

## 교통과 토지이용 정보를 결합한 서울 인구분포의 시공간적 분석: 4차원 시각화 방법을 토대로

이금숙\* · 김호성\*\*

### Spatio-temporal Analysis of Population Distribution in Seoul via Integrating Transportation and Land Use Information, Based on Four-Dimensional Visualization Methods

Keumsook Lee\* · Ho Sung Kim\*\*

**요약** : 도시공간에서 인구분포는 하루의 시간축을 따라 통행흐름의 변화와 함께 변동성을 보인다. 통행흐름은 도시민들이 하루 일과가 진행되면서 그들의 활동과 관련된 시설물이 입지한 지점으로 이동한 결과물이므로 도시민의 활동과 관련 시설물의 분포에 직접적인 영향을 받는다. 따라서 도시 인구분포의 시공간적 특성은 도시민의 일상생활과 관련된 활동공간의 분포와 그것을 방문하는 통행흐름을 결합하여 분석할 필요가 있다. 본 연구에서는 토지이용과 통행흐름에 대한 정보가 풍부한 서울시를 대상으로 건축물데이터베이스와 교통카드데이터베이스를 활용하여 하루 및 일주일 시간축을 따라 변동성을 보이는 도시공간의 인구분포를 분석한다. 일반적인 통계적 기법으로는 파악하기 어려운 시공간적 분석을 위하여 자바프로그램을 이용하여 시간과 공간을 결합한 4차원 시각화 방법을 고안한다. 이러한 4차원 시공간에서 역동적 시각화를 이용하면 직관적인 분석이 가능할 뿐만 아니라 인구분포의 시공간적 특성을 보다 효과적으로 파악할 수 있다. 이를 위하여 먼저 각 지점에 위치한 건축물을 용도에 따라 주거, 업무, 상업 활동으로 구분하고, 일주일분 교통카드데이터베이스에서 1분 단위로 각 지점의 버스과 지하철로 오가는 승객수를 산출하고, 이를 4차원으로 시각화하여 교통과 토지이용을 결합해서 서울시 인구분포의 시공간적 특성을 분석한다. 그 결과로 서울의 인구분포는 토지이용에 따라 뚜렷한 시공간적 특성을 보임을 파악할 수 있으며, 특히 업무활동, 상업활동, 주거활동의 혼합 양상에 따라 하루 시간축을 따라 인구분포 양상에 뚜렷한 차이가 있음을 확인하였다. 이러한 연구결과는 도시 시설의 입지계획과 교통계획 수립에 매우 유용하게 활용될 수 있다.

**주요어** : 인구분포, 변동성, 교통-토지이용 정보, 건축물데이터베이스, 교통카드데이터베이스, 활동공간, 통행흐름, 4차원 시각화 방법, 시공간적 특성

**Abstract** : Population distribution in urban space varies with transportation flow changing along time of day. Transportation flow is directly affected by the activities of urbanites and the distribution of related facilities, since the flow is the result of moving to the point where the facilities associated with their activities are located. It is thus necessary to analyze the spatio-temporal characteristics of the urban population

이 논문은 2013년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No.2013S1A5A2A01017764).

\* 성신여자대학교 지리학과 교수(kslee@sungshin.ac.kr)

\*\* 성신여자대학교 미디어커뮤니케이션학과 교수(hkim@sungshin.ac.kr)

distribution by integrating the distribution of activity spaces related to the daily life of urbanites and the flow of transportation. The purpose of this study is to analyze the population distribution in urban space with daily and weekly time bases using the building database and T-card database in the city of Seoul, which is rich in information on land use and transportation flow. For a time-based analysis that is difficult to grasp by general statistical techniques, a four-dimensional visualization method combining time and space using a Java program is devised. Dynamic visualization in the four-dimensional space and time allows intuitive analysis and makes it possible to understand more effectively the spatio-temporal characteristics of population distribution. For this purpose, buildings are classified into three activity groups: residential, working, and commercial according to their purpose, and the number of passengers traveling to and from each stop site of bus and subway networks in the T-card database for one week is calculated in one-minute increments. Visualizing these and integrating transportation and land use, we analyze spatio-temporal characteristics of the population distribution in Seoul. As a result, it is found that the population distribution of Seoul displays distinct spatio-temporal characteristics according to land use. In particular, there is a clear difference in the population distribution pattern along the time axis according to the mixed aspects of working, commercial, and residential activities. The results of this study can be very useful for transportation and location planning of city facilities.

**Key Words** : spatio-temporal characteristics, population distribution, transportation-land use information, building databases, T-card database, transportation flow, four-dimensional visualization method

## 1. 서론

도시공간은 사람과 도시 활동과 관련된 건축물들이 자리잡고 있으며, 인구의 분포는 시설물의 입지에 영향을 미치고, 역으로 시설물의 입지는 인구분포를 좌우한다(Chen and McKnight, 2007). 이처럼 도시공간에서 장소와 인구분포는 상호 밀접하게 연관되어 있다. 따라서 도시 인구와 시설들이 어디에 얼마만큼 분포하고 있는가에 대한 자료는 사회, 경제, 환경 등 다양한 분야에서 필수적으로 요구된다(Janelle *et al.*, 1998).

그러나 사람들은 일상생활을 영위하면서 관련된 장소로 공간 이동하여 필요한 활동공간에 머물게 되기 때문에 하루의 시간 축을 따라, 그리고 주중과 주말 등 요일에 따라 통행흐름과 그 장소에 머

무는 인구가 변화하게 된다(이금숙 외, 2017). 따라서 도시공간에서 인구분포는 고정되어 있는 것이 아니라 시점에 따라 달라지면서 변동성을 보인다(Hägerstrand, 1970). 특히 통행흐름의 시·공간적 양상은 그 도시에 살고 있는 도시민의 일상적인 삶이 반영된 것으로 그 도시의 교통체계와 함께 그 일상을 영위하기 위하여 방문하게 되는 관련된 거주지 분포 및 직장, 교육기관, 상업시설, 문화시설 등의 분포는 물론 통행의 주체인 도시민의 하루하루의 일상생활의 구성내용에 영향을 받게 된다(이금숙 외, 2015). 그러므로 도시공간의 인구분포의 시공간적 특성을 파악하기 위해서는 도시민의 일상생활이 일어나는 활동공간의 분포와 관련된 토지이용정보와 그들 간의 통행흐름 정보가 결합된 분석이 필요하다(Janelle *et al.*, 1998; 조창현, 2013).

지표공간에서 시간의 흐름을 고려하여 변화하는

통행흐름과 인구분포 및 이들의 토지이용과의 관계를 밝히려는 시간지리학적 연구는 도시 및 공간연구 분야에서 많은 관심을 받아왔다(Hägerstrand, 1970; Thrift, 1977; Janelle and Goodchild, 1983; Anas and Duann, 1986; Golob, 2000; Boarne and Crane, 2001; Zandvliet and Dijst, 2006; Chen and McKnight, 2007; Lee *et al.*, 2010; 2012; 2016; 2017). 하지만 이러한 연구를 위해서는 도시 시설물의 분포와 통행에 대한 시공간적 정보를 담은 데이터 확보가 필수적이다. 최근 정보기술의 발달로 도시민의 활동공간과 이동행태에 대한 시공간 정보를 담은 다양한 빅데이터가 생성되고 축적되고 있어 과거에 시도할 수 없었던 도시공간에 대한 다양한 시공간적 분석의 가능성이 확대되고 있다(Verhein and Chawla, 2008; Chen *et al.*, 2009).

본 연구에서는 도시공간에 대한 정보가 풍부한 서울시를 대상으로 도시공간에 대한 다양한 빅데이터를 활용하여 요일별 하루 시간축을 따라 변화하는 도시공간의 인구분포를 분석한다. 특히 이제까지 데이터 및 분석방법의 한계로 연구되지 못했던 도시 인구분포의 변동성을 도시공간의 토지이용 정보와 통행 정보를 결합하여 분석하고자 한다. 이를 위하여 사람들이 하루 일상생활을 영위하기 위하여 머물게 되는 다양한 활동공간에 대한 정보를 담고 있는 건축물 데이터베이스와 대중교통이용자 개개인의 하루 이동궤적 정보를 담고 있는 교통카드데이터베이스를 활용한다. 또한 일반적인 통계적 기법으로는 파악하기 어려운 시공간적 분석을 위하여 자바프로그램을 이용하여 시간과 공간을 결합한 4차원 시각화 방법을 고안한다. 4차원의 시공간상에 역동적으로 시각화하여 보여주면 직관적인 분석이 가능할 뿐만 아니라 인구분포의 시공간적 특성을 보다 효과적으로 파악할 수 있다. 이를 위하여 먼저 각 지점에 위치한 건축물을 용도에 따라 주거, 업무, 상업 활동으로 구분하고, 일주일치 교통카드데이터베이스에서 1분 단위로 각 지점의 버스와 지하철로 오가는 승객수를 산

출하여 각 지점의 활동공간별 하루 시간축을 따라 머무는 인구수를 산출한다. 이를 4차원으로 시각화하여 교통과 토지이용을 결합하여 서울시 인구분포의 시공간적 특징을 분석한다.

## 2. 데이터 및 분석 방법

### 1) 데이터

서울시내의 지점별 인구분포를 도시민의 활동공간과 결합하여 파악하기 위하여 본 연구에서는 서울시에 위치하고 있는 모든 건축물의 정보를 활용하였다. 서울시 건축물 정보자료<sup>1)</sup>에는 해당 건물의 층수(the number of floors), 구조(structure), 연면적(gross floor area), 위치와 주소(position or address), 우편번호(zip code), 용도(use), 지붕 유형(type of the roof of the building) 등의 속성 자료가 있다. 2011년 현재 서울시 행정구역 안에는 총 678,594개의 건축물이 있다. 서울시 전체면적 605.25km<sup>2</sup> 중 건축물이 자리 잡고 있는 면적은 429.34km<sup>2</sup>이다. 이러한 건물은 아파트, 오피스, 근린시설 등 29개 유형으로 구분 된다. 이러한 건물의 유형은 그 건물이 위치한 토지에 대한 토지이용을 그대로 반영하므로 이들을 이용하면 서울시 각 지점별 토지이용 상태를 파악할 수 있다(Goh *et al.*, 2016). 본 연구에서는 이를 좀 더 확연하게 파악하기 위하여 원자료에 명기되어 있는 29개 건물 유형을 건물의 용도에 따라 거주용(R: residential), 사무용(W: workplace), 상업용(C: commercial)의 3 범주로 재구분하였다(〈표 1〉참고).

다음 〈표 2〉는 건물의 위치정보와 연면적 등의 정보를 이용하여 서울시 토지의 용도별 이용 비율을 나타낸 것이다. 서울시 건축물의 용도별 연면적을 중심으로 토지이용을 살펴보면 거주용이 59.94%를 차

표 1. 건축물 용도 구분

| 건축물 ID | 연면적 (m <sup>2</sup> ) | 용도     | → | 건축물 ID | 연면적 (m <sup>2</sup> ) | 용도         |
|--------|-----------------------|--------|---|--------|-----------------------|------------|
| 101    | 500.3                 | 다가구주택  |   | 101    | 500.3                 | home       |
| 102    | 1302.8                | 사무실    |   | 102    | 1302.8                | work       |
| 103    | 1022.3                | 근린생활시설 |   | 103    | 1022.3                | Commercial |

지하고 업무용은 15.18%, 그리고 상업용은 18.42%를 차지하고 있다. 서울시 전체 건물 중 이들 세 범주에 들지 않는 건물은 58,079개(6.56%)이다. 이중 55,146개(5.8%)는 원자료에 건물 속성에 대한 정보가 없어 범주화할 수 없었다. 그밖에도 농수산 관련 건축물, 교통관련 건축물, 위해물질 보관 건축물 등 위의 세 범주에 넣기 어려운 건축물(2,933개, 0.68%)들은 범주화하지 않았다.

또한 시간 축을 따라 통행흐름의 변동성을 파악하기 위하여 본 연구에서는 서울 대도시권의 1주일치 교통카드 자료를 활용하여 각 지점의 요일별 하루 동안의 통행흐름의 시·공간적 분포 특성을 분석한다. 서울 대도시권에서는 2004년 7월 대중교통체계를 개편하면서 스마트카드를 전면 도입하여 대중교통이용자의 시공간 정보를 포함한 다양한 정보가 매일매일 대용량의 교통카드 트랜잭션데이터베이스에 축적되고 있다. 따라서 이러한 교통카드데이터를 활용하여 수도권 통행흐름에 대한 다양한 분석이 시도되고 있다(이금숙 외, 2007; 2012; 2014; 2017; 박중수·이금숙, 2007; 2010; 2011; 2012; 김호성, 외, 2010; Goh *et al.*, 2012; Lee *et al.*, 2008; 2010; 2011; 2012).

본 연구의 분석에 사용된 데이터는 2011년 4월 둘째주(4월 10일-4월 16일) 서울 대도시권의 교통카드 트랜잭션 데이터베이스이다. 서울대도시권 교통카드는 하루 16,000,000건 이상의 거래내역이 담긴 대용량 데이터이다. <표 3>은 분석에 사용된 교통카드데이터베이스의 요일별 교통카드 이용자의 통행거래정보를 정리한 것이다. 서울대도시권 대중교통

표 2. 서울시 건축물 용도별 구성비

| 속성                          | 비율     | 범주 | %     |
|-----------------------------|--------|----|-------|
| Apartment                   | 0.3136 | R  | 59.94 |
| Multifamily house           | 0.1496 | R  |       |
| Multiplex house             | 0.0681 | R  |       |
| Detached house              | 0.0488 | R  |       |
| Row house                   | 0.0181 | R  |       |
| Employee apartment          | 0.0012 | R  |       |
| Office                      | 0.0828 | W  | 15.18 |
| Education/research facility | 0.0450 | W  |       |
| Manufacturing facility      | 0.0240 | W  |       |
| Neighborhood facility       | 0.1286 | C  | 18.42 |
| Large store facility        | 0.0194 | C  |       |
| Religious facility          | 0.0114 | C  |       |
| Hotel                       | 0.0070 | C  |       |
| Accommodation               | 0.0045 | C  |       |
| Cultural/broadcast facility | 0.0035 | C  |       |
| Sports facility             | 0.0031 | C  |       |
| Food sanitation facility    | 0.0031 | C  |       |
| Marketplace                 | 0.0009 | C  |       |
| Medical facility            | 0.0009 | C  |       |
| Amusement facility          | 0.0005 | C  |       |
| Public sanitation facility  | 0.0005 | C  |       |
| Inn                         | 0.0004 | C  |       |
| Ritual facility             | 0.0003 | C  |       |
| Recreational facility       | 0.0001 | C  |       |

이용자수는 주중과 주말 사이에 현격한 차이를 보인다. 주중에서도 수요일에 지하철 이용자가 가장 많고 다음으로 목요일, 금요일 순이다. 한편 월요일과 화요일은 주중 평균보다 지하철 이용자수가 적으며

표 3. 요일별 대중교통 이용자 수 분포

|    | 요일 | 지하철 승객수   | 버스 승객수    | 총 승객수     | 평균        | 편차         |
|----|----|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|
| 주중 | 월  | 7,444,438 | 1,226,194 | 8,670,632 | 8,801,872 | -131,240   |
|    | 화  | 7,512,312 | 1,263,980 | 8,776,292 |           | -25,580    |
|    | 수  | 7,579,587 | 1,285,961 | 8,865,548 |           | +63,676    |
|    | 목  | 7,577,463 | 1,259,601 | 8,837,064 |           | +35,192    |
|    | 금  | 7,556,273 | 1,303,549 | 8,859,822 |           | +59,950    |
| 주말 | 토  | 6,520,212 | 1,287,794 | 7,808,006 | 6,425,845 | +1,382,161 |
|    | 일  | 4,218,423 | 825,261   | 5,043,684 |           | -1,382,161 |

특히 월요일 이용자가 가장 적다. 주말 동안에는 주중보다 지하철 이용자가 적지만 토요일은 상대적으로 적게 줄어들고 일요일에는 주중의 거의 절반 정도로 이용자가 줄어든다.

## 2) 분석방법

앞서 언급한 것처럼 도시 공간에서의 인구분포는 도시민들이 일상생활을 영위하면서 관련된 시설이 위치한 장소로 공간 이동하여 필요한 활동공간에 머물게 되기 때문에 도시에 대한 실효성 높은 행정 서비스를 제공하려면 각 시점의 실제 도시에서 생활하는 인구를 기준으로 하는 정책이 마련되어야 할 필요성이 제기되고 있다. 이를 위해서 도시공간의 인구분포도 활동공간의 분포를 고려하는 좀 더 세분된 공간 단위를 바탕으로 시간대에 따라 변화하는 통행흐름과 그 장소에 머무는 인구 변화 등을 반영하여 파악되어야 할 것이다.

그러나 이제까지 도시지역의 인구분포를 다루는 대부분의 연구는 보통 행정동이나 법정동과 같은 센서스 단위로 집계된 자료를 제공하고 있는 통계청을 비롯한 각종 정부기관에서 제공하는 인구자료를 사용하고 있다. 또한 시간의 변화에 따른 인구분포를 추정하기 위하여 이러한 행정단위로 제공되는 토지이용정보를 바탕으로 회귀모형을 이용하는 방법이 일반적으로 사용되어 왔다(Lo, 1995; Liu *et*

*al.*, 2008). 한편 좀 더 세분된 공간단위로 인구분포를 추정하기 위해 위성영상이나 각종 공간데이터를 사용하여 Landsat TM 영상을 이용하여 밴드별 분광특성과 센서스 단위의 인구분포와의 상관관계를 분석하여 회귀모형을 통해 인구를 추정하려는 시도도 진행되었다(Harvey, 2002; Chen, 2002). 그러나 Landsat 영상의 경우 공간해상도의 한계 때문에 주거지역을 세분화하는데 어려움이 있으며, 상업지역이나 농업지역 등 인간이 거주하지 않는 지역을 회귀모형에 포함시키면서 분석 과정에서 인구 가중치가 정확하게 계산되지 않는 단점이 있다. 이를 보완하기 위해 회귀모형과 회귀모형에서 추출된 잔차에 대해 공간적 자기상관을 고려하도록 크리깅 보간하는 RK(Regression-Kriging)모형을 이용하는 등(김병선 외, 2010) 다양한 방안이 모색되고 있다.

최근 들어서는 개인 모바일폰 사용이 확대되면서 이동통신 빅데이터를 기반으로 인구분포 추정 및 경제활동 측정 연구가 활발히 진행되고 있다(Kang *et al.*, 2012; Deville, *et al.*, 2014; Douglass *et al.*, 2015; Dong *et al.*, 2017). 국내에서도 이동통신 빅데이터와 공간통계기법을 이용하여 지역의 잠재적 서비스 수요인 생활인구를 추정해 보려는 다양한 시도가 소개되고 있다(김감영·이건학, 2016; 이건학·김감영, 2016). 특히 최근 서울시와 KT는 KT LTE의 촘촘한 기지국을 활용하면 행정동 단위 보다 세밀하게 인구 이동 현황을 들여다 볼 수 있는 장점을 활용

하여 LTE 신호를 분석하여 서울에서 생활하는 사람들의 특징을 분석하여 인구추계한 결과 서울의 생활 인구는 주민등록인구 보다 최대 200만명 이상 많으며 그 분포도 지역적 차이가 있음을 밝혔다는 보도자료<sup>2)</sup>가 발표되었다.

본 연구에서는 이제까지 데이터 및 분석기법의 부재로 연구되지 못했던 도시 인구분포의 변동성을 도시공간을 채우고 있는 모든 건축물 정보와 통행정보를 결합하여 분석하고자 한다. 먼저 2011년 서울시 건축물데이터베이스에서 특정지점에 위치한 건축물을 용도에 따라 주거, 업무, 상업활동용으로 구분하고, 지점별 버스과 지하철 승객들의 흐름을 산출하여 각 지점의 활동공간별 하루 시간축을 따라 머무는 인구수를 산출한다. 이를 위해 2011년 서울 대도시권의 1주일치 교통카드 자료를 활용하여 요일별로 하루의 시간축을 따라 1분단위로 각 버스정류장과 지하철역에 타고 내리는 승객수를 산출한다.<sup>3)</sup> 이러한 대용량데이터에서 효율적으로 필요한 정보를 추출하기 위해서는 적절하게 데이터마이닝 알고리즘 개발이 이루어져야 한다(박종수·이금숙, 2010; Goh *et al.*, 2014).

도시공간의 인구분포를 활동공간과 결합하여 시간축을 따라 변동성을 보이는 인구 분포의 시공간적 특징은 일반적인 통계적 분석으로는 분석하기가 매우 어렵다. 시각적 공간분석학은 공간분석 시스템 구현에 참조할 수 있는 중요한 방법론으로 활용될 것으로 기대되고 있다. 그러므로 최근 도시 연구에 다차원 시각화 방법을 적용하려는 시도가 소개되고 있다(Torrens, 2006; Torrens and Nara, 2013). 국내에서도 안재성·김화환(2008)은 구글 어스를 활용하여 개인의 일간 활동경로를 3차원적으로 시각화하여 활동패턴의 유사성을 분석하였다. 특히 김호성 외(2010)와 이금숙 외(2017)는 시간과 공간을 결합한 동적 시각화 방법으로 통행흐름의 시공간적 특성을 분석하는 방법론을 제시하고자 한다. 특히 본 연구에서는 시간축을 따라 변동을 보이는 통행흐름을

도시공간의 토지이용과 결합시켜 분석하기 위하여 앞서 소개된 도시 통행흐름의 3차원의 동적 시각화 방법(김호성 외, 2010; 이금숙 외, 2017)보다 확장된 4차원 시각화 방법을 고안한다. 이를 위하여 본 연구에서는 데이터마이닝으로 추출된 교통과 토지이용 정보를 자바프로그램을 이용하여 3차원의 공간과 시간을 결합한 4차원 시각화 방법을 고안하고, 이를 통하여 서울시 인구분포의 시공간적 특징을 분석한다. 4차원의 시공간상에 역동적으로 시각화하여 보여주면 공간정보, 토지이용 정보, 시간에 따른 통행흐름을 통합적으로 보여줄 수 있어 직관적인 분석이 가능한 뿐만 아니라 3차원 시각화에서 함께 표현할 수 없는 인구분포의 시공간적 특성을 보다 효과적으로 파악할 수 있다.

### 3. 서울시 실시간 인구분포의 4차원 시각화

서울의 토지이용 시공간이 결합된 동적 시각화를 위해서 먼저 서울시 교통카드/건축물 빅데이터의 전처리 후 위도와 경도 좌표를 이용하여 정류장(역)/건축물 위치시키고(그림 1의 <가>) grid화(크기: 경위도 0.0022°, 약 250m) 작업을 한다(그림 1의 <나>). 다음 구획된 셀(cell) 구간내에 위치한 지하철역과 버스 정류장에 타고 내리는 승객수 및 머무는 인구수<sup>4)</sup>를 산출한다.

서울시에 분포한 건축물(그림 2 <가>)은 다시 건물의 용도에 따라 거주용은 빨간색, 사무용은 녹색, 그리고 상업용은 파란색 계열로 나타내는데 셀별 건축물의 용도별 비율에 따라 기본색(빨간색, 녹색, 파란색)이 혼합된 색으로 표현된다(그림 2 <나>). 또한 색의 밝기로 건축물연면적 비율을 표현한다.

이러한 용도별 건축물의 분포와 서울 대중교통이용자의 요일별 하루 시간축을 따라 실시간 통행흐름

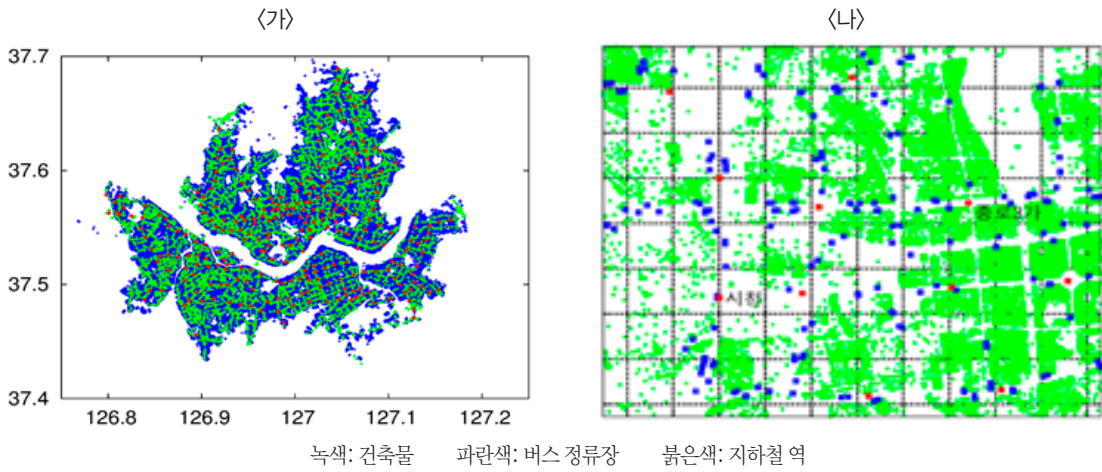
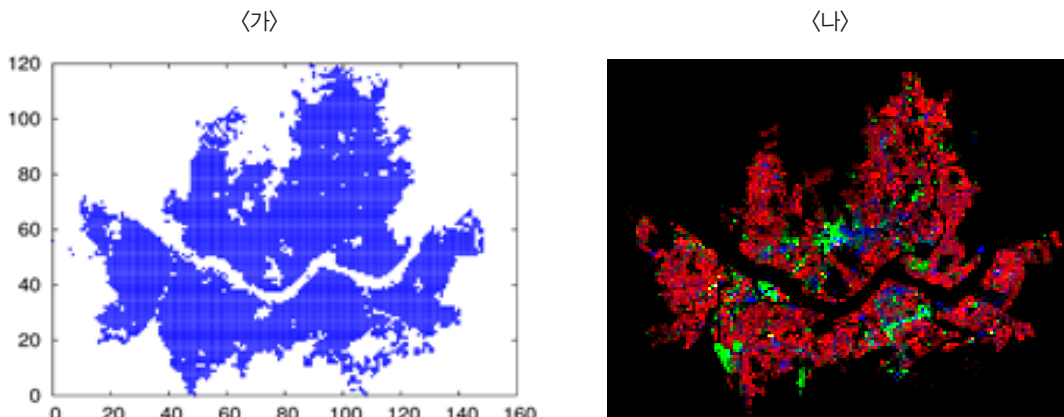


그림 1. 서울시 공간정보 위치도



거주용: 붉은색, 사무용: 녹색, 상업용: 파란색

그림 2. 활동공간별 건축물 분포

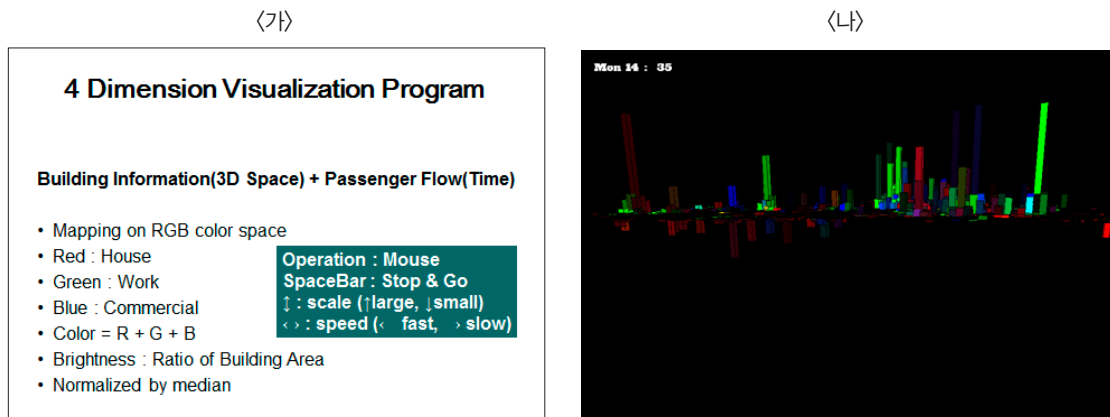


그림 3. 4차원 시각화 방법

을 결합하여 인구분포를 시공간적으로 분석하기 위하여 JAVA 프로그램을 이용하여 각 셀별 유입하여 머무는 인구수를 1분 간격으로 4차원으로 시각화한다. 4차원 시각화 방법은 <그림 3>과 같다.

그림 3의 <가>는 셀별 토지이용과 함께 대중교통을 이용하여 이동하여 머무는 인구수를 JAVA 프로그램으로 4차원 시각화 운용방법을 나타낸 것으로 마우스의 이동에 따라 3차원 공간의 시점을 바꿀 수 있어 자유롭게 원하는 지점의 유입·유출 및 머무는 인구수의 변화를 자세히 살펴볼 수 있다. 그림 3의 <나>는 이러한 방법으로 시각화한 월요일 14시 35분 서울시 인구분포의 스냅샷이다. 이 시점에 인구분포는 업무활동이 위치하고 있는 지점들에 많은 인구가 유입하여 머물고 있으며(상단 녹색부분), 반대로 주거용 건물들이 위치하고 있는 지점들(하단 빨간색부분)에서 인구 유출을 보이고 있다.

#### 4. 서울시 인구분포의 시공간적 특성 분석

도시거주자들은 그들의 일상생활을 영위하기 위하여 거주지와 일자리를 오가는 통근 및 통학흐름을 만들어낼 뿐 만 아니라, 쇼핑, 공공업무 및 사회활동, 그리고 여가 및 문화활동에 참여하기 위하여 다양한 통행흐름을 조성한다(Badoe and Miller, 2000). 그런데 통행목적에 따라 통행시간대 및 통행출발지와 목적지의 위치가 다르므로 하루 동안에도 시간대에 따라 통행흐름 및 인구분포의 공간적 분포양상은 변화하며, 요일에 따라서도 변동성을 보인다(이금숙 외, 2017).

<그림 4>는 시간대별 서울시의 인구분포의 스냅샷으로 요일과 하루의 시간대에 따른 활동공간과 결합된 인구분포의 변동성을 보여주고 있다. <그림 4>의 상단의 좌측은 화요일 오전 10시 4분, 우측은 월

요일 오후 4시 27분의 스냅샷으로 각기 평일 오전과 오후 활동공간과 결합된 인구분포를 보여주고 있다. 평일 주간 시간대에는 오전과 오후 모두 업무활동과 상업활동이 집중 입지하고 있는 도심, 강남, 여의도, 가산디지털단지 등의 지역에 많은 인구가 집중 유입되어 머문다. 하지만 오후 시간대에는 업무활동과 상업활동이 위치한 지점들에서 인구 유출이 일어나고 일부 주거지 및 상업활동이 위치한 지점들로 유입되는 양상을 보인다. <그림 4>의 하단은 평일과 주말 점심시간대의 인구분포를 보여주고 있다. 하단 좌측은 월요일 12시 2분의 인구분포 스냅샷으로 도심, 강남, 여의도 및 가산디지털단지 부근 등의 업무활동 및 상업활동이 위치한 지점들에 많은 인구가 유입되어 머물고 있음을 알 수 있다. 반면 하단 우측은 같은 시간대 일요일 인구분포로 도시 전반적으로 인구의 유출과 유입이 적으며 도심과 강남의 상업활동 및 업무활동이 위치하고 있는 일부 지역에 다소 인구가 유입되어 머물고 있음을 보여준다.

이처럼 서울시 인구분포는 활동공간의 분포와 직접적으로 결부되어 있으므로 토지이용 상태별로 요일별 하루 시간축을 따라 변동하는 인구분포를 분석해 보았다(<그림 5>). <그림 5>의 (가), (나), (다)는 각기 주거용, 업무용, 상업용 건축물이 70% 이상 차지하는 지역의 분포와 요일별 하루 시간축을 따라 통행지수<sup>5)</sup>를 나타낸 것이다. <그림 5>의 (가)는 주거용 건축물이 70% 이상 차지하는 지역으로 서울 전역에 걸쳐 분포하고 있으며 이러한 지역들의 통행지수는 주중 오전 8시를 전후하여 급증하여 낮 시간 동안 지속적으로 조금씩 증가하다가 저녁 7시를 전후하여 서서히 감소한다. 반면 토요일과 일요일은 통행지수 자체가 크게 줄어들며 오전부터 서서히 증가하여 오후 3시 즈음에 정점에 달한 후 다시 늦은 밤까지 서서히 감소하는 양상을 보인다. <그림 5>의 (나)는 업무용 건축물이 70% 이상인 지역의 경우로 도심과 여의도 가산디지털 단지 및 강남CBD 지역 등과 대학 등 학교 건축물이 위치한 지역들로서 주중 업무시간



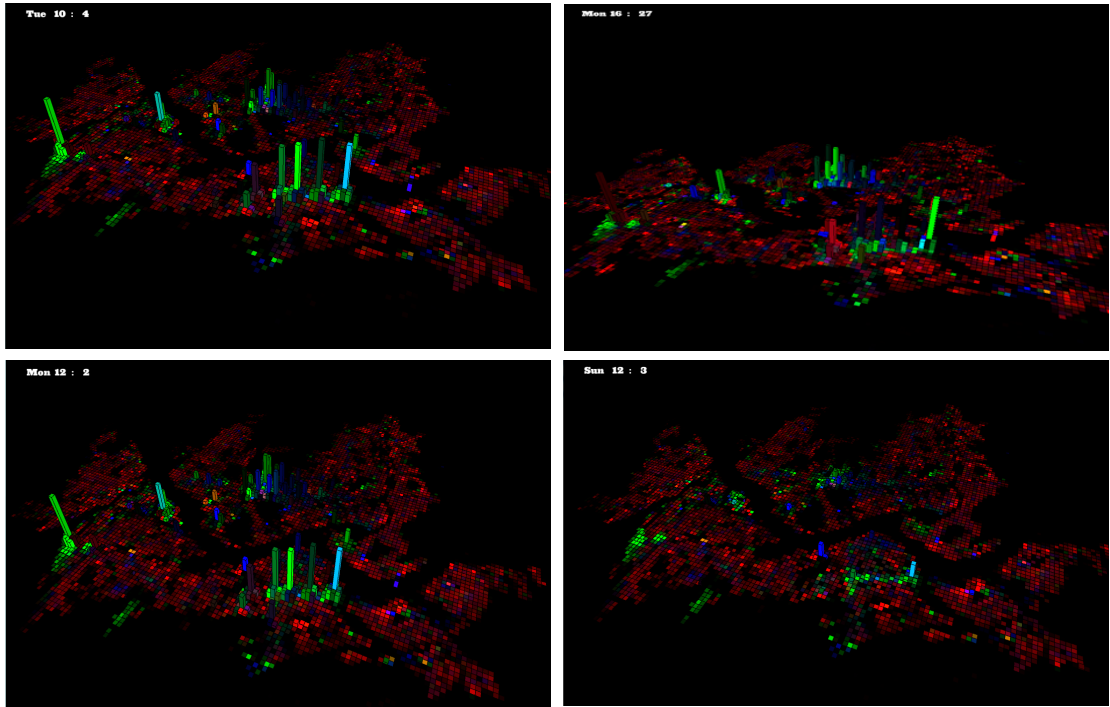


그림 4. 시간에 따른 활동공간별 인구분포의 변동성

대인 9시 전후부터 오후 6시 전후 까지 통행자수가 매우 많으며 주말에도 통행자수가 (가)의 경우 보다는 많지만 주중에 비하여 현격하게 줄어드는 양상을 보인다. <그림 5>의 (다)는 상업용 건축물이 70% 이상을 차지하는 지역으로 전반적인 분포는 (나)와 인접 분포하고 있다. 그러나 (가)와 (나)의 경우와 달리 통행자수는 주중과 주말 간의 차이가 크지 않으며 토요일 오후에서 저녁 시간대에는 주중보다 주말에 오히려 더 많은 통행자수가 나타난다. 또한 주중에 저녁 8시에서 9시 사이 통행자수가 다소 늘어나며 금요일 밤에는 그 양상이 더욱 뚜렷하게 나타나고 있다.

<그림 5>의 (라)는 상업용과 업무용 건축물이 각기 40%이상 차지하는 지역으로 주로 도심, 강남, 여의도 등 CBD지역에 분포하며 통행자수의 변동성도 (나)의 업무용 건축물 집중지역과 (다)의 상업용 건

축물 집중지의 경우가 결합된 양상을 보인다. <그림 5>의 (마)는 상업용 건축물이 40%, 주거용 건축물이 40% 혼재되어 있는 경우로 주거지역 분포와 유사하게 서울 전역에 분산 분포하며 통행자수의 변동성의 전반적인 양상은 (가)의 경우와 유사하나 주중과 주말의 격차가 훨씬 약화된 양상을 나타낸다. 특히 주말 중 토요일과 일요일의 차이가 크게 줄어들고 늦은 밤까지도 초저녁의 통행자수와 큰 차이를 보이지 않는다. <그림 5>의 (바)는 업무용 건축물이 40%, 그리고 주거용 건축물이 40% 혼재되어 있는 경우로 공간적인 분포와 통행자수 변동성에서 특징적이다. 분포 지역은 전반적으로 대학 등 학교용 건축물이 주변지역들이며 주중 통행자수가 특히 오전 9시 오후 7시를 전후하여 집중 분포하여 정점을 이루며 주말에는 오전에는 미미하다가 점심이후 오후 시간대에 크게 증가하여 저녁까지 완만히 감소하는 양상을 보인다.

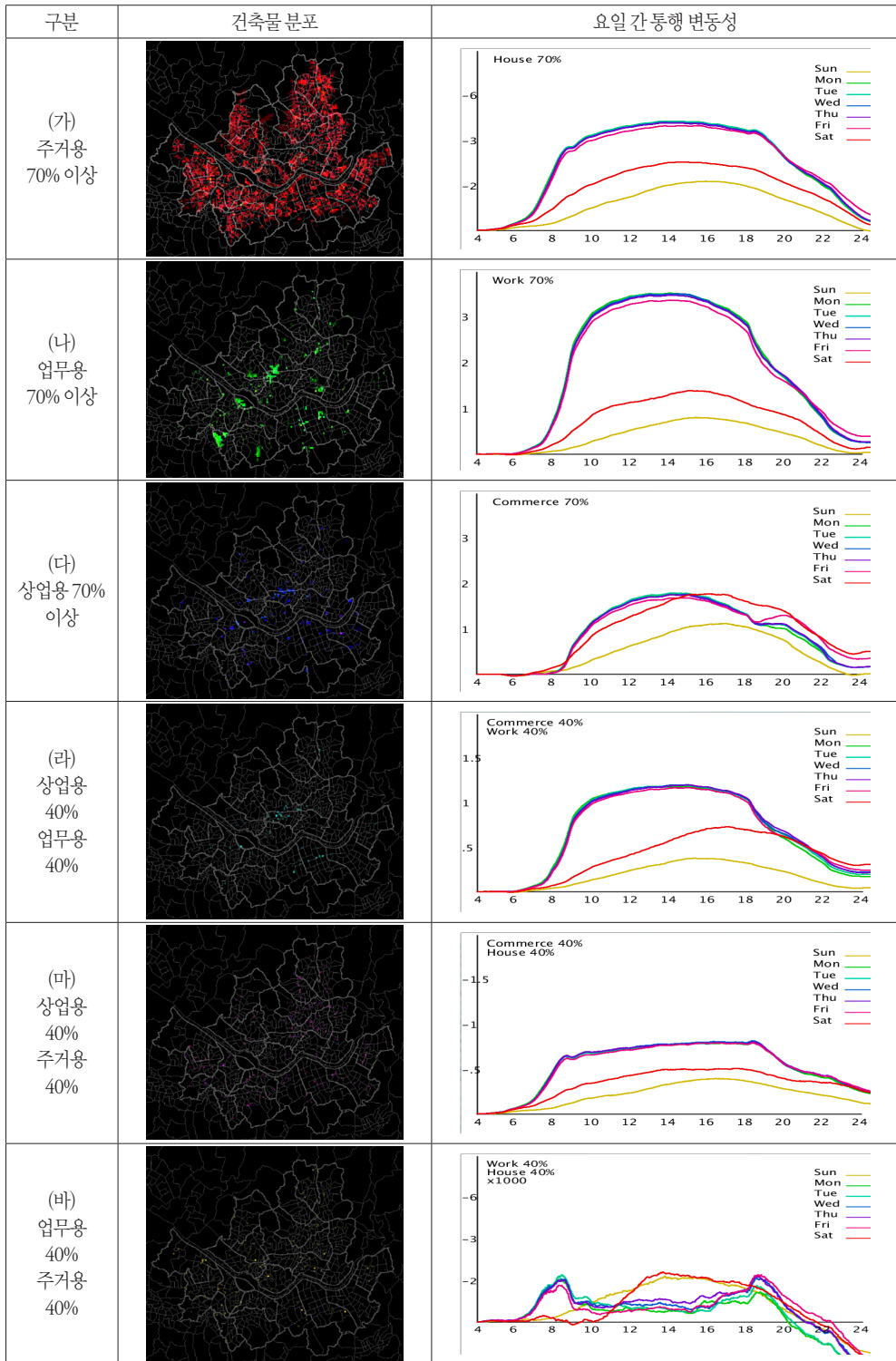


그림 5. 토지이용과 인구분포 변동성

특히 특징적인 점은 이러한 토지이용 지역에서는 요일 간 시작하는 시간대에 다소 차이가 있을 뿐 밤 시간대에는 빠져 나가는 통행자수가 다수를 이룬다. 이처럼 토지이용의 상태에 따라 요일별 하루의 시간축을 따라 통행자수에 차이를 보이며 서울의 인구분포는 시공간적 변동성은 형성하게 된다.

## 5. 결론

도시공간에서 인구분포는 하루의 시간축을 따라 통행흐름의 변화와 함께 변동성을 보인다. 이러한 통행흐름은 도시민들이 하루 일과가 진행되면서 그들의 활동과 관련된 시설물이 입지한 지점으로 장소이동의 결과물이므로 도시민의 활동과 관련 시설물의 분포에 영향을 받는다. 따라서 도시 인구분포의 시공간적 특성은 도시민의 일상생활과 관련된 활동공간의 분포와 그 활동을 방문하는 통행흐름을 결합한 분석이 필요하다.

본 연구에서는 토지이용과 통행흐름에 대한 정보가 풍부한 서울시를 대상으로 건축물데이터베이스와 교통카드데이터베이스를 활용하여 하루 및 요일별 시간축을 따라 변동성을 보이는 도시공간의 인구분포를 분석하였다. 특히 일반적인 통계적 기법으로는 파악하기 어려운 시공간적 분석을 위하여 자바프로그램을 이용하여 시간과 공간을 결합한 4차원 시각화 방법을 고안하였다. 이러한 4차원의 시공간상에 역동적으로 시각화하여 보여주면 직관적인 분석이 가능할 뿐만 아니라 인구분포의 시공간적 특성을 보다 효과적으로 파악할 수 있다.

이를 위하여 2011년 서울시의 건축물데이터베이스에서 각 지점에 위치한 건축물을 용도에 따라 주거, 업무, 상업 활동으로 구분하고, 일주일치 교통카드데이터베이스에서 1분 단위로 각 지점의 버스와 지하철로 오가는 승객수를 산출하였다. 이를 2차원

의 토지이용에 3차원으로 각 시점의 통행자수를 나타내고 4차원의 시간축을 따라 동적으로 변화하도록 4차원으로 시각화하여 교통과 토지이용을 결합하여 서울시 인구분포의 시공간적 특징을 분석하였다. 그 결과로 서울의 통행자수는 토지이용에 따라 뚜렷한 시공간적 특성을 보임을 파악할 수 있었다. 결과적으로 토지이용의 상태에 따라 요일별 하루의 시간축을 따라 통행자수에 차이를 보이며 서울의 인구분포는 시공간적 변동성을 확인할 수 있었다. 특히 업무활동, 상업활동, 주거활동의 분포 및 혼합 양상에 따라 각 요일별로 하루 시간축을 따라 통행자수 분포 양상에 뚜렷한 차이가 있음을 확인할 수 있었다.

이처럼 한 도시 인구분포는 시설물의 입지에 영향을 미치며 역으로 시설물의 입지는 인구분포를 좌우한다. 따라서 도시의 통행흐름이나 인구분포는 토지이용과 결합하여 분석되어야 하며, 특히 토지이용 상태에 따른 인구분포의 시공간적 변동성이 고려되어야 한다. 그러므로 교통과 토지이용 정보를 결합하여 4차원으로 시각화하여 인구분포의 시공간적 특징을 분석하는 본 연구방법은 도시 시설의 입지계획과 교통계획 수립에 새로운 지평을 제공하게 될 것이며 재해 예방 대책이나 피해 규모 산정 등에도 유용하게 활용될 수 있을 것이다.

서울대도시권 교통카드에는 하루 16,000,000건 이상의 거래내역이 담겨 있으며, 대중교통체계로 이동하는 승객수가 주중에는 평균적으로 8백 8십만명 이상이며 주말에도 평균 6백 4십만명 이상이다. 따라서 본 연구에서는 교통카드 분석 결과를 서울시 통행흐름을 대변한다고 상정하였다. 하지만 본 연구에서 사용한 교통카드 데이터는 자동차, 도보, 자전거 등을 통한 통행은 담고 있지 않다. 따라서 현재의 분석 결과는 대중교통 이외의 통행수단으로 이동하는 인구는 고려치 못한 한계를 지닐 수밖에 없다. 앞으로 서울시 전체 이동통신 이용자의 위치정보데이터를 활용하여 분석한다면 이러한 한계는 좀 더 극복될 수 있을 것으로 기대한다.

## 주

- 1) 2011년 서울시 건축물데이터베이스
- 2) “서울 실제 생활인구는 주민등록 인구보다 200만 많다,” 2018, <http://news.naver.com>(2018년 3월 4일자).
- 3) 구체적인 알고리즘은 이금숙 외(2017)을 참고하기 바람.
- 4) 교통카드데이터는 개개 통행자 ID별 타고 내린 시공간 정보를 담고 있는 trajectory data이므로 특정 지점에 내린 후 그 곳에 머무는 안구수를 산출할 수 있다.
- 5) 각 셀의 용도별 건축물의 비율이 70% 이상인 지역의 하루 시간대별 통행자수를 산출한 것으로 y축의 값은 (바)를 제외 하고는  $10^5$ 을 나타낸다(는 윗줄을 표시함).

## 사사

본 논문에 사용된 서울시 건축물 자료와 교통 자료의 기초 작업을 해 주신 고세건 박사(Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf, Germany)께 감사드립니다.

## 참고문헌

- 김감영·이건학, 2016, “이동통신 빅데이터를 이용한 현재 인구 추정과 개선 방안 연구,” 한국도시지리학회지 19(2), pp.181-196.
- 김병선·주자용·최진무, 2010, “Regression-Kriging 모형을 이용한 인구분포 추정에 관한 연구,” 대한지리학회지 45(6), pp.806-819.
- 김호성·박종수·이금숙, 2010, “서울 수도권 지하철 교통 승객 흐름의 시각화,” 한국콘텐츠학회논문지 10(4), pp.397-405.
- 박종수·이금숙, 2007, “대용량 교통카드 트랜잭션 데이터베이스에서 통행패턴 탐사와 통행행태 분석,” 한국경제지리학회지 10(1), pp.44-63.
- 박종수·이금숙, 2010, “서울 수도권 지하철 교통망에서 승객흐름의 분석,” 정보과학회지: 컴퓨팅의 실제 및 레터, 지리정보시스템 분야 16(3), pp.316-323.
- 박종수·이금숙, 2011, “Pickup Point 최적입지선정을 위한 Greedy Heuristic Algorithm 개발 및 적용: 서울 대도시권 지하철 시스템을 대상으로,” 한국경제지리학회지 14(2), pp.116-128.
- 안재성·김화환, 2008, “시공간 활동패턴의 탐색적 분석: 시각적 공간분석학 접근법을 중심으로,” 지리학연구 42(1), pp.117-124.
- 이건학·김감영, 2016, “공간통계 기법을 이용한 현주인구 추정 모델링,” 한국지도학회지 16(2), pp.71-93.
- 이금숙·김호성·박종수, 2017, “서울 대도시권 지하철 통행흐름의 요일 간 변이성 분석: 동적 시각화 방법을 토대로,” 한국경제지리학회지 20(2), pp.158-172.
- 이금숙·김호성·이수영, 2015, “미디어 이용자의 활동공간 시·공간 정보를 활용한 서울의 실시간 인구분포 분석,” 한국경제지리학회지 18(1), pp.87-102.
- 이금숙·박종수, 2006, “서울시 대중교통 이용자의 통행패턴 분석,” 한국경제지리학회지 9(3), pp.379-395.
- 이금숙·홍지연·민희화·박종수, 2007, “수도권 지하철망 상 통행 흐름의 위상학적 구조와 토지이용의 관계,” 한국경제지리학회지 10(4), pp.427-443.
- 이금숙·박종수·김호성·조창현, 2010, “수도권 광역도시 철도 하루 시간대별 이용 빈도에 의해 구분된 역 집단과 통행자의 통행 연쇄 패턴 간 관계,” 대한지리학회지 45(5), pp.592-608.
- 조창현, 2013, 도시 일상생활 연구의 시공간적 접근, 서울: 푸른길, pp.104-115.
- Anas, A. and Duann, L. S., 1986, “Dynamic forecasting of travel demand, residence location, and land development: policy simulations with the Chicago area transportation/land use analysis system,” in Hutchinson, B. G. and Batty, M. (eds.), *Advances in urban Systems Modelling*, North-Holland: Amsterdam, pp.299-322.
- Badoe, D. A. and Miller, E., 2000, “Transportation-land-use interaction: empirical findings in North America, and their implications for modeling,” *Transportation Research Part D* 5, pp.235-263.
- Boarnet, M. and Crane, R., 2001, “The influence of land use on travel behavior: specification and estimation

- strategies,” *Transportation Research Part A* 35, pp. 823-845.
- Chen, K., 2002, “An approach to linking remotely sensed data and areal census data,” *International Journal of Remote Sensing* 23, pp.37-48.
- Chen, C., Chen, J. and Barry, J., 2009, “Diurnal pattern of transit ridership: a case study of the New York City subway system,” *Journal of Transport Geography* 17, pp.176-186.
- Chen, C. and McKnight, C., 2007, “Does the built environment make a difference? Additional evidence from the daily activity and travel behavior of homemakers living in NYC and suburbs,” *Journal of Transport Geography* 15(5), pp.380-395.
- Deville, P., Linard, C., Martin, S., Gilbert, M., Stevens, F., Gaughan, A., Blondela, V. and Tatem, A., 2014, “Dynamic population mapping using mobile phone data,” *Proceedings of the National Academy of Science* 111(45), pp.15888-15893.
- Dong, L., Chen, S., Cheng, Y., Wu, Z., Li, C. and Wu, H., 2017, “Measuring economic activity in China with mobile big data,” *EPJ Data Science*, DOI 10.1140/epjds/s13688-017-0125-5.
- Donnay, J. P. and Unwin, D., 2001, *Modelling Geographical Distributions in Urban Areas, Remote Sensing and Urban Analysis*, Taylor and Francis: New York, pp. 205-224.
- Douglass, R., Meyer, D., Ram, M., Rideout, D. and Song, D., 2015, “High resolution population estimates from telecommunication data,” *EPJ Data Science* 4(1), pp.1-13.
- Goh, S., Choi, M. Y., Lee, K. and Kim, K., 2016, “How complexity emerges in urban systems: Theory of urban morphology,” *PHYSICAL REVIEW E* 93, 052309-1-12.
- Goh, S., Lee, K., Park, J.S. and Choi, M.Y., 2012, “Modification of the gravity model and application to the metropolitan Seoul subway system,” *Phys. Rev. E*, 86, 026102.
- Golob, T. F., 2000, “A simultaneous model of household activity participation and trip chain generation,” *Transportation Research Part B: Methodological* 34(5), pp.355-376.
- Goodchild, M.F., Klinkenberg, B. and Janelle, D.G., 1993, “A factorial model of aggregate spatio-temporal behavior: application to the diurnal cycle,” *Geographical Analysis* 25(4), pp.277-294.
- Hägerstrand, T., 1970. “What about people in regional science?,” *Papers in Regional Science Association* 24, pp. 7-24.
- Harvey, J. T., 2002, “Estimating census district populations from satellite imagery: Some approaches and limitations,” *International Journal of Remote Sensing* 23, pp.2071-2095.
- Janelle, D. and Goodchild, M. F., 1983, “Diurnal patterns of social group distributions in a Canadian City,” *Economic Geography* 59(4), pp.403-425.
- Janelle, D.G., Klinkenberg, B. and Goodchild, M. F., 1998, “The temporal ordering of urban space and daily activity patterns for population role groups,” *Geographical Systems* 5, pp.117-137.
- Lee, K., Jung, W.-S., Park, J. S. and Choi, M. Y., 2008, “Statistical analysis of the metropolitan Seoul Subway System: Network structure and passenger flows,” *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications* 387, pp.6231-6234.
- Lee, K., Park, J. S., Choi, H., Choi, M. Y. and Jung, W.S., 2010, “Sleepless in Seoul: ‘The ant and the metro-hopper’,” *Journal of the Korean Physical Society* 57(4), pp.823-825.
- Lee, K., Song, Y., Park, J. S. and Anderson, W. P., 2012, “Relationship between Diurnal Patterns of Transit Ridership and Land Use in the Metropolitan Seoul Area,” *Journal of the Economic Geographical Society of Korea* 15(1), pp.26-41.
- Liu, X. H., Kyriakidis, P. C. and Goodchild, M. F., 2008, “Population-density estimation using regression and area-to-point residual kriging,” *International Journal of Geographical Information Science* 22(4), pp.431-447.

- Lo, C. P., 1995, "Automated population and dwelling unit estimation from high-resolution satellite images: A GIS approach," *International Journal of Remote Sensing* 16(1), pp.17-34.
- Thrift, N., 1977, "An introduction to time-geography," *Geo Abstracts*, University of East Anglia, pp.1-37.
- Torrens, P. M. and Nara, A., 2013, "Polyspatial agents for multi-scale urban simulation and regional policy analysis," *Regional Science Policy and Practice* 44(4), pp.419-445.
- Torrens, P. M., 2006, "Simulating sprawl," *Annals of the Association of American Geographers* 96(2), pp.248-275.
- Verhein, F. and Chawla, S., 2008, "Mining spatio-temporal patterns in object mobility databases," *Data Mining and Knowledge Discovery* 16, pp.5-38.
- Zandvliet, R. and Dijst, M., 2006, "Short-term dynamics in the use of places: a space-time typology of visitor populations in the Netherlands," *Urban Studies* 43(7), pp.1159-1176.
- 교신: 이금숙, 02844, 서울특별시 성북구 보문로34다길 2, 성신여자대학교 지리학과, 전화: 02-920-7138, 이메일: kslee@sungshin.ac.kr
- Correspondence: Keumsook Lee, Department of Geography, Sungshin Women's University, 2 Bomun-ro 34da-gil, Seongbuk-gu, Seoul 02844, Korea, Tel: 82-2-920-7138, E-mail: kslee@sungshin.ac.kr
- 최초투고일 2018년 2월 20일  
수 정 일 2018년 3월 5일  
최종접수일 2018년 3월 16일