차시설의 개수는 146개로 현재 마이크로 모빌리티의 수요가 99.83 % 커버되어 주차문제 해결에 적절한 커버 범위로 나타났다. 또한, 공유 전동킴보드의 이용 수요를 4개의 수준, 시간대를 3개의 수준으로 분류하고 교차하여 도출된 마이크로 모빌리티의 주차장을 총 12개의 유형으로 분류하였다. 이러한 주차장 유형의 분류는 향후 마이크로 모빌리티 주차시설의 설치 및 운영에 있어 전략적인 정책 제안이 가능할 것이다.

검색어 : 마이크로 모빌리티, 전동킴보드, 비교정형, 고정형, 주차존, MCLP, 이용자 빅데이터

* 정회원 · 경기대학교 도시·교통공학과 석사과정 (Kyonggi University · nadosan1@kyonggi.ac.kr)

** 정회원 · 교신저자 · 경기대학교 도시·교통공학과 조교수 (Corresponding Author · Kyonggi University · junghwa.kim@kyonggi.ac.kr)

Received May 27, 2022/ revised July 20, 2022/ accepted December 19, 2022

1. 연구의 배경 및 목적

마이크로 모빌리티(Micro-mobility)란 전기 등의 친환경 동력을 활용해 근거리·중거리 주행이 가능한 소형 이동수단을 일컫는 말로 전기스쿠터, 초소형전기차, 호버보드, 전동휠 등이 포함된다(PMG Dictionary of Current Affairs, 2019). Shin(2020)에 따르면 전동킥보드가 2019년 9만 6000여 대에서 2029년 40만 2000여 대, 전기자전거도 같은 기간 1만 9000여 대에서 6만 5000여 대로 늘어날 것으로 예상되며 마이크로 모빌리티의 주요 전동킥보드가 이용됨을 알 수 있다. 최근 전동킥보드(E-scooter)는 코로나 19(COVID-19)로 인한 비대면 사회의 시대적 상황과 맞으면서, 대중교통과 연계가 가능하고 집에서 버스, 지하철역까지의 라스트 마일(First & Last mile)을 이동하는데 유용한 교통수단으로 정의되고 있다(Daniel et al., 2019). 공유 전동킥보드 시장의 전망은 2025년까지 잠재적으로 400억 달러에서 500억 달러로 2019년 자동차 기반 모빌리티 시장 규모의 약 15%가 되는 지속적인 성장이 예상된다(Daniel et al., 2019). 전동킥보드는 라스트 마일 교통수단의 이점뿐만 아니라 도심 환경 오염의 문제를 해결할 방안으로 부상하고 있다. 유엔에서 233개 국가의 인구조사를 바탕으로 발표한 세계 도시화 전망(UN, 2014)에 따르면 2050년 세계인구는 약 72억 명에서 약 95억 명으로 약 23억 명이 증가할 것으로 예측되며 이 중 도시 인구는 39억 명에서 63억 명으로 24억 명이 증가하여 1950년대에 29%에 불과했던 도시인구의 비율이 2050년이 되면 약 66%까지 증가하여 도시인구의 급격한 증가는 새롭게 증가하는 인구 대부분이 도시지역에서 거주하게 될 것으로 추정하고 있다. 이에 따라 도시교통의 수요는 증가하는데 무분별한 인프라의 확충은 오히려 교통체증이 유발할 수 있다. 국제 에너지 기구(IEA, 2021)에 따르면 도심교통은 전 세계 이산화탄소 배출의 23%에 달하며 환경오염의 원인 중 하나로 불리고 있다. 2017년 National Household Transportation Survey를 기반으로 한 딜로이트의 칼럼에 따르면 미국에서 매년 발생하는 자동차 이동의 절반 이상이 5마일 미만의 거리를 이동하고 있어 이러한 짧은

거리의 이동은 마이크로 모빌리티가 대안으로 사용될 수 있다고 주장하였다(Deloitte, 2019). 한국 소비자원(KCA, 2021)은 에너지소비효율(연비)을 이용해 에너지비용과 CO₂ 배출량을 환산하는 경우(100 km 주행기준), 시험대상 6개 제품의 평균 에너지비용은 약 232원, CO₂ 배출량은 약 0.616 kg으로 내연기관 이륜차(6,661원)보다 경제적이고 CO₂ 배출량도 적게 분석되어 경제성과 환경성을 갖춘 교통수단으로 분석되었다. 도시인구가 증가하는 추세에서 전 세계 이산화탄소 배출의 23%에 달하는 도심교통 문제는 과반수가 5마일 미만의 이동으로 라스트 마일을 이동하는데 유용한 교통수단인 전동킥보드가 도심 환경 오염 문제를 해결할 방안이 될 수 있음을 나타내고 있다.

마이크로 모빌리티의 주차방식은 비고정형(Dockless), 고정형(Station), 주차존(Parking Zone)으로 Fig. 1과 같이 나누어져 있다. 비고정형은 공유 마이크로 모빌리티 운영사가 직접 이동수단을 수거하여 충전한 뒤 다시 재배치하는 방식이다. 마이크로 모빌리티의 이용률이 높은 곳을 선정하여 거치대를 설치하는 방식은 고정형이고, 노면 표시로 주차구역을 지정하는 방식은 주차존이다. 현재 국내에서 서비스되고 있는 공유 전동킥보드는 대부분 비고정형 운영 방식을 취하고 있다(Jeon et al., 2019). 하지만 비고정형 방식은 이용률 감소와 도시 미관을 훼손시킬 뿐만 아니라 예산 낭비를 유발할 수 있다(Park et al., 2013). Gössling(2020)은 비고정형 방식이 도시의 어수선함과 인프라 부족으로 이어질 수 있다고 주장하였다. 게다가 비고정형 방식은 비가 오는 날에 방치되기 때문에 전동킥보드의 부식이 발생하여 배터리 전력이 소모되고 수명이 단축될 수 있다(raine, 2020). 전동킥보드를 충전하는데 사용되는 전기는 이산화탄소 배출량에서 가장 적은 비중을 차지하고 이산화탄소 배출의 절반이 원료와 생산 과정에서 나타나 전동킥보드가 친환경적이란 의미는 전동킥보드의 수명을 얼마나 증가시킬 수 있는지와 밀접한 관련을 맺는다(Hollingsworth et al., 2019). 비고정형이 가지는 문제점을 해결하기 위해 공유 마이크로 모빌리티 주차장을 고정형 방식으로 도입에 있어 공학적 분석이 수반되지 않은 주차장의 설치에 이용 접근성이 낮아지게 되는데 이는 앞에서



Fig. 1. Types of Micro-mobility Parking System

언급한 비고정형이 가지는 문제점을 초래한다. 따라서 이를 최소화할 수 있는 공학적 분석 수단인 입지선정모형을 활용하면 고정형이 가지는 이용 접근성이 낮아지는 단점을 최소화하여 현재 비고정형으로 인한 공유 마이크로 모빌리티의 주차문제를 해결할 방안이 될 수 있다. 이에 본 연구는 마이크로 모빌리티 중 이용이 가장 많은 전동킴보드의 실제 이용 데이터를 기반으로 입지선정모형인 MCLP (Maximal Covering Location Problem) 모형을 활용하여 고정형 주차장의 최적입지를 도출하고 수요와 시간 특성에 따라 분류하여 공유형 마이크로 모빌리티의 주차문제 해결에서 더 나아가 주차시설의 전략적인 설치 및 운영 방안을 제안하고자 한다.

2. 선행연구 검토

2.1 국내 마이크로 모빌리티 주차 관련 법제도 검토

국내 마이크로 모빌리티의 법적 정의는 도로교통법의 제2조 제19호의2에서 “개인형 이동장치란 원동기장치자전거 중 시속 25 km 이상으로 운행할 경우 전동기가 작동하지 아니하고 차체 중량이 30 kg 미만인 것으로서 행정안전부령으로 정하는 것을 말한다.”라고 규정하고 있다. 2020년 6월 9일에 개정된 개인형 이동수단 관련 도로교통법은 사용 연령을 13세 이상으로 설정하여, 운전면허가 없는 미성년자의 개인형 이동수단 이용 시 안전성 확보와 통행 위치 위반, 음주운전, 안전장치 미착용의 경우에 대한 벌칙이 미흡하다는 점이 아쉬운 부분으로 남아있다. 이를 보완하기 위해 2021년 5월 13일 도로교통법을 개정하여 운전면허, 무면허 운전, 어린이 운전 시 보호자 처벌, 동승자 탑승금지, 안전모 착용, 등화장치 작동, 과로·약물 등 운전의 범칙금 및 과태료 부과로 마이크로 모빌리티의 안전성 증대를 위한 규정들이 신설되었다. 하지만 마이크로 모빌리티의 방치로 인한 문제를 해결하는 주차 관련 법은 신설되지 않았다. 이를 보완하여 2021년 7월 13일 도로교통법 개정으로 마이크로 모빌리티 주차 공간을 설치할 수 있는 규정을 신설하였다(Choi and Kim, 2021).

여러 지자체는 공유 전동킴보드 주차문제를 해결하기 위해 견인 제도를 실시하였다. 서울시는 2021년 5월 20일 전동킴보드의 질서 있고 안전한 이용환경을 조성하기 위해서 불법 정차 주차 견인 소요비용 산정기준에 전동킴보드를 신설하고 견인료는 40,000원, 보관료는 30분당 700원으로 산정하는 「서울특별시 정차주차위반 차량 견인 등에 관한 조례」를 개정하였다. 송파구청은 이에 따라 공유 전동킴보드의 무분별한 주차로 인한 주민들의 불편을 해소하고, 구민의 안전을 확보하기 위해 2021년 7월 1일부터 <주정차 위반 전동킴보드 견인> 제도를 시작하였다. 또한 「도로교통법」 제34조의 2에 근거하여 2021년 10월 7일 전동킴보드 전용 거치대를 관내 12개소에 설치하여 시범 운용하였다. 창원시는 전동킴보드

의 불법주차 피해가 확산함에 따라 견인 대상 차량에 전동킴보드를 추가하여 보행자의 안전과 이용자의 질서 있는 이용환경 조성에 이바지하고자 「창원시 주차위반차량 견인 등에 관한 조례」를 2022년 2월 15일 개정하여 6개월 뒤인 2022년 8월 16일 시행한다고 밝혔다. 창원시의 경우 단속지점에서 보관소까지 거리를 기준으로 편도 5 km까지는 기본요금 3만원에 매 km 증가 시 추가로 1000원의 견인료를 추가로 산정하였다.

국내 마이크로 모빌리티의 주차 관련 법·제도는 2021년 7월 13일 도로교통법의 개정으로 처음 신설되어 마이크로 모빌리티의 주차장을 설치할 수 있는 근거를 마련하였으며, 지자체는 방치된 마이크로 모빌리티를 견인하는 조례를 개정하였으나 일반적으로 불법 주차 차량 단속의 경우 과태료 또는 견인료를 부과하는 위반 당사자가 차주인 경우가 대부분이라 제발 방지의 효과가 있지만, 공유 전동킴보드의 견인 제도의 경우 3~4만원의 견인료를 업체에 전액 부과하고 있어 이용자 입장에서 올바른 주차 유도 효과는 떨어지며 공유 전동킴보드 방치로 인한 견인은 마이크로 모빌리티의 친환경적인 장점을 반감시키며 마이크로 모빌리티의 비고정형이 가지는 문제점들을 근본적으로 해결하는 방법이 되지 못한다.

2.2 입지선정모형 관련 선행연구 검토

입지선정모형을 이용한 시설물의 최적 위치선정 연구는 국내로 다양하게 이뤄졌다.

García-Palomares et al.(2012)는 자전거 사용 증대를 위하여 잠재적 자전거 이용 수요와 관련된 자전거 주차장의 위치 선정을 목적으로 GIS를 활용한 잠재적인 자전거 이용 수요의 공간적 분포를 계산하고, P-Median과 MCLP를 각각 이용하여 자전거 주차장을 찾고 용량을 결정하며 수요의 특성을 정의하였다. Park et al.(2013)은 자전거 주차장의 최적 개수 및 위치를 찾는 방법 제안을 목적으로 입지선정 모형인 Heuristic P-median 알고리즘을 활용하여, 예산제약의 유무에 따라 모형을 각각 제시하였다. 모형의 적용을 위해 시범 네트워크를 구축하고 30개의 예비 주차장(센터로이드-수요지)을 수정하여 분석하였다. Frade and Ribeiro(2015)는 공유 자전거 시스템의 이용 활성화를 위해서 가장 중요한 요소 중 하나를 고정형(Station)의 위치로 인지하고 제약이 있는 예산을 고려한 MCLP 입지 선정모형을 활용하여 자전거 공유 시스템의 이점을 극대화하였다. Park and Sohn(2017)은 대기오염의 주요 원인인 자동차 배기가스를 3마일 이하의 자동차 이용을 줄이기 위해 택시 궤적 데이터를 기반으로 자전거 공유 정류장을 가장 효율적으로 찾기 위한 새로운 프레임워크를 제안하였으며 서울 강남구에 적용하여 공유 자전거 주차장의 최적 위치를 도출하기 위해 P-median과 MCLP에 각각 적용하여 비교하였다. Song and Lee(2017)은 2014년 시행된 사전투표제가 행정 단위에 기반한 사전투표소의 설치와

운영으로 유권자에 실제적인 투표 편의를 제대로 보장하지 못하고 있다고 주장하였다. 이에 따라 기존 사전투표소의 입지를 체계적으로 검토하고, 입지선정모형인 P-median 알고리즘을 활용하여 투표소의 공간 접근성을 극대화할 수 있는 다양한 사전투표소의 입지 대안을 새롭게 제시하였다. Masoud et al.(2019)는 마이크로 모빌리티의 교통혼잡을 줄이고 교통안전을 강화하기 위해 전동킵보드 충전소 할당 문제에 대한 혼합 정수 선형 계획법(MILP) 모델을 개발하였다. MILP는 충전기까지 평균 이동 거리를 최소화할 중점에 두고 전동킵보드를 할당하며, 대학 입학 알고리즘(ACA)과 블랙홀 옵티마이저(BHO) 알고리즘을 서로 비교하였다. 비교결과, BHO 결과는 ACA보다 좋지 않고 더욱 대규모 실제 사례를 해결하는데 더 많은 시간을 소비하여 대규모 사례에 대해 최적에 가까운 결과를 찾는다는 ACA를 적용할 것을 권장하였다. Lee et al.(2019)는 자녀의 초등학교 입학은 여성 경력단절의 주요 원인으로 지목되어 초등학교를 위한 돌봄시설의 최적 입지선정 방법을 제안하였다. 보육시설의 후보로 기존 보육시설을 포함하였으며, 최적의 위치를 선정할 때 위치적 특성과 최적화를 고려한 이중구조 평가방법을 제안하였다. 실험은 서울 송파구를 100 m 격자로 나뉜 공공데이터를 결합하여 평가기준을 설정하고 입지 점수를 순위로 매겨 1차 후보시설을 선정하였다. 마지막으로 P-median 알고리즘을 활용하여 최종 요양시설을 선정하였다. Choi et al.(2021)은 비고정형과 고정형을 동시에 관리하는 시스템에 초점을 맞추었다. 이용자 선호도에 따라 비고정형의 서비스 지역을 결정하고 이용자와 시설 사이의 이동 거리, 이용자의 위치 등을 고려하여 고정형의 시설 위치를 결정하였다. Kim(2021)은 법률에 따라 의무적으로 설치되고 있는 자동심장충격기(AED)의 서비스 적절성을 평가하고 수요에 효과적으로 대응할 수 있는 AED의 보급 방안을 모색하기 위해 입지선정 모형인 MCLP 알고리즘을 활용하였으며 AED 수요의 공간적 분포를 재현하기 위하여 지역의 성별, 연령별 인구 및 심장지 발생률에 기초하여 공간 단위 심장지 발생 가능 인구를 추정하였다. 또한, 기존에 설치된 AED를 기반으로 MCLP를 활용한 결과와 AED를 전부 재배치했을 때의 커버리지 비율을 비교하였다.

선행연구 검토 결과, 대부분의 최적 위치선정 연구는 시설물의 잠재수요를 산정하기 위한 추정과정을 거치고 P-median, MCLP 모형을 주로 사용하여 입지선정을 하였으며 연구자가 생각하는 시설물의 특성에 맞는 모형을 사용하거나, 여러 입지선정 모형을 적용하여 모델링 결과를 비교하는 연구가 많았다. 연구 대부분이 시설물의 특성을 고려하여 수요를 추정하는 방식의 입지 선정으로 현실적인 최적 입지선정에는 한계가 있어 비고정형 방식이 가지는 마이크로 모빌리티 주차문제에 대한 현실적인 대안이 되지 못한다. 본 연구는 실제 공유 전동킵보드 이용 데이터를 기반으로 입지선정

모형인 MCLP 모형을 활용해 주차시설의 최적 입지선정을 분석하고 이용 수요와 시간대에 따라 분류하여 공유 전동킵보드 주차시설의 유형을 도출하고자 하였다.

3. 공유 전동킵보드 주차시설 최적 입지선정 방법

공유 전동킵보드 주차시설의 최적 입지선정을 위해서는 이에 해당하는 수요와 주차장 입지 후보지 즉 공급에 대한 정가가 우선시 되어야 한다. 본 연구는 현재 공유 전동킵보드의 수요 반영을 위해 실제 공유 전동킵보드 실제 이용 데이터를 기반으로 수요를 산정하여 MCLP 모형에 적용하였다. 마지막으로 수요 및 시간대에 따라 입지선정모형을 적용하여 공유 전동킵보드의 최종 주차시설을 도출하고 유형을 분류하였다.

3.1 공유 전동킵보드 이용 데이터 수집 및 검토

본 연구는 마이크로 모빌리티의 주차문제 해결을 위해 공유 전동킵보드 실제 이용 데이터를 수집하여 현실적인 전동킵보드 주차시설의 최적 입지를 도출하고자 하였다.

공유 전동킵보드 이용 데이터는 성남시 분당 1기 신도시를 대상으로 수집하였다. 분당 1기 신도시는 성남시에서 공유 전동킵보드 주 이용 계층인 20-30대의 거주가 높기 때문에 MCLP 모형 적용을 위한 대상으로 선정하였다. 공유 전동킵보드 이용 데이터는 분당 1기 신도시에서 운영하는 3개의 업체에 공유 전동킵보드 반납 및 대여의 위치와 이용 시간이 포함된 데이터를 요청하였다. 공유 전동킵보드 업체로부터 데이터를 수집한 결과, 2021년 5월부터 6월까지 총 47,430개의 이용 데이터를 수집하였다. 수집된 이용 데이터를 분석대상지인 분당 1기 신도시에서 법정동별로 이용 건수를 집계한 결과, 정자동이 10,738건(22.63 %)으로 이용이 가장 많았고, 서현동이 8,741건(18.42 %)으로 두 번째로 많았으며, 아탑동이 8,599건(18.13 %)으로 뒤를 이었다. 이용 데이터의 시간대별 이용 분포를 확인한 결과, 22시가 3,604건으로 가장 많았고, 2시가 3,460건으로 두 번째로 많았으며, 0시가 3,393건으로 뒤를 이었다.

3.2 공유 전동킵보드 주차시설의 수요 및 공급 산정

공유 전동킵보드의 주차시설 최적 입지를 도출하기 위해서는 수요와 공급의 설정이 필요하다. 주차시설의 수요는 현실적인 전동킵보드의 수요를 반영하기 위해 3.1에서 수집한 공유 전동킵보드의 실제 이용 데이터를 활용하였다.

주차시설의 공급을 위한 후보지 선정에 있어 접근성은 가장 중요하게 고려되어야 한다. 공유 전동킵보드 실제 이용 데이터를 활용한 수요의 접근성을 극대화하기 위해서 후보지를 분당 1기

신도시를 Fig. 2과 같이 hexagon(Hexagon) 격자로 나뉘었으며 공유 전동킴보드 주차시설의 설치 유연성 확보를 위해 격자의 단위는 100 m로 하였다. hexagon 격자 방식은 육각 모형으로 지역을 분할하는 기법으로 사각 격자 기법과 다르게 접경 지역들에 대한 지역 인접성이 우수한 장점을 가진다(Moon et al., 2016). 본 연구에서는 공유 전동킴보드의 대여 및 반납을 위해 주차장으로 접근하는 거리의 오차가 hexagon이 사각 격자보다 적기 때문에 MCLP 분석대상지의 후보지 단위로 100 m의 hexagon 격자 방식을 선택하였다.

분당 1기 신도시를 100 m 단위의 격자로 나눈 결과 총 4,097개의 격자가 나타났다. 전동킴보드의 공급(입지 후보지) 산정을 위해서 100 m로 나눈 4,097개의 hexagon 셀 중 이용 수요가 50 백분위수

이상인 856개의 셀을 입지 후보지로 산정하였다(Fig. 3). 이용 수요가 50 백분위수 이상인 hexagon 셀을 입지 후보지로 선정하는 이유는 4,097개의 hexagon 셀의 이용 수요 백분위수를 검토 결과, 이용 빈도의 50 백분위수는 9건으로 일의 자릿수 이용 수요를 가지는 hexagon 셀은 MCLP 분석 시 최적 입지로 선정될 가능성이 50 백분위수 이상인 hexagon 셀을 입지 후보지로 선택하는 경우보다 상대적으로 낮고 입지 후보지를 연구의 범위 전체 hexagon 셀을 선택하여 분석 시 결과는 더 정확하지만 주차시설의 수요를 최대한 커버할 수 있는 주차장의 최적입지를 모든 hexagon 셀을 고려하여 계산하면 분석 시간이 매우 증가하기 때문에 추후 시간대별 MCLP 분석을 고려하기 위함이다. 데이터의 백분위수를 고려한 입지

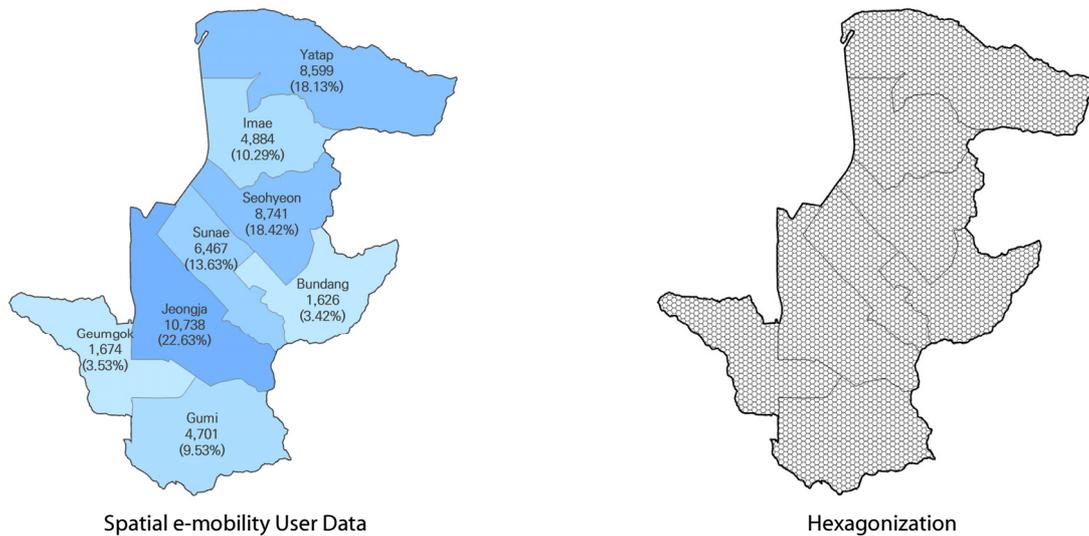


Fig. 2. Spatial Preparation of Bundang New Town

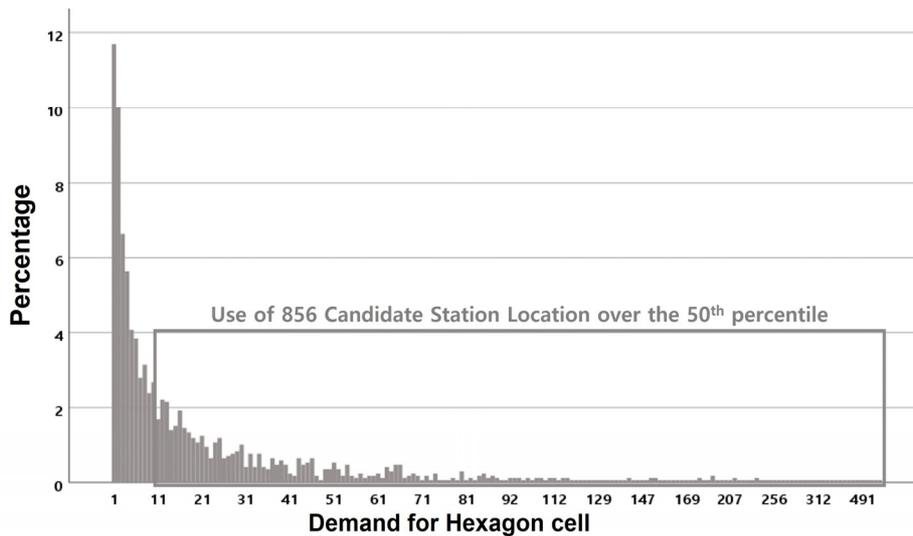


Fig. 3. Distribution of Demand by Hexagon Cells

후보지의 선정은 추후 정책입안자가 정책 입안 기간과 정책 입안의 미시적 수준에 따라 데이터의 분포를 확인하여 입지 후보지의 개수를 조정할 수 있다.

3.3 공유 전동킵보드 주차시설의 최적 입지선정

MCLP 적용에 있어 분석대상지의 헥사곤 격자화한 후 공유 전동킵보드 이용 데이터를 결합하여 나타난 입지 후보지를 대상으로 입지선정모형을 적용하여 공유 전동킵보드의 최종 최적 입지를 선정한다. 입지선정모형은 지역 개발을 위한 서비스 계획에서 널리 사용되는 방법이다. 보통 P-Median과 MCLP 모형이 주로 사용되며 미리 정의된 목적함수를 달성하기 위해 시설이 위치해야 하는 장소를 찾는데 사용된다. MCLP 모형은 커버리지 평가를 위한 공간적 기준을 바탕으로 하고 있으며 시설이 커버하는 수요의 양을 극대화할 수 있도록 정해진 수의 시설의 입지를 결정한다 (Kim, 2021).

본 연구는 마이크로 모빌리티의 주차방치 문제의 해결을 목적으로 공유 전동킵보드 주차장이 이용 의사가 있는 커버 범위 안에서 수요의 양을 극대화할 수 있는 최소 주차장의 입지가 필요하기 때문에 다음과 같은 MCLP 모형을 사용하였다.

Notations of MCLP model

Subscripts and sets

- i 수요지점 인덱스, $i = 1, \dots, n$
- j 주차장 입지 후보지 인덱스, $j = 1, \dots, m$

Parameters

- d_{ij} 수요지 i 로부터 후보지 j 까지의 거리
- D 최대 커버리지 범위
- N_i 수요 지점 i 로부터 서비스 거리 안에 있는 후보지의 집합 j
- u_i i th 후보지에 있는 수요의 총량
- 궤 설치할 주차장의 수

Decision variable

- $x_i = 1$, 수요지점 i 가 적어도 하나의 주차장에 의해 서비스가 되는 경우
- 0, 그렇지 않은 경우
- $y_j = 1$, 주차장이 후보지 j 에 입지하는 경우
- 0, 그렇지 않은 경우

$$\text{Subject to } \text{Max} \sum_{i=1}^n u_i x_i \tag{1}$$

such that

$$\sum_{j \in N_i} y_j \geq x_i \tag{2}$$

$$\sum_{j=1}^m y_j = p \tag{3}$$

$$x_i y_j = (0, 1) \tag{4}$$

$$N_i = \{j \in J | d_{ij} \leq D\} \tag{5}$$

커버 범위 안에서 수요의 양을 극대화할 수 있는 최소 시설물 입지선정을 위해 목적함수 (1)은 주차시설에 의해서 커버되는 공유 전동킵보드의 수요의 합을 최대화한다. 제약조건 (2)는 N_i 에 속한 후보지 중 적어도 한 곳에 공유 전동킵보드 주차시설이 입지하면 수요 i 는 커버 될 수 있다. 공유 전동킵보드의 주차시설 수(p)는 제약조건 (3)에서 계산된다. 제약조건 (4)는 결정변수 x_i 와 y_j 가 0 또는 1의 값을 갖는 이진 정수임을 의미하며, 제약조건 (5)는 수요지 i 로부터 후보지 j 까지의 거리와 최대 커버리지 범위의 관계를 보여준다.

4. 공유 전동킵보드 주차시설 최적 입지선정 결과

4.1 커버 범위에 따른 주차시설 최적 입지선정 결과

MCLP 모형의 적용을 위해서는 시설이 커버하는 수요의 양을 극대화할 수 있는 커버 범위의 설정이 필요하다. 대부분의 연구에서는 버스정류장에 대한 접근에 대해 0.25마일(약 402 m)의 거리 임계값을 사용하고 지하철이나 가차역에 대해 0.50마일(약 804 m)의 거리 임계값을 사용한다(García-Palomares et al., 2012). 공유 전동킵보드의 주차시설에 대한 MCLP 모형을 사용하면서 주차시설의 커버 범위는 사람들이 장거리 여행을 위해 대중교통 시설에 접근하는 거리보다 낮아야 한다. 따라서 마이크로 모빌리티의 비고정형이 가지는 주차문제 해결을 위해 가장 높은 공유 전동킵보드 수요 커버 비율을 가지는 커버 범위를 찾기 위하여 200 m, 300 m, 400 m를 커버 범위로 시나리오를 설정하여 MCLP 모형을 적용하여 비교하였다(Fig. 4).

커버 범위에 따른 시나리오로 MCLP 모형을 적용한 결과는 Table 1과 같다. 200 m를 커버 범위의 경우, 최소 주차시설의 개수로 최대의 커버 비율을 가지는 가장 효율적인 주차시설의 개수(Optimal p)는 388개로 이용 수요 47,430건 중 46,748건을 커버하여 98.56 %의 커버 비율을 기록하였다. 300 m의 경우, 가장 효율적인 주차시설의 개수(Optimal p)는 239개로 47,430건 중 47,190건으로 99.49 %의 커버 비율을 보였다. 400 m의 경우,

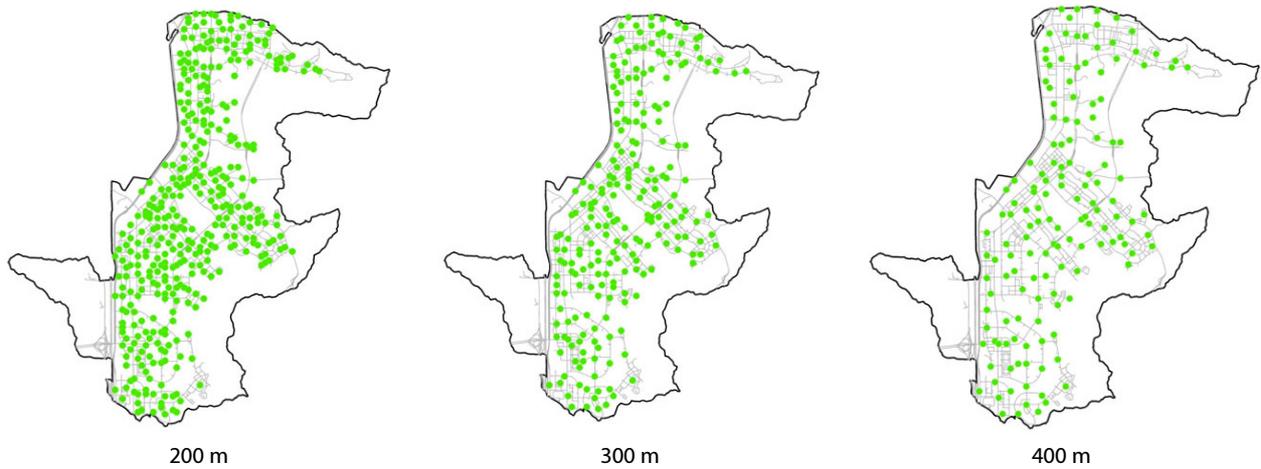


Fig. 4. Optimal E-scooter Station Location by Coverage Radius

Table 1. Result from the MCLP with Coverage Radius

Cover radius	Cover ratio	Optimal p	Average Walking distance
200 m	98.56 % (46,748 cases)	388	63.84 m
300 m	99.46 % (47,190 cases)	239	105.85 m
400 m	99.83 % (47,354 cases)	146	152.45 m

가장 효율적인 주차시설의 개수(Optimal p)는 146개로 47,430건 중 47,354건으로 99.83 %의 커버 비율을 보였다. 또한, 이용 수요 각각의 위치로부터 도출된 공유 전동킵보드 주차시설의 최적 입지까지 도보이동거리의 평균을 산출하였다. 산출 결과, 200 m 커버 범위의 평균도보이동거리는 63.84 m, 300 m 커버 범위의 평균도보이동거리는 105.84 m, 400 m 커버 범위의 평균도보이동거리는 152.45 m로 산출되었다. 본 연구는 기존 마이크로 모빌리티의 주차방식인 비고정형이 가지는 문제점을 해결하기 위함으로 커버 범위가 400 m인 경우 Cover ratio는 99.83 %로 불법주차를 가장 최소화할 수 있고 Optimal p 는 146개로 가장 경제적이며 Average Walking distance는 152.42 m로 평균도보이동거리가 수용가능한 수준임으로 MCLP 모형의 커버 범위는 400 m가 가장 적절하다고 판단하였다.

4.2 주차시설 최적 입지의 수요 및 시간대별 특성 분석

공유 전동킵보드 주차시설의 전략적 설치 및 운영을 위해 이용 수요 분류와 시간대별 MCLP 모형의 적용으로 이용 행태를 반영한 최적 입지를 선정하고자 하였다. 커버 범위는 4.1에서 도출된 공유 전동킵보드의 주차문제를 해결하는데 적절한 커버 범위인 400 m로 설정하였다. 먼저 이용 수요별로 주차시설 최적 입지를 분류하기

위해 도출된 146개의 주차시설 최적 입지에 커버 범위인 400 m 안에 포함되는 이용 수요를 조사한 뒤 최적 입지로 도출된 헥사곤 셀 각각 커버되는 수요 빈도수를 등간적으로 나눠 매우 낮은 수요지역(Very Low Demand Sites), 낮은 수요지역(Low Demand Sites), 높은 수요지역(High Demand Sites), 매우 높은 수요지역(Very High Demand Sites) 총 4개의 수준으로 분류하였다. 여기서 3.2의 이용 빈도수 10건 미만에 해당하는 헥사곤 셀을 제외한 것은 분석 시간의 단축(즉, 입지 후보지의 축소)을 위한 것으로 이용 수요 분류는 데이터 전체 수요 중 400 m 커버 범위에 해당하는 이용 수요를 기반으로 분류했기 때문에 이용 빈도수 10건 미만의 헥사곤 셀 제외와 매우 낮은 수요지역 간의 연관성은 없다. 분류 수준은 중간수요의 특성을 가진 주차시설 도출을 방지하기 위해 짝수로 선정하였다. 추가로 이용 행태에 따라 공유 전동킵보드 주차시설을 도출하기 위해 전체(Total), 대여수요(Generators), 반납수요(Attractors)로 나눠 각각 분류하였다. 전체는 공유 전동킵보드의 실제 이용 데이터 전체를 의미하며, 대여수요는 공유 전동킵보드의 실제 이용 데이터에서 이용자가 공유 전동킵보드를 대여한 데이터, 반납수요는 이용자가 공유 전동킵보드를 반납한 데이터를 의미한다.

수요로 분류한 결과, 전체의 경우 매우 낮은 수요지역은 MCLP 모형에서 도출된 146곳의 공유 전동킵보드 주차장의 최적 입지

Table 2. MCLP Result by Demand Type

Demand Type	Total	Generators	Attractors
Very Low Demand Sites	94 (64.38 %)	101 (69.18 %)	84 (57.53 %)
Low Demand Sites	37 (25.34 %)	31 (21.23 %)	45 (30.82 %)
High Demand Sites	12 (8.22 %)	11 (7.53 %)	14 (9.59 %)
Very High Demand Sites	3 (2.05 %)	3 (2.05 %)	3 (2.05 %)

Table 3. MCLP Result by Time Period

Time Period	Total	Generators	Attractors
Peak Time Sites	100 (68.49 %)	117 (80.13 %)	115 (78.76 %)
Half Day Time Sites	37 (25.34 %)	26 (17.80 %)	30 (20.54 %)
All Day Time Sites	9 (6.16 %)	3 (2.05 %)	1 (0.68 %)

중 94곳으로 64.38 %를 기록했으며, 낮은 수요지역은 37곳으로 25.34 %, 높은 수요지역은 12곳으로 8.22 %, 매우 높은 수요지역의 경우 3곳으로 2.05 %가 분류되었다. 대역수요의 경우 매우 낮은 수요지역은 101곳(69.18 %), 낮은 수요지역은 31곳(21.33 %), 높은 수요지역은 11곳(7.53 %), 매우 높은 수요지역은 3곳(2.05 %)으로 분류되었다. 반납수요의 경우 매우 낮은 수요지역은 84곳(57.33 %), 낮은 수요지역은 45곳(30.82 %), 높은 수요지역은 14곳(9.59 %), 매우 높은 수요지역은 3곳(2.05 %)으로 분류되었다 (Table 2). 분당 1기 신도시는 매우 낮은 수요지역의 특성을 가진 주차시설이 과반수이며 높은 수요일수록 도출된 주차시설의 수가 감소하는 경향을 보였다.

시간대별 특성의 경우 기존에 도출된 146개의 공유 전동킴보드 주차시설 최적 입지를 입지 후보지로 수요를 시간대별로 분할하고 입력하여 MCLP 분석하였다. 분석 후 시간대별로 나타난 주차장 최적 입지가 146개의 공유 전동킴보드 주차시설 최적 입지에 중복 되는 빈도수를 계산하였다. 그 후, 중복되는 시간대가 1~7개인 최적 입지를 Peak Time Sites, 8~15개인 최적 입지를 Half Day

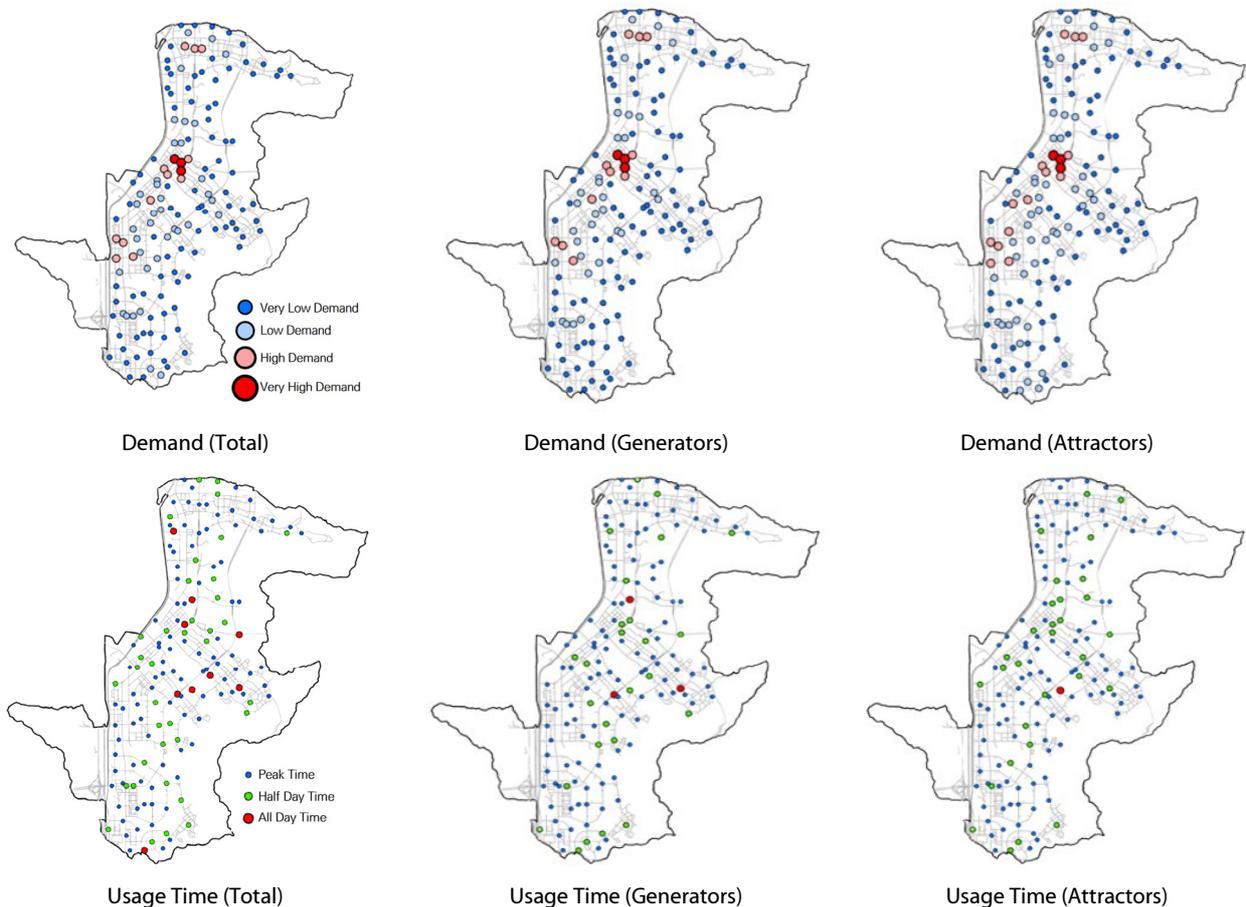


Fig. 5. Optimal E-scooter Station Location by Usage Demand & Time

Time Sites, 16~24개인 최적 입지를 All Day Time Sites로 분류하였다. 시간대별 분석도 마찬가지로 전체, 대여수요, 반납수요로 나눠 MCLP를 적용하였다.

시간대별 분류 결과, 특정 시간대에 이용 특성을 보이는 Peak Time Sites는 전체 100곳, 대여수요 117곳, 반납수요는 115곳으로 분석되었다. 8~15개의 시간대에 이용이 있는 Half Day Time Sites는 전체 37곳, 대여수요 26곳, 반납수요는 30곳으로 분석되었다(Fig. 5). 온종일 공유 전동킥보드의 이용이 있는 All Day Time Sites는 전체 9곳, 대여수요 3곳, 반납수요는 1곳으로 분석되었다(Table 3).

5. 공유 전동킥보드 주차시설의 설치 및 운영 방안 제안

5.1 시간대별 이용 수요가 반영된 주차시설 최적 입지 유형 분류

공유 전동킥보드의 주차시설 최적 입지의 유형을 분류하기 위해서 4.2에서 분류한 수요의 4개 분류(매우 낮은 수요지역, 낮은 수요지역, 높은 수요지역, 매우 높은 수요지역)와 시간 특성의 3개 분류(Peak Time Sites, Half Day Time Sites, All Day Time Sites)를 교차하여 공유 전동킥보드의 주차시설 유형을 총 12개로

Table 4과 같이 분류하였다. 또한, 전체, 대여수요, 반납수요로 Fig. 6과 같이 분류하였다. Peak Time Sites의 최적 입지는 원형의 심볼을 적용했으며, Half Day Time Sites의 최적 입지는 삼각형을 적용하였고, All Day Time Sites의 최적 입지는 사각형을 적용하였다. 이용 수요의 경우 매우 높은 수요 지역은 빨간색, 높은 수요지역은 연분홍색, 낮은 수요지역은 하늘색, 매우 낮은 수요지역은 파란색을 적용하였다. 따라서 빨간색 사각형인 12유형 지역(12 Type Sites)은 온종일 높은 공유 전동킥보드의 이용이 있는 주차시설(All Day Time & Very High Demand)로 분류된다. 하늘색 삼각형인 6유형 지역(6 Type Sites)은 하루의 절반 동안 낮은 공유 전동킥보드의 이용이 있는 주차시설(Half Day Time & Low Demand)로 분류된다. 파란색 원형을 보이는 1유형 지역(1 Type Sites)은 특정 시간대에 매우 낮은 공유 전동킥보드의 이용이 있는 주차시설(Peak Time & Very Low Demand)로 분류된다.

5.2 주차시설 최적 입지 유형 분류를 활용한 설치 및 운영 방안

5.1에서 제시한 12개의 공유 전동킥보드 주차시설 최적 입지 유형을 통해 공유 전동킥보드 주차시설의 설치 및 운영 방안을 제안하였다. 전체(Total)의 12가지 주차시설 유형 분류를 통해

Table 4. 12 Types of E-scooter Station

	Peak Time (1~7 Hour Time)	Half Day Time (8~15 Hour Time)	All Day Time (16~24 Hour Time)
Very Low Demand	1 Type ●	5 Type ▲	9 Type ■
Low Demand	2 Type ○	6 Type ▲	10 Type ■
High Demand	3 Type ●	7 Type ▲	11 Type ■
Very High Demand	4 Type ●	8 Type ▲	12 Type ■

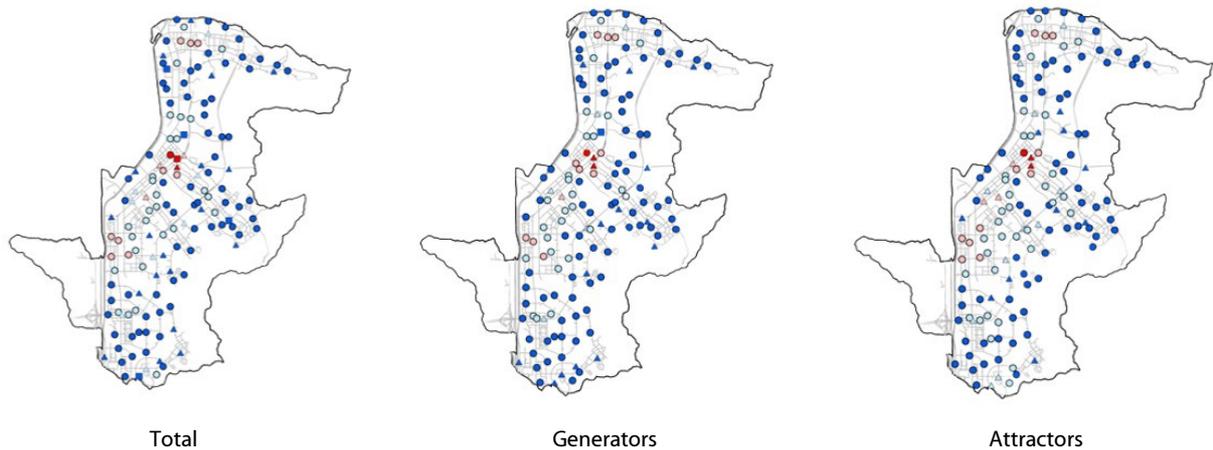


Fig. 6. Optimal E-scooter Station Location by 12 Types

주차시설의 설치 방안을 제시하였다. 12가지 주차시설 유형에서 매우 낮은 수요 지역인 Very Low Demand Sites의 1, 5, 9 Type Sites보다 매우 높은 수요 지역인 Very High Demand Sites인 4, 8, 12 Type Sites가 주차시설 설치 우선순위가 높다. 또한, 같은 Very High Demand Sites인 4, 8, 12 Type Sites에서 특정 시간대에 이용 특성을 보이는 Peak Time Sites인 4 Type Sites보다 온종일 공유 전동킵보드의 이용이 있는 All Day Time Sites인 12 Type Sites가 설치 우선순위가 높다. 따라서 공유 전동킵보드 설치 시 우선순위는 Very High Demand & All Day Time Sites인 12 Type Sites부터 8, 4, 11, 7, 3, 10, 6, 2, 9, 5, 1 Type Sites로 설치 우선순위 선정이 가능하다.

대여수요와 반납수요의 12가지 주차시설 유형 분류를 통해 주차시설의 운영 방안을 제시하였다. 대여수요에서 수요가 낮은 10, 6, 2, 9, 5, 1유형과 반납수요에서 수요가 높은 12, 8, 4, 11, 7, 3유형을 가진 주차시설 최적 입지는 해당 주차시설에는 공유 전동킵보드의 대여가 낮고 반납이 많아 주차시설에 남는 공유 전동킵보드가 많음을 의미한다. 반대로 대여수요에서 수요가 높은

12, 8, 4, 11, 7, 3유형과 반납수요에서 수요가 낮은 10, 6, 2, 9, 5, 1유형은 해당 주차시설에 공유 전동킵보드가 부족함을 의미한다. 따라서 공유 전동킵보드 주차시설의 운영 방안으로 주차시설 최적 입지에 반납수요와 대여수요의 유형 도출하여 대여수요가 낮고 반납수요가 높은 주차시설에서 대여수요가 높고 반납수요가 낮은 주차시설로 공유 전동킵보드의 일부를 이동시킴으로 공유 전동킵보드의 이용을 제고시킬 수 있다. Fig. 7은 공유 전동킵보드 주차시설의 설치 및 운영 방안 예시이다.

6. 결론

마이크로 모빌리티는 대중교통과 연계할 수 있는 라스트 마일을 이용할 때 편리한 교통수단이며, 내연기관 이륜차보다 경제적인 교통수단으로 전 세계적으로 마이크로 모빌리티의 시장은 지속해서 증가하고 있다. 하지만 국내 마이크로 모빌리티 관련 민원 역시 지속해서 증가하고 있으며 마이크로 모빌리티의 불법 주차가 주요 원인 중 하나로 분석되었다. 현재 국내에서 서비스되고 있는 공유

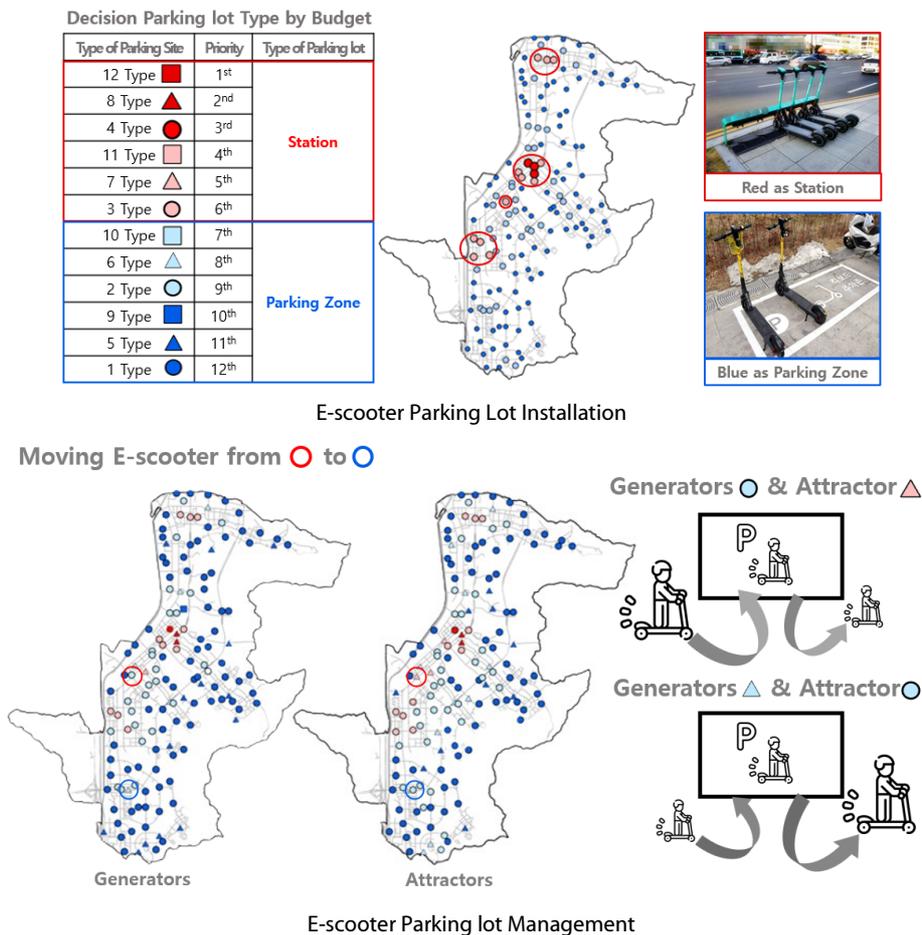


Fig. 7. Strategy of E-scooter Parking lot Installation & Management

마이크로 모빌리티의 대부분은 비고정형 방식을 채택하고 있다. 비고정형 주차방식이 가지는 단점을 해결하기 위해서는 고정형의 도입이 필요하지만, 공학적 고려가 없는 도입은 이용 접근성을 낮춰 역효과를 유발할 수 있다. 본 연구는 고정형의 단점을 최소화하는 도입을 위해 입지선정모형인 MCLP 모형을 활용하였다. MCLP 모형을 적용하는 과정에서 선행연구에서는 대부분 공공시설물의 입지선정문제에 대한 연구와 공유 마이크로 모빌리티의 입지선정을 하더라도 잠재수요를 추정하여 MCLP의 모형을 적용하였기 때문에 본 연구에서는 실제 공유 전동킵보드의 이용 데이터를 활용하여 현실적인 마이크로 모빌리티의 주차문제를 해결하고자 하였다. 더불어, MCLP 모형으로 도출된 공유 전동킵보드의 최적 주차시설 입지에 수요 및 시간대에 따라 분류하여 도출된 주차시설을 유형 분류하였다.

모형의 적용을 위해서 분당 1기 신도시를 대상으로 100 m 단위의 hexagon을 나눠 수요와 입지 후보를 산정하였다. 커버 범위의 경우는 마이크로 모빌리티에 접근하기 위한 임계값에 대한 연구가 없어 버스정류장 접근 거리 임계값인 0.25마일(약 402 m)보다 낮고 후보지 hexagon 격자의 기본 단위인 100 m보다 큰 200 m, 300 m, 400 m로 시나리오를 설정하여 적용하였다. 분석 결과, 400 m로 모형 적용 시 Optimal p 는 146, 커버 비율은 99.83 %로 200 m, 300 m를 커버 범위로 적용할 때보다 필요한 주차시설이 가장 낮으며, 커버되는 공유 전동킵보드의 수요는 가장 높았다. 공유 전동킵보드의 수요 지점부터 도출된 주차시설까지의 도보 이동거리의 평균은 400 m가 152.45 m로 가장 길었다. 따라서 마이크로 모빌리티의 주차문제 해결을 목적으로 커버 범위를 선택할 경우 가장 높은 커버 비율을 보이는 400 m가 적합하나, 주차시설까지의 접근성 향상이 목적이라면 정책입안자는 평균보도이동거리와 Optimal p 를 고려하여 커버 범위를 선택할 수 있다. 다음으로 공유 전동킵보드 주차시설의 최적 입지를 수요 및 시간대에 따라 분류하였다. 수요의 경우 매우 낮은 수요지역, 낮은 수요지역, 높은 수요지역, 매우 높은 수요지역 총 4가지 수준으로 분류하였으며, 시간대는 1~7개의 시간대를 Peak Time Sites, 8~15개의 시간대를 Half Day Time Sites, 16~24개의 시간대를 All Day Time Sites 총 3개의 시간 특성으로 나눠 분류하였다. 또한, 수요의 4가지 수준과 시간대별 3가지 수준을 교차하여 공유 전동킵보드의 주차시설 유형을 총 12가지로 분류하였다. 추가로, 12가지 주차시설 유형을 전체, 대여수요, 반납수요별로 분류하였다. 이러한 분류는 마이크로 모빌리티 주차시설의 설치 및 운영 전략 수립이 가능하다. 먼저 마이크로 모빌리티 주차시설의 시범 설치 후 점진적으로 설치하는 경우 정책입안자는 가장 폭넓은 시간대에 매우 높은 수요의 특성을 보이는 12유형 지역을 시범 설치 장소로 선택하고 나머지 최적 입지에 주차존을 설치하여 수요를 커버할 수 있다.

추후 확대 설치하는 경우 8, 4, 11, 7, 3, 10, 6, 2, 9, 5, 1유형 지역 순으로 설치의 우선순위를 선정하여 주차존 대신 고정형 주차시설을 설치할 수 있다. 12가지의 주차시설 유형을 대여 및 반납수요로 각각 분류한 결과는 마이크로 모빌리티 운영의 전략을 제시할 수 있다. 반납수요에서 높은 수요를 보이는 빨간색과 연분홍색의 주차시설 유형 지역과 대여수요에서 낮은 대여수요를 보이는 주차시설 유형 지역은 공유 전동킵보드의 대여보다 반납이 많아 주차시설에 공유 전동킵보드가 남아있으므로 해석할 수 있다. 이런 주차시설 유형 지역의 공유 전동킵보드를 낮은 반납수요를 보이는 파란색, 하늘색의 주차시설 유형 지역과 높은 대여수요를 보이는 빨간색, 연분홍색의 주차시설 유형 지역은 반납보다 대여의 수요가 높은 주차시설 유형 지역에 공유 전동킵보드를 보충하는 운영 전략의 수립이 가능하다. 본 연구는 고정형 주차시설의 최적 입지를 도출하여 마이크로 모빌리티의 주차문제를 해결하기 위한 방법론적 연구이다. 하지만 본 연구에서 제시한 마이크로 모빌리티의 최적 주차시설의 현실적인 도출 및 설치를 위해서는 다음과 같은 사항이 향후 연구로 보충되어야 한다.

첫 번째로, 본 연구에서는 마이크로 모빌리티의 주차문제 해결을 위해 고정형 주차방식의 도입을 전제로 연구하였으나, 이는 분석대상자인 분당 1기 신도시와 같은 도시부에 해당하며 마이크로 모빌리티의 수요가 낮은 교외 지역에서의 주차방식은 비고정형이 더 적합할 수 있다. 따라서 향후 연구로 토지 이용 구분에 따라 고정형·비고정형이 혼재된 마이크로 모빌리티 주차 시스템을 고려하는 연구가 필요하다. 두 번째로, MCLP 분석 시 마이크로 모빌리티의 주차시설 후보지 단위는 100 m로 분석대상자인 분당 1기 신도시의 거시적인 주차시설의 최적 입지를 도출하였다. 도출된 주차시설에 실제로 고정형 주차시설을 설치하는 경우 100 m 단위의 hexagon 안에서 위치 파악이 어려운 지점에 설치하거나 지하철역이 존재하지만 다른 지점에 설치하는 등 적절한 지점에 설치하지 않는 경우 오히려 고정형 주차방식은 역효과가 날 수 있다. 따라서 미시적 마이크로 모빌리티의 최적 입지선정 연구가 향후 필요하다. 세 번째로, 본 연구는 수요를 4개의 수준으로 주차시설 최적 입지를 분류하여 주차시설 입지 최적화 및 설치·운영 방안 제시가 목적인 기초 연구로 중간적으로 이용 수요를 분류하였지만 마이크로 모빌리티의 이용자의 현실적인 이용 분포를 분류하기 위해 추후 연구로 K-means Clustering 같은 군집 분석을 통한 이용 수요 분류가 필요하다. 네 번째로, MCLP 수요 산정에서 공유 전동킵보드의 잠재수요를 반영하지 않아 향후 공유 전동킵보드의 수요가 증가할 수록 주차시설의 커버 범위에 만족하지 않는 공유 전동킵보드가 발생할 수 있다. 향후 연구로 마이크로 모빌리티의 이용 의사에 대한 요인을 분석하여 현재 마이크로 모빌리티의 수요와 장래의 수요가 함께 고려된 주차시설의 최적 입지선정 연구가 필요하다.

감사의 글

본 연구는 2022학년도 경기대학교 학술연구비(신진연구과제) 지원에 의하여 수행되었음.

본 연구는 2023년 경기대학교 대학원 연구원장학생 장학금 지원에 의하여 수행되었음.

References

- Choi, M. H., Jung, H. Y. and Lee, H. Y. (2021). "Determining the optimum service area and station location for personal mobility sharing services." *KSCE Journal of Civil Engineering*, KSCE, Vol. 25, No. 10, pp. 3966-3976.
- Choi, N. H. and Kim, J. H. (2021). "A comparative study on the perceptions towards personal mobility vehicle between adults and minors." *KSCE Journal of Civil and Environmental Engineering Research*, KSCE, Vol. 41, No. 5, pp. 543-550 (in Korean).
- Daniel, S., Philipp, S., Carsten, S. and Tyler, B. (2019). *The promise and pitfalls of e-scooter sharing*, Boston Consulting Group.
- Deloitte (2019). *Small is beautiful: Making micromobility work for citizens, cities, and service providers*, Available at: terms.naver.com (Accessed: January 24, 2022).
- Frade, I. and Ribeiro, A. (2015). "Bike-sharing stations: A maximal covering location approach." *Transportation Research Part A*, Vol. 82, pp. 216-227.
- García-Palomares, J. C., Gutiérrez, J. and Latoree, M. (2012). "Optimizing the location of stations in bike-sharing programs: A GIS approach." *Applied Geography*, Vol. 35, No. 1-2, pp. 235-246.
- Gössling, S. (2020). "Integrating e-scooters in urban transportation: Problems, policies, and the prospect of system change." *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, Vol. 79, 102230.
- Hollingsworth, J., Copeland, B. and Johnson, J. X. (2019). "Are e-scooter polluters? The environmental impacts of shared dockless electric scooters." *Environmental Research Letters*, Vol. 14, No. 8, 084031.
- International Energy Agency (IEA) (2021). *Global energy review 2021*, Available at: iea.org (Accessed: March 15, 2022).
- Jeon, J. W., Jung, J. Y., Kang, Y. K. and Kim, J. H. (2019). "Location decision of personal mobility station based on spatial data with demand-responsive management." *Proceeding of the KOR-KST Conference*, pp. 466-467 (in Korean).
- Kim, K. Y. (2021). "Evaluating coverage of automated external defibrillator (AED) using a spatial optimization model: The case of Gangnam-Gu." *Journal of the Association of Korean Geographers*, Vol. 10, No. 1, pp. 153-166 (in Korean).
- Korea Consumer Agency (KCA) (2021). *E-Scooter, there are differences in mileage and driving performance by product*, p. 13 (in Korean).
- Lee, J. W., Kim, J. Y., Yu, K. Y. and Yang, S. C. (2019). "Optimal location modeling for elementary student's care facility using public data." *Journal of Cadastre InformatiX*, Vol. 49, No. 2, pp. 109-122 (in Korean).
- Masoud, M., Elhennawy, M., Almannaa, M. H., Liu, S. Q., Glaser, S. and Rakotonirainy, A. (2019). "Heuristic approaches to solve e-scooter assignment problem." *IEEE Access*, Vol. 7, pp. 175093-175105.
- Moon, H. K., Oh, K. H., Kim, S. K. and Jung, J. Y. (2016). "Analysis of regional transit convenience in seoul public transportation networks using smart card big data." *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, Vol. 42, No. 4, pp. 294-303 (in Korean).
- Park, B. R., Lee, K. J. and Choi, K. C. (2013). "Optimum location choice for bike parking lots using heuristic p-median algorithm." *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, KSCE, Vol. 33, No. 5, pp. 1989-1998 (in Korean).
- Park, C. and Sohn, S. Y. (2017). "An optimization approach for the placement of bicycle-sharing stations to reduce short car trips: An application to the city of Seoul." *Transportation Research Part A*, Vol. 105, pp. 154-166.
- PMG Dictionary of Current Affairs (2019). *Micro-mobility*, Available at: www.deloitte.com/global/en.html (Accessed: November 8, 2022) (in Korean).
- raine (2020). *A guide to electric scooter batteries*, Available at: raine.co (Accessed: March 30, 2022).
- Shin, H. C. (2020). "Activation plan for future personal mobility." *Monthly Transportation*, Vol. 268, No. 6, pp. 31-37 (in Korean).
- Song, H. J. and Lee, G. H. (2017). "Optimal location modeling of early voting polls considering spatial accessibility: Cases of Seocho and Gangnam-gu in Seoul." *Journal of the Korean Geographical Society*, Vol. 52, No. 6, pp. 827-843 (in Korean).
- United Nations (UN) (2014). *World urbanization prosperts 2014*, Available at: population.un.org (Accessed: March 10, 2022).