



서울시 COVID-19 전·후 기능적 생활권 변화 및 통행거리 영향 요인 분석

: 생활이동 빅데이터와 Community Detection을 활용하여*

Analysis of Functional Living Zones Changes and Influencing Factors of Travel Distance Before and After COVID-19 in Seoul, Korea

: Using Mobile Phone-based Mobility Bigdata and Community Detection

하정원** · 김예진*** · 이수기****

Ha, Jungwon · Kim, Yejin · Lee, Sugie

Abstract

Since 2020, COVID-19 has triggered discussions on small-scale living zones. However, the discussions on community plan considering travel distance after COVID-19 are insufficient. In this regard, this study analyzed actual living zones and travel distances using community detection algorithms, which have been used to analyze living zones, as well as the mobile phone location-based travel data. The results of this study are as follows: First, there was no considerable difference in the functional living zones in January 2022 compared to January 2020. In other words, since citizens' travel is highly dependent on the physical infrastructure, the community plan, which can affect infrastructure supply policy, is important for developing a sustainable compact city. Second, the current community plan does not consider the demand and supply of commuting. Third, as travel derives different functional living zones, the community plan needs to consider supplying infrastructure for travel purposes. Fourth, a leisure travel distance gap was found between functional living zones. Therefore, planning an equitable development by lowering citizens' dependence on external living zones through supplying infrastructure is necessary. These findings and discussions suggest that community detection and mobile phone location-based data can be strategically introduced to community plans as a decision-making tool.

주제어 생활권, 압축도시, 모바일폰 위치 기반 데이터, Community Detection, COVID-19

Keywords Living Zone, Compact City, Mobile Phone-based Mobility Bigdata, Community Detection, COVID-19

1. 서론

생활권이란 도시민에게는 일상적 경험의 경계이고, 지자체에게는 용도지역 설정, 지역 과제 발굴, 지역 간 균형 발전을 이루기 위한 지침적 경계이다(서울특별시, 2014; 국가법령정보센터,

2022a). 또한, 도시의 지속가능성을 위한 도시계획 전략인 압축도시(compact city)는 시민의 집약적 통행을 지향하고 근거리 통행을 유도하는 목적을 가지고 있기 때문에(성현곤·추상호, 2010; Bibri, 2020), 생활권 정책은 실제 시민의 통행거리를 결정짓는 요소로서 도시계획적으로 중요한 고려 대상이라고 볼 수 있다.

* 이 논문은 2022년 4월 대한국토도시계획학회 춘계산학술대회에서 발표하였고, 하정원의 한양대학교 석사학위 논문을 수정·보완하여 작성하였음. 이 연구는 대한민국 과학기술정보통신부와 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2018R1A5A7059549).

** Master's Degree, Hanyang University (First Author: jungwonha@hanyang.ac.kr)

*** Master's Student, Hanyang University (Second Author: yejean58@gmail.com)

**** Professor, Hanyang University (Corresponding Author: sugielee@hanyang.ac.kr)

한편, 2020년 1월 국내 첫 COVID-19 확진자가 발생한 이후, 도시는 대중교통 이용자 수 감소와 원격 근무 증가와 같은 많은 사회적 변화를 겪었다. 이에 따라 기존의 도시계획 전략의 대안으로써 15분 도시(15 minutes city)와 같은 비동력 교통 중심의 도시계획이 주목받게 되었으며(Moreno et al., 2021), 서울시 역시 이러한 시대적 변화를 받아들여 2040 도시기본계획에 도시 기능 분산을 전제로 하는 ‘보행일상권’ 개념을 도입하였다(서울특별시, 2023).

그러나 최근 백신 접종률의 증가로 인한 COVID-19의 일상화는 통행량을 회복시키고 있으며, 회복된 통행량은 승용차로의 수단 전환과 결부되어 나타나고 있기 때문에 도시의 지속가능성 측면에서 현황은 부정적이라고 볼 수 있다(김수민·정현영, 2022). 시민의 통행은 건조 환경과 깊은 연관을 가지기 때문에(Ewing and Cervero, 2010), 물리적 환경의 개편이 부재한 상황에서 비동력 교통수단으로의 전환은 이루어지기 어렵다(Vickerman, 2021). 따라서 물리적 인프라 구상의 기반이 되는 생활권계획이 어느 때보다 중요해진 상황이라고 볼 수 있다.

한편, 생활권 경계는 과거부터 설정의 기준이 자의적이라는 문제점이 지적되었다(오병록, 2014; 홍성조 외, 2018). 또한, 현재 서울시가 추구하는 보행일상권을 통한 도시 기능의 분산은 기본적인 도시 서비스 제공을 위한 적정 밀도 등이 합의되지 않은 상황에서 초과 통근과 같은 또 다른 문제를 초래할 수 있다(마강래 외, 2011; Moreno et al., 2021). 이처럼 생활권은 많은 문제가 결부된 복잡한 도시 문제(wicked problem)이기에, 하향식 계획보다는 ICT 기술과 빅데이터에 기반한 과학적 의사결정이 동반될 필요가 있다(Bibri, 2020).

본 연구는 Community Detection과 모바일폰 위치 기반 OD 데이터를 활용하여 실제 시민의 생활권을 도출하고, 현재 생활권계획에 정책적 시사점을 제시하고자 하였다. 또한, 통행거리 영향 요인을 분석하여, 압축도시계획의 국내 적용 방안과 생활권의 균형 발전에 대해 논의하고자 하였다. 세부적으로 본 연구의 목적은 다음과 같다.

첫째, 많은 연구가 COVID-19 이후 생활권 축소를 주장하고 있지만(Chen and Steiner, 2022; Sharma, 2020), 물리적 인프라가 변화하지 않은 상황에서 사회적 변화와 정책만으로 시민의 통행 반경은 변하기 어렵다고 볼 수 있다. 따라서 본 연구는 Community Detection을 활용하여, 2020년 이후 COVID-19 발생 경과에 따라 시민들이 통행 반경에 실질적 변화가 있었는지 포착하고자 하였다.

둘째, 최신의 통행 데이터를 활용하여 거주민의 통행에 영향을 미치는 물리적 환경을 분석하고자 하였다. 세부적으로 COVID-19 이후 시민의 통행거리에 영향을 미치는 물리적 환경 요인을 통행 목적별로 파악하여 포스트 팬데믹(post-pandemic) 시기 압축도시의 적용 방안을 논의하고자 하였다.

셋째, 생활권계획은 지역의 균형 발전을 지향하고 있으나, 구체적으로 생활권을 설정하고 균형 발전을 모니터링할 방안에 대한 논의는 미흡한 실정이다. 따라서 생활권 균형 발전의 측면에서 기능적 생활권 간 출발 통행거리의 차이를 확인하고, 생활권 계획에 정책적 시사점을 제시하고자 하였다.

II. 선행연구 고찰

1. 생활권계획과 권역 설정에 관한 연구

생활권의 경계는 물리적 환경, 행정구역, 거주 인구 특성 등에 따라 설정하고 있으며, 위계에 따라 대생활권, 중생활권, 소생활권 혹은 권역생활권, 일상생활권으로 구분하고 있다(서울특별시, 1990; 서울특별시, 1997; 서울특별시, 2006; 서울특별시, 2014; 국가법령정보센터, 2022b). 그러나 1997년 수립된 2011 도시기본계획부터 2014년 수립된 2030 도시기본계획까지 서울시의 대생활권의 경계는 <그림 1>과 같이 동일하기 때문에 약 20년간 많은 사회적 변화와 인구 이동이 있었음에도 불구하고 생활권계획은 시간 경과에 따른 시민 생활의 변화를 반영하였다고 볼 수 없다. 이에 대해 오병록(2014)은 실제 시민들의 일상생활에 기반하여 개념적이기보다 실질적 기준에서 생활권을 수립하는 것이 중요하다고 지적하였다.

그러나 삶의 다양화와 교통의 발전으로 일정한 범위를 가지는 생활권을 특정하는 것은 과거보다 매우 어려워졌다고 볼 수 있다. 이러한 현실적 도시계획의 한계는 도시·군기본계획수립지침에서 일상생활권과 권역생활권의 위계 구분에 의무를 두지 않고,

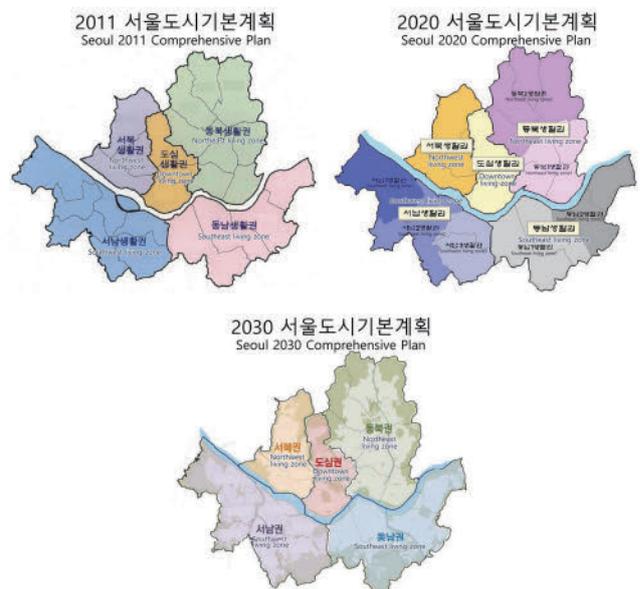


그림 1. 서울시 도시기본계획 대생활권의 변화
 Figure 1. Changes in large living area of the comprehensive plans
 Source: City of Seoul(1997; 2006; 2014)

일상생활권이 시·군 단위까지 확장될 수 있는 등의 포괄성을 통해 드러난다고 볼 수 있다(국가법령정보센터, 2022b). 그럼에도 불구하고 구체적이고 합리적인 생활권 설정은 지자체로 하여금 시민의 실제 수요에 보다 효율적인 대처를 가능하게 하고, 도시 계획이 가지는 목적을 관철하는 데 필수적이다.

생활권과 같이 지역을 군집화하는 기준은 목적과 가치를 어디에 두는지에 따라 다르게 나타날 수 있다. 지리학적으로 지역을 묶는 방식은 두 가지로 나타난다(Brown and Holmes, 1971; Poorthuis, 2018). 첫 번째는 형식적(formal) 방안으로, 인구, 물리적 경계 등 일부 특성이 동질성을 띠는 군집으로 묶는 방식이다. 두 번째는 기능적(functional) 방안으로, 통행, 이주, 통화 등 지역 간 시민의 상호작용이 군집 외보다는 군집 내에서 더 강하도록 묶는 방식이다. 도시기본계획 상 생활권계획은 특성에 따라 생활권을 묶고 있으므로, 지역 군집의 방식 중 형식적인 방식을 따른다고 볼 수 있다. 특히 형식적 지역 분류는 정당화 과정에서 전문적 지식과 권위가 중요하게 고려될 수밖에 없기 때문에, 시민의 실생활보단 지자체와 전문가의 의견을 주되게 반영할 수밖에 없다. 이는 상향식 도시계획을 지향하는 2030 도시기본계획의 취지와는 벗어난 계획 방식이라고 볼 수 있다. 따라서 이러한 문제점에 대한 대안으로 기능적 생활권을 살펴보고자 한 많은 연구는 통행 군집을 합리적으로 도출할 방안으로 Community Detection 분석을 도입하여 생활권 설정에 대해 새로운 대안을 제시하였다(정운영·문태현, 2014; 하재현·이수기, 2016; 김수현 외, 2020; 김규혁 외, 2021; 조운·성현곤, 2021).

2. 모바일폰 위치 기반 OD 데이터와 Community Detection을 활용한 분석

시민의 통행 활동을 분석한 국내외 많은 연구는 설문조사에 기반한 가구통행 데이터를 활용하여 왔다(Manaugh et al., 2010; 하재현·이수기, 2016; 조운·성현곤, 2021). 그러나 이러한 설문조사 데이터는 자료 수집의 한계에 따라 몇 년 주기로 갱신되며, 대규모 표본의 확보가 쉽지 않다는 문제점이 존재한다(Iqbal et al., 2014). 이에 따라 최근의 연구들은 보다 자료의 갱신 주기가 짧고 대규모 표본을 확보할 수 있는 모바일폰 기반 데이터, 스마트폰 카드 데이터 등을 통행 분석에 활용하고 있다(Zhong et al., 2014; 김수현 외, 2020; 김규혁 외, 2021; Zhou and Yeh, 2021).

한편, 실제적 생활권을 발굴하기 위해 많은 연구는 네트워크 분석 방법 중 하나인 Community Detection을 도입하였다. 하재현·이수기(2016)는 통행시간과 수단에 따라, 조운·성현곤(2021)은 통행수단과 목적에 따라 2016년 가구통행실태조사 데이터를 활용하여 생활권 설정을 시도하였다. 이들은 OD 데이터가 출발지와 목적지라는 방향성을 가지는 네트워크임에 따라, 방향

가중 네트워크에서 널리 활용되는 Infomap 알고리즘을 활용하여 생활권 분석을 진행하였다. 한편, 김수현 외(2020)와 김규혁 외(2021)는 2017년 중 하루의 모바일폰 기반 OD 데이터를 활용하여 분석하였다. 이들 연구는 resolution parameter에 따라 도출되는 생활권 크기 조절이 가능한 Louvain 알고리즘을 활용하여, 다양한 위계에서 나타나는 생활권을 제시하였다.

이러한 선행연구를 종합하면 모바일 OD 빅데이터와 네트워크 분석을 활용한 생활권 분석은 가변적인 생활권 포착에 있어 유연하고 즉각적인 방법론이다. 하지만 방법론적인 측면에 있어서 어떠한 Community Detection 알고리즘이 통행 목적별 생활권 분석에 적합한지, 그 결과를 얼마나 믿을 수 있는 것인지 제시한 연구는 미비하다.

3. 도시의 물리적 환경과 통행 패턴 관련 연구

시민의 통행은 도시의 건조 환경과 밀접한 연관을 가지고 있다(Ewing and Cervero, 2010). 이에 따라 제한된 압축도시의 도시의 경제적, 사회적, 환경적 지속가능성을 증진시킬 수 있는 것으로 나타나고 있다(Mouratidis, 2019; Bibri, 2020). 압축도시의 개발 요소는 밀도(density), 다양성(diversity), 도시 설계(design)를 나타내는 3D, 혹은 목적지 접근성(destination accessibility), 대중교통 접근성(distance to transit)이 추가된 5D로 나타난다(Cervero and Kockelman, 1997; Ewing and Cervero, 2010). 이러한 압축도시 개발 요소에 기반할 때, 승용차의 통행거리와 보행 빈도는 목적지 접근성, 토지 이용 혼합도, 교차로 밀도 등과 높은 영향 관계를 보이는 것이 확인되고 있다.

성현곤·추상호(2010)의 연구는 압축도시의 3D 요소와 도착지 접근성, 대중교통 접근성을 고려하여 서울시 행정동의 내부통행 비율에 대해 분석을 진행하였다. 분석 결과, 거주 인구 밀도와 직주 균형 지수는 내부통행 비율과 부정적 관계를 보였으나, 고용 밀도는 긍정적 관계를 보여 고용 중심의 압축 개발이 중요함을 시사하였다. 또한, 높은 대중교통 접근성은 중장거리 통행을 유도하여 내부통행 비율 저하를 불러일으킬 수 있다고 주장하였으며, 높은 도로 접근성은 버스 이용 수요를 높일 수 있으나 승용차 이용을 유발할 수 있음을 지적하였다. 한편, Boussauw et al.(2012)의 연구 결과에서는 거주 인구 밀도, 토지 이용의 다양성, 높은 고용 접근성, 직주 균형이 거주 인구의 짧은 통근 통행거리와 연관되어 도시 거주민의 통행거리 감소를 위해 주요하게 고려할 요인임을 확인하였다. 특히 거주 인구 밀도는 국내 문헌과 달리 통행거리와 부정적 관계를 보였기 때문에, 분석 대상의 사회경제적 특성을 고려할 필요가 있음을 시사했다. 이와 더불어 구조방정식 모형을 활용해 중국 지방의 건조 환경이 통행거리에 미치는 영향을 살펴본 Ao et al.(2019)의 연구는 높은 시장 접근성, 도로 밀도, 건물 밀도가 통행거리와 유의한 음(-)의 관계를 가짐을 확인

하였다.

한편, 시민의 통행은 주중과 주말에 따라 이질적인 특성을 보인다. 세부적으로 평일의 통행은 주로 통근 및 통학 목적의 통행으로 나타나는 반면, 주말 통행은 여가 목적을 포함한 임의(discretionary) 통행이 주되게 나타난다(서동환 외, 2011; 추상호, 2012). 이에 따라서 종합적 관점에서 시민의 통행거리를 분석하기 위해서는 주중과 주말의 통행을 나누어 시민의 통행을 살펴볼 필요가 있다. 주말 여가 통행에 대해 분석한 장윤정·이승일(2010)의 연구는 각 가구를 분석 단위로 하여 여가 통행거리의 영향 요인을 살펴보았다. 분석 결과, 주말의 여가 통행거리는 주거지 인근의 쇼핑 및 복합 시설의 밀도가 낮을수록 통행거리가 증가하는 경향을 보였다. 한편, 여가 활동이 개인의 선호와 밀접한 관계를 가짐에 따라 여가 통행을 분석한 많은 연구는 사회경제적 특성에 주목하여 분석을 진행하였기 때문에(서동환 외, 2011; 추상호, 2012), 건조 환경 특성의 영향이 소홀히 다루어진 측면이 존재한다. 따라서 여가 통행의 통행거리 분석에 있어서 도시의 물리적 특성을 고려한 연구가 필요한 상황이라고 볼 수 있다.

이와 더불어 시민의 통행은 도시 정책과도 밀접한 연관을 지니며, 이는 정부의 신도시 개발 정책과 시민의 통근 통행 특성 변화를 확인한 이수기 외(2015)의 연구에서도 드러난 바 있다. 최근 시민의 통행과 관련된 도시 정책의 중요한 화두는 COVID-19로, 대중교통 이용량 감소와 같이 시민의 통행 형태 변화를 야기하며 기존의 도시 정책에 대한 재고가 필요함을 상기시켰다(Moreno et al., 2021; Vickerman, 2021). 이에 따라 COVID-19에 따른 이동 제한과 원격 근무 활성화 등에 따라 생활권 축소를 전제로 한 보행 및 자전거 기반의 15분 도시, 보행일상권과 같은 정책이 제안된 바가 있다(Hanzl, 2020; Pozoukidou and Chatziyiannaki, 2021; 서울특별시, 2023).

그러나 서울시가 포스트 팬데믹 시대에 대비해 구상하고 있는 도시 기능 분산 정책은, 통근 비용을 최소화하는 이상적 통행 행태에 기반한다고 볼 수 있다(마강래 외, 2011). 실제 현실의 시민 통행은 이상적 통행 행태와는 다르게 나타나기 때문에, 실제 시민의 통행을 고려하지 않는 도시계획은 초과 통근, 통근 통행거리 감소로 인한 여가 통행거리 증가 등 예기치 못한 다양한 도시 문제를 발생시킬 수 있다(서동환 외, 2011; Holden and Linnerud, 2011). 또한, 도시의 물리적 공간 정비가 부재한 상황에서 비동력 교통수단으로의 전환은 이루어지기가 어렵다는 점이 지적되고 있기 때문에(Vickerman, 2021), 현실의 시민 통행을 고려한 생활권계획이 어느 때보다 중요해진 시점이라고 볼 수 있다.

4. 연구의 차별성

본 연구의 차별성은 다음과 같다. 첫째, 선행연구는 내부통행 비율과 같은 시민의 한정적 통행 수준을 나타낼 수 있는 지표를

활용하여 근린생활권 수준에서 시민의 통행을 분석하였다. 이에 대해 본 연구는 도로 네트워크 거리 기반 평균 통행거리를 활용하여 도시 전체적 관점에서 거주민의 통행거리에 대해 분석을 진행했을 뿐만 아니라, 기능적 생활권 간 나타나는 통행거리의 불균형을 실증적으로 확인하였다는 점에서 차별성을 지닌다.

둘째, 통행 및 통행거리를 분석한 많은 연구는 공간 기반의 데이터를 분석하고 있음에도 공간적 자기상관성을 고려하지 않고 있다. 공간적 자기상관성을 고려하지 않을 경우 분석 결과는 편향될 수 있기 때문에, 이를 제어한 분석 모형을 채택할 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 공간적 자기상관성 제어가 가능한 분석 모형을 활용하여 분석 결과의 편향을 방지하였다.

셋째, 모바일폰 위치 기반 OD 데이터와 Community Detection 기법을 활용하여 선행연구와 차별성을 두었다. 세부적으로 모바일폰 위치 기반 OD 데이터를 활용하여 최신 동향의 기능적 생활권을 파악하고, 통행거리 영향 요인 분석을 진행하고자 하였다. 또한, 선행연구에서 활용한 Community Detection 기법은 비일관적으로 나타나며 명확한 활용 기준을 제시하고 있지 못하고 있다. 이에 따라 본 연구는 통행 목적에 따른 적절한 기준을 제시하여 선행연구와 차별성을 두고자 하였다.

III. 연구 방법론

1. 연구의 범위

연구의 공간적 범위는 서울특별시이고, 시도 기준 가장 많은 인구가 서울특별시에 거주하고 있기 때문에 통행 분석의 대상지로서 적합하다고 볼 수 있다. 한편, 연구에서 활용한 생활이동 데이터는 2019년도 기준의 행정동을 단위로 서울시를 출발지 혹은 목적지로 가지는 통행만을 포함하고 있다. 즉, 인천, 경기 등의 서울 외부 지역 간의 통행은 포함하지 않고 있다. 따라서 본 연구는 공간적 범위를 서울시로 한정하여 서울시 내부통행을 분석하였으며, 분석 단위는 행정동으로 설정하였다.

또한, 연구의 시간적 범위는 2020년 1월부터 2022년 1월로 설정하였다. 생활이동 데이터는 2020년 1월부터 1개월 단위로 제공되고 있다. 이에 따라 2020년 1월부터 2022년 1월까지의 데이터를 구득하여 연구의 시간적 범위로 설정하였다. 세부적으로 COVID-19가 사회적 변화를 불러일으키기 이전 시점을 2020년 1월로 설정하여, Community Detection 분석에서는 2022년 1월까지 1개월 간격으로 기능적 생활권 변화를 포착하고자 하였다. 한편, 통행거리 분석 모형에서는 분석 시점에 의한 영향을 통제하기 위해 1월로 한정하여 2020년 1월, 2021년 1월, 2022년 1월의 결과를 비교 분석하였다.

2. 분석 자료 및 변수 선정

본 연구에서 활용한 데이터는 KT와 서울시의 민관 협력을 통해 제공되고 있는 OD 데이터인 생활이동 데이터이다. 세부적으로 생활이동 데이터는 통신사의 LTE 및 5G 이동전화서비스에 가입된 단말기의 기지국 기반 위치 데이터를 행정동별로 처리하여 월별, 요일별, 시간대별, 연령대별, 성별, 통행 패턴별로 구성된 통행 데이터이다. 생활이동 데이터의 특징은 체류 상태에 초점을 두어 통행자의 통행 목적을 구분했다는 점이다. 통행자가 체류하는 패턴에 따라 체류지는 주간 상주지(W), 야간 상주지(H), 기타 체류지(E)의 3가지로 구분되며, 출발지와 목적지 순열에 따라 총 9개의 통행 패턴을 가지게 된다(서울열린데이터광장, 2022). 여기서 야간 상주지는 취침이 이루어지는 주거지로 가정되고, 주간 상주지는 경제, 학업 등 일상의 정기적 활동이 이루어지는 근무지로 가정된다. 단, 체류지는 기지국을 기반으로 하기 때문에 단일 행정동 안에서 이루어진 내부통행이라도 서로 다른 통행 패턴으로 관측될 수 있다.

생활이동 데이터가 제공하는 통행량은 전체 통행량을 추정할 수 있는데, 추정된 통행량은 KT 고객의 통행이 없을 경우 실제 통행이 존재하더라도 0으로 산출된다는 한계가 있다. 또한, 개인정보 식별을 방지하기 위해 3.0 미만의 통행은 일률적으로 공란 처리하고 있기 때문에 본 연구에서는 이를 1.5명으로 대체하여 처리하였다.

거주민의 통행거리 분석에 활용된 변수에 관한 설명은 <표 1>과 같다. 먼저, 종속 변수인 출발 지역의 평균 통행거리를 살펴보기 위해 주중의 경우 출근 통행(HW), 주말의 경우 주거지에서 출발하는 여가 통행(HE)만을 고려하였다. 이후, 시가지 중심점 간 도로 네트워크 거리에 기반하여 행정동별로 출발 통행의 평균 통행거리를 계산하였다(Boussauw et al., 2012). 도로 네트워크 거리 행렬은 python 패키지인 OSMnx와 TransBigData를 활용하여 구축되었다. 또한, 입지와 강 등을 포함한 행정동 중심점은 편향될 수 있기 때문에, 토지 피복상 도로를 시가지로 구성하여 중심점을 도출하였다. 출발 행정동의 평균 통행거리에 대한 식은 아래와 같다. $N_{i,j}$ 는 i 행정동에서 j 행정동으로 향하는 통행량이며, $H_{i,j}$ 는 i 행정동에서 j 행정동까지의 도로 네트워크 통행거리이다.

$$h_i^o = \frac{\sum_j H_{i,j} \cdot N_{i,j}}{\sum_j N_{i,j}} \quad (1)$$

회귀 모형의 독립 변수로써 본 연구는 압축도시의 주요 개발 요소인 밀도, 복합도, 건조 환경 등을 고려하였으며, 추가적으로 교통과 기능적 생활권 특성을 고려하였다(Cervero and Kockelman, 1997; 성현곤·추상호, 2010). 먼저 밀도 특성으로는 지역의 통행

수요와 공급을 나타내는 출발 통행 밀도와 도착 통행 밀도를 고려하였다(Boussaw et al., 2012; 이수기 외, 2015). 각 밀도는 행정동의 입지 및 강의 면적에 의한 편향을 방지하기 위하여 토지 피복상 시가지 지역만을 고려하여 밀도를 산출하였다.

복합도 특성의 경우 통행 특성 및 통행거리 연구에서 채택하고 있는 직주비를 활용하였다(Boussauw et al., 2012; 이수기 외, 2015). 세부적으로 출발 통행량 대비 도착 통행량을 통근 통행과 여가 통행에서 활용하였기에, 본 연구에서는 이를 도착량/출발량으로 기재하였다. 식은 아래와 같다.

$$B_i = \frac{\sum_j N_{j,i}}{\sum_j N_{i,j}} \quad (2)$$

복합도 특성 중, 토지 이용 혼합도는 토지 이용의 혼합 정도를 계산한 엔트로피 지수이다. 본 연구에서는 어떠한 용도 간 토지 이용의 혼합이 일어날 때 목적지 제공을 통해 통행거리 감축이 일어나는지 알아보고자 2개 용도 간의 혼합 수준을 살펴보았다. 주거 용도의 경우 공동 주택과 단독 주택의 연면적, 업무 용도의 경우 업무 시설과 교육 시설의 연면적, 상업 용도의 경우 근린생활 시설, 소매점, 판매 시설의 연면적을 활용하였다. 엔트로피 지수에 관한 식은 아래와 같다. p_i 는 i 용도의 비율이며, n은 혼합도 도출에 활용한 용도의 개수이다.

$$\text{혼합도} = - \frac{\sum_{i=1}^n p_i \ln(p_i)}{\ln(n)} \quad (3)$$

교통 특성의 경우 통행에 직접적인 영향을 끼치는 변수로써, 선행연구에서는 대중교통을 중장거리 통행을 유발하는 요인으로 설명하고 있다(성현곤·추상호, 2010). 이에 따라 행정동의 시가지 면적 대비 지하철역 개수, 버스정류장 개수를 설명 변수로 활용하였다. 또한, 비동력 교통수단은 COVID-19 시기에 주목받는 교통수단으로써(Moreno et al., 2021), 고려할 필요가 있다고 판단하였다. 이에 따라 본 연구는 서울시 공공자전거인 따릉이의 거치대 밀도를 행정동의 시가지 면적 대비 거치대의 개수로 도출하여 분석에 활용하였다.

건조 환경 특성은 압축 개발의 핵심적 요소이며, 통행거리에 영향을 미칠 수 있는 요인으로 중요하게 고려되어 왔다(Ewing and Cervero, 2010). 또한, COVID-19에 따른 대중교통 이용 저하와 승용차 수단 전환 등을 감안할 때, 승용차 접근성을 결정짓는 도로 변수를 활용할 필요가 있다고 판단하였다(Vickerman, 2021). 이에 따라 본 연구는 도로 밀도와 건물 밀도를 건조 환경 특성으로 고려하였다. 세부적으로 도로 밀도는 행정동의 시가지 면적 대비 도로 면적이며, 건물 밀도는 행정동의 시가지 면적 대비 건물의 개수이다.

표 1. 변수 정의 및 출처 Table 1. Definition of variable and data source

Variables		Definition		Data source	
종속변수 Dependent variables	평균 통행거리 Average travel distance	주중 통근 (m/통행) Weekday commuting (m/trip)	2020.01 2021.01 2022.01	행정동에서 출발한 주중 HW 통행의 시가지 중심점 간 도로 네트워크 거리를 계산하여 도출한 평균 통행거리 Average travel distance derived by calculating the road network distance between city center points for weekday HW travel starting from administrative dong	
		주말 여가 (m/통행) Weekend leisure (m/trip)	2020.01 2021.01 2022.01		
		출발 통행 밀도(통행/ha) Density of outflow trips (trip/ha)	2020~2022년 1월 행정동 시가지 면적 대비 출발 통행량 Departure trip volume compared to administrative dong city area (2020.01~2022.01)		Seoul Open Data Plaza (2020-2022)
		도착 통행 밀도(명/ha) Density of inflow trips (trip/ha)	2020~2022년 1월 행정동 시가지 면적 대비 도착 통행량 Arrival trip volume compared to administrative dong city area (2020.01~2022.01)		
		도착량/출발량 Inflow trips / outflow trips	2020~2022년 1월의 출발 통행량 대비 도착 통행량 Arrival trip volume compared to departure trip volume (2020.01~2022.01)		
		독립변수 Independent variables	밀도 특성 Density factors		주거-업무 혼합도 Residential and business mixed use
주거-상업 혼합도 Residential and commercial mixed use					
업무-상업 혼합도 Business and commercial mixed use					
교통 특성 Transportation factors	지하철역 밀도(개/ha) Density of subway stations (no./ha)		행정동 시가지 면적 대비 지하철역 개수 Number of subway stations compared to administrative dong city area	National Transportation Data Open Market (2021)	
	버스정류장 밀도(개/ha) Density of bus stops (no./ha)		행정동 시가지 면적 대비 버스정류장 개수 Number of bus stops compared to administrative dong city area	Seoul Open Data Plaza (2021)	
	따릉이 정류장 밀도(개/ha) Density of Seoul public bicycle stops (no./ha)		2020~2022년 1월 행정동 시가지 면적 대비 따릉이 정류장 개수 Number of Seoul public bicycle stops compared to administrative dong city area (2020.01~2022.01)	Seoul Open Data Plaza (2022)	
건조환경 특성 Built environment factors	도로 밀도(m/ha) Road density (m/ha)	행정동 시가지 면적 대비 도로 면적 Road area compared to administrative dong city area	Environmental Geographic Information Service, EGIS (2021)		
	건물 밀도(개/ha) Building density (no./ha)	행정동 시가지 면적 대비 건물 개수 Number of buildings compared to administrative dong city area	National Spatial Data Infrastructure Portal, NSDI (2020)		
기능적 생활권 특성 Functional living zone factor	기능적 생활권 Functional living zone	Community Detection을 활용해 도출한 기능적 생활권 더미 변수 Dummy variable for functional living zone derived by Community Detection method	-		

생활권 특성은 Community Detection 결과에 따라 행정동이 속한 기능적 생활권을 더미 변수로 구성한 변수이다. 강남 도심권이 통근 통행과 여가 통행 모두 뚜렷하게 나타남에 따라, 강남 도심권을 준거 집단으로 설정하였다.

3. 분석 방법

1) Community Detection

알고리즘의 종류와 parameter에 따라 Community Detection의 기능적 생활권 분류 결과는 달라질 수 있다(Poorthuis, 2018). 이에 따라 기능적 생활권 포착을 위해서는 활용할 데이터와 목적에 따라 적합한 Community Detection 방법론이 활용될 필요가 있다(Rosvall et al., 2019). 먼저 일반적으로 Community Detection은 모듈성(modularity)이라는 평가 지표에 기반하여 군집 형성을 평가한다. 모듈성 수치는 -1에서 1 사이의 값을 가지며, OD 행렬과 같은 가중 네트워크에서 군집 내 가중치가 크고 군집 간 가중치는 낮은 형태로 묶일 때 1에 가까운 수치를 보이는 값이다. 이와 같은 모듈성 지수와 계산 복잡도에 기반하여 좋은 평가를 받고 있는 알고리즘은 Louvain 알고리즘이다(Chen et al., 2018).

Louvain 알고리즘의 군집화 방식은 다음의 과정을 따른다(Blondel et al., 2008). 먼저 모든 노드(node)는 각자 하나의 군집을 형성한다. 즉, 본 연구의 기준에서 최초 생활권 개수는 행정동의 개수와 같게 된다. 이후 각 노드들에 대해 이웃한 노드의 군집에 편입될 경우, 모듈성의 변화가 측정된다. 이에 따라 가장 큰 모듈성 증진을 보인 군집으로 노드를 재배치하게 된다. 하지만 다른 군집으로의 재배치는 모듈성의 변화가 양수인 경우에만 진행된다. 여기서 작은 규모의 군집 도출을 연구자가 희망할 경우, resolution parameter를 통해 군집으로 재배치시킬 역치의 수준을 설정하여 도출할 군집의 크기를 조절하게 된다(Lambiotte, 2010). 본 연구에서 활용한 python의 네트워크 분석 패키지 igraph에 따른 모듈성 Q는 다음 식과 같다. m은 네트워크 전체 가중치의 합, i, j는 노드, A는 노드 간 간선(edge)의 가중치, k는 해당 노드에 연결된 간선의 가중치 합, $\delta(c_i, c_j)$ 는 i 노드와 j 노드가 같은 군집에 속할 경우 1, 아닐 경우 0의 값을 가진다. resolution parameter인 γ 는 값이 커질수록 역치를 키워 더 많은 개수의 작은 군집을 도출하도록 한다(igraph, 2022).

$$Q = \frac{1}{2m} \sum_{i,j} \left[A_{ij} - \gamma \frac{k_i k_j}{2m} \right] \delta(c_i, c_j) \quad (4)$$

각 노드들이 모듈성에 따라 군집으로 재배치된 이후 Louvain 알고리즘은 각 군집을 노드로 취급하여 군집의 재배치 과정을 다시 시행하게 된다. 이러한 일련의 과정은 pass로 정의되고, 모듈

성의 개선이 이루어지지 않을 때까지 pass는 반복된다. 이 과정에서 이전 pass에서 도출된 군집은 최종 도출된 군집의 형성 과정을 살펴보는 데 활용될 수 있다. 정리하면 resolution parameter에 따라서는 살펴보고자 하는 군집의 크기를 조절할 수 있으며, 이전 pass의 군집을 통해서도 최종 군집의 형성 과정을 살펴볼 수 있다.

하지만 모듈성에 기반한 알고리즘은 군집 내부의 연결 강도에만 초점을 맞추어 세부적인 정보가 무시될 수 있다는 점이 지적되었다. 이에 따라 Rosvall et al. (2009)은 네트워크 내부의 흐름(flow)을 평가하기 위한 지표인 map equation에 기반한 Infomap 알고리즘을 개발하였다. Infomap 알고리즘은 군집 포착을 위해 random suffer라는 개념을 활용한다. 세부적으로 random suffer는 방향 가중 네트워크 내부를 돌아다니거나, 확률에 따라 순간 이동(teleportation)하며 네트워크 내 흐름을 보이는 군집을 포착하게 된다. 연구자는 Louvain 알고리즘과 마찬가지로 Infomap 알고리즘의 Markov-time를 통해 도출되는 군집의 크기를 조절할 수 있다. 이러한 Infomap 알고리즘은 방향 네트워크에 대한 군집 분석이 가능하기 때문에 방향성을 가지는 OD 데이터를 활용한 권역 분석에 활용되었다(Zhong et al., 2014). 한편, Infomap 알고리즘은 map equation 지표에 의해 군집을 도출하지만, 군집 도출 결과를 평가하는데 다음 식과 같이 방향성을 고려한 모듈성을 고려할 수 있다. A_{ij} 는 i 노드로부터 j 노드로 방향을 가지는 간선의 가중치, k_i^n 은 해당 노드로 향하는 간선의 가중치 합, k_j^{out} 은 해당 노드에서 나가는 간선의 가중치 합, 그 외는 무방향 네트워크 모듈성의 것과 같다(Nicosia et al., 2009; igraph, 2022).

$$Q_d = \frac{1}{m} \sum_{i,j} \left[A_{ij} - \frac{k_i^n k_j^{out}}{m} \right] \delta(c_i, c_j) \quad (5)$$

그러나 Infomap 알고리즘은 방향 가중 네트워크 내 흐름이 나타나지 않을 경우 전체 네트워크에 대해 1개의 단일한 군집만을 도출하여 모듈성이 0으로 나타나게 된다(Rosvall et al., 2009). 두 알고리즘의 결과 도출 과정을 비교해 도식화한 것은 <그림 2>

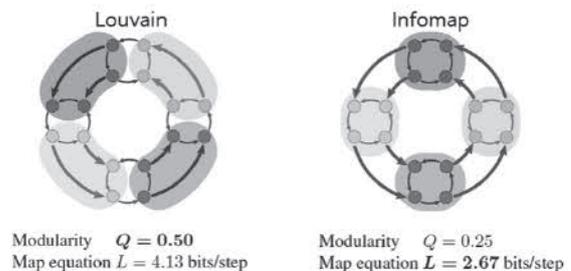


그림 2. Community Detection 알고리즘별 군집 도출 비교
Figure 2. Comparison of cluster derivation by Community Detection algorithm

Source: Rosvall et al. (2019, p.10)

로, 좌측이 Louvain 알고리즘, 우측이 Infomap 알고리즘에 의해 도출된 군집 결과이다.

2) 기능적 생활권 분석

먼저 한국갤럽조사연구소(2021)에 따르면 2020년 20~50대 연령층의 스마트폰 사용률은 98% 이상으로 다른 연령대에 비해 매우 높은 수치를 보이고 있다. 이와 더불어 20~50대 연령층은 경제 활동 인구로서 도시 경제 활동의 중심이 되며 생활권 형성에 가장 큰 기여를 한다고 볼 수 있다. 이에 따라 본 연구는 생활이동 데이터의 추정량 오류를 최소화하고 연구의 분석 목적을 고려하고자 20~59세의 통행 데이터를 추출해 분석에 활용하였다. 또한, 생활권계획은 서울시를 수립 범위로 하고 있고, 생활이동 데이터는 서울 외부 지역 간 통행을 제공하고 있지 않기 때문에 본 연구는 서울 내부에서의 통행만을 고려하였다.

이후, 본 연구는 비동질적 특성을 보이는 주중과 주말로 통행 패턴을 나누어 <그림 3>과 같이 주요하게 나타나는 종류의 통행 패턴을 살펴보았다. 먼저 통근 통행과 여가 통행 모두 일관적으로 정부의 사회적 거리두기 단계 격상에 따라 통행량이 줄어드는 양상을 보였다. 다음으로 주중과 주말의 통행을 나누어 살펴보면, 주중의 경우 주거지에서 근무지로의 통행을 의미하는 HW와 근무지에서 주거지로의 통행을 의미하는 WH가 가장 높은 빈도를 보이고 있었다. 주말의 경우 시민들의 주거지와 기타 체류지

를 순환하는 여가 통행(EE, EH, HE) 빈도가 가장 높은 것으로 나타났다. 이는 2040 도시기본계획에서 제시한 도시민의 주요 삶의 형태인 주거(live), 업무(work), 여가(play)와 일치한다(서울특별시, 2023). 이에 본 연구는 주중 통근 통행(HW)과 주말 여가 통행(HE)으로 통행 패턴을 나누어 생활권을 살펴보았다.

다음으로 본 연구는 네트워크 분석에 있어서 python의 igraph 패키지를 활용하였다. 먼저 생활권을 도출하기 위해 본 연구는 선형연구에서 활용된 Louvain 알고리즘과 Infomap 알고리즘 중 통행 패턴에 따라 적합한 알고리즘을 선택하였다. Louvain 알고리즘을 활용할 경우, 양방향의 두 간선 가중치는 하나의 무방향 간선 가중치로 합쳤다. 이후 통행 패턴에 따라 적절한 알고리즘을 도출하기 위해 각 년도 1월의 Community Detection 결과의 모듈성을 비교한 결과는 <표 2>와 같다. 결과는 전반적으로 통근 통행이 여가 통행보다 모듈성이 낮게 나타나, 시민들의 통근 통행 행태가 여가 통행보다 외부 생활권 의존이 강한 것을 알 수 있다.

<표 2>에 제시된 바와 같이 주중 통근 통행에서 Infomap 알고리즘의 모듈성은 0으로 나타나 통근 통행을 분석할 알고리즘으로는 Louvain 알고리즘이 적절한 것을 알 수 있다. 이러한 결과는 HW만을 고려한 출근 통행에서도 동일하게 나타났다. Rosvall et al.(2009)이 지적한 바와 같이 두 노드 간의 상호작용이 주되게 나타날 경우 Infomap 알고리즘의 모듈성은 0으로 나타날 수 있는데, 출발지와 목적지가 뚜렷한 통근 통행이 이 경우에 속하는 것이라고 볼 수 있다. 그 외에 다른 경우의 모듈성은 0.3 이상으로, 모두 내부 결속력이 있는 군집이 도출되었다고 평가할 수 있다(Chen et al., 2018).

한편, 여가 통행에 있어서 전반적으로 Louvain 알고리즘의 모듈성이 약소하게 Infomap 알고리즘에 비해 높게 나타났다. 하지만 Infomap 알고리즘은 방향 네트워크에 기반해 모듈성을 계산하므로 직접적인 비교는 부적절하다고 볼 수 있다. 또한, 여가 통행 분석에 활용된 데이터는 HE, EE, EH와 같이 주거지에서 출발해 기타 체류지를 거친 뒤 주거지로 복귀하는 순환적 형태를 띠고 있다. 이에 따라 2개 이상의 목적지를 가지는 여가 통행에 대해서는 비슷

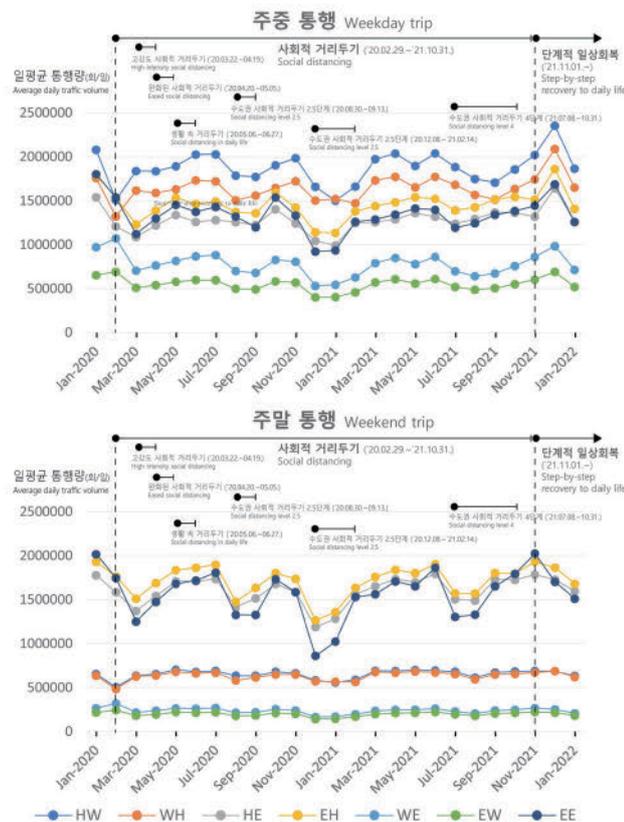


그림 3. 통행 패턴별 일평균 통행량
Figure 3. Average daily traffic volume by traffic pattern

표 2. Community Detection 알고리즘별 모듈성
Table 2. Community Detection modularity by algorithm

Category	Modularity		
	Louvain	Infomap	
2020.01	Weekday commuting	0.372	0.000
	Weekend leisure	0.541	0.527
2021.01	Weekday commuting	0.370	0.000
	Weekend leisure	0.562	0.527
2022.01	Weekday commuting	0.373	0.000
	Weekend leisure	0.553	0.537

한 모듈성 수준을 보이는 두 알고리즘 중 Infomap을 선택하는 것이 여가생활 환경 도출에 보다 적합하다(Maeda et al., 2019).

이후 적합한 알고리즘에 따라 통행 패턴별, 월별로 Community Detection 분석을 시행하였다. 또한, 각 결과에 대해 분류 모형 평가에 활용되는 Adjusted Mutual Information Index (AMI)를 활용하여, 분석 결과의 강건성을 확보하였다(Lu et al., 2018). AMI는 0에서 1 사이의 값을 가지며, 1에 가까울수록 두 군집화의 결과는 유사하다는 의미를 가진다. 이에 따라 각 분석별로 10회의 Community Detection을 시행하여 전체 결과 중 나머지 9개의 결과와 가장 유사하여 가장 높은 평균 AMI를 보이는 결과를 강건한 모형으로 제시하였다.

3) 공간회귀모형

모든 공간 자료는 지리적 인접성에 따라 공간적 자기상관성 (spatial autocorrelation)을 가지게 된다. 이러한 공간적 자기상관성을 고려하지 않을 경우, 회귀 모형은 오차항에 공간적 자기상관성을 포함하여 편향된 결과를 산출할 수 있다(Anselin, 1988). 따라서 본 연구는 이분산성의 원인으로 공간적 영향을 가정하여, 퀸 (queen) 방식의 공간가중행렬 (spatial weighted matrix)를 구축하였다. 이후, 공간가중행렬을 통해 공간적 자기상관성을 고려한 회귀 분석을 진행하였다. 공간적 자기상관성은 Moran's I를 통해 검증하였으며, LM-lag, LM-error, Robust LM-lag, Robust LM-error를 통해 적합한 설명 모형을 선택하였다(정은애 외, 2015). Moran's I에 대한 식은 아래와 같으며, W는 공간가중행렬, x_i 는 행정동 i의 값, N은 행정동의 수이다.

$$Moran's I = \frac{N \sum_i \sum_j w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{W \sum_i (x_i - \bar{x})^2} \quad (6)$$

종속변수인 행정동별 평균 통행거리는 지리적 인접성에 따라 공간적 자기상관성을 지닐 수 있기 때문에 <표 3>과 같이 공간 종속성을 진단하였고, 유의한 공간적 자기상관성이 확인되었다. 또한, <표 4>와 같이 모형 성능을 비교하여 최종 설명 모형을 공간 시차모형(SLM)으로 선택하였다.

표 3. 공간 종속성 진단

Table 3. Spatial dependency diagnostics

Category		Moran's I
Weekday commuting	2020.01	0.847 ***
	2021.01	0.847 ***
	2022.01	0.843 ***
Weekend leisure	2020.01	0.726 ***
	2021.01	0.631 ***
	2022.01	0.661 ***

*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

표 4. 모형 적합도

Table 4. Model's goodness of fit

Category		SLM		SEM	
		AIC	BIC	AIC	BIC
Weekday commuting	2020.01	6,616.86	6,689.76	6,636.03	6,708.93
	2021.01	6,602.32	6,675.22	6,611.22	6,684.12
	2022.01	6,621.46	6,694.35	6,632.24	6,705.14
Weekend leisure	2020.01	6,334.86	6,444.21	6,363.13	6,472.47
	2021.01	6,293.02	6,394.26	6,316.91	6,418.15
	2022.01	6,324.05	6,433.40	6,345.02	6,454.36

IV. 분석 결과

1. 기능적 생활권 분석

1) 기능적 통근 생활권

생활권계획의 경계가 시민의 실제 통행 반경을 반영하지 못하고 있다는 문제의식에 따라 본 연구는 Community Detection 과 모바일폰 위치 기반 통행 데이터를 활용하여 기능적 생활권을 특정해내었다. 먼저 주중 통근 통행을 활용하여 2020년, 2021년, 2022년 1월의 기능적 생활권을 도출한 결과는 <그림 4>와 같다.

도출된 기능적 경계를 살펴보면, 일부 경계는 자치구 경계와 일치하는 것으로 나타났다. 이는 기존의 행정 구역 경계에 시민의 활동이 종속되어 도출된 결과로 볼 수 있다(De Montis et al., 2013; Yu et al., 2020; Wei and Wang, 2021). 그러나 행정 경계 및 생활권계획 경계와 일치하지 않는 기능적 경계가 확인됨에 따라, Community Detection 결과는 실제 도시의 시민 활동을 확인하기 위해선 기능적 경계가 도시계획적으로 고려될 필요가 있음을 시사한다(Poorthuis, 2018).

기존의 생활권계획은 서울의 대생활권을 도심권, 서북권, 서남권, 동북권, 동남권의 5개 생활권으로 나누고 있다. 도출된 기능적 통근 생활권을 살펴보면 생활권의 개수는 5개로 같으나, 생활권계획 상 도심권으로 정의된 지역은 서북권과 동북권에 편입되어 나타나고 있다. 즉, 이러한 결과는 기존 생활권계획 상 도심권이 고용 중심지를 뒷받침하는 배후 주거 지역을 고려하지 못하는 것으로 볼 수 있다. 한편, 한강 이남 지역의 경우 강남 도심권이 특정되어 강남 도심권, 서남권, 동남권 3개의 생활권으로 분화되어 나타났다. 이는 한강 이남 지역을 서남권, 동남권 2개 생활권으로 분할하고 있는 생활권계획과 달리 강남 도심권이 유효한 생활권으로써 기능함을 의미한다.

시간 경과에 따른 서울시 내 통근 통행의 평균 통행거리와 기능적 통근 생활권의 모듈성 및 생활권 크기 변화를 살펴본 결과는 <표 5>와 같다. 먼저 모듈성은 0.35~0.39 수준으로 나타났다. 네

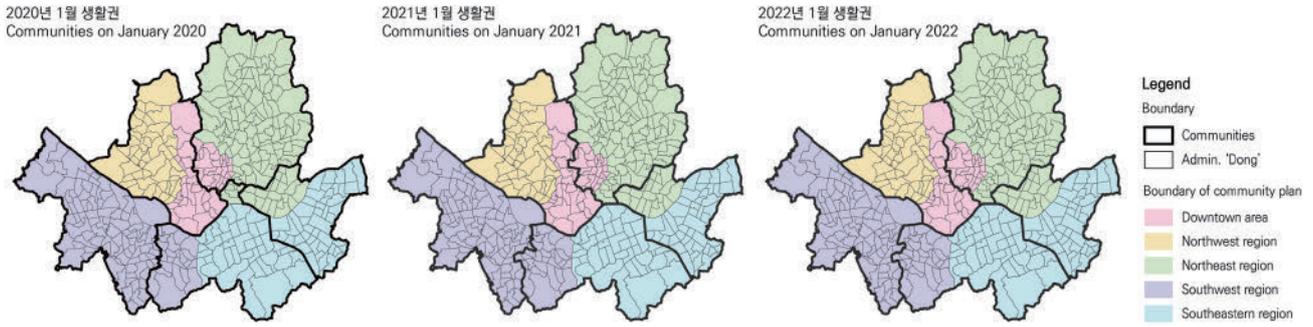


그림 4. 주중 통근 생활권 분석 결과
 Figure 4. Analysis result of weekday commuting living zones

표 5. 서울시 월별 통근/여가 통행거리 및 Community Detection 결과

Table 5. Monthly commuting/leisure travel distance and Community Detection results in Seoul

Category	Analysis result of weekday commuting living zones				Analysis result of weekday leisure living zones			
	Average travel distance (km/trip)	Modularity	Num of clusters	Mean AMI	Average travel distance (km/trip)	Modularity	Num of clusters	Mean AMI
2020. 01	7.44	0.372	5	0.847	5.59	0.527	14	0.957
2020. 02	7.74	0.354	5	0.933	5.01	0.552	16	0.927
2020. 03	7.55	0.368	5	0.896	4.90	0.571	12	0.923
2020. 04	7.44	0.376	5	0.914	4.99	0.543	11	0.942
2020. 05	7.33	0.384	5	0.893	5.08	0.561	12	0.942
2020. 06	7.39	0.379	5	0.885	5.18	0.558	11	0.941
2020. 07	7.41	0.376	6	0.888	5.27	0.549	13	0.932
2020. 08	7.41	0.375	5	0.913	5.20	0.553	13	0.930
2020. 09	7.42	0.376	6	0.883	5.05	0.562	11	0.935
2020. 10	7.30	0.383	6	0.906	5.25	0.550	13	0.954
2020. 11	7.43	0.375	5	0.899	5.45	0.536	13	0.948
2020. 12	7.50	0.370	5	0.879	5.25	0.539	11	0.945
2021. 01	7.44	0.370	5	0.896	5.08	0.527	12	0.942
2021. 02	7.51	0.371	5	0.890	5.21	0.549	13	0.940
2021. 03	7.40	0.375	5	0.889	5.33	0.536	14	0.941
2021. 04	7.38	0.380	6	0.896	5.22	0.549	13	0.945
2021. 05	7.30	0.383	5	0.856	5.32	0.542	13	0.949
2021. 06	7.36	0.380	6	0.901	5.27	0.546	13	0.941
2021. 07	7.37	0.379	6	0.888	5.12	0.548	14	0.938
2021. 08	7.35	0.381	5	0.887	5.10	0.551	14	0.924
2021. 09	7.21	0.391	6	0.887	5.11	0.552	14	0.960
2021. 10	7.24	0.391	6	0.911	5.36	0.540	14	0.949
2021. 11	7.36	0.377	6	0.910	5.51	0.534	14	0.975
2021. 12	7.37	0.376	6	0.888	5.64	0.516	12	0.926
2022. 01	7.45	0.373	5	0.890	5.31	0.537	14	0.945

트위크의 모듈성이 0.3 이상인 경우 내부 결속력이 있다고 판단할 수 있기 때문에(Chen et al., 2018), 도출된 기능적 통근 생활권은 통행 양상을 살펴보기 적절하다. 3년간 도출된 군집의 수는 5~6개, 평균 통행거리는 7.4km 내의 수준으로 변동 폭이 좁게 나타났는데, 이는 COVID-19에 따른 사회적 변화와 정책에도 불구하고 통근 통행 목적지는 쉽게 바뀌기 힘들다는 점을 시사한다.

또한, 기능적 통근 생활권이 6개로 나타난 경우는 5개로 나타난 기능적 통근 생활권 중 동남권이 광진구·성동구, 송파구·강동구 생활권으로 분화된 것으로 나타났다. 이러한 결과는 고용 중심지가 각 생활권에 존재하여 향후 기능적 생활권 분화를 야기할 수 있음을 시사한다. 특히 광진구·성동구, 송파구·강동구 생활권은 하재현·이수기(2016)의 대생활권 분석에서도 도출된 바가 있기 때문에, 향후 생활권계획에서는 이를 주목할 필요가 있다.

한편, 선행연구는 기능적 생활권 도출에 있어서 인접하지 않은 지역 간의 군집 도출을 보고하고 있다(Zhong et al., 2014; 하재현·이수기, 2016). 이는 강남과 판교와 같이 행정 경계가 인접하지 않더라도 기능적 생활권으로 묶일 수 있는 행정동 간 나타날 수 있는 결과이다. 그러나 모바일폰 위치 기반 OD 데이터를 활용한 본 연구의 결과는 지리적 인접성이 실제 기능적 생활권 도출에도 크게 작용함을 보고하고 있다.

2) 기능적 여가 생활권

여가 통행의 목적지는 통근 통행과 다른 양상을 보임에 따라 여가 인프라 공급의 근거가 되는 생활권은 주말의 비통근 통행을 활용하여 분석하였다. 여가 통행의 경우, 대부분의 통행이 주거지에서 출발해 2개 이상의 목적지를 가지는 통행 패턴이 나타나기 때문에 Infomap 알고리즘을 활용하여 기능적 생활권을 도출하였고, 시각화한 결과는 <그림 5>와 같다.

기능적 통근 생활권과 비교해볼 때 기능적 여가 생활권의 경우, 더 많은 수의 통행 중심지가 존재하기 때문에 더 많은 군집이 도출되었다. 이러한 결과는 시민들이 통근보다는 여가 통행에서 근거리 통행을 선호함을 나타낸다. 또한, 기능적 여가 생활권에

서 역시 강남 도심권이 지속적으로 나타나는 것을 볼 수 있다.

시간 경과에 따라 주말 여가 통행에 대한 평균 통행거리와 Community Detection 결과를 나타낸 결과는 <표 5>와 같다. 먼저 COVID-19 집단 감염 사태가 나타난 2020년 2월, 시민들은 여가 생활 환경을 축소하는 경향을 보였다. 세부적으로 2020년 1월 14개 수준으로 나타났던 생활권 군집은 2020년 2월 16개로 증가하여 생활권의 축소가 확인되었다. 그러나 2020년 3월 평균 통행거리는 더 짧아졌음에도 불구하고 생활권은 기존보다도 생활권의 군집 수가 적게 나타났다. 이러한 결과는 장거리 여가 통행을 포기하여, 기존의 생활권 간 내부 결속이 약화되어 나타난 결과로 판단된다. 이처럼 짧은 기간 내 나타나는 기능적 생활권 변화는 기존의 긴 주기를 가지는 생활권계획이 데이터에 기반해 현실의 변화를 반영하기에 미흡할 수 있음을 시사한다. 한편, 기능적 여가 생활권 역시 2022년 1월 기준 2020년 1월과 비슷한 수준의 생활권 분화를 보여 사회적 변화에 따른 생활권 변화는 탄력적인 것으로 나타났다.

2. 통행거리 영향 요인 분석

1) 기초통계분석

<표 6>은 종속변수인 통행 목적별 통행거리와 독립변수들에 대한 기초통계 결과이다. 먼저 종속변수인 평균 통행거리의 경우 시간의 경과에도 주중 통근 통행은 평균값이 약 7.4km로 안정적으로 나타났다. 그러나 주말 여가 통행의 경우 연도에 따라 5.1~5.6km로 평균값이 큰 변화를 보였다. 이러한 결과는 앞서 Community Detection 분석 결과에서 기술한 바와 같이 통근 통행의 경우 여가 통행보다 목적지가 가변적이지 않다는 특성에 기인한 것으로 볼 수 있다.

한편, 밀도 특성 중 도착 통행 밀도를 살펴보면, 통근 통행은 여가 통행에 비해 평균값 대비 표준편차의 크기가 크게 나타났다. 이는 통근 통행이 여가 통행보다 특정 지역에 목적지가 편중되어 나타난 결과로 판단된다.

보행 환경 특성 중 마룻이 정류장 밀도의 경우, 2020년 이후 서

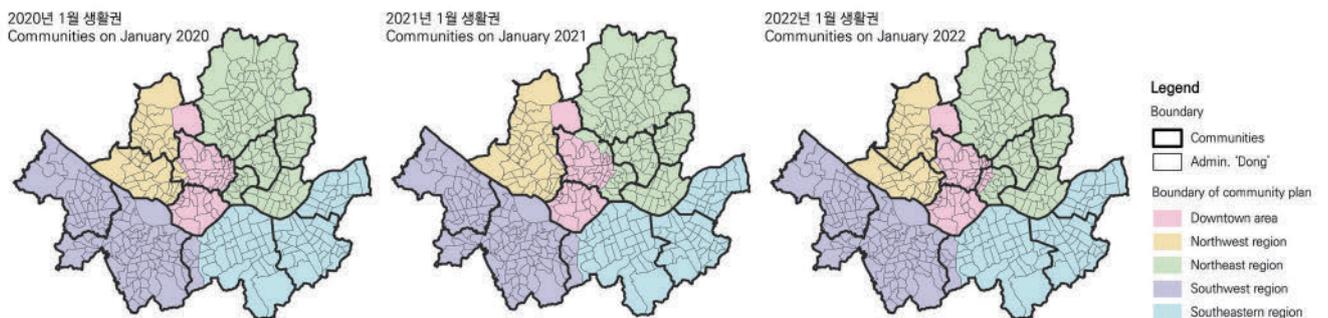


그림 5. 주말 여가 생활권 분석 결과
Figure 5. Analysis result of weekend leisure living zones

표 6. 기술통계 분석 결과

Table 6. Result of descriptive analysis

Variables			Mean	Std. Dev.	Min.	Max.			
종속변수 Dependent variables	평균 통행거리 Average travel distance	주중 통근(m/통행) Weekday commuting (m/trip)	2020.01	7,407.53	1,607.17	3,796.26	12,371.21		
			2021.01	7,397.63	1,559.70	3,797.44	11,995.69		
			2022.01	7,418.00	1,591.60	3,770.92	12,184.44		
		주말 여가(m/통행) Weekend leisure (m/trip)	2020.01	5,608.95	806.84	4,288.66	9,479.16		
			2021.01	5,107.41	654.91	4,034.66	8,816.10		
			2022.01	5,325.64	708.51	4,243.36	9,028.15		
밀도 특성 Density factors	출발 통행 밀도(통행/ha) Density of outflow trips (trip/ha)	Weekday commuting	2020.01	1,583.48	671.07	100.43	4,258.30		
			2021.01	1,042.36	427.80	61.31	2,773.08		
			2022.01	1,287.61	536.85	61.40	3,336.56		
		Weekend leisure	2020.01	464.70	191.48	32.93	1,349.81		
			2021.01	418.57	163.99	26.96	1,176.23		
			2022.01	517.85	205.56	31.89	1,437.95		
	도착 통행 밀도(명/ha) Density of inflow trips (trip/ha)	Weekday commuting	2020.01	1,288.54	1,321.25	37.55	9,936.51		
			2021.01	855.39	816.22	55.73	5,215.58		
			2022.01	1,050.44	1,035.30	94.42	7,048.40		
		Weekend leisure	2020.01	412.12	285.50	53.67	2,466.21		
			2021.01	374.68	250.75	20.13	2,272.80		
			2022.01	461.52	320.82	30.53	2,899.16		
독립변수 Independent variables	복합도 특성 Diversity factors	도착량/출발량 Inflow trips / outflow trips	Weekday commuting	2020.01	1.22	3.11	0.12	38.66	
				2021.01	1.20	2.72	0.14	30.67	
				2022.01	1.16	2.43	0.15	26.31	
			Weekend leisure	2020.01	1.11	1.52	0.18	15.85	
				2021.01	1.06	1.13	0.23	10.03	
				2022.01	1.05	1.13	0.22	9.85	
	건조환경 특성 Built environment factors	주거-업무 혼합도 Residential and business mixed use			0.56	0.26	0.02	1.00	
			주거-상업 혼합도 Residential and commercial mixed use			0.67	0.21	0.02	1.00
				업무-상업 혼합도 Business and commercial mixed use			0.85	0.17	0.16
			교통 특성 Transportation factors		지하철역 밀도(개/ha) Density of subway stations (no./ha)			0.01	0.01
버스정류장 밀도(개/ha) Density of bus stops (no./ha)				0.34		0.16	0.04	1.39	
	따릉이 정류장 밀도(개/ha) Density of Seoul public bicycle stops (no./ha)	2020.01		0.04	0.03	-	0.15		
		2021.01		0.06	0.04	-	0.25		
		2022.01		0.07	0.04	-	0.25		
건조환경 특성 Built environment factors	도로 밀도(m/ha) Road density (m/ha)			0.47	0.11	0.19	0.76		
		건물 밀도(개/h) Building density (no./ha)			18.56	10.39	0.13	53.60	
No. of obs.			424						

울시의 공공자전거 정류장 설치 사업에 따라 계속 증가하는 경향을 보이고 있다. 따라서 교통 특성 변수와 달리 따릉이 정류장 밀도는 연도별로 구성하는 것이 적합하다고 볼 수 있다.

생활권 변수는 연도별 생활권을 구성하는 행정동과 생활권의 개수가 다르기 때문에 <표 7>을 통해 연도별 기능적 생활권의 구성 비율을 제시하였다. 기능적 통근 생활권의 경우 구성 비율과

표 7. 연도별 기능적 생활권의 행정동 구성 개수 및 비율
Table 7. Number and ratio of administrative dong in functional living zones by year

Category	Number and ratio of administrative dong				
	2020.01	2021.01	2022.01		
주중 통근 Weekday commuting	Gangnam downtown region (ref.)	68 (16.04%)	68 (16.04%)	70 (16.51%)	
	Northeast region	126 (29.72%)	129 (30.42%)	131 (30.90%)	
	Southeastern region	65 (15.33%)	65 (15.33%)	65 (15.33%)	
	Northwest region	71 (16.75%)	73 (17.22%)	71 (16.75%)	
	Southwest region	94 (22.17%)	89 (20.99%)	87 (20.52%)	
	Gangnam downtown region (ref.)	41 (9.67%)	42 (9.91%)	44 (10.38%)	
	1 Yeongdeungpo, Guro, Geumcheon, Gwanak, Dongjak	73 (17.22%)	73 (17.22%)	73 (17.22%)	
	2 Nowon, Dobong, Gangbuk, Seongbuk	66 (15.57%)	65 (15.33%)	66 (15.57%)	
	3 Gangseo, Yangcheon	38 (8.96%)	38 (8.96%)	38 (8.96%)	
	4 Songpa	31 (7.31%)	29 (6.84%)	28 (6.60%)	
	5 Gwangjin	20 (4.72%)	20 (4.72%)	20 (4.72%)	
	주말 여가 Weekend leisure	6 Gangdong	19 (4.48%)	20 (4.72%)	19 (4.48%)
		7 Yongsan	16 (3.77%)	16 (3.77%)	16 (3.77%)
8 Jungnang		16 (3.77%)	14 (3.30%)	16 (3.77%)	
9 Dongdaemun		15 (3.54%)	15 (3.54%)	15 (3.54%)	
10 Mapo, Seodaemun		24 (5.66%)	49 (11.56%)	20 (4.72%)	
11 Eunpyeong		20 (4.72%)		26 (6.13%)	
12 Jung, Jongno		34 (8.02%)	43 (10.14%)	25 (5.90%)	
13 Seongdong		11 (2.59%)		18 (4.25%)	

생활권의 개수는 시간 경과에도 크게 변화하지 않았으나, 기능적 여가 생활권은 변화가 확인되기 때문에 통근 통행에 비해 여가 통행이 보다 사회적 변화에 의해 유동적임을 알 수 있다.

2) 통근 통행거리 영향 요인 분석

통근 통행의 평균 통행거리에 대해 밀도 특성, 복합도 특성, 교통 특성, 보행 환경 특성, 기능적 생활권 특성을 고려하여 공간시차 모형을 활용해 분석한 결과는 <표 8>과 같다. 모형에 활용한 변수의 VIF 값은 모두 5 이하로 나타나 다중공선성 문제는 없다고 판단하였다. 또한, 오차항의 Moran's I 값은 유의하지 않게 나타나 공간시차 모형을 통해 공간적 자기상관성이 제어되었음을 알 수 있다. 이는 Rho 값을 통해서도 드러나는데, Rho 값은 모든 모형에서 0.8 이상의 매우 유의한 관계를 보여 종속변수인 통근 통행거리가 인근 지역의 통근 통행거리와 매우 강한 상관관계를 가짐을 알 수 있다.

우선 통근 평균 통행거리에 대해 분석한 모형에서 밀도 특성 중 출발 통행 밀도와 도착 통행 밀도는 모두 유의하게 나타났다. 출발과 도착 통행 밀도는 각각 통행의 수요와 공급을 나타내는 지표로서, 통근 통행에서는 해당 행정동의 거주 인구와 종사자를 대리하는 변수라고 볼 수 있다. 구체적으로 출발 통행 밀도가 높을수록 통행거리는 늘어났으며, 도착 통행 밀도가 높을수록 통행거리는 줄어들어 선행연구와 일치한 결과를 보였다(성현근·추상호, 2010). 즉, 이러한 결과는 주거 지역 위주의 고밀 개발보다는 고용 중심의 개발이 시민의 통행거리를 줄이는데 기여할 수 있음을 시사한다. 그러나 2021년 1월 출발 통행 밀도, 즉, 통행 수요는 통행거리와 유의미한 관계를 보이지 않았는데, 이러한 결과는 원격 근무와 같은 사회적 변화에 따른 일시적 결과로 판단된다(Hanzl, 2020). 한편, 도착 통행량 밀도의 영향력은 2021년 1월에 가장 크게 나타나고, 2022년 1월에는 다소 감소하였으나 2020년 1월보다 크게 나타났다. 이러한 결과는 고용 중심지와 인접한 지역의 통근 편의가 COVID-19 이후 개선되었으나, COVID-19의 일상화 이후에는 감소하는 경향이 나타날 수 있음을 시사한다.

통행의 목적지 인접성 증진에 기여할 수 있는 복합도 특성에서는 도착량/출발량과 주거-상업 혼합도가 유의하게 나타났다. 먼저 도착 통행량 밀도 제어 하에 도착량/출발량은 통행거리와 유의한 양(+)의 관계를 보였는데, 이는 고용 중심지에 대한 접근성이 높은 지역이라도 통행 수요에 비해 공급이 상대적으로 높을 경우 오히려 통행거리를 늘릴 수 있음을 시사한다. 즉, 거주 인구에 비해 고용 공급이 과도히 높을수록 통행거리가 늘어나는 것으로, 현재 2030 생활권계획에서는 전술한 바와 같이 고용 중심지에 대한 배후 주거 지역이 고려되고 있지 않기 때문에 통근 통행거리 감축을 위해서는 통근 통행 수요를 뒷받침할 수 있는 주거 지역을 생활권계획에 고려할 필요가 있다. 그러나 2021년 이후 도착량/출발량은 유의한 관계를 보이지 않아 향후 실제 통행에 기반한 지

표 8. 평균 통근 통행거리 분석 결과
 Table 8. Analysis result of average commuting travel distance

변수	2020.01			2021.01			2022.01			
	Coef.	t	VIF	Coef.	t	VIF	Coef.	t	VIF	
밀도 특성 Density factors	출발 통행 밀도(통행/ha) Density of outflow trips (trip/ha)	0.090*	1.95	1.53	0.111	1.49	1.68	0.109*	1.76	1.73
	도착 통행 밀도(명/ha) Density of inflow trips (trip/ha)	-0.202***	-5.33	3.87	-0.340***	-5.54	4.00	-0.280***	-5.40	4.37
복합도 특성 Diversity factors	도착량/출발량 Inflow trips / outflow trips	23.771*	1.65	3.23	24.266	1.47	3.38	28.717	1.41	3.86
	주거-업무 혼합도 Residential and business mixed use	33.958	0.23	2.32	88.192	0.60	2.36	116.983	0.79	2.30
	주거-상업 혼합도 Residential and commercial mixed use	-695.298***	-4.09	2.02	-612.252***	-3.65	2.03	-730.002***	-4.23	2.04
	업무-상업 혼합도 Business and commercial mixed use	-107.747	-0.64	1.29	-17.032	-0.10	1.28	-121.764	-0.72	1.28
교통 특성 Transportation factors	지하철역 밀도(개/ha) Density of subway stations (no./ha)	2,201.887	1.19	1.14	2,715.525	1.48	1.17	1,402.992	0.75	1.16
	버스정류장 밀도(개/ha) Density of bus stops (no./ha)	-109.629	-0.62	1.25	-131.974	-0.76	1.28	-98.607	-0.55	1.27
	따릉이 정류장 밀도(개/ha) Density of Seoul public bicycle stops (no./ha)	1,542.503	1.47	1.23	414.080	0.55	1.27	319.361	0.44	1.35
건조환경 특성 Built environment factors	도로 밀도(m/ha) Road density (m/ha)	-539.521	-1.34	2.95	-476.845	-1.20	2.99	-911.273**	-2.24	2.99
	건물 밀도(개/ha) Building density (no./ha)	-21.519***	-4.50	3.77	-18.711***	-4.00	3.76	-23.915***	-4.92	3.81
기능적 생활권 특성 Functional living zone factor (ref: Gangnam downtown region)	Northeast region	135.485	1.63	2.22	49.848	0.62	2.27	99.287	1.20	2.25
	Southeastern region	52.117	0.54	1.88	-1.287	-0.01	1.80	38.131	0.41	1.78
	Northwest region	42.196	0.47	1.82	-20.688	-0.23	1.92	23.401	0.26	1.85
	Southwest region	162.147*	1.84	1.99	45.107	0.53	1.94	83.681	0.96	1.91
Rho	0.852***			0.858***			0.845***			
Constant	2,220.236***	6.11		2,127.311***	5.82		2,623.747***	6.95		
N	424			424			424			
Moran's I (error)	-0.076			-0.083			-0.085			
B. P. Test	36.640***			52.351***			44.384***			
AIC	6,616.862			6,602.320			6,621.457			
BIC	6,689.757			6,675.216			6,694.353			

*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

속적 모니터링이 요구된다.

한편, 토지 이용의 혼합도가 높을수록 시민은 단거리 통행을 통해 통행 목적을 달성할 수 있다(Boussauw et al., 2012). 이에 따라 본 연구는 세부적으로 어떠한 토지 이용 간 혼합도가 증가할

때 통행거리가 감소하는지 살펴보았다. 분석 결과 토지 이용 중 주거와 상업의 혼합도가 통근의 통행거리와 유의한 음(-)의 관계를 보이는 것으로 나타났다. 세부적으로 3년간 변화를 살펴보면 2021년 1월은 주거와 상업 혼합도의 영향력은 감소하였지만,

2022년 1월에는 증가하였다. 이러한 결과는 통근 통행거리에 대한 상업 시설 접근성의 영향이 사회적 변화에 따라 변동할 수 있음을 시사한다. 그러나 주거와 업무 지역 간의 혼합 수준은 3년간 통근 통행거리와 양(+)의 관계를 보이며 유의한 영향을 미치지 않았는데, 이러한 결과는 초과통근의 가능성에 대한 후속 연구를 통해 세부적으로 살펴볼 필요가 있다.

교통 특성 중 대중교통과 비동력 교통수단 모두 3년간 통근 통행거리와 유의한 관계를 보이지 않았다. 이러한 결과는 통근 통행의 교통수단으로 승용차가 높은 비율을 차지하는 것에 기인하는 것으로 판단된다.

한편, 건조 환경 특성의 경우 승용차 접근성을 설명하는 도로 밀도는 2020년과 2021년 통근 통행거리와 유의한 관계를 보이지 않았지만, 2022년 1월 통근 통행거리와 유의한 음(-)의 관계를 보인 것으로 나타났다. 이는 COVID-19로 인한 감염 우려로 승용차를 선호하여 나타난 결과로 볼 수 있으나(Vickerman, 2021), 2021년 1월에는 유의한 관계가 보이지 않기 때문에 해석에 유의할 필요가 있다. 한편, 높은 승용차 접근성에 의한 통행거리 감소는 승용차 이용을 촉발할 수 있으므로(성현곤·추상호, 2010), 도시계획 단계에서 주의 깊게 접근할 필요가 있다. 이와 더불어 건물 밀도는 통근의 통행거리에 3년간 유의한 음(-)의 관계를 가지는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 선행연구 결과와 마찬가지로 고밀 압축 개발이 통행거리 저감에 기여할 수 있음을 시사한다(Ao et al., 2019).

마지막으로 기능적 생활권 특성을 살펴볼 때, 서남권의 경우 2020년 1월에 한정적으로 강남 도심권에 비해 통근 통행거리가 유의하게 높은 것으로 나타났다. 즉, 도시의 균형적 발전을 목표로 하는 생활권계획과는 달리 실제 통근 형평성 측면에서 불균형이 나타날 수 있음을 시사한다. 그러나 대부분의 생활권이 3년간 강남 도심권과 통행거리의 차이가 나타나지 않은 점을 고려할 때, 기능적 통근 생활권들의 고용 중심지 접근성은 형평적인 것으로 판단된다. 또한, 이러한 결과는 통근 통행이 COVID-19 이후 부분적 원격 근무에 의해 단거리, 중거리, 장거리 통행의 감소가 모든 기능적 생활권에서 균일하게 나타났음을 시사한다.

3) 여가 통행거리 영향 요인 분석

여가 통행의 평균 통행거리에 대해 밀도 특성, 복합도 특성, 교통 특성, 보행 환경 특성, 기능적 생활권 특성을 고려하여 공간시차 모형을 활용해 분석한 결과는 <표 9>와 같다. 통근 통행거리 분석과 마찬가지로 모든 독립변수의 VIF 값은 5 이하로 나타나 다중공선성 문제는 없다고 판단하였으며, 오차항의 Moran's I 값은 유의하지 않게 나타나 공간적 자기상관성이 제어되었음을 확인하였다.

우선 여가 통행거리에 대한 밀도 특성 분석에서는 출발 통행 밀도 변수만이 유의한 관계를 보였다. 또한, 통근 통행거리에 대한

분석 결과와 달리 여가 통행거리 분석에서 출발 통행 밀도는 음(-)의 관계를 가지는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 통행거리 감축을 위해 통행 특성에 따라 고밀 개발의 초점이 달라질 수 있음을 시사한다. 세부적으로 여가 통행의 통행거리 감축을 위해서는 여가 인프라 접근성이 취약한 주거 지역 위주로 여가 인프라 공급이 고려될 수 있다. 이와 더불어 시간 경과에 따라 계수의 변화를 살펴보면, 2020년 1월과 비교할 때 2021년 1월 출발 통행 밀도가 높은 지역에서의 통행거리는 2020년 1월보다 더욱 감소하였다. 그러나 2022년 1월에는 출발 통행 밀도가 미치는 영향력이 기존 수준으로 되돌아온 것을 알 수 있다. 이러한 결과는 2021년 1월의 경우 2020년 1월보다 시민들이 주거지를 크게 벗어나지 않는 여가 통행을 하는 경향, 2022년 1월에는 COVID-19 일상화에 따라 전년도보다 주거지를 벗어나 여가 통행을 하는 경향이 나타난 것으로 판단된다.

복합도 특성 중 도착량/출발량은 여가 통행거리에 음(-)의 영향을 미치는 것으로 나타났다. 즉, 통행의 수요 대비 공급이 많을수록 통행거리가 짧아지는 것으로, 여가 인프라 취약 주거지에서의 인프라 확충은 여가 통행거리 감축에 효과가 있을 것으로 판단된다. 특히 도착량/출발량의 영향력은 시간의 경과에 따라 증가하는데, 이러한 결과는 주거 지역의 여가 인프라 수요가 지속적으로 증가한 결과로 판단된다. 한편, 주거와 상업 용도 간의 혼합은 여가 통행에 있어서도 3년간 통행거리와 유의한 음(-)의 관계를 보였으며, 그 영향력은 계속 증가한 것으로 나타났다. 이러한 관계는 여가 통행거리를 분석한 선행연구의 결과와도 일치하며(장윤정·이승일, 2010), 증가한 영향력은 포스트 팬데믹 시기 주거 지역에서의 상업 시설 접근성이 여가 통행거리 감축에 주요하게 고려될 수 있음을 시사한다. 그러나 주거와 업무 용도 간의 혼합은 2021년 1월의 분석 모형부터 유의하게 여가 통행거리와 양(+)의 관계를 보였으며, 그 영향력은 지속적으로 증가한 것으로 나타났다. 즉, 업무 지역에 인접한 주거 지역의 시민들이 여가 인프라의 부족으로 COVID-19 이후 더욱 장거리의 여가 통행을 한 것으로 볼 수 있다. 이에 따라 여가 통행거리 감축을 위해 업무 지역 인근의 주거 지역 내 여가 시설 특성을 세부적으로 살펴보고, 생활권계획에 고려할 필요가 있다.

건조 환경 특성은 승용차 접근성을 설명하는 도로 밀도가 3년간 여가 통행거리와 유의한 음(-)의 관계를 보였으며, 영향력이 시간 경과에 따라 증가하는 경향을 보였다. 먼저 COVID-19에 대한 감염 우려가 승용차 선호로 이어질 수 있음을 고려할 때(Vickerman, 2021), 여가 통행에 있어서 승용차의 선호는 기존에도 존재했으나 COVID-19 이후 다른 수단 대비 상대적으로 증가할 수 있음을 시사한다. 건물 밀도 또한 여가 통행거리에 유의한 음(-)의 영향을 미쳤는데, 여가 통행에서도 압축 개발이 통행거리를 감축시킬 수 있음을 시사한다(Ao et al., 2019).

기능적 생활권 특성의 경우 준거 집단인 강남 도심권보다 더 긴

표 9. 평균 여가 통행거리 분석 결과 Table 9. Analysis result of average leisure travel distance

변수	2020.01			2021.01			2022.01			
	Coef.	t	VIF	Coef.	t	VIF	Coef.	t	VIF	
밀도 특성 Density factors	출발 통행 밀도(통행/ha) Density of outflow trips (trip/ha)	-0.465***	-3.48	2.01	-0.653***	-4.02	2.31	-0.420***	-3.09	2.43
	도착 통행 밀도(명/ha) Density of inflow trips (trip/ha)	-0.148	-1.48	2.54	-0.124	-1.04	2.97	-0.078	-0.77	3.38
복합도 특성 Diversity factors	도착량/출발량 Inflow trips / outflow trips	-46.290**	-2.38	2.74	-48.431*	-1.73	3.27	-58.405*	-1.84	4.04
	주거업무 혼합도 Residential and business mixed use	130.303	1.24	2.29	166.458*	1.67	2.18	321.426***	3.04	2.35
	주거상업 혼합도 Residential and commercial mixed use	-260.980**	-2.07	2.17	-284.163**	-2.33	2.14	-313.944**	-2.50	2.17
	업무상업 혼합도 Business and commercial mixed use	-177.916	-1.44	1.36	-130.868	-1.11	1.33	-199.387	-1.62	1.37
교통 특성 Transportation factors	지하철역 밀도(개/ha) Density of subway stations (no./ha)	645.118	0.47	1.22	-509.168	-0.38	1.25	-397.650	-0.29	1.25
	버스정류장 밀도(개/ha) Density of bus stops (no./ha)	2.468	0.02	1.50	28.601	0.22	1.40	44.582	0.33	1.41
	따릉이 정류장 밀도(개/ha) Density of Seoul public bicycle stops (no./ha)	206.472	0.27	1.26	-589.468	-1.11	1.29	-604.352	-1.14	1.40
건조환경 특성 Built environment factors	도로 밀도(m/ha) Road density (m/ha)	-1,005.124***	-3.38	3.16	-1,022.582***	-3.54	3.16	-1,089.239***	-3.68	3.16
	건물 밀도(개/ha) Building density (no./ha)	-16.414***	-4.75	3.98	-16.618***	-4.99	3.91	-16.932***	-4.86	4.09
기능적 생활권 특성 Functional living zone factor (ref. Gangnam downtown region)	1	249.383***	3.10	2.66	219.611***	2.86	2.63	263.188***	3.38	2.57
	2	215.880***	2.65	2.58	180.193**	2.30	2.57	235.384***	2.96	2.50
	3	268.101***	2.87	1.89	221.968**	2.53	1.87	254.790***	2.87	1.84
	4	160.746*	1.73	1.75	144.971	1.61	1.69	185.669**	2.00	1.65
	5	142.263	1.37	1.53	119.294	1.18	1.52	155.866	1.52	1.50
	6	244.788**	2.22	1.50	113.695	1.14	1.47	228.073**	2.16	1.43
	7	78.742	0.70	1.44	104.526	0.96	1.44	117.465	1.06	1.42
	8	150.004	1.29	1.52	139.491	1.20	1.44	188.048	1.64	1.51
	9	175.823	1.53	1.41	148.527	1.33	1.41	262.994**	2.30	1.39
	10	51.241	0.52	1.63				39.349	0.38	1.54
	11	244.199**	2.22	1.64	120.041	1.48	2.22	237.246**	2.38	1.76
	12	140.152	1.43	2.24				196.087*	1.71	2.32
	13	123.320	0.89	1.53	157.289*	1.76	2.42	170.128	1.54	1.56
Rho	0.799***			0.734***			0.763***			
Constant	2,307.646***			2,620.272***			2,458.198***			
N	424			424			424			
B. P. Test	35.724*			34.299**			32.070			
AIC	6,334.862			6,293.017			6,324.054			
BIC	6,444.205			6,394.260			6,433.397			

*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

여가 통행거리를 가지는 생활권이 다수 확인되었다. 이러한 결과는 통근 통행거리 분석과 비교할 때, 여가 시설의 접근성에 있어 생활권 간 격차의 가능성을 시사한다. 즉, 여가 생활권 내에서 시민들이 여가 통행 수요를 충족하지 못해 외부 생활권에 의존하는 것이므로, 균형 발전을 지향하는 생활권계획에서는 여가 인프라 확충을 위한 계획 수립을 고려할 필요가 있다.

먼저 각 기능적 여가 생활권의 권역을 살펴보면, 1번 생활권은 영등포구·구로구·금천구와 관악구·동작구 일부, 2번 생활권은 강북구·도봉구·노원구와 성북구 일부, 3번 생활권은 강서구·양천구, 4번 생활권은 송파구·강남구 일부, 5번 생활권은 광진구와 성동구 일부, 6번 생활권은 강동구·송파구 일부, 7번 생활권은 용산구, 8번 생활권은 중랑구, 9번 생활권은 동대문구, 10번 생활권은 마포구·서대문구·은평구 일부, 11번 생활권은 은평구·서대문구·종로구 일부, 12번 생활권은 종로구·중구·서대문구 일부, 13번 생활권은 성동구 일부가 포함되어 있다.

기간에 따른 강남 도심권과의 통행거리 차이를 살펴보면, 전체적으로 2021년 1월의 경우 2020년 1월에 비해 기능적 생활권이 통합되고 통행거리의 형평성이 개선된 것으로 나타났다.

세부적으로 1번 생활권, 2번 생활권, 3번 생활권은 강남 도심권에 대한 통행거리 차이가 2021년 1월에 감소한 것으로 나타났다. 또한, 강남 도심권보다 여가 통행거리가 길게 나타나던 4번 생활권, 6번 생활권은 2021년 1월 강남 도심권과의 여가 통행거리 차이가 유의미하지 않게 나타났다. 한편, 생활권 간의 통합에 따른 통행거리 변화는 상이한 양상을 보였다. 11번 생활권은 2020년 1월 강남 도심권보다 여가 통행거리가 길게 나타났으나, 2021년 1월 10번 생활권과 통합되며 통행거리 차이는 유의미하게 나타나지 않았다. 반면 12번 생활권과 13번 생활권은 2020년 1월 강남 도심권과 여가 통행거리 차이가 나타나지 않았으나, 2021년 1월 통합된 이후 강남 도심권에 비해 통행거리가 유의하게 긴 것으로 확인되었다.

2022년 1월의 경우, 2020년 1월과 동일한 개수의 군집으로 기능적 여가 생활권이 나타났으나, 강남 도심권보다 통행거리가 유의하게 긴 생활권은 많아진 것으로 나타났다. 세부적으로 2020년 1월 강남 도심권에 비해 여가 통행거리가 긴 생활권은 6개였지만, 2022년 1월에는 8개로 나타났다. 새롭게 통행거리 차이가 나타난 생활권은 9번 생활권과 12번 생활권으로 확인되었다. 한편, 1번 생활권, 2번 생활권, 4번 생활권은 2021년 1월에는 강남 도심권과 통행거리 차이가 감소한 모습을 보였지만, 2022년 1월에는 오히려 2020년 1월보다 통행거리 차이가 증가한 모습을 보여 COVID-19의 일상화에 따른 지역 간 불균형의 가속화를 시사했다. 반면, 3번 생활권, 11번 생활권은 2020년 1월보다는 강남 도심권과 통행거리가 크지 않았지만, 2021년 대비 증가한 모습을 보여 주의할 필요가 있다.

V. 결론

본 연구는 생활이동 데이터와 Community Detection 기법을 활용하여 기존의 방법론으로는 분석이 제한되던 현상을 설명하고, 기존의 생활권계획에 정책적 시사점을 제시하고자 하였다. 분석 결과에 기반한 연구의 의의 및 정책적 시사점은 다음과 같다.

첫째, 많은 선행연구와 실제 도시의 정책들이 COVID-19에 따른 시민들의 통행 반경 감소를 주장하며 생활권 축소를 전제로 하는 전략을 구상하고 있다. 그러나 실제 시민의 통행 반경을 확인한 결과 통근 통행은 큰 변화가 없었으며 여가 통행은 기존의 수준을 회복한 양상을 보였다. 이러한 결과는 COVID-19와 같은 큰 사회적 변화에도 불구하고, 통행은 기존의 물리적 인프라의 입지에 크게 의존해 외부의 충격에 탄력적임을 나타낸다. 그러나 도시의 지속가능성 측면을 고려해 볼 때, 장거리 통행 발생 가능성을 낮추고 통행거리를 감축시키는 것은 현대 도시계획이 지향해야 할 바임은 부정할 수 없다. 이에 따라 COVID-19와 같은 외부의 사회적 충격보다는 생활권계획과 같이 기반 시설 공급의 근거가 되는 도시 정책을 중심으로 미래 도시계획의 방향성을 설계하는 것이 중요하다고 볼 수 있다.

둘째, 생활권의 의미가 시민의 일상적 생활 경계를 나타냄을 고려할 때, 통근 통행은 생활권계획에 있어서 가장 주요하게 고려될 사항이라고 볼 수 있다. 그러나 기존의 생활권 계획 경계는 통근 통행의 영향권을 면밀하게 반영하지 못하고 있다. 법령상 생활권은 용도지역 배분 등의 근거가 되며, 도시관리계획의 상위 계획으로써 도시기본계획을 구체화하는 중요한 도입의 목적을 지닌다. 그러나 생활권계획이 현실과 괴리되어 실제 시민의 통근 통행 행태를 반영하지 못 할 경우 명목상 계획으로 전략할 수 있다. 따라서 시민들의 실제적인 통행 패턴을 기반으로 하는 생활권계획의 수립이 필요하다고 판단된다.

셋째, 통행 목적에 따라 기능적 생활권의 군집 수와 형태는 이질적으로 나타났다. 이러한 점을 고려할 때, 인프라 공급의 근거가 되는 생활권계획은 시민의 통행 목적에 따라 구분되어 수립될 필요가 있다. 즉, 통행 목적에 따른 기능적 생활권을 고려하지 않을 경우 인프라 공급이 실제 시민의 수요를 반영하지 못 할 수 있음을 시사한다.

넷째, 생활권계획은 생활권 간의 균형 발전을 추구하고 있다. 그러나 본 연구에서 드러난 바와 같이 여가 목적 통행의 경우, 일부 지역의 시민들은 기능적 생활권 권역 내에서 통행 목적을 달성하지 못 해 상대적으로 강남 도심권 지역의 시민들보다 긴 거리를 통행하는 것으로 나타났다. 그리고 시간의 경과에 따라서 격차가 심화되는 생활권이 존재하였다. 이러한 결과는 여가 통행의 형평성 측면에서 시민들의 불편을 야기하여 지역 간 격차를 발생시키는 요인으로 작용할 수 있다. 따라서 생활권계획에서는 실생활 통행에 기반한 목적별 통행거리 차이를 확인하고 이를 반영해 형

평성을 제고할 수 있는 전략을 수립할 필요가 있다.

마지막으로, 현재 서울시 도시기본계획의 수립은 약 10년을 주기로 이루어지고 있으며, 상향식 도시계획을 지향하고 있다. 그러나 최근 가속화되는 사회적 변화에 비해 계획 수립의 주기는 긴 편이며, 전체 시민들을 제한적으로 대표하는 시민참여단만으로는 상향식 도시계획이 이루어졌다고 보기 어렵다. 특히 본 연구의 결과에서 확인한 비교적 짧은 기간 내의 기능적 생활권 변동은 이를 뒷받침한다. 최근 급격하게 발전하고 있는 ICT 기술과 빅데이터는 도시계획 및 정책 수립에 실생활 데이터 기반의 과학적 의사결정 방법론의 도입 가능성을 제시하고 있다(Bibri, 2020). 이에 따라 본 연구에서 활용한 Community Detection과 모바일 폰 위치 기반 데이터를 활용한 모니터링은 의사결정 도구로서 생활권계획에 전략적으로 도입될 수 있다.

그러나 본 연구는 다음과 같은 한계점을 지닌다. 첫째, 실제 통행은 서울시 내부로 한정된 것이 아닌 인근 도시로의 통행이 존재지만, 본 연구는 서울시와 연계된 통행만을 고려하였다. 둘째, 본 연구는 주말의 비통근 통행을 여가 통행으로 가정하여 분석하였지만, 실제 통행은 여가 통행과는 차이가 있는 경제 활동이나 교육 목적의 통행이 이루어질 수 있다. 마지막으로 생활이동 데이터는 행동동 단위로 집계된 데이터만이 존재하기 때문에, Modifiable Areal Unit Problem(MAUP)을 확인하지 못한 한계를 지닌다. 이에 따라 후속 연구는 다양한 분석 단위에서의 분석을 고려할 필요가 있다.

인용문헌
References

1. 김규혁·이동엽·김동호·원민수·홍성민·송태진, 2021. “모바일 생활통행데이터 기반 도시 인구 규모별 생활권 분류 및 특성 파악”, 『대한교통학회지』, 39(5): 662-679.
Kim, K.H., Lee, D.Y., Kim, D.H., Won, M.S., Hong, S.M., and Song, T.J., 2021. “A Study on the Classification and Understanding of Travel Boundary by City Population Scale Based on Mobile Travel Data”, *Journal of Korean Society of Transportation*, 39(5): 662-679.
2. 김수민·정현영, 2022. “COVID-19에 따른 대중교통수단 변화에 미치는 영향 분석 및 대책에 관한 연구”, 『대한토목학회논문집』, 42(3): 379-389.
Kim, S.M. and Jung, H.Y., 2022. “Influence of COVID-19 on Public Transportation Mode Change and Countermeasures”, *Journal of Civil and Environmental Engineering Research*, 42(3): 379-389.
3. 김수현·임형준·허준, 2020. “휴대전화 빅데이터 기반 기종점 통행량 자료를 활용한 서울시 생활권 분석”, 『대한공간정보학회지』, 28(1): 3-10.
Kim, S.H., Lim, H.J., and Heo, J., 2020. “Analysis of Seoul Living Sphere Using Origin-Destination Data from a Mobile Phone Network”, *Journal of Korean Society for Geospatial Infor-*

- mation Science*, 28(1): 3-10.
4. 마강래·김동호·추상호, 2011. “초과통근분석을 위한 도시 공간적 경계 설정에 관한 연구”, 『국토연구』, 70: 139-149.
Ma, K.R., Kim, D.H., and Choo, S.H., 2011. “Analysis of Setting Up City Boundaries for the Estimation of Excess Commuting”, *The Korea Spatial Planning Review*, 70: 139-149.
5. 서동환·장윤정·이승일, 2011. “보상메커니즘을 고려한 도시공간구조측면에서의 평일통근통행과 주말여가통행 상호관계 분석: 수도권을 대상으로”, 『국토계획』, 46(7): 89-101.
Suh, D.H., Jang, Y.J., and Lee, S.I., 2011. “Analyzing Urban Structural Relationship between Work Trip and Weekend leisure Trip in Consideration of Compensatory Mechanism: A Case Study for the Seoul, Metropolitan Area”, *Journal of Korea Planning Association*, 46(7): 89-101.
6. 서울특별시, 1990. 『2000 서울도시기본계획』, 서울.
Seoul Metropolitan Government, 1990. *Seoul 2000 Comprehensive Plan*, Seoul.
7. 서울특별시, 1997. 『2011 서울도시기본계획』, 서울.
Seoul Metropolitan Government, 1997. *Seoul 2011 Comprehensive Plan*, Seoul.
8. 서울특별시, 2006. 『2020 서울도시기본계획』, 서울.
Seoul Metropolitan Government, 2006. *Seoul 2020 Comprehensive Plan*, Seoul.
9. 서울특별시, 2014. 『2030 서울도시기본계획』, 서울.
Seoul Metropolitan Government, 2014. *Seoul 2030 Comprehensive Plan*, Seoul.
10. 서울특별시, 2023. 『2040 서울도시기본계획』, 서울.
Seoul Metropolitan Government, 2023. *Seoul 2040 Comprehensive Plan*, Seoul.
11. 성현곤·추상호, 2010. “근린생활권 단위의 압축도시개발이 통행수단분담율과 자족성에 미치는 효과분석”, 『국토계획』, 45(1): 155-169.
Sung, H.G. and Choo, S.H. 2010. “The Effects of Compact-City Development at the Living Area of Neighborhood Level on Modal Split and Self-Sufficiency”, *Journal of Korea Planning Association*, 45(1): 155-169.
12. 오병록, 2014. “가구통행실태조사 자료를 이용한 통행특성 분석과 생활권 기준 설정 연구: 서울시를 중심으로”, 『서울도시연구』, 15(3): 1-18.
Oh, P.R., 2014. “A Study on Travel Characteristics and the Establishment of Criterion for the Size of the Neighborhood Unit by Using the Data of Household Travel Diary Survey in Seoul”, *Seoul Studies*, 15(3): 1-18.
13. 이수기·주미진·하재현, 2015. “수도권 1기 신도시 통근통행특성과 공간구조의 변화(1996~2010): 자족성과 중심성 분석을 중심으로”, 『국토계획』, 50(5): 5-23.
Lee, S.G., Joo, M.J., and Ha, J.H., 2015. “An Analysis of Changes in Commuting Characteristics and Urban Spatial Structure of the First Generation New Towns in the Seoul Metropolitan Area (1996-2010): Focused on Self-Containment and Centrality”, *Journal of Korea Planning Association*, 50(5): 5-23.
14. 장윤정·이승일, 2010. “거주지의 여가환경이 여가통행거리에 미

- 치는 영향분석: 서울시 내부통행을 중심으로”, 「국토계획」, 45(6): 85-100.
- Jang, Y.J. and Lee, S.I., 2010. “An Impact Analysis of the Relationship between the Leisure Environment at People’s Places of Residence in Seoul and their Leisure Travel on Weekends”, *Journal of Korea Planning Association*, 45(6): 85-100.
15. 정윤영·문태현, 2014. “유동인구 자료를 이용한 서울시 도시공간 구조 분석 연구: ‘2030 서울플랜’과 비교연구”, 「한국지역개발학회지」, 26(3): 139-158.
Jeong, Y.Y. and Moon, T.H., 2014. “Analysis of Seoul Urban Spatial Structure Using Pedestrian Flow Data: Comparative Study with ‘2030 Seoul Plan’”, *Journal of The Korean Regional Development Association*, 26(3): 139-158.
 16. 정은애·성현곤·노정현, 2015. “공간자기상관성을 고려한 의류 소매업 매출액 영향요인분석”, 「국토계획」, 50(5): 215-231.
Jung, E.A., Sung, H.G., and Rho, J.H., “Analysis on Influence Factors for Apparel Retail Sales Considering Spatial Autocorrelation”, *Journal of Korea Planning Association*, 50(5): 215-231.
 17. 조윤·성현곤, 2021. “통행패턴에 기반한 일상 생활권 설정: 충청 권역을 중심으로”, 「국토계획」, 56(3): 92-103.
Cho, Y. and Sung, H.G., 2021. “Establishing the Daily Living Areas Based on Travel Patterns: Focused on the Chungcheong Area”, *Journal of Korea Planning Association*, 56(3): 92-103.
 18. 추상호, 2012. “서울시 주말 통행특성 분석 연구”, 「한국 ITS 학회 논문지」, 11(3): 92-101.
Choo, S.H., 2012. “Analysing Weekend Travel Characteristics in Seoul”, *The Journal of The Korea Institute of Intelligent Transportation Systems*, 11(3): 92-101.
 19. 하재현·이수기, 2016. “통행특성별 OD자료와 Community Detection 기법을 활용한 공간위계별 생활권 설정 연구: 2010년 수도권 가구통행실태조사자료를 중심으로”, 「국토계획」, 51(6): 79-98.
Ha, J.H. and Lee, S.G., 2016. “A Study on the Designation of Living Zones by Its Spatial Hierarchy Using OD Data and Community Detection Technique: Focused on the 2010 Household Travel Survey Data of the Seoul Metropolitan Area”, *Journal of Korea Planning Association*, 51(6): 79-98.
 20. 홍성조·이경주·최지연, 2018. “통행실태조사 자료를 활용한 중 생활권 설정에 관한 연구 -수원시를 대상으로-”, 「부동산학보」, 72: 87-98.
Hong, S.J., Lee, G.J., and Choi, J.Y., 2018. “Classification of Mid-Size Neighborhood Unit by Using Household Travel Diary Survey Data - Focused on Suwon in Korea -”, *Korea Real Estate Academy Review*, 72: 87-98.
 21. Anselin, L., 1988. *Spatial Econometrics: Methods and Models*, Boston: Kluwer Academic Publishers.
 22. Ao, Y., Yang, D., Chen, C., and Wang, Y., 2019. “Effects of Rural Built Environment on Travel-Related CO2 Emissions Considering Travel Attitudes”, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 73: 187-204.
 23. Bibri, S.E., 2020. “Compact Urbanism and the Synergic Potential of Its Integration with Data-Driven Smart Urbanism: An Extensive Interdisciplinary Literature Review”, *Land Use Policy*, 97: 104703.
 24. Blondel, V.D., Guillaume, J.L., Lambiotte, R., and Lefebvre, E., 2008. “Fast Unfolding of Communities in Large Networks”, *Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment*, 2008: 1-12.
 25. Boussauw, K., Neutens, T., and Witlox, F., 2012. “Relationship between Spatial Proximity and Travel-to-Work Distance: The Effect of the Compact City”, *Regional Studies*, 46(6): 687-706.
 26. Brown, L.A. and Holmes, J., 1971. “The Delimitation of Functional Regions, Nodal Regions, and Hierarchies by Functional Distance Approaches”, *Ekistics*, 32(192): 387-391.
 27. Cervero, R. and Kockelman, K., 1997. “Travel Demand and the 3Ds: Density, Diversity, and Design”, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2(3): 199-219.
 28. Chen, K. and Steiner, R., 2022. “Longitudinal and Spatial Analysis of Americans’ Travel Distances Following COVID-19”, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 110: 103414.
 29. Chen, Y., Hu, J., Zhao, H., Xiao, Y., and Hui, P., 2018. “Measurement and Analysis of the Swarm Social Network with Tens of Millions of Nodes”, *IEEE Access*, 6: 4547-4559.
 30. De Montis, A., Caschili, S., and Chessa, A., 2013. “Commuter Networks and Community Detection: A Method for Planning Sub Regional Areas”, *The European Physical Journal Special Topics*, 215(1): 75-91.
 31. Ewing, R. and Cervero, R., 2010. “Travel and the Built Environment: A Meta-Analysis”, *Journal of the American Planning Association*, 76(3): 265-294.
 32. Hanzl, M., 2020. “Urban Forms and Green Infrastructure – The Implications for Public Health during the COVID-19 Pandemic”, *Cities & Health*, 5(1): S232-S236.
 33. Holden, E. and Linnerud, K., 2011. “Troublesome Leisure Travel: The Contradictions of Three Sustainable Transport Policies”, *Urban Studies*, 48(14): 3087-3106.
 34. Iqbal, M.S., Choudhury, C.F., Wang, P., and González, M.C., 2014. “Development of Origin-Destination Matrices Using Mobile Phone Call Data”, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 40: 63-74.
 35. Lambiotte, R., 2010. “Multi-Scale Modularity in Complex Networks”, Paper presented at the 8th International Symposium on Modeling and Optimization in Mobile, Ad Hoc, and Wireless Networks, Avignon: INRIA Sophia-Antipolis.
 36. Lu, F., Liu, K., Duan, Y., Cheng, S., and Du, F., 2018. “Modeling the Heterogeneous Traffic Correlations in Urban Road Systems Using Traffic-Enhanced Community Detection Approach”, *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 501: 227-237.
 37. Maeda, T.N., Mori, J., Hayashi, I., Sakimoto, T., and Sakata, I., 2019. “Comparative Examination of Network Clustering Methods for Extracting Community Structures of a City from Public Transportation Smart Card Data”, *IEEE Access*, 7: 53377-53391.

38. Manaugh, K., Miranda-Moreno, L.F., and El-Geneidy, A.M., 2010. "The Effect of Neighbourhood Characteristics, Accessibility, Home-Work Location, and Demographics on Commuting Distances", *Transportation*, 37(4): 627-646.
39. Moreno, C., Allam, Z., Chabaud, D., Gall, C., and Pratlong, F., 2021. "Introducing the "15-Minute City": Sustainability, Resilience and Place Identity in Future Post-Pandemic Cities", *Smart Cities*, 4(1): 93-111.
30. Mouratidis, K., 2019. "Compact City, Urban Sprawl, and Subjective Well-Being", *Cities*, 92: 261-272.
41. Nicosia, V., Mangioni, G., Carchiolo, V., and Malgeri, M., 2009. "Extending the Definition of Modularity to Directed Graphs with Overlapping Communities", *Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment*, 2009(3): 1-24.
42. Poorthuis, A., 2018. "How to Draw a Neighborhood? The Potential of Big Data, Regionalization, and Community Detection for Understanding the Heterogeneous Nature of Urban Neighborhoods", *Geographical Analysis*, 50(2): 182-203.
43. Pozoukidou, G. and Chatziyiannaki, Z., 2021. "15-Minute City: Decomposing the New Urban Planning Eutopia", *Sustainability*, 13(2): 1-25.
44. Rosvall, M., Axelsson, D., and Bergstrom, C.T., 2009. "The Map Equation", *The European Physical Journal Special Topics*, 178(1): 13-23.
45. Rosvall, M., Delvenne, J.C., Schaub, M.T., and Lambiotte, R., 2019. "Different Approaches to Community Detection", *Advances in Network Clustering and Blockmodeling*, edited by Doreian, P., Batagelj, V., and Ferligoj, A., 105-119. New Jersey: Wiley.
46. Sharma, P., 2020. "Impact of Covid-19 on purchasing patterns and consumer behavior", *International Journal of Innovative Science and Research Technology*, 5(10): 890-893.
47. Vickerman, R., 2021. "Will Covid-19 Put the Public Back in Public Transport? A UK Perspective", *Transport Policy*, 103: 95-102.
48. Wei, S. and Wang, L., 2021. "Community Detection, Road Importance Assessment, and Urban Function Pattern Recognition: A Big Data Approach", *Journal of Spatial Science*, 68(1): 23-43.
49. Yu, Q., Li, W., Yang, D., and Zhang, H., 2020. "Mobile Phone Data in Urban Commuting: A Network Community Detection-Based Framework to Unveil the Spatial Structure of Commuting Demand", *Journal of Advanced Transportation*, 2020: 1-15.
50. Zhong, C., Arisona, S.M., Huang, X., Batty, M., and Schmitt, G., 2014. "Detecting the Dynamics of Urban Structure Through Spatial Network Analysis", *International Journal of Geographical Information Science*, 28(11): 2178-2199.
51. Zhou, X. and Yeh, A.G., 2021. "Understanding the Modifiable Areal Unit Problem and Identifying Appropriate Spatial Unit in Jobs-Housing Balance and Employment Self-Containment Using Big Data", *Transportation*, 48(3): 1267-1283.
52. 국가법령정보센터, "도시·군관리계획수립지침", 2022.6.21a. 읽음. <https://www.law.go.kr/LSW/admRulInfoP.do?admRulSeq=2100000071534>
National Law Information Center, "Guideline for Formulating Urban or Gun Management Plans", Accessed June 21, 2022a. <https://www.law.go.kr/LSW/admRulInfoP.do?admRulSeq=2100000071534>
53. 국가법령정보센터, "도시·군기본계획수립지침", 2022.6.21b. 읽음. <https://law.go.kr/LSW/admRulInfoP.do?admRulSeq=2100000174470>
National Law Information Center, "Guideline for Formulating Urban or Gun Master Plan", Accessed June 21, 2022b. <https://law.go.kr/LSW/admRulInfoP.do?admRulSeq=2100000174470>
54. 서울열린데이터광장, "서울생활이동 데이터 설명서", 2022.3.10. 읽음. <https://data.seoul.go.kr/dataVisual/seoul/seoulLivingMigration.do>
Seoul Open Data Plaza, "Seoul Movement Data_Manual", Accessed March 10, 2022. <https://data.seoul.go.kr/dataVisual/seoul/seoulLivingMigration.do>
55. 한국갤럽조사연구소, 2021.6.3. "2012-2021 스마트폰사용률 & 브랜드, 스마트워치, 무선이어폰에 대한 조사", <https://www.gallup.co.kr/gallupdb/reportContent.asp?seqNo=1217>
Gallup Korea, 2021.6.3. "2012-2021 Survey on Smartphone Usage & Brands, Smartwatches, and Wireless Earphones", <https://www.gallup.co.kr/gallupdb/reportContent.asp?seqNo=1217>
56. igraph, "Python-igraph API Reference", Accessed March 10, 2022. <https://igraph.org/python/api/latest/>

Date Received 2023-12-01
 Date Reviewed 2024-01-27
 Date Accepted 2024-01-27
 Date Revised 2024-04-02
 Final Received 2024-04-02