



통신자료를 활용한 활동인구 연령계층의 혼합도 측정과 영향요인

: 서울시를 사례로

Measuring the Hourly Population Mix by Age Group and Its Influential Factors Using Mobile Phone Data

: A Case Study of Seoul

김슬기* · 고준호**

Kim, Seulki · Ko, Joonho

Abstract

Social integration is promoted in urban areas where diverse age groups gather and interact, reducing risks such as elderly discrimination and isolation. The interaction between different age groups has benefits for social and mental health, and social integration has a positive impact on social stability by allowing populations from diverse ages, cultures, and economic backgrounds to coexist. Previous research on social population mixing in Korea has mainly focused on identifying problems with mixing patterns or estimating the effects of social integration through resident perception surveys. Furthermore, most studies have been limited to simple physical residential mixing, and research on age-specific mixing is relatively scarce compared to hierarchical analysis. Therefore, this study aims to measure age-specific mixing levels of hourly activity populations, by analyzing the influence of the built environment on mixing levels. This study's results are expected to provide meaningful insights into spatial age segregation levels, beyond categorizing simple residential spaces.

주제어 인구혼합지수, 엔트로피, 생활이동 데이터, 도시활력

Keywords Population Mix Index, Entropy, Living Movement Data, Urban Vitality

1. 서론

다양한 연령대와 문화를 가진 사람들이 함께 살면서 상호작용을 하고 서로를 이해하는 과정은 사회적 통합에 중요하며 다양한 연령층의 인구가 모여 활동할 때 도시 공간에서는 사회통합 및 상호작용이 발생한다(Le Roux et al., 2017).

또한, 다양한 연령대가 공존하는 지역은 차별, 고립 등 노인이

처한 위험을 감소시키며 이와 더불어 젊은 세대와 노인 세대 간 사회화 촉진 등 사회적 이점을 지닌다(Coleman, 1982; Douglas and Barrett, 2020; Hagestad and Uhienberg, 2006).

수십 년에 걸친 연구 결과에 의하면 연령층 간 공간적 분리는 건강의 불균형과 같은 공간적 불평등을 낳고(Williams and Collins, 2001) 서로 다른 연령층 간의 상호작용은 사회적, 정신적 건강에 이점을 준다고 강조한다(Milias and Psyllidis, 2022).

* M.S., Graduate School of Real Estate Convergence, Hanyang University (First Author: naturehi@naver.com)

** Professor, Graduate School of Urban Studies, Hanyang University (Corresponding Author: jko@hanyang.ac.kr)

이렇듯 사회적 통합은 다양한 연령, 문화, 경제적 배경 등을 갖는 인구를 공존시킴으로써 구성원 간 문화의 이해를 도움과 동시에 풍부한 사회적 네트워크 형성의 토대로 작용하여 사회적 안정에 기여할 수 있다.

국내에서의 사회적 인구혼합과 관련된 연구는 주로 혼합방식의 문제점을 제기하거나 거주자 인식 조사를 통한 사회통합 효과를 추정하는 방식으로 진행되어 왔다. 대부분의 연구는 계층적 분석을 다루고 있으며 연령별 혼합에 대한 연구는 미흡한 편으로, 인구혼합현상을 지수(Index)로 개념화 한 '인구 혼합지수' 관련 연구로는 Abbasi et al.(2021)의 교통데이터를 활용한 이동패턴 분석을 통한 행선지 기반 인구혼합에 관한 연구와 조월 외(2021)의 2018년 생활인구의 시간대별 혼합수준에 영향을 미치는 요인에 대한 연구가 있다. 앞선 연구를 통해, 인구 혼합지수는 정책 수립 면에 유의미한 화두를 던질 수 있음과 동시에 인구 혼합지수의 활용은 바람직한 정책의 수립과 파급에 지속적으로 기여할 수 있음을 확인할 수 있다. 다만, 이러한 인구 혼합지수의 영향력, 높은 활용도에도 불구하고 이와 관련된 국내 연구는 아직 미진하여 활동인구 혼합지수를 본 연구의 주제로 설정, 관련 연구를 시작하게 되었다.

언급한 바와 같이, 다양한 연령층의 인구가 구성된 도시는 사회통합을 강화함과 동시에 노인인구의 복지를 증진시키는 등 도시와 시민의 번영을 도모한다. 이에 착안하여 활동인구 혼합지수의 의의를 고찰하고자, 본 연구에서는 서울시 생활이동 빅데이터를 활용하여 서울시 활동인구의 시간대별 연령계층의 혼합지수를 구하고, 혼합지수에 영향을 미치는 근린환경 요인을 산정하였다. 연구의 세부 목표는 다음과 같다.

첫째, 시간대별 활동인구의 연령대 구성 혼합지수를 분석하여 혼합지수가 높은 행정동을 찾고, 행정동의 특징을 파악한다. 둘째, 선행연구를 참조하여 추출한 근린환경 특징이 활동인구 혼합지수에 얼마나 영향을 미치는지 분석한다. 최종적으로 본 연구의 분석 결과를 바탕으로 연령별 사회통합에 대한 이해와 인구 혼합지수를 분석하는 새로운 개념을 제시한다.

II. 이론 및 선행연구

1. 공간적 연령 분리에 대한 고찰

공간적 연령 분리는 서로 다른 연령대의 사람들이 같은 공간을 차지하는 정도에 따라 결정된다(Hagestad and Uhlenberg, 2005). 대부분 문헌들은 주로 거주지역의 연령 분리에 대해 초점을 맞추며 이웃, 블록, 건물 단위로 다양한 연령의 사람들이 거주하지 않으면 해당 지역은 연령이 구분된 것으로 간주한다(Sabater et al., 2017; Winkler and Klaas, 2012). 선행연구에 따르면 공간적 연령 분리는 연령 차별과 연령대 간 사회적 유대

약화를 낳으며, 생산적이지 못한 사회를 초래한다(Coleman, 1982; Douglas and Barrett, 2020; Hagestad and Uhlenberg, 2006). 반대로 다양한 연령층의 인구가 모여 활동하는 도시에서는 사회통합 작용이 이루어져 도시 활력이 나타나며(Le Roux et al., 2017), 노인차별, 노인 고립위험 등 노인이 처한 위험성 또한 감소한다(Coleman, 1982; Douglas and Barrett, 2020; Hagestad and Uhlenberg, 2006). 세계보건기구(WHO) 역시 위와 같은 이유로 노인의 경우 다양한 연령대가 거주하는 지역에 거주하거나 다양한 연령대와 통합을 촉진하는 활동이 필요하다고 강조한다(WHO, 2007).

이처럼 연령별 인구혼합은 사회통합, 도시활력, 정신적 건강상의 이점을 지니며, 나아가 노인 문제 해결에 있어서도 긍정적인 영향을 미친다. 아쉽게도 연령별 혼합에 대한 연구는 아직까지 우리나라에서 활발하지 않은 바, 대부분의 연구들은 단순한 주거혼합을 다루는 데 그치고 있다. 이에 본 연구에서는 활동인구의 인구 혼합지수를 도출하여, 이를 기반으로 단순한 주거 공간을 넘은 활동 장소에 대한 공간적 연령 분리 수준의 유의미한 통찰을 제시하고자 한다.

2. 도시활력에 대한 연구

기존 이론가들은 특정 도시공간이 시간과 장소에 따라 얼마나 바뀔지, 도시공간에서 사람들이 주변 환경과 얼마나 상호작용을 하는지에 대한 관점으로 도시활력의 개념을 접목하였다(Ravenscroft, 2000; Lopes and Camanho, 2013). 도시 활력이 높은 도시에서는 사람들의 상호작용이 장려되며, 사람의 활동과 도시환경 간의 상호작용은 도시활력의 핵심 요소로 작용한다. 이러한 이유로 도시활력은 도시의 개발과 관리에 중요한 개념으로 인식된다.

공간적 연령 분리에 대한 선행연구에서 다양한 연령층의 인구가 모여 활동하는 도시에서는 사회통합 작용이 이루어져 사회적 안정에 긍정적인 영향을 발휘하고 도시활력이 나타나는 것을 확인하였다(Le Roux et al., 2017). 이에 착안하여 인구 분포를 기반으로 도시활력을 측정하는 연구, 그중에서도 토지이용과 생활인구에 대한 선행 연구를 참조하였다.

도시활력에 대한 선행연구에서는 토지의 용도와 이용 방식을 도시활력 결정 요소로 활용하였다. 예를 들어, 이금숙·김호성(2018)의 연구에서는 토지의 용도를 주거지역을 기준으로 상업, 공업, 녹지지역으로 나누어 토지이용 특성을 구분 지었고, 조월 외(2021)의 연구에서는 토지이용 특성뿐 아니라 인구, 생활 및 근린시설, 대중교통, 주거 환경, 상업지역 및 시장과 관련된 지역 특성이 도시활력과 상관관계를 설명하는 중요한 지표로 언급되었다. 김형준 외(2021)의 연구에서는 외국인 생활인구와 용도 지역과의 관계에서 주거 면적이 높은 지역일수록 주간에 유출되고 야간에 유입되는 경향을 설명하였으며, 류은혜·김은정(2021)의

연구에서는 주거 비율과 공원 비율이 높은 지역에서 생활인구가 증가하고, 상업지역 및 숙박시설은 생활인구 감소 지역에서 높은 비율을 보임을 짚어주었다. 또한 조월 외(2021)는 상업지역과 녹지시설의 면적밀도가 높을수록 도시활력에 긍정적인 영향을 미친다고 설명하였으며, 주거와 다양한 용도의 조합이 도시활력에 긍정적인 영향을 미칠 수 있다는 결론을 내렸다.

위 선행연구들은 다양한 측정방식과 지표를 적용하여 각각의 의미있는 결과를 도출하였다. 그러나 도시활력을 측정하기 위해 유동 인구를 분석한 대부분의 연구들은 특정 지점에서 측정된 보행인구 자료를 활용하였다. 이러한 보행인구 자료는 일부 지점에 대해서만 자료가 구축된 것으로 전반적인 유동 인구의 분포를 확인하기에는 부적합하다는 한계를 띤다. 따라서 본 연구에서는 기존 선행연구의 제한된 요인에 따른 한계를 극복하고자 스마트폰 기반 빅데이터를 사용하여 서울시 활동인구의 연령대별 혼합지수를 분석하고자 한다.

사람들이 일상적으로 사용하는 스마트폰 기반 데이터는 GPS 정보와 함께 대규모 이동성 데이터와 다양한 연령층 및 집단의 행동 패턴을 보여준다. 이는 스마트폰 데이터가 변수로서의 당위성을 확보하고 그 활용성 또한 광범위함을 증명하는 것으로, 최근 스마트폰 데이터 개방과 함께 지속적으로 증가하고 있는 스마트폰 데이터 기반 도시활력 측정 연구 추세가 이를 뒷받침한다.

조월·이수기(2021)는 스마트폰 기반 2018년 생활인구 자료를 활용하여 도시활력에 영향을 미치는 물리적 환경요인을 주거지역과 상업지역을 나누어 분석하였다. 김영룡(2020)은 스마트폰 기반으로 측정된 유동인구 빅데이터와 카드결제 빅데이터를 이용하여 도시활력을 사회적, 경제적 활력 지표로 추출하고 개념화하였다. 정시윤·전병운(2020) 역시 통신사 기반 유동인구 빅데이터와 카드매출, 공공 와이파이 AP, 야간 조명 세기, 교통카드 데이터 다섯 가지 요인을 바탕으로 대구시 도시 활력을 분석하였다. 이처럼 스마트폰 기반 빅데이터는 이동과 소비 관련 정보의 시·공간적 축적물로서, 빠른 속도로 변화하는 도시민들의 생활양식을 빠르고 보여주는 수단으로 활용된다. 본 연구는 기존 선행연구의 도시 활력 측정 변수를 참고하되, 스마트폰 기반 빅데이터를 사용하여 활동 인구의 시간대별 연령 계층의 혼합지수를 도출하고 혼합지수에 영향을 미치는 근린 환경요인을 분석하는 데 차별점을 둔다.

III. 연구방법 및 설계

1. 분석체계

본 연구에서는 서울시 생활이동 데이터를 활용하여 시간대별 활동인구 혼합지수를 구하고, 활동인구 혼합지수에 영향을 미치는 근린환경 요인을 알아보려고 한다. 엔트로피 지수를 활용하여

활동인구 혼합지수를 구하고, 활동인구 혼합지수에 영향을 미치는 요인을 전체시간 모형과 시간대별 모형으로 분류하여 비교하고자 한다.

2. 데이터 개요

본 연구는 서울 열린데이터광장의 KT 통신데이터로 측정된 '특정 시점'에 '특정 지역'에 존재하는 인구에 관한 공공데이터를 활용하였다. 조사지역은 서울시 424개의 행정동을 대상으로 2021년 6월¹⁾ 한 달간 생활이동 데이터를 활용하였다. 데이터는 KT휴대폰 기지국에 집계되는 고객의 신호를 바탕으로 개발 및 가공된 데이터로 일별로 출발/도착지와 시간대, 이동인원, 이동자의 성별/연령, 이동 소요시간 등의 자료를 담고 있다. 본 연구의 조사 개요를 요약하면 <표 1>과 같다.

3. 분석변수

토지이용, 인구현황, 교통환경, 이동시간을 독립변수로 설정하고 평일, 주말 활동인구의 시간대별 혼합지수를 종속변수로 하여 Random intercept Model과 다중회귀모형을 활용하여 분석하고자 한다.

시간, 연령대별 혼합지수를 추출하기 위해 국내 논문과 생활시간 조사 보고서를 참고하여 연령대별 혼합지수를 엔트로피 지수를 활용하여 추출하였다(조월 외, 2021; Abbasi et al., 2021). 2021년 6월 서울시 생활이동 데이터를 활용하여 도착행정동코드, 도착시간, 평일, 주말로 데이터를 구분하여 인구 이동의 연령대별 혼합도를 측정하였다. 10대부터 70대까지 연령²⁾대별 인구 이동을 엔트로피를 활용하여 연령별 혼합지수를 추출하였으며, 평일과 주말의 활동 패턴이 다르다는 점을 고려하여 평일, 주말로 구분하였다. 이렇게 구한 연령계층의 혼합지수를 종속변수로 선정하였다.

엔트로피의 산출은 Kockelman(1997)의 연구에서 사용한 엔트로피 식을 사용하였으며, 계산식은 다음과 같다. 엔트로피 지수는 0에서 1 사이의 값을 가지며, 1에 가까울수록 연령별 혼합이 균형 있게 이루어지고 있음을 의미한다. 그러나 본 연구에서는 7개 그룹을 대상으로 이진로그를 취해 엔트로피(E)를 산출하여 해당 지표는 $0 \leq E \leq 2.8$ 사이의 값을 가진다. 산출 값의 범위를 0~1보다 커지게 하여 혼합의 정도 차이를 쉽게 식별하기 위해 이진로그를 취하여 산출하였으며 수식은 식 (1)과 같다.

$$E = - \sum_{i=1}^n P(x_i) \log_b(P(x_i)) \quad (1)$$

$P(x_i)$: i 연령층의 구성비

$\log b$: 이진로그

Table 1. Overview of data

조사대상 Research subject	·서울시가 보유한 빅데이터와 KT 통신데이터로 측정된 '특정 시점'에 '특정 지역'에 존재하는 인구 ³⁾ The population existing in a 'specific area' at a 'specific point in time' is measured using Seoul City population big data and KT communication data
조사지역 Research area	·서울시(424개 행정동으로 구분) Seoul (424 administrative districts)
조사기간 Research period	·2021.06.01.~ 06.30.
표본설계 Sampling design	·서울 안에서 이동하거나 서울 외부에서 서울로 오고 간 사람들의 이동 The movements of people traveling within Seoul or traveling to and from Seoul from outside locations -특정 시점 : 일별, 시간대별 Specific point in time : day, time -특정 지역 : 출발지와 목적지 기준 Specific area : based on the origin and destination
조사방법 Research method	·기지국에 집계되는 KT 휴대폰 고객의 신호를 바탕으로 데이터를 가공 The data is processed based on the signals from KT mobile phone customers that are aggregated at the base station
조사내용 Research content	·출발/도착지와 시간대, 이동인원, 이동자의 성/연령, 이동 소요시간 Origin and destination, time, number of travelers, gender of travelers, age of travelers, travel time
조사기관 Research institution	·서울시 공공빅데이터 Seoul Open Data ·교통연구원 교통폴리곤 Korea Transport Institute (KOTI) Traffic Polygon ·KT휴대폰 LTE+5G시그널 KT mobile phone LTE+5G signal
자료제공 Source of data	·서울열린데이터광장 Seoul Open Data Plaza ·통계청 Statistics Korea ·국가공간 정보포털 National Spatial Information Portal

Source: 서울특별시(2021) Seoul Population Mobility Data (2021)

독립변수는 생활 이동시간, 토지이용 특성, 인구현황 특성, 교통환경 특성을 변수로 선정하였다. 먼저 생활 이동시간이 종속변수에 영향을 미치는지 파악하고자 선행연구를 참고하여 오전시간(8~9시), 점심시간(12~13시), 저녁시간(18~19시), 그리고 야간시간(22~23시)으로 구성하여 종속변수에 미치는 영향을 파악하였다. 생활 이동시간은 오전 8시를 기준시간으로 더미변수로 변경하여 분석하였다.

다음으로 토지이용 특성 변수로는 주거지역 면적, 상업지역 면적, 공업지역 면적, 녹지지역 면적, 아파트 점유율을 토지이용 변수로 선정하였다. 토지이용 특성의 변수는 국가공간정보포털에서 제공되고 있는 면적을 활용하여 구축하였다. 아파트 점유율은

통계청에서 제공하는 데이터를 바탕으로 아파트 수를 전체 주택 수로 나누어 구하였다. 인구 현황 특성 변수는 서울 열린데이터 광장에서 제공하는 데이터로 구축하였으며, 인구수는 행정동별 인구총합, 노인인구수는 65세 이상 인구수를 나타낸다. 종사자 수는 행정동의 산업대 분류별 종사자 수 총합으로 데이터를 구축하였다. 교통환경 특성 변수는 지하철 개소와 도로율을 고려하였다. 지하철 개소는 서울 열린데이터광장에서 제공한 데이터로 행정동별 지하철역의 개수로 구축하였으며, 도로율은 국가공간정보포털에서 제공한 도로 면적 데이터를 사용하여 도로 면적을 시가화 면적으로 나누어 구축하였다. 위 내용을 정리하면 <표 2>와 같다.

4. 분석방법

1) Random intercept Model

본 연구의 종속변수는 평일, 주말 연령계층의 혼합지수로 생활 이동시간에 따라 혼합지수의 변화를 분석하고자 random intercept model을 사용하였다. 동일한 행정동의 혼합지수를 오전(8~9시), 점심(12~13시), 오후(18~19시), 야간(22~23시) 시간으로 나누어 반복측정 시 회귀모델의 독립성 가정에 위배되기 때문에 이러한 문제를 고려하여 mixed model의 random intercept model을 선정하였다.

반복 측정자료에서 반복 자료들의 공분산 구조를 설정하는 통계적 방법들은 다양하지만 대표적으로 쉽게 사용할 수 있는 방법인 mixed model을 사용하였다. 본 분석에서 사용되는 random intercept model은 다음과 같다.

$$Y_{ij} = \beta_0 + \beta_1 x_{1ij} + \dots + \beta_n x_{nij} + \zeta_j + \epsilon_{ij} \quad (2)$$

Y_{ij} : 혼합지수

B_n : 추정계수

i : 이동시간대

j : 행정동

ζ : 평균으로부터 각 행정동간의 평균차이

ϵ : 오차항

Random intercept model에서 기울기는 고정계수이며, x_{ij} 는 각 행정동에 투입되는 설명변수들이다. 행정동에서 종속변수의 분산에 영향을 미치는 설명변수들의 영향력(회귀계수)을 추정하게 된다. Random intercept model 설정의 타당성은 ICC(Intraclass correlation coefficients) 크기를 통해 판단할 수 있다(구형수·이희연, 2015).

ICC는 집단 내 상관계수로 각 수준별로 투입되는 설명변수들

Table 2. Description of variables and data sources

Variable		Description	Data source	
종속변수 Dependent variable	평일 활동인구 시간대별 혼합지수 Weekday Activity Population Hourly Mixing Index	· 각 행정동, 시간대별 활동인구 혼합지수 산출 Activity Population Mixing Index by Administrative District and Time Zone	서울 열린 데이터광장 Seoul Open Data Plaza	
	주말 활동인구 시간대별 혼합지수 Weekend Activity Population Hourly Mixing Index	· 평일과 주말의 활동 패턴이 다르다는 점을 고려하여 평일, 주말로 구분 Considering the difference in activity patterns between weekdays and weekends, the data was categorized into weekdays and weekends		
독립변수 Independent variable	토지이용 특성 Land use characteristics	주거지역 면적 Area (Residential)	· 행정동별 주거지역 면적(km ²) Residential area by administrative district (km ²)	국가공간 정보포털 National Spatial Information Portal
		상업지역 면적 Area (Commercial)	· 행정동별 상업지역 면적(km ²) Commercial area by administrative district (km ²)	
		공업지역 면적 Area (industry)	· 행정동별 공업지역 면적(km ²) Industrial area by administrative district (km ²)	
		녹지지역 면적 Area (Green)	· 행정동별 녹지지역 면적(km ²) Green area by administrative district (km ²)	
		아파트 점유율(%) Percentage of apartments (%)	· 아파트 수 / 전체주택 수(세대) Number of apartments / Total number of households (household)	
	인구현황 특성 Population characteristics	종사자수 Total number of employees	· 행정동, 산업대 분류별 종사자 총합 Total number of employees by administrative district and industrial classification.	서울 열린 데이터광장 Seoul Open Data Plaza
		인구수 Population	· 행정동별 인구수 Population by administrative district.	
		노인인구수 Elderly population	· 행정동별 65세 이상 인구수 The number of population aged 65 and over by administrative district.	
	교통환경 특성 Traffic characteristics	지하철개소 Number of subway stations	· 행정동별 지하철역의 개수 The number of subway stations per administrative district.	국가공간 정보포털 National Spatial Information Portal
		도로율(%) Percentage of roads (%)	· 행정동별(도로면적/시가화면적 ⁴) Road area/Assessed value area by administrative district	
더미변수 Dummy variable	시간대별 특성 Time-of-day characteristics	08 AM	· Dummy 0, base variable	-
		09 AM	· Dummy 1	
		12 PM	· Dummy 2	
		13 PM	· Dummy 3	
		18 PM	· Dummy 4	
		19 PM	· Dummy 5	
		22 PM	· Dummy 6	
		23 PM	· Dummy 7	

이 얼마나 종속변수를 설명하는지 알려주는 기준으로 5~25% 수준이 보편적이다. 만약 ICC 값이 5% 미만으로 매우 낮게 산출되면 단일수준의 선형회귀모델을 사용하는 것이 바람직할 수 있다 (김형준·최열, 2017). ICC는 식 (3)과 같이 산정할 수 있다.

$$ICC = \sigma_{u0}^2 / (\sigma_{u0}^2 + \sigma_e^2) \tag{3}$$

σ_{u0}^2 : 행정동별 잔차의 분산

σ_e^2 : 서울시 전체 행정동 잔차분산

2) 다중회귀분석

다중회귀분석은 변수 간 인과관계를 통계적 방법에 의해 추정하는 회귀분석의 일종이다. 위 분석에서는 오전, 오후, 저녁, 야간시간을 함께 분석하여 random intercept model을 사용하였지만, 근린환경이 시간대별로 인구혼합지수에 미치는 영향이 다른지 분석하기 위해 이동 시간별로 나누어 다중회귀분석을 사용하였다. 종속변수와 독립변수는 random intercept model과 같으며, 이동시간만 아래 <표 3>과 같이 더미변수로 변경하여 분석하였다.

IV. 분석결과

1. 기초통계

<표 4>는 본 연구에서 사용한 변수의 기술 통계분석 결과이다. 종속변수와 독립변수인 토지이용 특성, 인구현황 특성, 교통환경 특성의 평균, 최솟값, 최댓값을 제시하였다. 종속변수인 활동인구 시간대별 혼합지수의 평균은 2.62로 나타났으며, 최솟값 1.6, 최댓값 2.79로 나타났다. 토지이용 특성의 경우 녹지, 주거, 공업, 상업지역 면적의 평균은 각각 0.56, 0.81, 0.05, 0.07km²로 나타났으며 최댓값 비교 시 녹지지역 면적이 다른 토지이용 특성 면적보다 넓은 것을 알 수 있다.

Table 3. Travel time variable for multiple regression

이동시간 Travel time	변수 Variable
08 ~ 09 AM	Dummy 0, base variable
12 ~ 13 PM	Dummy 1
18 ~ 19 PM	Dummy 2
22 ~ 23 PM	Dummy 3

Table 4. Descriptive statistics of variables

	Variable	Mean	Min.	Max.	
Dependent variable	Activity Population Hourly Mix Index	2.62	1.60	2.79	
	Area (Green) (km ²)	0.56	0.00	11.78	
Land use characteristics	Area (Residential) (km ²)	0.81	0.00	2.85	
	Area (Industry) (km ²)	0.05	0.00	2.05	
	Area (Commercial) (km ²)	0.07	0.00	2.36	
	Percentage of apartments (%)	0.55	0.00	1.00	
	Population (unit: million)	0.02	0.00	0.06	
Independent variable	Population characteristics	Elderly population (unit: thousand)	0.47	0.00	1.31
	Total number of employees (unit: ten thousand)	1.22	0.02	17.08	
Traffic characteristics	Number of subway stations	0.69	0.00	4.00	
	The percentage of roads (%)	0.24	0.05	0.90	

다중회귀분석 전 다중공선성을 확인하기 위해 분산팽창지수 (VIF)를 활용하였다. 이 모형의 다중공선성 검정을 한 결과 종사자수 계수 값이 3.04로 가장 높았으며 전체적으로 낮은 값으로 측정되어 독립변수들의 다중공선성 문제는 크지 않은 것으로 파악되었다.

2. 엔트로피 지수 분석

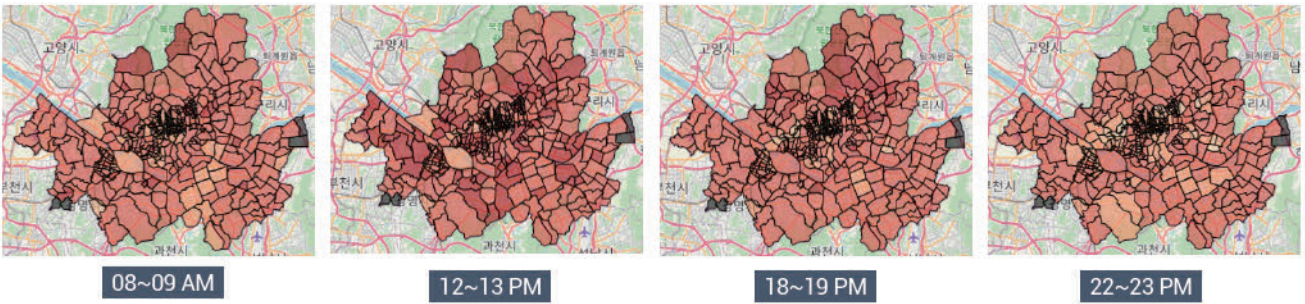
1) 지도시각화 분석

2021년 6월 서울시 생활이동 데이터를 활용하여 424개 행정동의 시간별 인구 혼합지수를 <그림 1>과 같이 시각화하였다. 색이 짙어질수록 인구 혼합지수가 높은 것을 의미한다. 연령별 혼합지수를 살펴보면 평일, 주말 모두 점심 > 저녁 > 오전 > 야간 시간 순으로 평균 엔트로피가 높게 나타났다. 특히 주말은 야간시간만 제외하고 시간별 인구 혼합지수가 평일보다 높은 것으로 나타났다. 2021년 6월은 코로나19(COVID-19) 기간으로 저녁 10시 이후 다중이용시설 운영중단 등 코로나19 영향으로 야간시간 사람들의 이동이 적어 혼합지수가 낮은 것으로 추정된다. 평일, 주말 인구혼합 지수의 두드러진 특징은 다음과 같다.

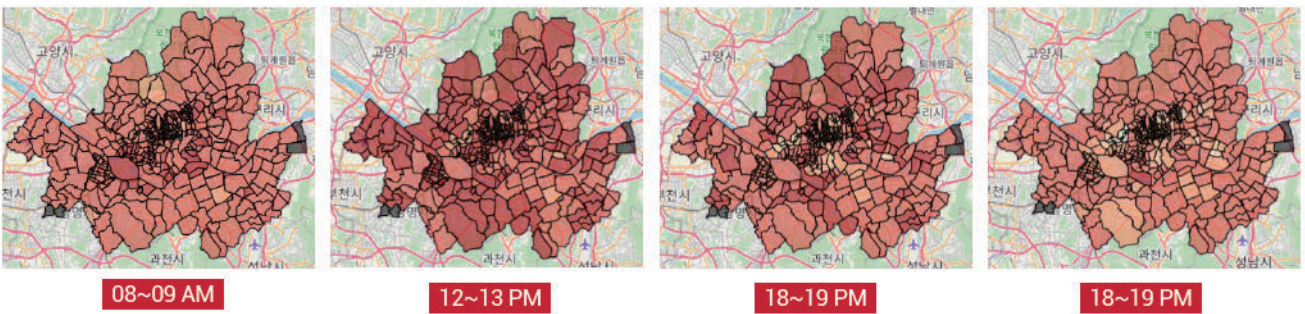
첫째, <표 5>와 같이 평일, 주말 야간시간 상위 엔트로피 지역은 이촌2동, 가양2동, 청량리동, 수서동을 포함하고 있다. 이 지역들의 특징은 지하철역을 포함하거나 KTX, SRT 열차역을 포함하는 지역으로 나타났다. 이는 다양한 연령대의 사람들이 집으로 귀가하기 위해 역 주변으로 모여 인구 혼합지수가 높게 나타나는 것으로 추정된다.

둘째, 평일 엔트로피가 낮은 하위 지역으로 오전, 점심시간은 상업, 공업지역으로 나왔으며, 오후, 야간시간은 대학가를 포함한 지역이 엔트로피가 낮게 나왔다. 평일 오전 엔트로피가 낮은 하위 지역으로 명동, 삼성1동, 역삼1동, 구로3동, 가산동으로 나

[Weekday]



[Weekend]



Entropy Index

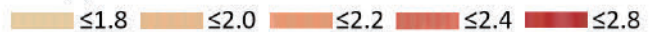


Figure 1. Seoul City's Activity Population Mix Index

Table 5. Entropy index ranking by administration area (dong)

Ranking	Weekday				Weekend			
	8~9 AM	12~13 PM	18~19 PM	22~23 PM	8~9 AM	12~13 PM	18~19 PM	22~23 PM
1	Dunchon 2	Samseon	Changsin 3	Ichon 2	Noryangjin 2	Dasan	Sadang 2	Ichon 2
2	Wolgok 1	Neung	Seongbuk	Gayang 2	Dongseon	Jeonnong 1	Oryu 1	Bangbae 2
3	Guui 2	Jongam	Gaebong 2	Suseo	Apgujeong	Suyu 3	Wolgye 1	Gayang 2
4	Ssangmun 1	Jamsil 3	Cheongnyangni	Cheongnyangni	Seorim	Sangdo 1	Bangbae 1	Cheongnyangni
5	Hongseon 2	Sangdo 1	Sadang 3	Sanggye 3,4	Yongsan 2-ga	Bangbae 2	Jongam	Suseo
⋮								
Ranking	Weekday				Weekend			
	8~9 AM	12~13 PM	18~19 PM	22~23 PM	8~9 AM	12~13 PM	18~19 PM	22~23 PM
420	Myeong	Gasan	Nakseongdae	Imun1	Jangwi 2	Yeonnam	Yeonnam	Sillim
421	Samsung 1	Myeong	Sageun	Nakseongdae	Sinsadong	Junggye	Sinchon	Seogyo
422	Yeoksam 1	Samseong 1	Seogyo	Sillim	Daechi 1	Seogyo	Itaewon 1	Nakseongdae
423	Guro 3	Sinsadong	Hwayang	Hwayang	Changsin 2	Daechi 1	Hwayang	Hwayang
424	Gasan	Yeouido	Sinchon	Sinchon	Daechi 4	Daechi 4	Seogyo	Sinchon

왔으며 평일 점심시간은 가산동, 명동, 삼성1동, 은평구 신사동, 여의도동이 엔트로피 지수가 낮은 행정동으로 나왔다. 이는 평일 오전, 점심 엔트로피 하위 행정동이 주로 공업, 상업·업무 지역으로 직장인 외 인구 이동이 적어 엔트로피 지수가 낮은 것으로 추정된다. 평일 오후 엔트로피가 낮은 지역으로는 낙성대동, 사근

동, 서교동, 화양동, 신촌동 순으로 나왔다. 야간 역시 오후 시간과 비슷하게 이문1동, 낙성대동, 신림동, 화양동, 신촌동이 엔트로피가 낮은 지역으로 나왔다. 평일 오후, 야간 엔트로피가 낮은 행정동은 대학을 포함한 지역으로 주로 20~30대 인구만 이동 비중이 높아 엔트로피가 낮은 것으로 추정된다.

셋째, 주말 오후, 야간시간 역시 평일과 비슷하게 대학을 포함한 행정동과 20~30대가 주로 밀집해 있는 행정동이 엔트로피 지수가 낮은 것으로 나왔다. 주말 오후 시간 엔트로피가 낮은 행정동은 연남동, 신촌동, 이태원1동, 화양동, 서교동으로 나왔으며 야간시간은 신림동, 서교동, 낙성대동, 화양동, 신촌동으로 나왔다.

2) 토지이용 특성에 따른 엔트로피 지수 분석

평일, 주말 엔트로피의 상위 지역과 하위 지역을 추출한 결과 행정동의 특징이 엔트로피에 영향을 미치는 것으로 추정되어 토지이용 특성과 인구현황 특성 변수를 이용하여 엔트로피 지수 변화에 대해 자세히 살펴보았다. 교통현황 특성 변수는 영향을 미치는 것이 미비하여 제외하였다.

먼저, <그림 2>, <그림 3>과 같이 토지이용 특성 변수를 이용하여 행정동의 엔트로피 지수를 추출해 보았다. 추출방법은 엔트로피 지수가 높으면서 토지현황 특성 면적이 넓은 순으로 추출하였다. 토지현황 특성이 잘 나타나더라도 엔트로피 지수가 낮으면 의미가 없다고 생각하여 엔트로피 지수, 토지면적이 모두 높은 순으로 추출하였다. 각 행정동의 상업·업무지역, 공업지역, 주거지역, 녹지지역 면적을 비교하여 해당 424개 행정동 중 변수별 중복되는 행정동은 제외하고 상위 10위에 속하는 행정동만 추출하여 분석하였다. 상업·업무지역 엔트로피 지수가 높으면서 면적이

높은 지역으로는 여의도동(2.36), 명동(0.78), 소공동(0.52), 역삼1동(0.49)이 추출되었으며 공업지역 엔트로피와 면적이 높은 지역으로는 가산동(2.05), 구로3동(0.80)이 추출되었다.

상업·업무지역과 공업지역의 경우 주거지역, 녹지지역과 다르게 평일과 주말의 엔트로피 차이가 나타났으며 이는 평일 업무시간에는 종사자 외 다른 계층의 이동이 적어 엔트로피 지수가 주말보다 낮은 것으로 추정된다.

주거지역의 엔트로피 지수가 높으면서 면적이 높은 지역으로는 <그림 3>과 같이 망우본동(2.29)과 진관동(2.27)이 추출되었으며 녹지지역 엔트로피와 면적이 높은 지역으로는 내곡동(11.78), 양재2동(5.88)이 추출되었다. 내곡동은 주변에 산을 끼고 있어 녹지지역 면적이 다른 행정동보다 가장 높게 나타났다.

주거지역, 녹지지역 면적이 높고, 아파트 점유율이 높은 행정동은 상업·업무, 공업지역에 비해 주말과 평일의 엔트로피 차가 적으며 대체로 시간대별 패턴이 비슷하게 형성되는 것을 볼 수 있다. 이는 평일과 주말 연령별 인구의 이동이 비슷하다는 것을 의미한다.

3) 인구현황 특성에 따른 엔트로피 지수 분석

다음은 <그림 4>와 같이 인구현황 특성별 행정동의 엔트로피를 추출하였다. 인구현황 역시 엔트로피 지수가 높으면서 각 행정동

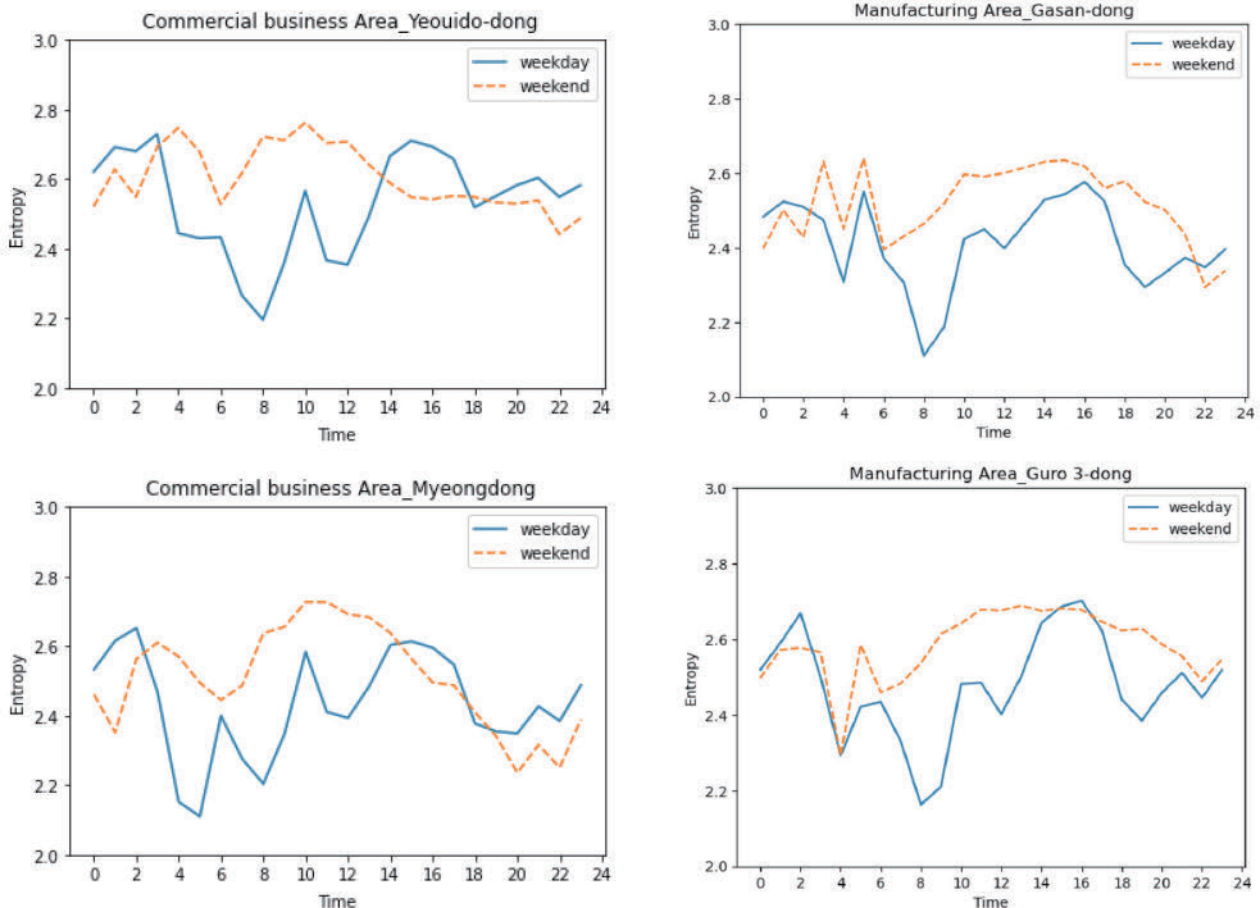


Figure 2. Population mix index variation for commercial, business and manufacturing areas

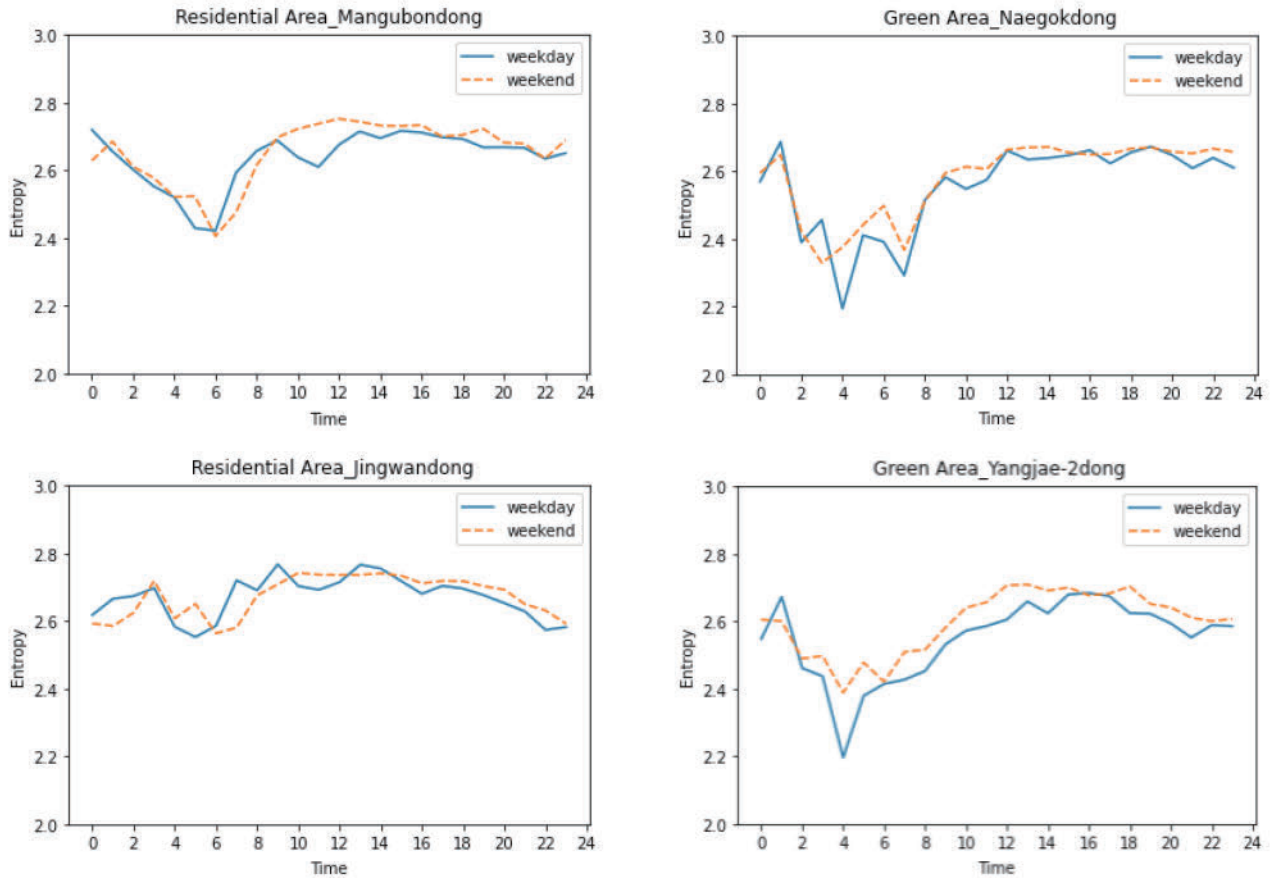


Figure 3. Population mix index variation for residential and green areas

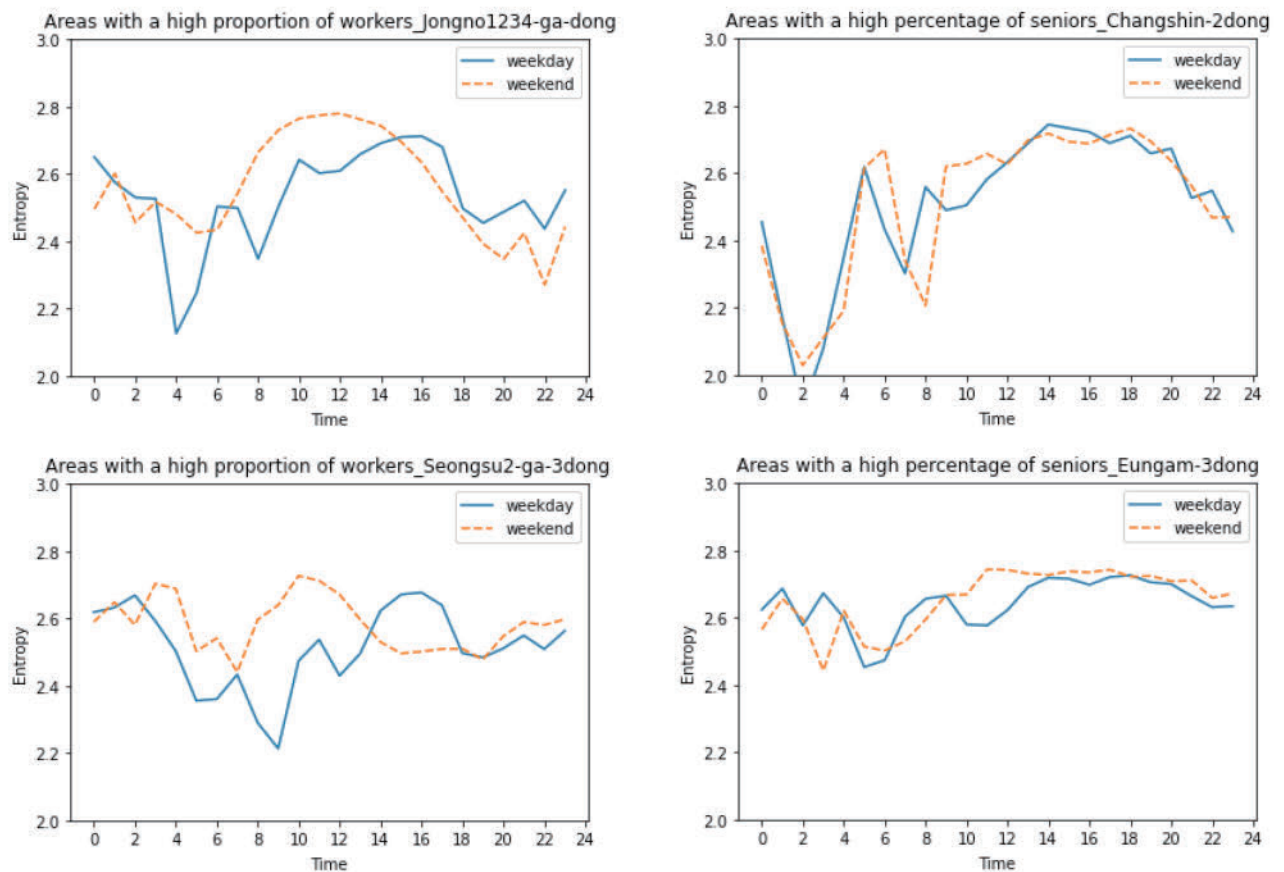


Figure 4. Population mix for areas with a high proportion of workers and high percentage of seniors

의 총인구수, 노인인구수, 종사자수가 높은 순으로 추출하였다. 424개 행정동 중 상위 10위에 속하는 행정동으로 추출하여 분석하였다.

424개 행정동 중 엔트로피 지수가 높으면서 인구수가 높은 지역을 추출한 결과 해당2동(0.02)과 상계5동(0.02)이 인구수가 높은 행정동으로 나왔으며, 65세 이상 인구수인 노인 인구수가 높으면서 엔트로피가 높은 지역으로는 응암3동(1.04)과 창신2동(0.37)이 추출되었다.

종사자수가 높은 지역으로는 종로1,2,3,4가동(10.87)과 성수2가3동(5.32)이 추출되었다. 종사자수가 높은 행정동으로 명동(11.03), 구로3동(9.24), 가산동(17.08), 소공동(6.41), 역삼1동(15.58) 순으로 추출되었지만 위 상업·업무지역, 공업지역 행정동과 중복되어 제외하고 다음으로 높은 행정동으로 추출하였다.

인구현황 특성의 엔트로피 지수 분석 결과 엔트로피 지수가 높으면서 인구수, 노인인구수가 높은 지역은 평일, 주말 엔트로피 지수 차이가 적으며, 시간대별 패턴도 비슷한 양상을 보인다. 반면, 종사자수가 높은 지역은 평일, 주말 엔트로피 지수의 차이가 있으며 토지이용 특성 중 상업·업무, 공업지역의 행정동의 그림과 비슷한 양상을 띠고 있다. 이는 평일 업무시간에는 종사자 외 다른 계층의 이동이 적어 엔트로피 지수가 주말보다 낮은 것으로 추정된다. 엔트로피 지수를 이용하여 위와 같이 시간별 인구 혼합지수를 시각화한 결과 토지이용, 인구현황, 이동시간의 특성에 따라 평일, 주말 사람들의 이동패턴이 다르다는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 이러한 결과를 바탕으로 토지이용, 인구현황, 교통환경, 이동시간의 특성들이 도시활력에 영향을 미치는지와 평일과 주말 도시활력에 미치는 영향이 다른지 분석하고자 한다.

3. 전체모형 분석

행정동을 random effects로 설정하고 random intercept model을 통해 분석한 결과 <표 6>과 같이 아파트 점유율, 노인 인구수, 종사자수가 유의미한 변수임을 확인할 수 있으며 이동시간 특성 또한 인구혼합지수에 영향을 미치는 것으로 확인되었다.

전체 분산 중 행정동 특성에 의한 분산비(ICC)는 평일 약 25%, 주말 32%로 random intercept model의 활용이 타당성이 있다고 판단되었으며 연령대별 혼합수준에 대한 행정동의 설명력은 평일에 비해 주말이 높은 것으로 나타났다. 주말은 출퇴근 시간, 업무시간 등 시간대별 특성이 미치는 영향도가 평일보다 적어, 상대적으로 행정동의 특성이 더 잘 반영되기 때문이며 이에 따라 평일에 비해 주말의 ICC 값이 더 높은 것으로 추정된다. Fixed effects 중 토지이용 특성에서는 아파트 점유율만이 두 모형 모두에서 통계적으로 유의하게 나타났다. 아파트점유율은 평일, 주말 모두 양(+)의 계수 값을 가지며, 아파트점유율이 증가할 경우 한계효과는 평일 0.042, 주말 0.053만큼 증가하는 것을 확인할 수

Table 6. Analysis results of the Random Intercept Model

Fixed effects		Weekday	Weekend
Intercept		2.541 ***	2.544 ***
ICC		0.248	0.322
Land use characteristics	Area (Green) (km ²)	0.003	0.003
	Area (Residential) (km ²)	-0.007	-0.015
	Area (industry) (km ²)	-0.012	-0.010
Land use characteristics	Area (Commercial) (km ²)	0.010	0.021
	Percentage of apartments (%)	0.042 ***	0.053 ***
	Population (unit: million)	0.089	-0.219
Population characteristics	Elderly population (unit: thousand)	0.119 ***	0.137 ***
	Total number of employees (unit: ten thousand)	-0.020 ***	-0.006 **
Traffic characteristics	Number of subway stations	0.006	0.004
	The percentage of roads (%)	-0.023	-0.015
Time-of-day characteristics (base variable : 8 AM)	9 AM	0.050 ***	0.049 ***
	12 PM	0.066 ***	0.092 ***
	13 PM	0.105 ***	0.088 ***
	18 PM	0.062 ***	0.053 ***
	19 PM	0.026 ***	0.044 ***
	22 PM	0.045 ***	0.051 ***
Intercept	23 PM	0.037 ***	0.049 ***
	Variance	0.002	0.003
Residual	Std. Dev.	0.050	0.057
	Variance	0.007	0.007
Observations	Std. Dev.	0.081	0.081
	Number of groups		424

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

있다. 인구현황 특성에서는 노인인구수가 두 모형 모두에서 통계적으로 유의하게 나타났다. 노인인구수는 평일, 주말 모두 양(+)의 계수 값을 가지며, 노인인구수가 증가할 경우 한계효과는 평일 0.119, 주말 0.137만큼 증가하는 것을 확인할 수 있다. 종사자수 역시 평일, 주말 모두 통계적으로 유의하게 나타났으며 음(-)의 계수 값을 가진다. 종사자수가 증가할 경우 한계효과는 평일 0.020, 주말 0.006만큼 감소하는 것으로 분석되었다. 마지막으로 터미변수인 이동시간 특성에서는 두 모형 모두에서 모든 변수들

이 통계적으로 유의하게 나타났다. 9시~19시는 양(+)의 계수 값을 가지는 반면, 22시와 23시는 음(-)의 계수 값을 가진다.

따라서 아파트 점유율과 노인인구수 증가는 인구혼합지수에 긍정적인 영향을 미치며 종사자수와 야간시간(22시~23시)은 인구혼합지수에 부정적인 영향을 미친다고 해석할 수 있다.

4. 시간대별 모형 분석

1) 평일 시간대별 모형

전체시간 모형에서는 아파트 점유율, 노인인구수, 종사자수, 이동시간 특성이 유의미한 변수임을 확인하였다. 모든 변수의 속성이 같다고 가정할 때, 이동시간 전체를 포함하여 분석한 모형과 시간대별로 이동시간을 나누어 분석한 모형의 독립변수가 종속변수에 미치는 영향이 다른지 분석해 보았다.

이동시간은 선행연구를 참조하여 평일, 주말 오전(8시~9시), 점심(12시~13시), 저녁(18시~19시), 야간(22시~23시)으로 나누었다. 이동시간을 나누어 분석하여 동일한 행정동의 시간별 반복

측정이 독립성 가정에 위배 되지 않아 다중회귀분석을 사용하였다. 분석결과 <표 7>과 같이 평일, 주말 모형 모두 통계적으로 유의함을 확인할 수 있다.

평일 시간대별 다중회귀분석 결과 토지현황 특성에서는 녹지지역 면적과 아파트 점유율이 통계적으로 유의함을 확인할 수 있다. 녹지지역 면적은 평일 점심시간 12~13시 음(-)의 계수를 가지며, 녹지지역 면적이 증가할 경우 한계효과는 감소하였다.

반면, 저녁과 야간은 양(+)의 계수 값으로 녹지지역 면적이 증가할 경우 한계효과는 증가하는 것으로 나타났다. 이는 분석 대상 기간이 초여름으로 낮 12~13시는 다른 시간보다 기온이 높아 사람들의 이동이 적으며, 저녁, 야간시간은 낮보다 기온이 선선하여 사람들의 이동이 많아 인구혼합지수에 긍정적인 영향을 주는 것으로 추정된다. 아파트 점유율 또한 저녁, 야간시간에 양(+)의 계수를 가진다. 아파트는 어린아이부터 노인에 이르기까지 다양한 인구가 거주하기 편리한 시설로 저녁시간 이후 사람들은 주로 아파트에 머물기 때문에 인구혼합지수에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 추정된다.

Table 7. Multivariate regression analysis results

Variable	Weekday				Weekend				
	8~9 AM	12~13 PM	18~19 PM	22~23 PM	8~9 AM	12~13 PM	18~19 PM	22~23 PM	
Intercept	2.564 ***	2.651 ***	2.586 ***	2.477 ***	2.597 ***	2.658 ***	2.577 ***	2.457 ***	
Land use characteristics	Area (Green) (km ²)	-0.002	-0.008 ***	0.009 ***	0.013 ***	-0.008 ***	-0.003	0.006 *	0.015 ***
	Area (Residential) (km ²)	0.007	0.002	-0.014	-0.021	0.021 *	-0.008	-0.030 **	-0.041 **
	Area (Industry) (km ²)	-0.014	-0.003	-0.026	-0.004	-0.046 *	0.017	0.002	-0.013
	Area (Commercial) (km ²)	0.047	0.030	-0.018	-0.019	0.003	0.040 *	-0.053	-0.072 *
	Percentage of apartments (%)	0.007	-0.011	0.072 ***	0.101 ***	0.003	0.002	0.065 ***	0.142 ***
Population characteristics	Population (unit: million)	1.983 **	2.996 ***	-1.651 **	-2.972 ***	1.889 ***	-0.359	-0.135	-2.269 **
	Elderly population (unit: thousand)	0.070 **	-0.055 ***	0.203 ***	0.258 ***	-0.060 **	0.108 ***	0.202 ***	0.297 ***
	Total number of employees (unit: ten thousand)	-0.037 ***	-0.020 ***	-0.017 ***	-0.006	0.002	-0.006 *	-0.012 ***	-0.008 *
Traffic characteristics	Number of subway stations	-0.003	0.004	-0.010 *	-0.015 **	0.005	0.004	-0.007	-0.016 *
	The percentage of roads (%)	0.011	0.015	-0.067 *	-0.051	0.003	0.017	0.023	0.058
F-statistic	39.78	32.58	37.80	15.82	6.485	8.572	23.20	22.13	
p-value	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
Adjusted R-squared	0.314	0.271	0.3029	0.1489	0.061	0.082	0.208	0.1996	

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

평일 인구현황 특성에서는 야간시간(22~23시) 종사자 수만 제외하고 모두 통계적으로 유의함을 확인할 수 있다. 인구수의 경우 오전, 점심시간은 양(+)의 방향으로 유의하며, 저녁, 야간시간은 음(-)의 방향으로 유의한 값을 가진다. 인구수 증가는 오전과 점심시간 인구혼합지수에 긍정적인 영향을 미치는 반면 저녁, 야간시간의 인구혼합지수에 부정적인 영향을 미친다. 저녁과 야간시간에는 특정 연령대의 인구 이동이 증가하기 때문에 인구혼합지수에 부정적인 영향을 미치는 것으로 추정된다.

노인인구수는 평일 점심시간인 12~13시에만 음(-)의 방향으로 유의하며 다른 시간은 모두 양(+)의 방향으로 유의하게 나타났다. 이는 다른 시간대에 비해 낮 시간에 노령층이 타 지역으로 이동하는 경향이 강하게 나타나기 때문으로 해석할 수 있다. 종사자수는 오전, 점심, 저녁 시간 모두 음(-)의 방향으로 유의한 것으로 나왔다. 종사자수 증가는 특정 계층의 인구 이동이 증가하는 것으로 인구혼합지수에 부정적인 영향을 미치는 것으로 추정된다. 교통현황 특성에서는 저녁, 야간시간 지하철 개소수가 음(-)의 방향으로 유의한 것으로 확인되었다. 저녁, 야간시간에는 학생, 직장인 등 특정 연령의 이동이 많아 인구혼합지수에 부정적인 영향을 미치는 것으로 추정된다.

2) 주말 시간대별 모형

주말 다중회귀분석 결과 시간대별로 유의한 변수는 다르지만 모든 토지이용 특성이 인구혼합지수에 영향을 미치는 것으로 분석되었다. 녹지지역 면적의 경우 오전 시간에는 음(-)의 방향으로 유의하며, 저녁 18~19시와 야간 22~23시에는 양의 방향으로 유의한 것으로 나타났다. 주말 오전은 인구이동이 적어 한계효과가 감소하며, 저녁과 야간시간은 평일과 같이 기온이 선선하여 사람들의 이동이 많아 인구혼합지수에 긍정적인 영향을 주는 것으로 추정된다.

평일과 다르게 주말 다중회귀분석 결과에서는 주거, 공업, 상업지역이 통계적으로 유의한 변수로 나왔다. 주말 주거지역의 경우 오전 시간(8시~9시)은 양(+)의 방향으로 유의하게 나타났으며, 반면 저녁, 야간시간에는 모두 음(-)의 방향으로 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이는 사람들이 주로 저녁, 야간시간 주거지역에 거주하기 때문에 오전 시간과 저녁, 야간 시간대의 생활 인구수가 차이가 있는 것을 알 수 있다.

공업지역 면적은 오전 8~9시 음(-)의 방향으로 유의하게 나타났다. 주말 오전 공업지역은 인구 이동이 적기 때문에 인구혼합지수에 부정적인 영향을 미치는 것으로 추정된다.

상업지역 면적은 주말 점심시간(12시~13시)과 야간시간(18~19시)에 유의한 값을 가지며 점심시간 상업지역 면적이 증가하면 한계효과는 양(+)의 방향으로 증가하며, 야간시간 상업지역 면적이 증가하면 한계효과는 음(-)의 방향으로 증가하였다. 주말 점심시간은 가족, 친구 등 다양한 연령층이 쇼핑물이나 상업

지역으로 외식을 나가 인구 혼합지수에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 보이며 야간 상업지역은 특정 계층만이 상업지역을 이용하여 인구혼합지수에 부정적인 영향을 미치는 것으로 보인다. 아파트 점유율은 평일과 같이 저녁, 야간시간 인구혼합지수에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 나타났다.

주말 인구현황 특성에서 인구수의 경우 오전은 양(+)의 방향으로 유의하며, 야간시간은 음(-)의 방향으로 유의한 값을 가진다. 이는 평일과 마찬가지로 오전 인구수 증가는 인구혼합지수에 긍정적인 영향을 미치는 반면 야간시간 인구수 증가는 인구혼합지수에 부정적인 영향을 미치는 것으로 나타났다. 노인인구수는 평일과 다르게 주말 오전 8~9시를 제외하고 인구 혼합지수에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 나왔다. 주말 오전 8~9시는 인구 이동이 적은 시간으로 다른 연령층의 이동에 비해 노령층의 이동이 강하게 나타나 인구혼합지수에 부정적인 영향을 미치는 것으로 보인다. 종사자수는 점심, 저녁, 야간시간 모두 음(-)의 방향으로 유의하게 나타났으며, 이는 특정 계층의 인구 이동이 증가하는 것으로 인구혼합지수에 부정적인 영향을 미치는 것으로 추정된다. 다중회귀분석 결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 토지이용 특성의 경우 녹지지역, 아파트 점유율만 평일, 주말 모두 인구 혼합지수에 영향을 미쳤다. 주거, 상업, 공업지역은 주말에만 인구 혼합지수에 영향을 미치는 것으로 나타났으며 시간에 따라 영향을 미치는 방향이 다르게 나타났다.

둘째, 인구현황 특성에서 인구수 증가는 평일, 주말 모두 오전(8~9시)은 양(+)의 방향, 야간(22~23시)은 음(-)의 방향으로 유의했다. 야간시간 인구수 증가는 특정 연령대의 인구 이동이 증가하기 때문에 인구혼합지수에 부정적인 영향을 미치는 것으로 추정되며, 연구 기간은 코로나19(COVID-19)의 영향으로 야간시간 인구 이동이 적은 것도 영향을 미칠 것으로 추정된다.

셋째, 인구현황 특성의 종사자수는 평일, 주말 모두 음(-)의 방향으로 유의한 반면, 노인인구수는 평일 점심(12~13시), 주말 오전(8시~9시) 음(-)의 방향으로 유의한 것으로 나왔다.

종사자수는 특정 계층의 인구이동과 밀접한 연관성이 있기 때문에 인구혼합지수에 부정적인 영향을 미치는 것으로 추정된다. 노인인구수 증가는 평일 점심(12~13시), 주말 오전(8시~9시) 시간만 제외하고 인구혼합지수에 긍정적인 영향을 미치는데 이는 다른 시간대에 비해 평일 점심시간과 주말 오전시간 노령층이 타 지역으로 이동하는 경향이 강하게 나타나기 때문으로 해석할 수 있다.

마지막으로 교통환경특성은 평일, 주말 인구 혼합지수에 부정적인 영향을 미친다. 이는 조사기간이 코로나19(COVID-19) 영향 기간으로 출퇴근 외 지하철을 이용하는 이용객 수가 적어 인구 혼합지수에 부정적인 영향을 미치는 것으로 추정된다.

V. 요약 및 결론

1. 연구의 요약 및 시사점

다양한 연령층의 인구가 모여 활동하는 도시에서는 사회통합 작용이 이루어져 도시 활력이 나타나며(Le Roux et al., 2017), 노인차별, 노인 고립위험 등 노인이 처한 위험성 또한 감소한다(Coleman, 1982; Douglas and Barrett, 2020; Hagestad and Uhlenberg, 2006). 연령별 인구 혼합은 사회통합, 도시활력, 정신적 건강상의 이점을 지니며, 나아가 노인 문제 해결에 있어서도 긍정적인 영향을 미친다.

사회적 인구혼합과 관련된 국내 연구는 주로 혼합방식의 문제점을 제기하거나 거주자 인식 조사를 통해 사회통합 효과를 추정하는 연구가 주를 이루고 있다. 계층적 분석은 있으나 연령별 혼합에 대한 연구는 많지 않으며 대부분의 연구들은 단순한 주거 혼합에 그치고 있다. 이에 착안하여 본 연구에서는 시간대별 활동인구의 연령대별 혼합수준을 측정하고 근린환경이 혼합수준에 미치는 영향을 분석하였다. 분석결과와 정책적 시사점은 다음과 같다.

첫째, 시간대별 활동인구의 혼합지수를 분석하여 혼합지수가 높은 행정동을 찾고 행정동의 특징을 파악하였다. 엔트로피 지수를 이용하여 활동인구 혼합지수를 시각화한 결과 인구혼합지수가 높은 행정동과 그렇지 않은 행정동이 쉽게 구분되었다. 혼합지수가 높은 행정동의 특징을 토지이용현황, 인구현황, 이동시간현황으로 나누어 분석하여 행정동의 특징을 파악하였다.

토지이용현황의 경우 상업·업무지역, 공업지역의 평일 인구혼합지수가 크게 떨어졌다. 평일 상업·업무지역과 공업지역은 종사자 외 인구이동이 적어 혼합지수가 낮게 나온 것으로 추정된다. 이는 인구 현황에서도 같은 결과가 나왔다. 인구현황에서도 종사자 수가 높은 지역은 평일 엔트로피 지수가 낮게 추출되었다. 이동 시간별 혼합지수 비교 시 점심 > 저녁 > 오전 > 야간 시간순으로 엔트로피가 높았다. 특히 야간 시간대를 제외했을 때 시간별 인구 혼합지수는 주말이 평일보다 높는데, 이는 평일보다 주말에 다양한 연령층의 인구 이동이 많음을 반증한다.

둘째, 이러한 결과를 바탕으로 토지이용, 인구현황, 교통환경, 시간대별 특성이 인구혼합지수에 얼마나 영향을 미치는지 분석하였다. 전체모형과 시간별 모형은 통해 위 변수들이 인구혼합지수에 미치는 영향도를 평일과 주말로 나누어 살펴보았다. 먼저 전체모형 분석결과 아파트점유율, 노인인구수, 종사자수, 이동시간이 통계적으로 유의미한 변수로 나타났다. 아파트점유율, 노인인구수, 9시~19시 사이의 이동시간은 양(+)의 계수를 가지는 반면 종사자수와 22시~23시 이동시간은 음(-)의 계수 값을 가진다. 아파트 점유율부터 살펴보면, 우선 아파트는 어린아이부터 노인에 이르기까지 다양한 인구가 거주하기 편리한 시설이다. 아파트

거주 연령의 스펙트럼이 넓은 것은 아파트 점유율이 연령대별 혼합도 측면에서 양의 상관관계를 보이는 결과로 이어지며, 평일, 주말 모두 인구혼합지수에 긍정적인 영향을 미친다.

노인 인구수는 65세 이상 인구수를 말하며, 노인인구의 이동은 다른 연령층과 비교 시 이동 범위가 적다. 대부분의 도심이나 업무지역에는 특정 계층이 모여 있는데 노인 인구수가 적을수록 엔트로피 지수가 낮게 나왔다. 따라서 노인 인구수의 증가는 인구 혼합지수에 긍정적인 영향을 미치나 다른 연령층의 이동에 비해 노령층의 이동만 많을 경우 인구혼합지수에 부정적인 영향을 미친 것으로 보인다.

종사자수는 해당 행정동에 속한 모든 산업에 종사하는 인구수의 총합이다. 종사자수가 높은 지역은 상업·업무, 공업 지역의 특성과 같이 평일 업무시간에 종사자 외 다른 계층의 이동이 적어 혼합도에 부정적인 영향을 미치는 것으로 추정된다.

끝으로 이동시간을 살펴보면 9~19시는 인구혼합지수에 긍정적인 영향을 22~23시는 부정적인 영향을 미친다. 오전에서 저녁에 이르는 9~19시의 경우, 대부분 사람들이 활동하는 시간대로 다양한 계층의 이동이 이 시간대에 반영되고 야간인 22~23시의 경우, 특정 계층의 인구만 이동하여 이와 같은 결과를 낳은 것으로 풀이된다. 한편, 평일과 주말 독립변수들이 인구 혼합지수에 미치는 영향은 미미한 차이가 있으나 계수 값의 방향성은 평일, 주말 동일한 것으로 분석되었다. 전체 분산 중 지역 특성에 의한 분산비는 평일 25%, 주말 32%로 연령대별 혼합수준에 대한 행정동의 설명력은 평일에 비해 주말이 높다. 주말은 출퇴근 시간, 업무시간 등 시간대별 특성이 미치는 영향도가 평일보다 적어, 상대적으로 행정동의 특성이 더 잘 반영되기 때문이며 이에 따라 평일에 비해 주말 ICC 값이 더 높게 나타난 것으로 보인다.

다음은 다중회귀모형을 사용하여 시간대별로 분석한 결과이다. 평일과 주말로 나누어 시간대별로 살펴봄으로써 통계적으로 유의미한 결과가 도출되었다. 먼저 토지현황 특성에 해당하는 녹지지역 면적은 평일 낮 12~13시, 주말 오전 8~9시를 제외하고 인구 혼합지수에 긍정적인 영향을 미친다. 노인인구수 역시 평일 낮 12~13시, 주말 오전 8~9시를 제외하고 인구 혼합지수에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 나와 두 변수 사이 연관성이 있는 것으로 추측된다. 평일 낮 시간(12~13시)과 주말 오전 시간(8~9시)은 연령별 인구 이동이 적은 시간으로 이 시간대에 다른 연령층보다 노령층의 타 지역 이동이 강하게 나타나 인구 혼합지수에 부정적인 영향을 미치는 것으로 보이며, 녹지지역 역시 평일 낮 시간(12~13시)과 주말 오전 시간(8~9시)에 다른 계층에 비해 노인인구만 녹지지역에 이동하는 비중이 높아 인구혼합지수에 부정적인 영향을 미치는 것으로 추정된다. 주거지역, 공업지역, 상업지역 면적은 주말에만 통계적으로 유의미한 것으로 나왔다. 아파트 점유율은 평일, 주말 모두 저녁, 야간시간에 양(+)의 계수 값을 가지는 것으로 확인되었다. 이는 전체모형과 같은 결과로 아

파트는 거주 연령의 스펙트럼이 넓어 아파트 점유율이 연령대별 혼합도 측면에서 긍정적인 영향을 미치는 것으로 추정된다.

인구현황 특성의 종사자수의 경우 평일, 주말 모두 인구 혼합 지수에 부정적인 영향을 미치며 이는 전체모형 분석결과와 동일하다.

한편 교통현황 특성에서 지하철 개소수는 평일, 주말 야간시간에서 모두 음(-)의 계수 값을 가진다. 이는 앞의 엔트로피 지수 분석결과와 다른 결과 값이다. 앞의 엔트로피 지수 분석에서 야간 시간(22~23시) 혼합지수가 높은 행정동의 특징은 지하철역, KTX, SRT 역이 위치한 지역으로 나타났으며, 이는 집으로 귀가하기 위한 다양한 연령계층의 인구가 혼합되면서 혼합지수가 높아진 것으로 풀이된다. 반면 시간대별 모형 분석에서 지하철 개소수는 야간시간 인구혼합지수에 부정적으로 작용하였는데 이는 조사기간 내 코로나19(COVID-19) 영향으로 출·퇴근 외 지하철을 이용하는 이용객 수가 적어 엔트로피 지수 분석과는 다른 결과를 초래하지 않았나 추측해 볼 수 있다.

끝으로 엔트로피 지수, 전체모형, 시간대별 모형의 세 가지 분석 모형에 대한 종합적 비교 결과는 다음과 같이 요약될 수 있다. 상업, 공업지역의 경우 영업시간과 업무시간을 제외하면 활동 인구의 이동이 적어 인구혼합지수가 떨어지는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 상업이나 업무 용도로 집중된 지역의 경우 주거 시설 용도를 통해 저녁 시간 이후 일정 수준의 생활인구를 유지할 수 있을 것으로 판단된다.

녹지지역은 사람들의 이동이 적은 시간을 제외하고는 인구 혼합지수에 긍정적인 영향을 미쳤다. 사람들이 건강과 여가 활동을 중시함에 따라 녹지지역을 많이 찾으며 다양한 연령대의 인구가 다양한 시간대에 이용함으로써 인구혼합지수에 긍정적인 영향을 미치는 것을 볼 수 있다. 이에 따라 도시 개발사업과 정비사업 등을 계획할 때 공원 및 호수 등과 같은 녹지지역의 적정수준을 고려할 필요가 있다고 판단된다.

마지막으로 노인 인구수 역시 연령별 인구 혼합에 긍정적인 영향을 미쳐 인구혼합지수를 높인다. 인구혼합지수가 높은 지역은 사회통합을 강화함과 동시에 노인인구의 복지를 증진시키는 등 도시와 시민의 번영을 도모한다. 이러한 긍정적인 영향을 최대한 누리기 위해서는 노인인구가 다양한 행정동에 이동할 수 있도록 노인의 이동성을 증가시키는 노력이 필요하다고 판단된다. 예를 들어 대중교통 시스템을 노인 친화적으로 개선하고 노인들의 이동을 지원하는 프로그램을 도입하는 등의 노력이 필요하며 노인인구의 이동이 많은 지역에는 노인 편의시설과 문화 시설을 개설하여 노인인구의 사회 참여를 촉진하는 정책이 필요하다고 판단된다.

지금까지 인구 혼합도 측면에서 인구혼합지수가 높은 행정동이 어디인지, 시간별 혼합수준에 영향을 미치는 주요 요인이 무엇인지 살펴보았다. 시간대별 활동인구의 연령대별 혼합수준을 측정하고 공간적 분포와 영향요인에 대해 연구하였으며, 이를 통

해 사람들이 공간과 시간에 걸쳐 어떻게 이동하며 상호 연결되었는지를 바라보는 관점을 제시하였다.

2. 연구의 의의 및 한계

본 연구의 한계는 다음과 같다. 첫째, 본 연구에서 활용한 서울 생활이동 데이터는 기지국에서 집계되는 KT휴대폰 고객의 신호를 바탕으로 사람들의 이동 인원수를 가공하여 개방한 데이터이다. 따라서 서울시 모든 인구를 대변하는 데는 한계가 있으며 스마트폰 사용자의 위치 이동 현상을 관찰할 수 있으나, 이동 이면의 활동 내역에 대해서는 알기 힘든 점이 있다.

둘째, 본 연구는 오전부터 야간시간까지 4개의 시간대를 사용하여 시간대별 혼합지수를 측정하였다. 시간대별 혼합수준을 측정하기 위한 방법이 다양할 수 있고, 측정방법의 차이가 분석결과에 영향을 미칠 수 있어 향후 연구에서는 시간대 조합을 달리하여 혼합수준과 영향요인을 심층적으로 분석할 수 있어야 할 것이다.

셋째, 시간대별 혼합수준에 영향을 미치는 변수들에 대한 추가적인 고려가 필요하다. 특정 지역의 이동은 계절, 기후, 사회경제적 상황 등에 따른 차이를 보일 수 있기 때문인데 본 연구에서의 2021년 6월 데이터 사용에 따른 계절적 영향 및 코로나(COVID-19) 영향도 이와 같은 맥락에서 이해될 수 있다.

이러한 한계점에도 불구하고 본 연구는 빅데이터를 활용하여 연령대별 혼합도와 이에 미치는 영향요인을 분석하였다는 점에서 의의가 있으며 이는 실시간으로 추적되고 있는 생활이동 데이터의 활용성을 높일 수 있음을 시사한다. 또한 시간대별 활동인구 혼합지수와 관련된 연구는 국내에서 아직 활발히 진행되지 않은 분야로, 본 연구는 인구 혼합지수를 시공간적 측면에서 실증적으로 분석한 사례라는 점에서 연구의 의의를 지닌다.

- 주1. 연구 당시 2020년 1월~2021년 6월까지 데이터가 오픈되어 가장 최신 데이터인 2021년 6월 데이터를 사용하였다.
- 주2. 2021년 6월 서울 생활이동 데이터의 최고연령은 80세로 80대 인구 비중이 적어 70대에 포함하였다.
- 주3. 서울을 커버하는 KT 통신기지국에 존재하는 인구를 바탕으로 한 추정 인구
- 주4. 시가화 면적=녹지지역 면적을 제외한 주거지역 면적, 상업지역 면적, 공업지역 면적의 합

인용문헌 References

1. 구형수·이희연, 2022, “재해위험정보 노출이 주거용 부동산가격에 미치는 영향”, 『서울도시연구』, 16(1): 57-74.
- Koo, H.S. and Lee, H.Y., 2022. “The Effect of the Disaster

- Hazards Information on Residential Property Prices”, *Seoul Studies*, 16(1): 57-74.
2. 김영룡, 2020. 「빅데이터를 활용한 도시활력 측정과 도시공간 유형 분류», 수원: 경기연구원.
Kim, Y.L., 2020. *Measuring Urban Vitality and Typology of Urban Space Using Big Data*, Suwon: Gyeonggi Research Institute.
 3. 김형준·원미리·이정민·채호동·박인권, 2021. “외국인 거주자의 시공간적 분포패턴 및 결정요인: 서울시 생활인구 데이터 분석”, 『LHI Journal』, 12(1): 101-117.
Kim, H.J., Won, M.L., Yi, J.M., Chae, H.D., and Park, I.K., 2021. “Spatio-Temporal Distribution Patterns of Foreign Population and Their Determinants: Analyzing Seoul’s De Facto Population Data”, *LHI Journal of Land, Housing, and Urban Affairs*, 12(1): 101-117.
 4. 김형준·최열, 2017. “범죄 및 공간구문특성과 공동주택가격간의 상관성 연구”, 『국토계획』, 52(2): 155-169.
Kim, H.J. and Choi, Y., 2017. “A Study on the Correlation between Characteristics of Crime and Space Syntax, Multi-family Housing Price”, *Journal of Korea Planning Association*, 52(2): 155-169.
 5. 류은혜·김은정, 2021. “코로나19(COVID-19) 유행 전후 서울의 생활인구 패턴변화 및 지역환경이 생활인구 변화에 미치는 영향”, 『한국도시지리학회지』, 24(3): 19-35.
Ryu, E.H. and Kim, E.J., 2021. “Analysis of the Changes in De Facto Population Pattern and Effects of Local Environment on Changes in the De Facto Population in Seoul After the COVID-19”, *Journal of the Korean Urban Geographical Society*, 24(3): 19-35.
 6. 이금숙·김호성, 2018. “교통과 토지이용 정보를 결합한 서울 인구 분포의 시공간적 분석: 4차원 시각화 방법을 토대로”, 『한국경제지리학회지』, 21(1): 20-33.
Lee, K.S. and Kim, H.S., 2018. “Spatio-temporal Analysis of Population Distribution in Seoul via Integrating Transportation and Land Use Information, Based in Four-Dimensional Visualization Methods”, *Journal of the Economic Geographical Society of Korea*, 21(1): 20-33.
 7. 정시윤·전병운, 2020. “공간 빅데이터와 야간 위성영상을 활용한 도시활력 평가: 대구시를 사례로”, 『한국지리정보학회지』, 23(4): 217-233.
Jeong, S.Y. and Jun, B.W., 2020. “Urban Vitality Assessment Using Spatial Big Data and Nighttime Light Satellite Image: A Case Study of Daegu”, *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies*, 23(4): 217-233.
 8. 조월·이수기, 2021. “서울시 POI 빅데이터를 활용한 도시활력과 영향요인 분석”, 『국토계획』, 56(7): 87-102.
Cao, Y. and Lee, S., 2021. “Analysis of Urban Vitality and Its Determinant Factors Using POI Bigdata in Seoul, Korea”, *Journal of Korea Planning Association*, 56(7): 87-102.
 9. 조월·하재현·이수기, 2021. “서울시 생활인구의 시간대별 혼합 수준에 영향을 미치는 요인 분석”, 『국토계획』, 56(1): 22-38.
Cao, Y., Ha, J.H., and Lee, S., 2021. “Analysis on the Determinants of Hourly-based Mixed Level of De Facto Population in Seoul, Korea”, *Journal of Korea Planning Association*, 56(1): 22-38.
 10. Abbasi, S., Ko, J., and Min, J., 2021. “Measuring Destination-based Segregation through Mobility Patterns: Application of Transport Card Data”, *Journal of Transport Geography*, 92: 103025.
 11. Coleman, J.S., 1982. *The Asymmetric Society*, Syracuse University Press.
 12. Douglas, R. and Barrett, A., 2020. “Creative Cities Creating Connections: Fostering Cross-age Interaction through Leisure”, *Innovation in Aging*, 4: 438.
 13. Hagestad, G.O. and Uhlenberg, P., 2005. “The Social Separation of Old and Young: A Root of Ageism”, *Journal of Social Issues*, 61: 343-360.
 14. Hagestad, G.O. and Uhlenberg, P., 2006. “Should We Be Concerned about Age Segregation? Some Theoretical and Empirical Explorations”, *Research on Aging*, 28: 638-653.
 15. Kockelman, K.M., 1997. “Travel Behavior as a Function of Accessibility, Land Use Mixing, and Land Use Balance: Evidence from the San Francisco Bay Area”, *Transportation Research Record*, 1607: 116-125.
 16. Le Roux, G., Vallée, J., and Commenges, H., 2017. “Social Segregation around the Clock in the Paris Region (France)”, *Journal of Transport Geography*, 59: 134-145.
 17. Lopes, M.N. and Camanho, A.S., 2013. “Public Green Space Use and Consequences on Urban Vitality: An Assessment of European Cities”, *Social Indicators Research*, 113(3): 751-767.
 18. Miliadis, V. and Psyllidis, A., 2022. “Measuring Spatial Age Segregation through the Lens of Co-accessibility to Urban Activities”, *Computers, Environment and Urban Systems*, 95: 101829.
 19. Ravenscroft, N., 2000. “The Vitality and Viability of Town Centres”, *Urban Studies*, 37(13): 2533-2549.
 20. Sabater, A., Graham, E., and Finney, N., 2017. “The Spatialities of Ageing: Evidencing Increasing Spatial Polarisation between Older and Younger Adults in England and Wales”, *Demographic Research*, 36: 731-744.
 21. WHO, 2007. *Global Age-friendly Cities: A Guide*, World Health Organization.
 22. Williams, D.R. and Collins, C., 2001. “Racial Residential Segregation: A Fundamental Cause of Racial Disparities in Health”, *Public Health Reports*, 116(5): 404-416.
 23. Winkler, R. and Klaas, R., 2012. “Residential Segregation by Age in the United States”, *Journal of Maps*, 8(4): 374-378.
 24. Yue, H. and Zhu, X., 2019. “Exploring the Relationship between Urban Vitality and Street Centrality Based on Social Network Review Data in Wuhan, China”, *Sustainability*, 11(16): 4356.

Date Received 2023-05-30
 Reviewed(1st) 2023-07-11
 Date Revised 2023-10-20
 Reviewed(2nd) 2023-11-05
 Date Accepted 2023-11-05
 Final Received 2023-12-13