



서울시 Personal Mobility 우선 공급 지역 분석

: First-Last Mile 통행특성을 중심으로*

Analysis of the Priority Supply Areas of Personal Mobility in Seoul, Korea

: Focusing on the Travel Characteristics of First-and-Last Miles

한재원** · 안수영*** · 김미성**** · 한동형***** · 이수기*****

Han, Jae-Won · Ahn, Soo-Yeong · Kim, Mi-Sung · Han, Dong-Hyung · Lee, Sugie

Abstract

The purpose of this study is to identify a priority area for demand-based personal mobility (PM) supply considering first-mile (FM), last-mile (LM), and walking-only mobilities in Seoul, Korea. The main findings of the study are as follows. When combining FM, LM, and walking-only mobilities, PM demand was high in areas where access to major public transportation was relatively scarce and hinterlands possessed naturally occurring narrow roads. It was also high in areas with a university district built on a hinterland, areas where young people passed frequently, and areas with considerable distance between the subway station and university campus. Moreover, PM demand was found to be high in residential areas with mixed land use, where business and commercial areas were concentrated around the subway station, and in areas with high employment. These results suggest that a PM service provider should consider the characteristics of land use, major facilities in the surrounding area, primary PM users, and public transportation infrastructure. This study contributes to the development of public policies for the establishment of the MaaS system, which is an integrated mobility service linking PM and public transportation.

주제어 퍼스트 마일, 라스트 마일, 퍼스널 모빌리티, 마이크로 모빌리티, 통합 이동성 서비스

Keywords First Mile, Last Mile, Personal Mobility, Micro Mobility, Mobility as a Service (MaaS)

1. 연구의 배경 및 목적

교통 시스템은 도시의 기반이 되는 핵심요소로 시민의 삶에 지대한 영향을 미친다. 세계 많은 국가에서 교통을 중요한 사회간접자본으로 인식하고 교통체계 개선에 힘쓰고 있다. IoT Analytics

의 2018년 자료에 따르면, 전 세계 스마트시티 사업의 39%가 교통과 관련되어 가장 높은 비율을 차지하는 것으로 나타났다(홍상연 외, 2019). 이처럼 스마트한 미래 도시를 형성하는 교통수단으로서 스마트 모빌리티(smart mobility)가 주목을 받고 있다.

기존 대중교통체계와 스마트 모빌리티로 대표되는 Personal

* 본 연구는 대한민국 교육부/한국연구재단의 지원(NRF-2021R1A2C2006539)으로 수행되었으며, 2020년 대한국토·도시계획학회 추계학술대회에서 발표하여 우수 논문상을 수상한 논문을 수정·보완하였음.

** Doctoral candidate, Department of Urban Planning & Engineering, Hanyang University (First Author: hybridkid@hanyang.ac.kr)

*** Bachelor's Degree, Department of Industrial Engineering, Hanyang University (an103201@naver.com)

**** Bachelor's Student, Department of Urban Planning & Engineering, Hanyang University (altjd8954@naver.com)

***** Bachelor's Degree, Department of German Language & Literature, Hanyang University (bosco91@hanyang.ac.kr)

***** Professor, Department of Urban Planning & Engineering, Hanyang University (Corresponding Author: sugielee@hanyang.ac.kr)

Mobility(이하 PM)는 큰 차이를 가지고 있다. 기존 대중교통체계의 경우 공공의 자원을 통해 운영하는 공공재 서비스 성격이 강하지만, 스마트 모빌리티 서비스는 비즈니스 모델에 따른 민간에서 제공하는 서비스 성격이 높다(소재현·안현주, 2020). 대중교통체계 역시 대중교통을 여러 사람이 공유한다는 점에서 공유의 한 형태라고 볼 수 있지만, 고정된 운영 형태에 이용자가 맞추어 사용하기 때문에 공유의 형태로 보기에는 한계가 있다. 그러나 현재 도입되는 전동킥보드, 자전거, 차량 등 스마트 모빌리티는 이용자가 원하는 시간에 원하는 만큼 이용할 수 있다. 따라서 기존 교통체계와 더불어 각종 스마트 모빌리티 서비스가 도입되면서 도시교통문제 해결에 있어 다양한 형태의 솔루션 적용이 가능하게 되었다고 할 수 있다.

PM은 편리성과 경제성 그리고 환경적인 측면에서 도시 내 교통문제를 저렴한 비용으로 해결할 수 있다는 것이 큰 장점이다. 안다은(2020)에 따르면 서울시는 도로, 대중교통, 주차, 보행 등 모든 교통분야에서 수요 과다로 인한 다양한 교통문제가 발생하고 있다. 최근 5년간 서울시의 교통수단분담률을 살펴보면 승용차는 증가하고 대중교통은 감소하는 추세가 지속되고 있다. 이러한 배경에서 PM은 대중교통의 한계점을 보완해줄 수 있는 수단으로 고려되고 있다.

최근, 우리나라 도시에서 흔히 볼 수 있는 큰 변화 중 하나는 PM의 도입이다. 도로 곳곳에 자유롭게 주차되어 있는 전동킥보드는 2018년부터 국내에서 큰 이슈가 되었고, 급격한 사용률의 증가 현상을 보였다. 신희철 외(2017)의 연구에 따르면 국내 PM 시장은 2016년 6만 대 수준에서 2022년에는 20만 대 규모로 대폭 성장할 것으로 예상하였다. 또한, PM 업계의 규모는 약 2조 원으로 추산되며, 2030년에는 시장규모가 약 26조 원까지 성장할 것이라는 전망을 하였다.

PM과 유사한 개념으로 전동킥보드를 포함한 전기자전거와 초소형 전기자동차 등을 마이크로 모빌리티(Micro Mobility)로 정의하고 있다. 마이크로 모빌리티는 출퇴근 시간에 교통 체증이 심한 도심 속에서 짧은 거리 이동에 편의성을 제공한다는 장점이 있다. McKenzie(2020)에 따르면 공유 킥보드와 공유자전거와 같은 마이크로 모빌리티 서비스의 도입은 많은 도시에서 도시 교통의 실질적인 변화에 기여하고 있다.

다른 한편으로 교통에 대한 미래의 비전으로 “Integrated and seamless mobility(끊김이 없는 통합된 모빌리티 서비스)”가 주목받고 있다. 김수재 외(2018)의 연구에 의하면 통합 모빌리티 서비스는 개인교통수단과 대중교통수단 및 공유교통 서비스를 모두 통합하여 제공하는 서비스로서, 이용자에게 모든 수단을 통합적으로 고려한 연계수단 통행방안과 합리적인 요금을 제시하는 것이 핵심이라고 하였다. 이러한 통합 모빌리티 서비스는 “Mobility as a Service(이하 MaaS)”로 정의되고 있다. 김민정 외(2019)의 연구에 따르면 최근 교통선진국을 중심으로 MaaS라

는 공유교통을 기반으로 한 새로운 교통 패러다임의 전환이 이루어지고 있다.

PM은 자가용 자동차를 대체할 수 있는 새로운 교통수단으로서 무공해 연료인 전기동력을 사용하는 초소형·초경량의 교통수단이다(안다은, 2020). First-Mile Mobility(이하 FMM) 또는 Last-Mile Mobility(이하 LMM) 이용 수단으로 PM은 출발지로부터 대중교통수단을 이용하기 전과 대중교통수단을 이용한 후 최종목적지까지 남은 단거리를 빠르고 편리하게 이동을 가능하게 한다는 장점이 있다. 따라서 이러한 PM은 기존 자동차 중심의 운송 체계가 가지고 있는 단점을 극복할 수 있는 가능성을 가지고 있다. 나아가 PM은 기존 대중교통의 한계로 지적되어온 FMM과 LMM 문제를 해결함으로써 대중교통 이용 증진과 서비스 제공의 질적 수준 향상을 도모할 수 있다. 이러한 배경에서 본 연구는 FMM과 LMM을 고려한 수요기반 PM 공급 우선지역을 도출하는 것을 목적으로 한다. 나아가 PM과 대중교통을 연계한 통합형 모빌리티 서비스인 MaaS 체계 구축을 위한 기초자료와 정책적 시사점을 제시한다.

II. 선행연구 고찰

PM 관련 연구는 최근에 빠르게 증가하고 있다. <표 1>은 국내외 PM 관련 연구를 연구의 방법과 주요 내용을 중심으로 정리한 결과이다. 다음은 PM 관련 연구를 크게 PM 효과와 제도 관련 연구 그리고 PM 이용 특성 연구로 나누어 고찰하고 연구의 차별성을 제시하였다.

1. Personal Mobility 효과와 제도 관련 연구

전동스쿠터, 전기자전거 등을 포함하는 퍼스널 모빌리티는 도심의 교통문제를 해결할 수 있는 이동수단으로서 관심이 증대하였으며, 공유 플랫폼 서비스의 보급과 더불어 이용량이 폭발적으로 증가하였다. 또한, 기후 위기와 도시환경 악화에 따른 대안으로서 친환경 미래 교통수단으로 주목받고 있다. PM 보급 확산으로 기대할 수 있는 효과로는 개인 차량 이용 감소에 따른 온실가스 배출 감소를 기대할 수 있다. Hardt and Bogenberger (2017; 2019)는 독일 뮌헨시를 대상으로 e-scooter pilot test를 통해 수집된 데이터를 기반으로, e-scooter가 통근 및 여가 목적의 통행에서 하루 평균 이동거리의 최대 64%, 기상 조건을 고려하였을 시에 58%를 대체할 수 있다고 하였다. 또한, 이러한 이동수단의 전환은 도시 환경 측면에서 유럽 도시의 교통문제, 온실가스 배출, 주차문제 등의 개선에 긍정적인 효과가 있다고 주장하였다. 또한, Hollingsworth et al.(2019)은 생애주기 평가법을 통해 전동스쿠터 이용이 지구 온난화, 산성화, 부영양화 및 호흡기 영향 등 환경에 미치는 효과를 정량 분석하였다. 분석 결과,

표 1. Personal Mobility 관련 선행연구

Table 1. Previous studies related to personal mobility

Studies	Research method	Key findings
Ko (2017)	Literature review, descriptive analysis	This study focused on the mobility environment that hinders the growth of the personal mobility sector from a regulatory point of view and suggested the need of system that prioritizes the safety of electric personal mobility users and pedestrians.
Shin (2020)	Multiple regression model	This study analyzed factors affecting the willingness to pay of electric kick-board users in Seongdong-gu, Seoul. This study found that the travel time value is not unconditionally proportional to the travel time.
Min et al. (2017)	Machine learning technique, random-forest model	This study analyzed factors affecting the use of the public bicycle "Tashu" in Daejeon. They found that time, day of the week, and the weather had a major influence on the use of "Tashu". Also they predicted the demand of "Tashu" using random-forest model.
Shin et al. (2017)	Literature review including relevant laws and systems on personal mobility, descriptive analysis	This study focused on personal mobility's current status and issues. They suggested the direction and necessity of system improvement to promote the use of personal mobility.
So and An (2020)	Descriptive analysis	This report described the changes in the public transportation system caused by the application of smart mobility and personal mobility services.
Cho and Cho (2019)	Literature review, descriptive analysis	This study focused on MaaS, which is the expansion concept of personal mobility service, and described the direction of personal mobility in terms of user benefit, environmental benefit, and economic benefit.
Choi and Jung (2020)	Multi-level ordinal logistic regression model	This study analyzed factors affecting the willingness to use electric scooter users in Busan, South Korea. They found that low fares, high slopes, and long distances had a major influence on the willingness to use electric scooters.
Button et al. (2020)	Literature review, descriptive analysis	This study reviewed the viability and economics of e-scooters in the context of the regulatory environment operating in U.S. cities. They described a new type of mobility provided by transportation network companies.
Caspi et al. (2020)	Spatial durbin model, geographically weighted regression model	This study analyzed factors affecting the use of e-scooter users. They found that employment rate and bicycle infrastructure had a significant influence on the use of e-scooter. This study also found that student use is high in areas with low economic levels.
Chen et al. (2020)	Distance sensitivity analysis, mixed integer linear programming (MILP) model	This study found that ride-sharing services is more likely to reduce the size and mileage of autonomous vehicles. The application of the MILP model to autonomous vehicle services enables solving the first-mile problem.
Hardt and Bogenberger (2017)	Pilot test, descriptive analysis	This study reported the pilot test results of e-scooters conducted in Munich, Germany. This study argued that the use of e-scooters can replace 64% of commuting and leisure trips.
Hardt and Bogenberger (2019)	Pilot test, pre-post survey, descriptive analysis	This study found that a majority of daily trips are suitable for e-scooters. However, this study indicated that charging infrastructure, safety, and weather conditions, baggage capacity are restricting elements for the sue of e-scooters.
Hollingsworth et al. (2019)	Life cycle assessment, Monte Carlo scenarios and analysis	This study analyzed that the effect of the use of e-scooters on the environmental burden. This study concluded that the use of e-scooters does not have a significant impact on the environmental burden.
Jiao and Bai (2020)	Negative binomial regression model	This study analyzed factors affecting the use of the e-scooter in Austin, TX. They found that areas with higher population density and more residents with higher education were associated with more e-scooter trips.
Liu et al. (2019)	Descriptive analysis, origin-destination analysis	This study analyzed e-scooter trips in Indianapolis in the U.S. and found that the temporal usage patterns were significantly different from the conventional AM/PM traffic peaks.
Lazarus et al. (2020)	Comparative analysis, discrete choice analysis, geospatial suitability analysis	This study analyzed bike-sharing system in San Francisco, CA. They found a complementary relationship between the Ford GoBike (docked bike-sharing system) and JUMP (dockless e-bike sharing system).
Lin et al. (2018)	Graph convolutional neural network (GCNN), data driven graph filter (DDGF)	This study proposed a novel GCNN-DDGF model that can learn hidden heterogeneous pairwise correlations between stations to predict station-level hourly demand in a large-scale bike-sharing network.
McKenzie (2020)	Spatio-temporal similarity analysis descriptive analysis	This study analyzed spatiotemporal differences and similarities between micromobility services in Washington DC. They study found that the micromobility provided faster mobility service than the ride-hailing service.
Sun et al. (2018)	Generalized additive mixed model	This study analyzed the effects of the built environment and temporal factors on bike-sharing in Seattle, WA. They found that hilly terrain, rain, and small networks reduced bike-sharing use. Also, this study found bus-bike integration helped promote bike-sharing.

전기 스쿠터 사용이 개인 이동수단으로 대체될 경우 환경에 긍정적인 영향을 미친다고 하였다. 이뿐만 아니라 PM은 이동수단의 이용 및 접근성이 우수하여 대중교통 이용 활성화의 어려움이었던 FMM과 LMM 문제 해결을 가능하게 해 대중교통 활성화에 기여할 수 있다.

이러한 PM의 긍정적인 효과에도 불구하고 PM 서비스 이용 및 성장을 저해하는 요인들이 존재한다. 고선영(2017)은 현재 주목 받고 있는 PM 분야의 성장을 저해하는 문제점을 이동 환경과 규제 등의 관점에서 시장조사 및 사례연구 분석을 통해 이용자와 보행자의 안전성 확보를 우선으로 하는 제도마련이 필요하다고 하였다. 이와 유사한 맥락에서 신희철 외(2017)의 연구는 PM을 도시교통문제 해결을 위한 새로운 수단으로 보고 이를 위해 자동차 중심의 교통체계의 문제점을 해소하고, 지속가능한 교통체계 및 도시교통수단으로 구현하기 위하여 제도개선이 필요하다고 주장하였다.

이처럼 PM은 기존의 개인 운송수단인 자전거와 유사하지만, 기존 차로와 보행로를 이용하기 때문에 안전 측면에서 주의가 필요하다. 하지만 현재 PM 서비스는 도입 초기로 관련 제도가 미흡하다는 한계를 갖고 있다. 또한, 최근 전동킥보드 운행으로 인한 사고 위험과 인명피해로 인해 관련법의 규정이 추진되었다. 2020년 12월 9일에는 킥보드로 통칭되는 퍼스널 모빌리티의 이용 증가와 이로 인한 사고 발생을 막아 보행자의 이동성 증진을 목적으로 도로교통법과 자전거이용 활성화에 관한 법률이 개정 시행되었다. 구체적인 개정 사항은 「도로교통법」에 근거하여 전동킥보드의 운행속도를 25km/h 미만, 13세 미만 어린이 운행 금지, 그리고 기존 전기자전거와 동일한 통행 의무를 갖는 것을 핵심으로 하였다. 이처럼 PM의 빠른 성장에도 불구하고 관련 제도가 최근에서야 개정이 이루어지는 실정이다.

한편, 서울시 대중교통의 경우 저렴한 요금체계와 통합 환승할인으로 자가용이나 택시와 같은 수단과 비교할 때 비용 측면의 경쟁력을 확보하고 있다. 그러나 대중교통체계는 기본적으로 정류장 기반의 서비스이기 때문에 정류장까지 이동이나 정류장에서 최종목적지까지의 이동에 추가적인 비용이 발생한다. 이는 대중교통체계가 자가용이나 택시와 같은 door-to-door 서비스와 비교하였을 때 접근성과 편의성 측면에서 경쟁력이 부족함을 의미한다. 소재현·안현주(2020)의 연구는 도시교통문제 해결과 관련하여 현재 도입되고 있는 전동킥보드, 자전거, 차량 등 공유된 스마트 모빌리티 수단에 주목하였다. 이러한 스마트 모빌리티는 이용자가 원하는 시간에 원하는 장소에서 원하는 만큼 이용하는 형태이기 때문에 도시교통문제 해결에 있어 다양한 형태의 해법 적용이 가능함을 시사한다. 그러나 국내 스마트 모빌리티 서비스의 대부분은 “Car Sharing Service”가 아닌 “Car Rental Service”에 가까워 도로에서 차량 점유의 부작용이 우려되기 때문에, 본격적인 PM 플랫폼 서비스 도입을 위해서는 PM 서비스의

수요와 공급에 대한 연구가 선행되어야 한다.

조영빈·조중훈(2019)은 PM 서비스와 유사한 개념인 MaaS 연구 동향을 통해 스마트 모빌리티가 이루려는 지향점을 세 가지의 관점으로 구분하였다. 첫 번째로 소규모 교통 수요를 묶음으로써 얻을 수 있는 이동성의 편익, 최적화된 여정 수립을 통한 환승의 편리성, 최적의 교통수단을 이용함으로써 제공되는 이동의 편의성, 그리고 이에 따른 이동시간 단축이 가져오는 사용자 측면의 편익이다. 두 번째로 새로운 교통 체계 이용으로 자가용 이용 비율을 줄임으로써 차량 흐름이 개선되고 매연과 에너지를 줄일 수 있는 환경 측면에서의 편익이다. 이러한 편익은 환경, 안전, 대기 오염, 에너지 등 현재의 다양한 도시문제의 해결에 기여할 수 있다. 세 번째로 차량이 소유에서 공유로 패러다임이 이동함에 따라 잉여 자산을 재활용함으로써 새로운 수익 모델을 창조하고 경제의 정체성을 해소할 뿐만 아니라, 나아가 소비를 촉진할 수 있는 경제적 편익이다.

최근 증가하고 있는 PM의 대표 이동수단인 공유 전동킥보드는 변화하는 현대인의 생활환경에 편리함을 제공하고 있으며, 이는 개인의 이동패턴과 이동수단 선택에도 주요한 영향을 미치게 된다. 고선영(2017)은 1인 가구가 늘면서 생활환경과 패턴이 철저히 개인화된 1인 문화가 새롭게 형성되어 이동수단의 이용 또한 변화한다고 하였다. 특히 PM은 가볍고 휴대하기가 편하며 평균 주행속도가 빠르고 조작도 쉬워 이용이 빠르게 증가할 것으로 예상되며, 향후 증가하는 PM 서비스 수요에 대응하는 도시계획 차원의 고려가 필요함을 시사한다.

위와 같은 선행연구는 빠르게 성장하고 있는 PM 서비스의 위협 요소를 파악하고 이를 해결하기 위한 정책적 함의를 제시하고 있다는 점에서 본 연구의 목적에 선행하는 연구로 볼 수 있다. 그러나 이들 연구는 PM을 제한하는 제도 또는 잠재적인 스마트 모빌리티의 성장에 주목하여 기존 이동수단을 대체하는 수단으로서 PM을 다루고 있다는 데 한계를 갖는다. 따라서 본 연구는 전동스쿠터 등으로 대표되는 PM을 실제 도시 공간을 사례로 FMM-LMM 수요에 기반한 우선공급지역을 도출하고 있다는 점에서 연구의 차별성을 갖고 있다.

2. Personal Mobility 이용 특성 연구

이 연구에서는 대표적인 퍼스널 모빌리티 이동수단인 전동스쿠터(e-scooter)를 대상으로 수요기반 PM 공급 우선지역 분석을 연구 목적으로 한다. 이를 위해 전동스쿠터의 수단 선택과 이동에 관한 연구를 살펴본 결과 관련 연구는 매우 부족한 실정이다. 이는 전동 스쿠터 등을 포함하는 PM의 이용과 관심이 최근에 증가하는 것과는 대조적이다. 또한, 이미 진행된 연구도 안전한 이용과 원활한 보급을 위한 제도개선 측면이나 기존 이동수단과의 연계에 관한 플랫폼 구축에 집중되어 있다. 이에 본 연구에서

는 전동스쿠터 및 이와 유사한 공유 자전거의 이용행태와 수단선택에 영향을 미치는 연구를 중점적으로 살펴보았다. McKenzie(2020)는 미국 Washington, D.C.의 승차 공유 데이터(ride hailing data)를 활용하여 Micro Mobility Service(이하 MMS)와 기존 자동차의 이동시간을 비교 분석하였다. 분석 결과 도심에서 정체가 심한 시간대에 MMS는 자동차보다 더 빠른 이동성을 제공하는 것으로 나타났다.

전동킥보드를 비롯한 MMS의 경우 기존 자동차 및 대중교통 수단과는 달리 단거리 이동을 목적으로 활용된다. 도로혼잡이 증가할수록 자동차 이용자들의 통행 시간이 증가하는 반면 전동킥보드는 도로혼잡의 영향으로부터 비교적 자유롭다. 또한, 자동차 또는 대중교통과 비교하여 이동시간에서 자유롭다(신선화, 2020). 전동킥보드 서비스는 충전방식이나 서비스에 따라 docked와 dockless로 구분된다. 미국 San Francisco를 대상으로 한 연구에서 docked 방식과 dockless 방식을 비교한 결과 이동 행태와 목적지 선택에 있어 상호 보완하는 것으로 나타났다. 구체적으로 docked 방식은 이동시간이 짧고 출·퇴근 시간대 대중교통 환승역에 집중되었으며, dockless 방식은 이동시간과 이동거리가 더 길게 나타났고 공간적으로 분산된 것으로 나타났다(Lazarus et al., 2020).

이동수단 서비스 공급을 위해서는 이용 또는 수단 선택에 미치는 요인에 대한 고찰이 필요하다. Jiao and Bai(2020)는 미국 텍사스주 오스틴을 대상으로 e-scooter 사용에 영향을 미치는 요인을 분석하였다. 분석 결과, 인구밀도, 교육 수준, 도심지까지의 거리, 토지이용 밀도 그리고 도로 연결성이 e-scooter 사용과 양의 상관관계가 있는 것으로 나타났다. 또한, Caspi et al.(2020)은 미국 텍사스주 오스틴을 대상으로 한 연구에서 e-scooters의 사용이 중심업무지구(CBD), 높은 고용률, 자전거 인프라 구축과 깊은 관련이 있다고 하였다. 구체적으로, 전동스쿠터와 유사한 성격의 이동수단인 공유자전거의 이동 패턴은 일반적으로 주거지역에서 상업지역, 중심업무지구, 고용센터 또는 기차역으로 이동하고, 저녁에는 반대의 이동 경로를 나타낸다고 하였다(Lin et al., 2018; Sun et al., 2018).

이동시간, 거리 그리고 접근성은 퍼스널 모빌리티가 기존의 차량 또는 대중교통 수단과 차이를 갖는 중요한 특성이다. Liu et al.(2019)은 미국 인디애나주 인디애나폴리스를 사례로 e-scooter 이동 패턴을 분석하였다. 분석 결과, 전체 전동스쿠터의 약 60%가 10분 미만의 이동시간을 갖는 것으로 나타나 단거리 이동에 대부분 집중된 것으로 나타났다. 또한, 평균 지속시간, 이용 거리, 속도는 각각 8분, 1.13km/h(0.7마일), 8.42km/h(5.23mph)인 것으로 나타났다. PM과 관련된 거리 민감도를 분석한 Chen et al.(2020)은 사람들이 300m 이하의 거리를 이동할 때 도보 선택은 90% 이상, 900m 이상 이동할 때 대중교통 선택은 75%로 증가한다고 하였다. 이는 도보 이동과 대중교통 이동 선택 사이의 FM과

LM에서 사람들이 퍼스널 모빌리티를 이동수단으로 선택하는 데 고려하는 이동거리를 의미한다.

추가로 미국 경제 규제와 e-scooters의 네트워크를 분석하는 연구를 진행한 Button et al.(2020)에 따르면 e-scooters는 기존 이동 서비스업체가 제공하지 않는 통행에 이동수단으로 사용되거나 차후 선택 이동 수단으로 사용되기도 한다. e-scooters 사용은 일반적으로 2mile(약 3.2km) 미만이 대부분으로, 택시, Transportation Network Company(TNC)나 자가용 자동차로 이동하기에 너무 짧은 거리이다. 또한, 통행자 대부분은 이를 보행하기에 긴 거리로 느낄 수 있다. 이러한 격차를 메우기 위한 서비스를 제공하기 위해 Uber와 Lyft 같은 차량 서비스 업체들 또한 e-scooters 공급을 확장하고 있다.

한편 국내에서도 공유자전거와 공유 전동킥보드의 이용이 증가하면서 PM과 관련된 연구가 진행되었다. 최민혜·정현영(2020)은 PM 서비스 이용 의사에 미치는 영향요인을 분석한 결과 사람들은 도시철도와 연계하였을 때 PM 서비스 이용 의사가 높았으며, PM 이용 시 차도보다는 자전거 도로를 선호하는 것으로 나타났다. 또한, 민지원 외(2017)는 랜덤 포레스트(random forest)를 이용한 대전시 공공 자전거 '타슈'에 관한 수요를 예측한 연구에서 시간대, 요일, 날씨의 영향이 자전거 이용에 가장 많은 영향을 미친다고 하였다. 이는 PM의 이용에 시간대와 요일 그리고 날씨가 큰 영향을 미칠 수 있음을 간접적으로 시사한다.

3. 연구의 차별성

전동스쿠터 및 전동킥보드로 대표되는 퍼스널 모빌리티는 공유 서비스 플랫폼의 확산, 1인 가구 증가에 따른 생활패턴 변화, 손쉬운 조작과 소형화로 인해 대중의 관심과 이용이 증가하였다. 이러한 관심과 수요의 증가는 퍼스널 모빌리티 관련 연구로 이어졌으며, 대다수의 연구는 PM이 제공하는 편의 그리고 수요 증가에 대응하지 못하는 현행 관련 제도의 문제점과 개선방안에 집중하여 연구가 진행되었다. 한편 PM은 도보통행이나 대중교통과 연계된 FM과 LM 통행에 대한 서비스를 제공하는 데 장점이 있다. 구체적으로 PM은 기존 대중교통 이동의 문제점으로 제기되었던 FM과 LM 문제 해결의 실마리를 제공할 수 있다는 점에서 PM 우선 공급지역의 도출은 의의가 있다. 따라서 본 연구의 차별성은 다음과 같다.

첫째, 기존의 PM 관련 연구는 PM의 이용 특성이나 PM 서비스 이용의 영향요인에 주로 초점을 두고 있다. 반면 실제 도시계획과 교통 계획적 측면에서 대중교통체계와 효율적인 연계를 위한 정책적 시사점을 도출하는 데 한계를 갖는다. 이러한 배경에서 이 연구는 2016년 수도권 가구통행 실태조사자료를 활용하여 실제적인 PM 수요를 공간적으로 분석할 수 있는 방법론을 제시했다는 점에서 차별성을 가진다.

둘째, PM 관련 선행연구는 주로 FM 통행, LM 통행, 환승 통행 등 하나의 단일 통행 수단 선택을 통한 이동성에 주로 집중하고 있다. 반면, 본 연구는 FM 통행, LM 통행, 그리고 도보통행을 통합하여 PM 수요를 측정하고 PM 우선 공급지역을 제시하였다는 점에서 차별성을 갖는다.

마지막으로, 대중교통에 대한 접근성을 강화하기 위해 기존 교통시설의 물리적 개선이나 철도, 버스와 같은 대중교통 인프라의 추가 공급은 상당히 큰 비용을 필요로 한다. 이러한 측면에서 기존 대중교통 인프라 체계를 적극적으로 활용하여 PM과의 연계를 통한 대중교통 이용 증진 전략을 모색할 수 있는 실증분석 결과를 제시했다는 점에서 차별성을 가진다.

III. 분석 방법

1. 분석 자료와 범위

이 연구는 2016년 5월 실시한 ‘수도권 가구통행실태조사’ 원자료와 전수화 자료를 동시에 활용하였으며, 설문 응답자 309,399명에게서 수집된 599,439건의 통행패턴을 분석하였다. 가구통행실태조사는 가구 및 가구원의 현황과 개인의 통행 특성을 조사한 자료이며, 가구, 가구원, 목적통행, 수단통행 정보를 제공한다. 특히 목적통행과 수단통행 정보는 각 행위에 따른 출발 시간과 도착 시간, 출발지역과 도착 지역의 공간 속성을 포함하기 때문에 본 연구의 목적에 부합하는 것으로 판단하였다.

이 연구는 서울시를 대상으로 PM 수요에 부합하는 PM 공급 우선지역 도출을 연구 목적으로 한다(〈그림 1〉 참조). 따라서 수요와 공급지역의 선정에 위해서는 우선적으로 PM의 주 소비 계층에 대한 고려가 필요하다. PM으로 대표되는 전동킴보드의 운행과 관련하여 기존에는 ‘원동기장치자전거면허’ 이상의 면허를

가진 사람만 운행이 가능하였다. 그러나 2020년 12월 10일부터 개정 및 적용되는 도로교통법에 따르면 개인형 이동장치로 분류되면서 면허 없이도 전동킴보드 운행이 가능해졌으며, 이용 가능 연령도 만 16세에서 만 13세 이상으로 완화되었다. 따라서 이 연구에서는 PM의 이용 가능 연령을 13세 이상으로 설정하였다. 추가로 가구통행 실태조사 시점이 2016년이므로, 조사에 응한 사람 중 2004년 이전 출생자(2004년 포함)를 대상으로 분석하였다. 이에 따라 ‘수도권 가구통행실태조사’ 자료 중 2016년 기준 13세 이상인(2004년 출생자 포함) 응답자는 291,235인으로 나타났으며, 이들을 대상으로 분석을 진행하였다.

또한, 공간적인 측면에서 PM 우선 공급지역을 서울시로 한정하였다. 이는 비교적 잘 구축된 대중교통 인프라, PM 보급과 MaaS 연계 구축의 높은 잠재성 그리고 인천광역시와 경기도 등 수도권 주요 도시들과 연계된 교통체계를 갖추고 있어 주변 지역을 고려한 종합적인 분석이 가능한 이점이 있기 때문이다.

2. 분석 방법

분석을 위해 활용되는 ‘가구통행실태조사’ 자료는 2016년에 수집된 자료이다. 따라서 분석 자료의 시간적 범위를 고려하여 공간 분석 자료의 작성 시점을 2016년으로 하여 분석하였으며 전체 통행동 수는 총 424개이다. 분석의 과정은 GIS 기반 공간분석과 ‘가구통행실태조사’ 기반의 통행분석으로 구분된다.

우선 본격적인 분석을 위해서 분석의 공간 단위에 대한 재정의가 필요하다. 이와 관련하여 Chen et al.(2020)은 지하철역까지의 거리가 300m 이하일 때 사람들은 걷는 것을 선호하지만, 그 이상일 경우에는 지하철역까지 버스를 이용한 뒤에 환승하는 사람의 수가 증가한다고 하였다. 이는 대중교통 이용 전·후를 고려하였을 때 완전한 도보권은 300m 정도가 적정함을 의미한다. 이를 근거로 본 연구에서는 한 변이 150m인 정육각형(면적 약 58,000㎡)을 공간 분석의 기본 단위로 설정하였으며, 서울시에 적용한 결과, 총 10,780개의 정육각형 공간 단위로 분할되었다(〈그림 2〉 참조).

PM 주행 가능 지역을 추출하기 위하여 도로망, 경사도와 토지 이용에 대한 고려가 필요하다. 우선, 전동킴보드의 주행이 가능한 서울특별시 내 일반국도 및 자전거전용도로를 대상으로 자료를 구축한다. 다음으로, 전동킴보드의 최대 등판능력이 경사도 20°임을 고려하여 구축된 도로망에서 경사도가 20° 이내의 도로망을 추출하였다. 이는 전동킴보드의 특성상 20° 이상인 경사지에서 속도가 보행속도보다 낮아지거나 등판이 불가능한 주행 특성을 갖기 때문이다. 또한, 서울시 도시생태 현황도를 이용하여 ‘도시부양 시설지, 산지, 녹지 하천 및 호수’ 등의 지역을 포함하는 정육각형 분석단위를 제거하였다. 이는 녹지 및 공원에서 발생하는 PM 이용은 이동 목적이 아닌 여가의 목적이며, 하천 및 호수 그



그림 1. 분석 대상지
Figure 1. Case study area of Seoul

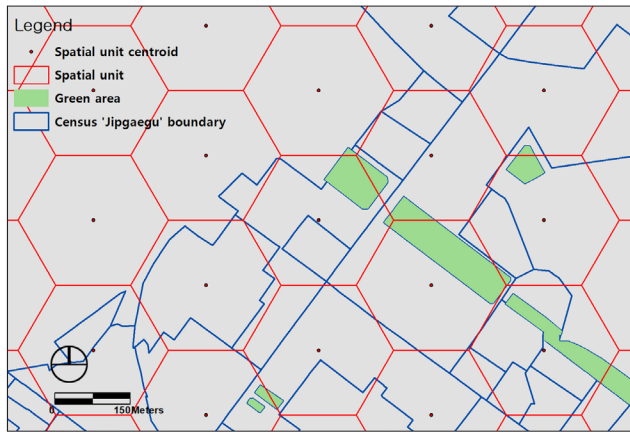


그림 2. 분석 공간 단위
Figure 2. Spatial unit of analysis

리고 산지에서는 PM 이용이 불가능하기 때문이다(〈표 2〉 참조). 이에 따라 전체 10,780개의 공간분석 단위에서 4,083개를 제외한 총 6,697개 정육각형 단위를 대상으로 분석하였다. 한편, 서울시에는 총 424개의 행정동이 있으며, 행정동당 평균 25.80개(표준편차 12.29개) 정육각형 그리드를 포함하는 것으로 나타났다(〈표 3〉 참조). GIS 기반의 그리드 공간분석단위에 대한 분석을 완료한 후 '가구통행실태조사' 자료를 기반으로 통행패턴 분석을 진행하였다.

이 연구에서는 향후 MaaS를 실현하기 위해 PM과 대중교통의 연계 가능성이 높은 구간에 PM을 우선으로 도입해야 한다고 판단하였다. 따라서 지하철이나 버스에 탑승하기 위해 5분 이상 도보로 이동한 통행의 최초 출발지를 통해 FM을 분석한다. 이를 위

표 2. 자료 설명

Table 2. Data description

단계 Step	자료명 Data name	설명 Description	자료출처 Data source
PM 주행 가능 지역 기준 Criteria of potential PM installation area	전국표준노드링크 Nationwide standard node link	도로유형 Rode type	지능형교통체계관리시스템, 2016 Intelligent transportation systems, 2016
	수치표고모델 Digital elevation model	경사도 Slope	국가공간정보포털, 2015 National spatial data infrastructure portal, 2015
	도시생태현황도 Biotope map	토지이용유형 Land use type	서울도시계획포털, 2015 Seoul urban planning portal, 2015
PM 수요 분석 PM demand analysis	가구통행실태조사 Household travel survey	출발지 주소 Origin address, 출발시간 Departure time, 도착지 주소 Destination address, 도착시간 Arrival time, 통행수단 Mode, 환승 여부 Transfer or not	국가교통데이터 DB, 2016 Korea transport database, 2016

표 3. 행정동 및 분석단위의 기초 통계량

Table 3. Descriptive analysis of spatial unit

분석단위 Spatial unit	주요 지표 Primary indicators	평균 Mean	표준편차 S.D.	최솟값 Min.	최댓값 Max.	왜도 Skewness	첨도 Kurtosis
행정동 (424개) Admin. dong (424)	행정동 면적(km ²) Area of admin. dong (km ²)	1.43	1.60	0.21	13.18	-	-
	행정동 내 정육각형 분석단위 수(개) No. of hexagon in admin. dong	25.80	12.29	3	91	1.92	5.65
	대중교통 승차를 위해 5분 이상 도보한 통행 수 No. of trips that walked more than 5 minutes to use public transportation	24.04	98.16	0	1,842	7.84	82.91
정육면체 단위 (6,697개) Hexagon unit (6,697)	대중교통 하차 후 최종목적지까지 5분 이상 도보한 통행 수 No. of trips that walked for more than 5 minutes to the final destination after getting off public transportation	21.62	73.84	0	1,522	8.47	107.48
	도보만으로 5분 이상 통행 수 No. of trips more than 5 minutes on foot	22.97	99.21	0	2,905	11.71	222.73
	전체 5분 이상 통행 수 Total no. of trips more than 5 minutes	68.63	193.99	0	4,227	6.93	77.40

해 출발지에서 목적지로 출발하였을 때 통행수단이 보행인 통행을 추출한다. 다음으로 보행 시간이 5분 이상인 지역을 선택하였다. 이때 환승을 위해 이용한 통행수단이 버스(시내버스, 시외버스, 광역버스, 고속버스)와 철도(지하철/전철, 경전철, 고속철도, 일반철도)인 경우를 적용하였다. 위의 사항을 적용한 결과 총 24,538의 통행이 도출되었다.

동일한 방법으로 지하철이나 버스에서 하차 후 최종목적지까지 5분 이상 도보로 이동한 통행 조건으로 하여 LM 통행을 분석하였다. 분석 결과 총 29,422건의 통행이 도출되었다. 다음으로, 5분 이상 도보만으로 이루어지는 통행을 분석하였다. 출발지에서 목적지로 이동 시 오직 도보만으로 이루어지는 통행을 조건으로 5분 이상 도보가 발생한 통행을 추출하였다. 그 결과 총 24,089건의 통행이 도출되었다.

마지막으로 분석의 공간 단위인 정육각형을 기준으로 전수화 계수가 반영된 가구통행실태조사 자료를 활용하여 5분 이상 FM 통행, 5분 이상 LM 통행, 5분 이상 도보통행을 각각 산출하고 모두 합산하여 최종 PM 수요를 분석하였다. 수도권 가구통행실태 조사 전수화 자료는 표본자료에 적절한 전수화 계수를 적용하여 전체 모집단의 특성을 최대한 근접하게 반영한 자료이다. 따라서 전수화 자료는 출발지에서 목적지로 가기 위한 통행수단 선택과 통행목적에 반영되어 있어 FM, LM, 도보통행을 분석하는데 적합하다. PM 수요 분석을 위한 통행수요량 산출식은 다음과 같다.

$$Demand_{pm} = Demand_{fm} + Demand_{lm} + Demand_{walk} \quad (1)$$

$Demand_{fm}$: 대중교통 이용을 위해 5분 이상 도보한 첫번째 통행(first mile)

$Demand_{lm}$: 대중교통 하차 후 최종목적지까지 5분 이상 도보한 통행(last mile)

$Demand_{walk}$: 도보만으로 5분 이상 통행(walking-only mile)

PM 총수요 산출을 위해 전수화 계수가 적용된 FM, LM, 도보통행 값은 다음과 같다. 구체적으로 전수화 계수가 적용된 대중교통 이용을 위해 5분 이상 이루어진 FM 도보통행 수는 평균 24 통행, 최대 1,842 통행으로 나타났다. 다음으로 대중교통 하차 후 최종목적지까지 5분 이상 도보가 이루어진 LM 통행은 평균 22 통행, 최대 1,522 통행으로 나타났다. 마지막으로 도보만으로 5분 이상 통행이 이루어진 경우는 평균 23 통행, 최대 2,905 통행으로 도출되었다. 따라서 FM 통행, LM 통행, 도보통행을 모두 고려하면 정육각형 분석단위를 기준으로 평균 69 통행, 최대 4,227 통행이 발생한 것으로 나타났다(〈표 3〉 참조).

한편 본 연구는 분석단위별 PM 수요를 추정하기 위해 두 가지 기초적인 가정을 하였다. 첫째, 퍼스널 모빌리티는 승용차 또는 대중교통수단과는 다르게 개인(1인)이 이용하는 교통수단이다.

따라서 PM 수요 1인이 발생하면 PM 이동수단도 1개가 필요하다고 가정하였다. 둘째, 통행수요량 산출을 위해 다루고 있는 가구통행실태조사 자료는 일상으로 발생하는 목적 통행을 조사한 자료이다. 따라서 FM, LM 통행 패턴에 있어 경우 또는 복수의 목적 통행은 발생하지 않는다고 가정하여 분석을 진행하였다.

IV. 분석 결과

1. 대중교통연계 FM 도보통행 분석

본 연구는 향후 MaaS의 실현을 위해 대중교통과 연계된 FM과 LM 통행을 고려하였다. 이를 위해 대중교통 이용을 위한 도보통행을 고려하였다. 구체적으로 5분 이상 도보 후 대중교통을 이용한 목적 통행을 살펴보고, 대표적으로 FM 통행이 가장 많이 발생하는 상위 지역 10개를 도출하였다. 그에 따른 결과는 〈표 4〉, 〈그림 3〉으로 작성하였다.

분석 결과, 제2종일반주거지역인 구로구 개봉동 일대에서 5분 이상 도보 후 대중교통을 이용하는 통행이 가장 많이 발생하는 것으로 나타났다. 이어서 제2종 일반주거지역이면서 대규모 아파트 단지가 입지해 있는 성북구 동소문동 일대, 준공업지역과 상업지역 그리고 일부 2종일반주거지역 및 준주거지역이 혼재되어 있는 성동구 성수동 일대, 제2종일반주거지역과 상업지역인 광진구 자

표 4. FM 통행 발생 상위 10개 지역

Table 4. Upper 10 areas of FM trip generations

순위 Rank	FM 통행 발생 상위지역 Upper areas of FM trip generations
1	구로구 개봉동 일대 Gaebong-dong area, Guro-gu
2	성북구 동소문동 일대 Dongsomun-dong area, Seongbuk-gu
3	성동구 성수동 일대 Seongsu-dong area, Seongdong-gu
4	서대문구 남가좌동 일대 Namgajwa-dong area, Seodaemun-gu
5	광진구 자양4동 일대 Jayang4-dong area, Gwangjin-gu
6	중랑구 면목동 일대 Myeonmokdong area, Jungnang-gu
7	서초구 방배동 일대 Bangbae-dong area, Seocho-gu
8	종로구 사직동 일대 Sajik-dong area, Jongno-gu
9	성북구 정릉동 일대 Jeongneung-dong area, Seongbuk-gu
10	도봉구 창동 일대 Chang-dong area, Dobong-gu
.....

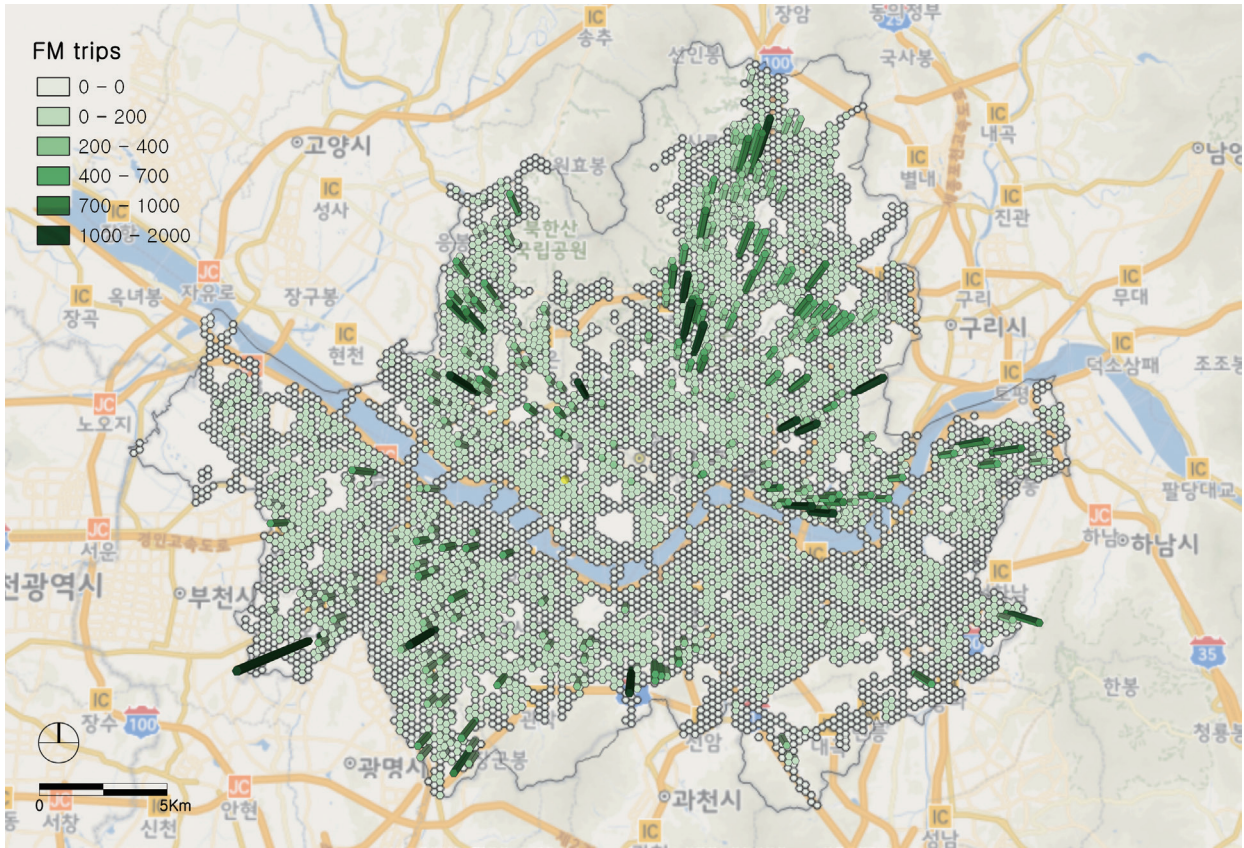


그림 3. 분석단위별 5분 이상 도보 후 대중교통을 탑승한 FM 통행량
 Figure 3. FM trips with more than 5-minute walking for public transportation

양4동 일대, 제2종일반주거지역 및 대규모 아파트 단지가 입지하고 있는 중랑구 면목동 일대에서 FM 통행수요가 많이 발생하는 것으로 확인되었다. 이들 지역은 공통적으로 제2종일반주거지역 또는 상업지역에 위치하며, 반경 1km 안에 2개 이상의 지하철역이 위치하는 특성을 갖고 있다. 이는 대중교통 접근성이 우수하며, 주거지기반의 FM 통행이 많이 발생하는 것으로 분석된다. 따라서 이 지역에서는 FM 문제를 해결하여 대중교통 수요의 증가를 기대할 수 있으며, 최초 출발지에 PM을 공급하여 FM과 대중교통을 연계하는 것이 바람직한 것으로 분석된다.

2. 대중교통 연계 LM 도보통행 분석

FM 출발지 분석과 동일한 방법으로 대중교통에서 하차한 후 5분 이상 도보로 통행한 LM 출발 통행량을 <표 5>, <그림 4>로 작성하였다.

분석 결과, 서울의 대표적인 CBD구역으로 상업·업무시설이 입지하고, 지하철 및 버스노선이 교차하는 강남구 역삼동 일대에서 대중교통 하차 후 5분 이상 도보로 최종 목적지에 도착한 통행자가 가장 많이 발생하는 것으로 확인되었다. 이어서 강북의 대표적인 상업지역으로 사람들의 통행이 빈번히 발생하는 명동역 일대인 충무로2가, 종로3가역이 위치하는 종로 일대, 불광역이

표 5. LM 통행 발생 상위 10개 지역
 Table 5. Upper 10 areas of LM trip generations

순위 Rank	LM 통행 발생 상위지역 Upper areas of LM trip generations
1	강남구 역삼동 일대 Yeoksam-dong area, Gangnam-gu
2	중구 충무로2가 일대 Chungmuro-2ga area, Jung-gu
3	종로구 돈의동 일대 Donui-dong area, Jongno-gu
4	은평구 불광동 일대 Bulgwang-dong area, Eunpyeong-gu
5	영등포구 문래동3가 일대 Mullae-dong-3ga area, Yeongdeungpo-gu
6	성동구 행당동 일대 Haengdang-dong area, Seongdong-gu
7	성북구 동선동 일대 Dongseon-dong area, Seongbuk-gu
8	마포구 서교동 일대 Seogyo-dong area, Mapo-gu
9	종로구 종로2가 일대 Jongno-2ga area, Jongno-gu
10	동작구 흑석동 일대 Heukseok-dong area, Dongjak-gu
.....

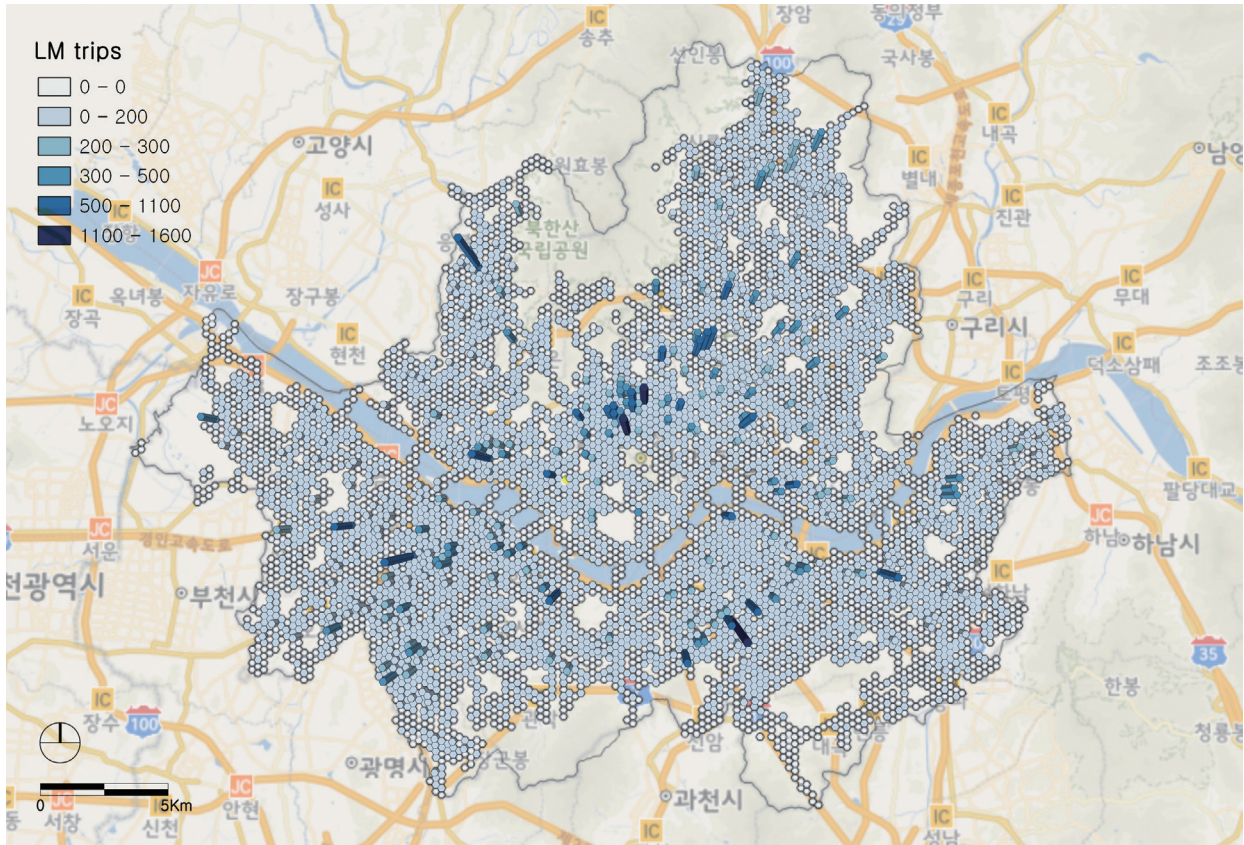


그림 4. 분석단위별 대중교통 하차 후 5분 이상 도보로 통행한 LM 통행량
 Figure 4. LM trips with more than 5-minute walking after getting-off public transportation

위치하는 불광동 일대, 문래역이 위치하는 문래동3가 일대 순으로 나타났다.

특히, LM 통행수요가 많이 발생하는 지역은 서울의 주요 상업 시설과 업무지역이 밀집된 지하철역 주변에 집중된 것을 알 수 있다. 대체로 중·고밀 상업지역에서 대중교통 하차 후 5분 이상 도보로 통행하는 LM 통행이 많이 발생하는 것으로 나타났다. 이들 지역의 경우 통행은 많이 발생하지만 지하철역을 제외한 대중교통 인프라가 상대적으로 부족한 것으로 보인다. 따라서 지하철역과 버스정류장을 중심으로 PM 시설을 배치하여 대중교통에서 하차 후 목적지까지 이동을 자연스럽게 유도하는 것이 바람직하다. 이를 통해 대중교통 환승의 연계성 부족으로 인해 발생하는 LM 통행 문제를 일부 해결할 것으로 기대된다.

3. 5분 이상 도보통행 분석

PM 공급 우선지역을 선정하기 위해서는 대중교통과 연계한 FM, LM 통행 분석과 더불어 도보만으로 행해지는 통행에 대해서도 분석할 필요가 있다. 이는 학교, 직장 인근에 거주하는 사람들의 경우 목적통행이 대부분 보행에 의존하기 때문이다. 또한, 통행의 출발지를 PM 탑승 지점으로 한정하였기 때문에, 도착지에 대한 분석은 진행하지 않았다. 따라서 본 단계에서는 5분 이상

도보만으로 행해진 통행에 대한 출발지를 추출하여 분석을 진행하였으며, 분석 결과는 <표 6>, <그림 5>로 나타내었다.

분석 결과, 제1종일반주거지역 및 제2종일반주거지역인 동대문구 청량리동, 강북구 미아동, 제2종일반주거지역인 성북구 삼선동5가, 서초구 방배동, 도봉구 방학동 일대 순으로 5분 이상 도보만으로 이동한 통행자가 많은 것으로 나타났다. 이들 지역은 대체로 저층 주거지역이 인접하며, 도로가 좁아 대중교통 접근성이 상대적으로 낮은 특징이 있었다. 이는 도보만으로 이동하는 단거리 통행이 도심부보다는 주택 밀집 지역에서 자주 발생하고 있음을 시사한다. 따라서 교통시설 인근에 PM을 밀집하여 배치하기보다는 주택시설 곳곳에 배치하는 것이 효과적일 것으로 분석된다.

4. 최종 PM 수요 분석

본 연구의 최종 목표는 대중교통과 연계된 FM, LM 통행과 도보통행을 고려한 PM 서비스의 우선 공급지역을 선정하는 것이다. 이를 위해서는 앞서 개별적으로 분석된 FM 통행수요, LM 통행수요, 도보 통행수요를 모두 합산하여 최종 PM 수요 분석을 진행하였다. 이때 각각의 통행수요는 서울시 가구 통행 실태조사 자료의 전수화 계수를 가중치로 고려하였기 때문에 실제 통행량

표 6. 도보통행 발생 상위 10개 지역

Table 6. Upper 10 areas of walking-only trip generations

순위 Rank	도보통행 발생 상위지역 Upper areas of walking-only trip generations
1	동대문구 청량리동 일대 Cheongnyangri-dong area, Dongdaemun-gu
2	강북구 미아동 일대 Mia-dong area, Gangbuk-gu
3	성북구 삼선동5가 일대 Samsun-dong-5ga area, Seongbuk-gu
4	서초구 방배동 일대 Bangbae-dong area, Seocho-gu
5	도봉구 방학동 일대 Banghak-dong area, Dobong-gu
6	양천구 신정동 일대 Sinjeong-dong area, Yangcheon-gu
7	서대문구 대신동 일대 Daesin-dong area, Seodaemun-gu
8	광진구 자양동 일대 Jayang-dong area, Gwangjin-gu
9	도봉구 창동 일대 Chang-dong area, Dobong-gu
10	도봉구 쌍문동 일대 Ssangmun-dong area, Dobong-gu
.....

에 근접한 수요로 볼 수 있다. 최종 PM 수요에 대한 공간 분석 결과는 <그림 6>과 같이 나타났으며, <표 7>는 서울시 PM 수요 상위 10개 지역 예시이다.

분석 결과, 제2종일반주거지역 및 제3종일반주거지역에 위치하며, 청량리역과 대규모 복합문화시설이 위치하는 동대문구 청량리동 일대에서 PM 수요 가능성이 가장 높은 것으로 나타났다. 이어서 제1종일반주거지역과 제2종일반주거지역으로 대규모 아파트 단지와 저층주거지가 밀집되어 있는 강북구 미아동 일대, 반경 500m 범위 안에 지하철 4호선과 우이신설선이 지나고, 상업시설 및 공공청사가 위치하여 사람들의 통행이 빈번히 발생하는 성북구 삼선동5가 일대, 제1종일반주거지역과 제2종일반주거지역이 위치하며, 저층주거지와 대규모 아파트 단지가 밀집되어 있는 서초구 방배동 일대, 제2종일반주거지역으로 4m 도로를 사이로 저층주거지가 밀집되어 있는 구로구 개봉동 일대, 제3종일반주거지역과 대학교 및 지하철역을 중심으로 대규모 상권이 발달되어 있는 광진구 자양동 일대, 준공업지역과 준주거지역 및 제3종일반주거지역이 혼재되어 있는 도봉구 창동 일대, 제2종일반주거지역을 중심으로 저층주거지가 밀집되어 있는 성북구 정릉동 및 도봉구 방학동 일대 순으로 PM 수요가 높은 대표적 지역으로 나타났다.

위의 결과에서 PM 수요가 높은 지역을 종합하여 통행목적별 OD를 고려하였을 때, 다음과 같은 공통점을 갖는 것으로 판단된

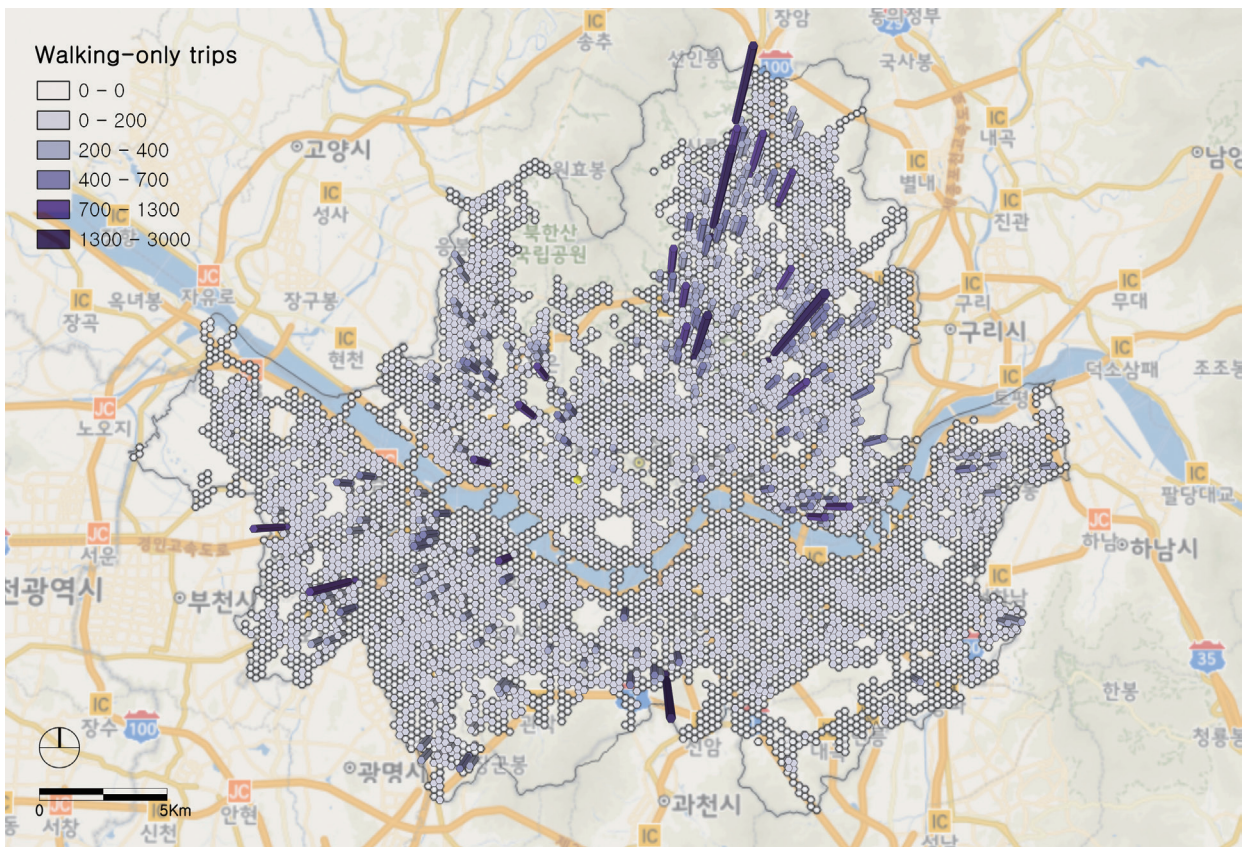


그림 5. 분석단위별 5분 이상 도보통행량
Figure 5. Walking-only trips with more than 5 minutes

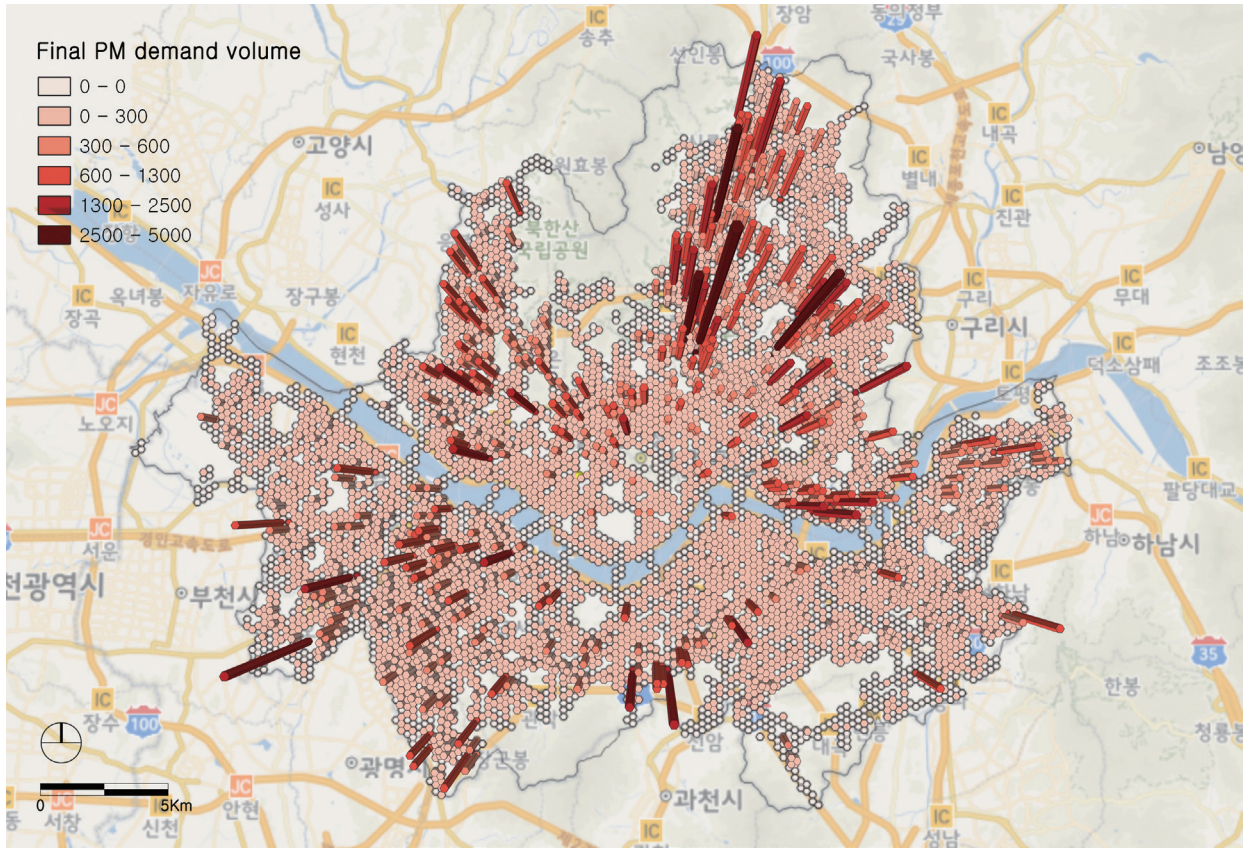


그림 6. 최종 PM 수요량
Figure 6. Final PM demand volume

표 7. PM 수요 상위 10개 지역
Table 7. Upper 10 areas of PM demand

순위 Rank	PM 수요 상위지역 Upper areas of PM demand
1	성북구 삼선동5가 일대 Samsun-dong-5ga area, Seongbuk-gu
2	동대문구 청량리동 일대 Cheongnyangri-dong area, Dongdaemun-gu
3	성북구 동소문동6가 일대 Dongsomun-dong-6ga area, Seongbuk-gu
4	강북구 미아동 일대 Mia-dong area, Gangbuk-gu
5	서초구 방배동 일대 Bangbae-dong area, Seocho-gu
6	구로구 개봉동 일대 Gaebong-dong area, Guro-gu
7	광진구 자양동 일대 Jayang-dong area, Gwangjin-gu
8	도봉구 창동 일대 Chang-dong area, Dobong-gu
9	성북구 정릉동 일대 Jeongneung-dong area, Seongbuk-gu
10	도봉구 방학동 일대 Banghak-dong area, Dobong-gu
.....

다. 첫째, 제1종·제2종 주거지역이면서 지하철역을 중심으로 업무 및 상업지역이 밀집되어 있는 지역이다. 또한, 자연 발생적인 도로를 기반으로 도로 폭이 상대적으로 좁아 주요 대중교통의 접근성이 상대적으로 부족한 삼선동, 청량리동, 동소문동, 미아동에서 PM 수요가 많은 것으로 나타났다. 둘째, 대학가를 배후지로 두며 청년층의 통행이 빈번하고, 지하철역에서 대학 캠퍼스까지의 거리가 상당 시간 소요되는 지역인 동소문동, 미아동, 청량리동에서의 PM 수요가 높은 것으로 나타났다. 마지막으로, 준공업지역이 위치하여 고용인구가 많이 발생하는 지역인 창동과 개봉동 일대 등에서도 PM 수요가 높은 것으로 나타났다. 이는 상대적으로 젊은 계층의 고용인구가 밀집된 지역에서 PM 수요가 높은 것을 의미한다.

반면, PM 수요가 상대적으로 낮게 나타난 지역은 혜화동, 상암동, 고덕동 그리고 마곡동 일대로 나타났다. 우선 혜화동은 통행수요 발생이 많은 것으로 예상되지만, 통행목적이 통근 및 통학 중심이 아닌 문화활동 및 사교활동 중심으로 발생하기 때문에 판단된다. 상암동과 혜화동 일대는 주변에 대규모 아파트 단지가 위치하고 있어 거주자를 중심으로 PM 수요가 높을 것으로 기대되나, 주변 대중교통 시설이 잘 구축된 곳이기 때문에 PM 수요 가능성이 상대적으로 낮게 나타난 것으로 판단된다.

V. 결론

본 연구는 2016 서울시 가구통행실태조사 자료를 바탕으로 FM 통행, LM 통행, 도보통행을 고려한 PM 서비스를 우선으로 공급할 지역을 선정하기 위해 분석을 진행하였다. 먼저, 대중교통 연계수단인 FM/LM 통행수요와 도보통행수요를 합산하고, 전수화계수 값을 가중치로 적용하여 분석단위별 PM 수요를 공간적으로 도출하였다. 연구의 주요 결과는 다음과 같다.

첫째, 대중교통 연계를 위해 출발지에서 도보로 5분 이상 이동하는 FM 통행이 많은 지역은 제2종일반주거지역이면서 저층 주거지와 아파트 단지가 혼재되어 있는 개봉동, 동소문동, 면목동 지역 등으로 나타났다. 다음으로 유동인구가 많은 준주거지역과 상업지역에서 FM 통행 수요가 높게 나타났다. 그리고 주변에 2개 이상의 지하철 노선이 교차하고 대학이 위치하여 청년층을 중심으로 통행이 빈번히 발생하는 성수동, 자양동 등에서 FM 통행 수요가 높게 나타났다. 이는 주거지를 출발해서 통근 및 통학을 위해 필연적으로 발생하는 주거지 기반 FM 통행의 영향이 있음을 시사한다. 따라서 해당 지역의 토지이용과 통행특성을 고려하여 주거지 주변에 PM을 배치하여 대중교통과 연계하는 것이 바람직하다고 판단된다.

둘째, 목적지에 도달하기 위해 대중교통에서 하차하여 도보로 5분 이상 이동하는 LM 통행 수요는 서울의 주요 상업시설과 업무시설이 밀집한 도심지역으로 나타났다. 수도권 대중교통 노선이 결집하는 강남구 역삼동 일대, 강북의 전통적인 상업 업무지역인 충무로2가와 종로3가 일대, 그리고 준공업지역과 상업지역이 혼재되어 있는 문래동 일대에서 LM 통행수요가 높은 것을 확인하였다. 이들 지역은 공통적으로 2개 이상의 지하철 노선이 교차하여 지나갈 뿐만 아니라 수도권에서 서울로 진입하는 대중교통의 왕래가 빈번한 특성을 가지고 있다. 따라서 대중교통에서 하차하는 사람들이 많은 지역을 중심으로 PM 서비스를 공급하여 최종 목적지와 연계하는 것이 바람직하다고 판단된다.

셋째, 도보통행의 경우 제1종 및 제2종일반주거지역에 위치하며, 저층주거지가 발달되어 있는 지역에서 PM 수요가 높게 나타났다. 구체적으로 청량리동 일대, 미아동 일대, 삼선동5가 일대, 방배동 일대, 방학동 일대 등에서 PM 수요가 높게 나타났다. 특히 미아동 삼선동, 방학동은 서울 강북에 위치하며, 서울의 주요 도심부보다 수요에 비해 대중교통 공급이 상대적으로 부족하고 저층 주거지가 형성되어 있다는 공통점을 갖는다. 따라서 이들 지역의 경우 부족한 대중교통을 대체하는 수단으로 PM 공급이 고려되어야 하며, 거주자 통행이 빈번히 발생하는 보행로 주변을 중심으로 PM 시설을 보급하는 것이 효과적인 것으로 분석된다.

마지막으로 FM 통행, LM 통행, 도보통행을 종합하여 총 PM 수요가 높은 지역은 대중교통이 잘 구축되어 있는 강남지역보다는 상대적으로 대중교통 체계가 열악한 강북 지역인 것으로 나타

났다. 특히, 자연 발생적인 도로를 기반으로 도로 폭이 상대적으로 좁아 주요 대중교통의 접근성이 상대적으로 부족한 지역에서 PM 수요가 높은 것으로 나타났다. 또한, 대학가를 배후지로 두며 청년층의 통행이 빈번하고, 지하철역에서 대학 캠퍼스까지의 거리가 상당 시간 소요되는 지역에서 PM 수요가 높은 것으로 나타났다. 그리고 주거지역이면서 지하철역을 중심으로 업무 및 상업지역이 밀집되어 있는 지역과 준공업지역이 위치하여 고용인구가 많이 발생하는 지역에서 PM 수요가 높게 나타났다. 이러한 결과는 주거지역에서 발생하는 통행과 출퇴근 및 등하교를 목적으로 하는 통행이 PM 예상 수요에 많은 영향을 미치는 것을 시사한다. 따라서 PM 우선지역 선정에 위해서는 토지이용 특성, 주변 지역 주요 시설특성, 주 이용 계층, 대중교통 인프라 등을 우선적으로 고려할 필요가 있다.

본 연구는 '2016년 가구통행실태조사' 자료를 활용하여 대중교통과 연계된 FM과 LM 통행과 도보통행을 바탕으로 PM 우선 공급할 지역을 도출하였다. 대중교통체계와 연계한 PM의 도입은 기존의 대중교통체계가 가진 FMM과 LMM 문제를 극복하고 door-to-door 서비스를 가능하게 하여 대중교통체계의 편의성과 경쟁력을 향상할 수 있다. 따라서 본 연구는 대중교통과 연계된 모빌리티 서비스 향상의 관점에서 지하철, 버스 등 기존의 대중교통수단과 연계할 수 있는 PM 우선 공급지역을 도출하였다는 점에서 의의가 있다.

PM의 공급은 도시민들의 대중교통 이용을 촉진하고 향후 통합 교통 이동성 서비스인 MaaS를 구축하는 데 기여할 수 있다. 또한, 대중교통 인프라 부족 문제를 버스나 지하철 등 기존의 교통수단 인프라를 확대하는 것보다 스마트 기술과 PM을 활용하는 것이 비용대비 편익이 높다고 볼 수 있다. 특히, 서울시 대중교통의 경쟁력 강화를 위해서는 FM/LM 통행을 연계한 스마트 모빌리티 서비스에 주목할 필요가 있다. 스마트 모빌리티 플랫폼 도입을 통해 PM과 대중교통 연계를 효율적으로 구축할 수 있으며 나아가 개인 차량 이용 감소를 기대할 수 있다. 추가로 환경적인 측면에서 본 연구의 결과는 전기 동력을 사용하는 PM의 보급 확대로 '대중교통 활성화 및 분담'에 기여할 뿐만 아니라 이산화탄소 배출 저감에도 기여할 수 있다. 대중교통과 연계된 편리한 PM 서비스는 자동차의 이용을 감소시키고 나아가 이산화탄소 배출 저감 효과를 주어 더 많은 도시민이 친환경적 교통수단을 이용하도록 유도할 수 있다고 판단된다.

한편, 본 연구의 한계점은 다음과 같다. 첫째 국내에서 PM은 도입 단계이기 때문에 법적, 제도적 장치가 아직 구체화되지 않았다. 이는 향후 구체화할 PM 도입 기준에 따라 PM 공급 우선지역에 대한 추가 연구가 필요하다. 예를 들어, PM의 유형인 전동킥보드 관련하여 2020년 5월과 12월 두 차례에 걸쳐 도로교통법이 개정되었다. 2020년 5월 개정된 주요 내용은 전동킥보드를 원동기 장치 자전거가 아닌 개인형 이동 장치로 규정하면서 자전거

와 동일한 안전 규제를 받는 교통수단으로 분류하였다. 그러나 동년 12월 재개정에서는 16세 이상 원동기면허 이상을 받아야 주행이 가능하고 안전모의 착용도 의무화하였다. 이러한 규제의 변화는 향후 PM 수요에도 큰 영향을 미칠 것으로 판단된다. 둘째, 본 연구에서 사용된 '2016년 가구통행실태조사' 자료는 2016년에 수집된 자료이기 때문에 PM 시장이 성장한 현재의 통행패턴과는 다소 차이가 있을 수 있다. 또한, 2020년 1월부터 확산한 COVID-19로 인해 통행패턴의 많은 변화가 예상되기 때문에 포스트 코로나 시대의 통행패턴도 향후 연구에 고려될 필요가 있다. 셋째, PM 운송수단의 주요 이용 계층은 대학생, 통근 통행을 하는 직장인들로 이들이 주로 활동하는 대학가 주변, 상업 및 업무지역의 특성을 수요 예측에 반영하여 수요 산출을 위한 가중치 적용이 필요하다. 또한, 정밀한 PM 수요 추정과 PM 공급 우선지역 도출을 위해서는 서울시 전체를 대상으로 지역별 시간대와 연령대 그리고 계절과 날씨를 종합적으로 고려하여 PM 이용자의 특성과 실제 이용률에 기반한 분석이 필요하다. 마지막으로 향후 연구에서는 PM의 주 이용 계층의 이용 특성을 반영하여 더욱 정밀한 PM 수요 추정 연구가 필요하다.

인용문헌
References

- 고선영, 2017. "퍼스널 모빌리티의 증가에 따른 이동환경 변화 연구: 보행자와 운전자가 안전하게 이용할 수 있는 도로환경 구축 방안", 「디자인리서치」, 2(3): 9-17.
Ko, S.Y., 2017. "A Study on the Change of Movement Environment According to Increase of Personal Mobility: Focusing on the Road Environment of Highway Safety and Drivers Using Secure Walkers", *Design Research*, 2(3): 9-17
- 김민정·김호용·김희경, 2019. "스마트 모빌리티를 이용한 FMM과 LMM 서비스권역의 정의에 관한연구: 부산광역시 해운대구를 중심으로", 「대한교통학회지」, 37(3): 245-253.
Kim, M., Kim, H., and Kim, H., 2019. "Study on Defining FMM and LMM Service Area Using Smart Mobility in Haeundae-gu, Busan", *Journal of Korean Society of Transportation*, 37(3): 245-253.
- 김수재·추상호·김지운·한재운, 2018. "가구통행실태조사 자료를 활용한 서울시 연계수단 통행행태의 영향요인 분석 연구", 「한국 ITS 학회 논문지」, 17(1): 55-70.
Kim, S.J., Choo, S.H., Kim, J.Y., and Han, J.Y., 2018. "Analyzing Factors to Affect Trip Mode Chaining Behavior Using Travel Diary Survey Data in Seoul", *The Journal of the Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, 17(1): 55-70.
- 민지원·문현수·이영석, 2017. "랜덤 포레스트를 이용한 대전시 공공 자전거(타슈) 수요 예측", 한국정보과학회 2017년 한국컴퓨터종합학술대회 논문집, 제주: 라마다 프라자 제주호텔.
Min, J.W., Mun, H.S., and Lee, Y.S., 2017. "Demand Forecast for Public Bicycles ('Tashu') in Daejeon Using Random Forest", Paper presented at Korea Information Science Society KCC 2017, Jeju: Ramada Plaza Jeju Hotel.
- 소재현·안현주, 2020. "스마트 모빌리티 기반 도시교통 솔루션 개발: 스마트 모빌리티 R&D 추진현황 및 실증계획", 「월간교통」, 264: 28-33.
So, J.H. and An, H.J., 2020. "Development of Smart Mobility-based Urban Traffic Solutions: Smart Mobility R&D Promotion Status and Evidence Plan", *Monthly KOTI Magazine on Transport*, 264: 28-33.
- 신선화, 2020. "전동킥보드 이용객들의 통행시간가치 및 영향요인: 광진구와 성동구를 중심으로", 서울대학교 대학원 석사학위논문.
Shin, S.H., 2020. "A Study on Value of Travel Time of Electronic Scooter Users and its Influencing Factors: Focusing on Gwangjin-gu and Sungdong-gu", Master's Dissertation, Seoul National University.
- 신희철·이재용·김사리, 2017. "개인용 교통수단(Personal Mobility)의 보급에 따른 제도개선 방향", 한국교통연구원 연구보고서.
Shin, H.C., Lee, J.Y., and Kim, S.L., 2017. "Study on the Improvement of Laws and Regulations for Personal Mobilities", Research Report, The Korea Transport Institute.
- 안다운, 2020. "공유 전동킥보드 이용만족도 및 이용행태 영향요인 실증분석: 서울시를 대상으로", 공주대학교 대학원 석사학위논문.
Ahn, D.E., 2020. "Empirical Analysis of the Factors Affecting the Satisfaction and Behavior of Individuals Using Shared Electric Kickboards: A Case Study of Seoul", Master's Dissertation, Kongju National University.
- 조영빈·조중훈, 2019. "스마트 모빌리티 기반 MaaS 서비스 동향", 「ITS Brief」, 10(2): 8-13.
Cho, Y.B. and Cho, J.H., 2019. "Smart Mobility-based MaaS Service Trend", *ITS Brief*, 10(2): 8-13.
- 최민혜·정현영, 2020. "Personal Mobility 공유서비스 이용의향에 미치는 영향요인에 관한 연구", 「대한교통학회지」, 38(1): 1-13.
Choi, M.H. and Jung, H.Y., 2020. "A Study on the Influencing Factor of Intention to Use Personal Mobility Sharing Services", *Journal of Korean Society of Transportation*, 38(1): 1-13.
- 홍상연·김원호·유경상·박세현, 2019. 「서울시 스마트 모빌리티 서비스 도입 방안」, 서울연구원.
Hong, S.Y., Kim, W.H., Yoo, G.S., and Park, S.H., 2019. *Adoption of Smart Mobility Services in Seoul*, the Seoul Institute.
- Button, K., Frye, H., and Reaves, D., 2020. "Economic Regulation and E-scooter Networks in the USA", *Research in Transportation Economics*, 84: 100973, 1-9.
- Caspi, O., Smart, M.J., and Noland, R.B., 2020. "Spatial Associations of Dockless Shared E-scooter Usage", *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 86: 102396, 1-15.
- Chen, S., Wang, H., and Meng, Q., 2020. "Solving the First-mile Ridesharing Problem Using Autonomous Vehicles", *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 35(1): 45-60.

15. Hardt, C. and Bogenberger, K., 2017. "Usability of E-scooters in Urban Environments-A Pilot Study", Paper presented at 2017 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV), California: Redondo Beach.
16. Hardt, C. and Bogenberger, K., 2019. "Usage of E-scooters in Urban Environments", *Transportation Research Procedia*, 37: 155-162.
17. Hollingsworth, J., Copeland, B., and Johnson, J.X., 2019. "Are E-scooters Polluters? The Environmental Impacts of Shared Dockless Electric Scooters", *Environmental Research Letters*, 14(8): 084031, 1-10.
18. Jiao, J. and Bai, S., 2020. "Understanding the Shared E-scooter Travels in Austin, TX", *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9(2): 1-12.
19. Lazarus, J., Pourquier, J.C., Feng, F., Hammel, H., and Shaheen, S., 2020. "Micromobility Evolution and Expansion: Understanding How Docked and Dockless Bikesharing Models Complement and Compete—A Case Study of San Francisco", *Journal of Transport Geography*, 84: 102620, 1-12.
20. Lin, L., He, Z., and Peeta, S., 2018. "Predicting Station-level Hourly Demand in a Large-scale Bike-sharing Network: A Graph Convolutional Neural Network Approach", *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 97: 258-276.
21. Liu, M., Seeder, S., and Li, H., 2019. "Analysis of E-scooter Trips and Their Temporal Usage Patterns", *ITE Journal*, 89(6): 44-49.
22. McKenzie, G., 2020. "Urban Mobility in the Sharing Economy: A Spatiotemporal Comparison of Shared Mobility Services", *Computers, Environment and Urban Systems*, 79: 101418, 1-10.
23. 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.

Date Received	2020-12-21
Reviewed(1 st)	2021-02-03
Date Revised	2021-06-04
Reviewed(2 nd)	2021-06-07
Date Revised	2021-08-09
Reviewed(3 rd)	2021-08-19
Date Accepted	2021-08-19
Final Received	2021-12-17