



대중교통 빅데이터를 활용한 도시활동 및 공간구조 변화 모니터링에 관한 연구*

- 서울시 스마트카드 자료의 활용과 위세중심성 지표를 중심으로 -

A Study on the Monitoring of Urban Activity and Spatial Structure Changes using Public Transportation Big Data

- Based on the Smart Card Data and the Prestige Centrality Index in Seoul, Korea -

하재현** · 이수기***
Ha, Jaehyun · Lee, Sugie

Abstract

This study examines the changes of urban activities and spatial structure using the smart card data recorded in March, 2011 and October, 2014. First, this study identified working trips and non-working trips from the smart card data since the data does not include trip purposes. Second, we investigated the correlation of the origin-destination matrix and the centrality index between weekdays and weekends. In this process, we applied a 1km×1km grid unit because the administrative units were not appropriate for analyzing the smart card data. Third, we analyzed the degree of polycentricity and its dynamic changes from 2011 to 2014 in Seoul based on working trips and non-working trips. Lastly, we examined the determinant factors of the degree of centrality and its dynamic changes over time. The results confirmed that there has been changes in travel pattern and the spatial structure between 2011 and 2014. Moreover, the results indicated that the spatial structure of Seoul has been transformed towards polycentricity since 2011. In addition, the prestige centrality and its increase were associated with large-scale department stores or commercial complex facilities. The findings of this study indicate that large-scale commercial and business facilities and public transportation infrastructures are highly associated with the degree of prestige centrality and its changes.

키 워 드 ■ 빅데이터, 스마트카드 자료, 중심성, 공간구조, 도시활동 모니터링
Keywords ■ Big Data, Smart Card Data, Centrality, Spatial Structure, Urban Activity Monitoring

I. 서 론

서울시는 지난 10여 년간 도시의 공간구조가 다핵화되면서 도시의 통근권역이 광역화되었으며, 직장과 주거지가 분산되는 변화를 경험하였다. 더 나

아가, 서울시는 일부지역에 한해 대중교통시설을 추가적으로 공급하였으며, 도시기본계획을 통해 서울시가 지향해야 할 중심지 체계를 마련하였다. 비교적 최근에는, 국지적으로 발생하는 젠트리피케이션 현상이 야기하는 부정적인 측면에 대응하는 노력이

* 이 논문은 2015년 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구(한국연구재단-NRF2015H1A2A1034449-글로벌박사양성사업)이며, 2016년 10월 대한국토·도시계획학회 추계학술대회에서 발표한 내용을 수정·보완한 것임.

** Dept. of Urban Planning & Engineering, Hanyang University

*** Dept. of Urban Planning & Engineering, Hanyang University (Corresponding author: sugielee@hanyang.ac.kr)

새로운 도시 현안으로 부상하고 있다. 이처럼, 도시의 변화가 가속화됨에 따라 그 변화가 불러올 수 있는 부정적인 측면을 예견하는 것이 중요해졌다.

실제로, 서울시는 젠트리피케이션 현상을 뒤늦게 확인하여 이에 적절히 대응하는데 어려움을 겪고 있으며, 도시정책을 집행하는데 있어서도 비교적 최근에 신설한 분당선, 신분당선, 9호선의 수요 예측이 실패하였다는 비난을 받기도 하였다. 그러나 국지적으로 또는 빠른 속도로 나타나는 도시의 변화가 수반하는 새로운 문제를 예상하는 것은 거의 불가능에 가까우며, 기존의 수요예측방법으로는 복잡한 도시의 활동을 대처하기에는 한계가 있다. 이에 따라, 광역적인 측면에서는 도시의 공간구조가 어떤 방향으로 진화하고 있는지를 확인하고, 더 나아가 국지적으로 발생하는 도시의 활동변화를 감지할 필요성에 대한 인식이 증가하고 있다.

최근에는 지역별 통신량, 대중교통 이용내역, 카드 소비내역과 같은 빅데이터 자료가 도시민들의 일상적인 활동에 대한 기록이 수집되기 때문에, 이를 활용하여 도시문제에 효과적으로 대응할 수 있는 방법에 대한 관심이 높아지고 있다. 예를 들어, 기존에는 도시민의 전반적인 통행행태를 파악하기 위해 4~5년마다 조사되는 가구통행실태조사자료를 이용하였다면, 최근에는 도시민들의 대중교통 이용행태를 실시간으로 수집한 스마트카드 자료가 그 역할을 대신할 수 있을 것으로 주목받고 있다.

이러한 측면에서 본 연구는 도시활동을 통해 생성되는 스마트카드 자료를 활용하여 도시활동 및 도시의 공간구조를 모니터링할 수 있는지 살펴본다. 또한, 스마트카드 자료를 통해 확인한 도시의 공간구조가 실제 토지이용 변화 및 교통시설 인프라의 증감과 연관성을 가지는지 확인하고자 한다. 이를 통해, 스마트카드 자료가 미시적인 교통특성 분석뿐만 아니라 도시의 중심지 체계 및 도시공간구조를 연구할 수 있는지 살펴본다.

구체적으로, 2011년 3월과 2014년 10월에 기록된 일주일 분량의 스마트카드 자료를 활용하여, 도시 활동 및 공간구조의 변화를 분석하고, 확인되는 변화내용을 중심으로 실제 사례를 이용해 설명하고자 한다. 더 나아가, 지역의 위세중심성 및 변화가 용도지역 규모별 연면적 및 교통시설 인프라와 가지는 연관성을 확인하고자 한다. 이를 통해, 향후 스마트카드 자료를 이용하여 도시활동과 공간구조의 변화를 모니터링할 수 있는 분석방법론과 효과, 그리고 정책적 시사점을 도출한다.

II. 관련선행연구

1. 스마트카드 자료의 활용가능성

본 연구에서는 비교적 최근에 활용가능해진 스마트카드 자료를 사용하며, 본 절에서는 스마트카드 자료를 이용한 연구를 중심으로 선행연구를 고찰한다. 도시민들의 대중교통 이용기록을 수집한 스마트카드 자료는 도시에서 생성되는 대표적인 빅데이터로서 다양한 측면에서 많은 연구가 진행되었다 (하재현·이수기, 2016; 김관호 외, 2013; 김지윤 외, 2015; 한상욱 외, 2015; Zhong et al., 2014). 기존에 도시민들의 통행패턴을 확인하기 위해 이용된 가구통행실태조사자료의 경우, 4~5년마다 수집되는 한계가 있는 반면, 스마트카드 자료는 실시간으로 자료의 수집이 이루어지기 때문에 도시민들의 통행패턴을 실시간으로 파악하는데 용이하다. 그러나 스마트카드 자료의 경우, 대중교통 수단을 이용한 통행자료만을 포함한다는 점에서 한계가 있다. 그럼에도 불구하고, 수도권은 대중교통 수단의존성이 높기 때문에 스마트카드 자료는 도시공간구조 분석에 활용이 가능하다고 판단된다. 이와 관련하여 하재현·이수기(2016)는 스마트카드 자료를 이용하여 구축

한 기종점 OD자료의 활용가능성과 이를 활용하여 도시의 통행네트워크 구조를 파악할 수 있음을 보고하였다. 더 나아가, 이들은 스마트카드 자료를 사 용함에 있어서 공간단위의 설정이 중요함을 보였다.

Zhong et al. (2014)는 싱가포르의 3개년 스마트 카드 자료와 커뮤니티 디텍션 분석 및 네트워크 분석을 활용하여, 싱가포르의 공간구조가 시간의 흐름 에 따라 어떻게 변화하였는지를 확인하였다. Zhong et al. (2014)은 싱가포르에서 새롭게 형성 또는 소 멸된 생활권을 파악하였으며, 더 나아가 싱가포르의 공간구조가 다핵화되고 있음을 보였다. 한편, 후속 연구로서 Zhong et al. (2015)은 싱가포르의 스마트카드 자료를 활용하여, 대중교통 이용행태가 시간 대별 및 요일별로 어떠한 차이를 보이는지 살펴보 았다. 이들은 분석결과를 바탕으로, 요일별로 공간 적인 연계성에 차이가 있음을 밝혔으며, 스마트카드 자료를 활용함으로써 도시민들의 다양한 일상생활 행태와 도시의 구조를 이해할 수 있음을 보였다.

이처럼, 스마트카드 자료를 이용하여 도시민들의 활동을 파악하고, 시계열적으로 변하는 특징을 확인 할 수 있다. 본 연구에서는 이러한 스마트카드 자료의 잠재력 측면에서, 스마트카드 자료를 통해 도 시활동과 도시공간구조의 변화를 살펴보고자 한다.

2. 통행자료를 활용한 도시활동 및 공간 구조 분석

다양한 목적을 위한 도시민들의 통행은 도시분야 연구에서 중요한 자료로 이용되어왔다. 본 절에서는 통행자료만을 이용하여 도시 활동 및 공간구조 분석에 어떻게 이용될 수 있는지에 대해 살펴본다.

광역적인 공간단위에서 통행자료를 이용하는 경 우, 도시민들의 통행을 지역 간의 기능적인 (functional) 상호작용으로 보고, 도시공간구조를 분

석하는 것이 대표적이다. 우선, 도시민들의 통행자료를 이용하는 경우, 기존 연구에서는 네트워크 분석을 통해 위세중심성 지표를 산출하여 활용하고 있다. 위세중심성의 경우, 특정한 결절점이 네트워크의 전체적인 구조에서 전략적으로 주요한 자리에 위치하는 것을 의미하며(박경철·좌승희, 2009), 이를 통해 도시의 공간구조를 분석할 수 있다. 실제로, 기존연구에서는 가구통행실태조사자료를 이용하여 위세중심성을 산출하고 통근네트워크 구조의 변화를 분석하였다 (이희연·김홍주, 2006).

한편, 지역별 중심성의 분포를 바탕으로 전반적인 도시공간구조를 파악할 수 있다. 지역별 위세중심성 값과 그 순위의 분포를 통해, 일부 지역에서 만 높은 위세중심성 값이 관찰되는 경우, 지역이 전반적으로 단핵구조 것으로 생각해볼 수 있다. 반대로, 다수의 지역에서 높은 위세중심성 값이 확인 되는 경우, 지역이 상대적으로 다핵인 것으로 판단 할 수 있다 (Spiekermann & Wegener, 2004).

지역별 위세중심성 지표를 산출하여 시계열적으로 살펴봄으로써 지역의 위계가 시간의 흐름에 따라 증가 또는 감소하였는지를 파악할 수 있다. 앞서 언급하였듯이, 위세중심성 지표는 네트워크 분석을 통해 도출할 수 있으며, 이 값이 증가한 경우가 지역을 이용하는 인구가 다른 지역에 비해 상대적으로 높음을 의미한다. 이는 특정지역의 위계가 상승 또는 주변지역의 위계가 감소했음을 의미한다. 그러나 공간적인 위계의 경우 상대적인 개념이 중요하므로, 이를 통해 지역 전반의 위계변화를 파악 하는데 중요하게 작동할 수 있다.

3. 연구의 차별성

본 연구가 가지는 차별성은 다음과 같이 정리할 수 있다. 첫째, 본 연구는 스마트카드 자료를 이용하여 통근과 비통근 활동을 구분하고, 이를 바탕으

로 도시의 공간구조를 분석하였다. 특히, 지역 간의 통행행태를 중심으로 도시의 공간구조를 파악하는 방법은 통행의 목적에 따라 분석하는 것이 중요하다. 이를 바탕으로 2011년 3월과 2014년 10월 사이의 도시활동 및 공간구조 변화가 통행목적에 따라 어떠한 차이를 보이는지 분석할 수 있다.

둘째, 본 연구는 스마트카드 자료를 이용하여 도출한 도시공간구조가 실제 토지이용 및 대중교통 시설 변화와 연관성을 보이는지 확인하였다. 실제로, 도시공간구조는 토지이용 및 교통의 변화와 밀접한 연관성이 있기 때문에, 스마트카드 자료를 통해 분석한 공간구조가 실제의 시설변화와 관련이 있는지 확인하고자 하였다. 나아가, 토지이용의 경우 상업 및 업무시설의 규모특성을 고려하여, 토지이용 변화가 공간구조에 미치는 영향이 규모에 따라 상이한지 분석하였다.

셋째, 본 연구는 상관분석을 통해 도시활동 및 공간구조의 변화가 통계적으로 유의미한지 확인하였다. 통행자료를 이용하여 도시공간구조의 변화를 설명하고 있는 기존연구의 경우, 통계적인 분석이 부재하여 변화를 객관적으로 확인하는 데 한계가 있다. 이 과정을 통해 도시활동 및 공간구조의 시점 간 차이를 통계적으로 확인하고, 그 원인에 대한 시사점을 도출할 수 있다.

III. 분석자료 및 분석방법

1. 분석자료 및 공간단위 설정

본 연구는 2011년 3월과 2014년 10월에 각각 기록된 일주일 분량의 스마트카드 자료를 활용하며, 분석 대상지는 서울시로 한다. 서울시의 경우, 서울시 외부에서 서울시 내로 이루어지는 통행이 많기 때문에 주변지역과 연계된 분석이 필요하다. 그러나

스마트카드 자료의 경우 자료구득의 한계가 있어, 본 연구는 서울시로 공간적 범위를 제한하였으며, 스마트카드 이용기록 중 출발지와 도착지가 모두 서울시인 경우만 추출하였다.

분석의 공간단위는 1km×1km의 격자이며, 격자를 분석단위로 선택한 이유는 다음과 같다. 우선, 스마트카드 자료 특성상 출발지와 도착지가 지하철역 또는 버스정류장으로 되어 있다. 그러나 지하철역과 버스정류장은 대부분 행정동 경계에 위치하여, 행정동을 공간단위로 하기에 적합하지 않다. 또한, 서울시 424개 행정동 중 214개 행정동에는 지하철역이 위치하지 않아 스마트카드 자료를 활용하는 경우, 행정동은 공간단위로 타당하지 않다. 그림 1은 버스정류장과 지하철역의 위치에 대한 예시이며, 대부분의 정류장이 행정동 경계에 위치한 것을 알 수 있다. 한편, 그림 2는 본 연구에서 활용한 분석의 공간단위이며, 총 544개의 1km×1km 격자이다.

다음은 격자의 크기와 관련하여 1km×1km 격자를 설정한 이유이다. 본 연구에서는 도시의 공간구조를 분석하고자 분석에 활용될 격자의 수가 공간

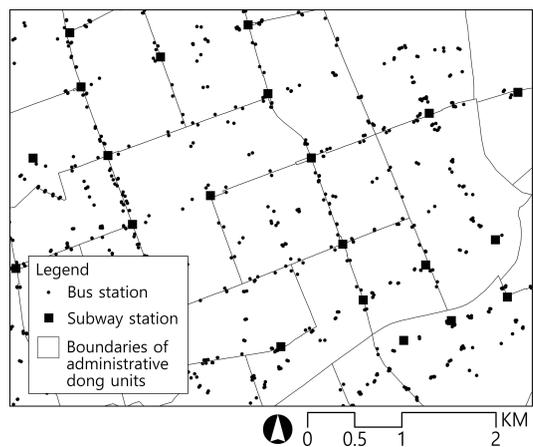


그림 1. 버스정류장 및 지하철역 위치 (역삼2동 일대 예시)

Figure 1. Locations of bus and subway stations (Case of Yeoksam 2 dong area)

구조를 이해하는데 적합하며, 서울시 내 행정동 수와 유사해야 분석결과를 이해하는데 적합하다고 판단하였다. 또한, 서울시의 면적이 약 605.2km²임을 고려할 때, 격자의 크기가 1km×1km일 때 약 600개의 격자가 생성되어 적합할 것으로 판단하였다. 가령, 격자의 크기가 0.5km×0.5km 일 경우에는 생성되는 격자가 약 2400개, 2km×2km 일 경우에는 약 150개로 본 연구의 목적과 부합하지 않는다. 한편, 다음은 본 연구의 공간단위가 가질 수 있는 한계점이다. 첫째, 격자생성의 기준점에 따라 분석결과가 다소 상이할 수 있다. 가령, 강남역과 역삼역의 직선거리는 약 900m로, 격자생성의 기준점에 따라 하나의 격자에 모두 포함될 수도 있고, 각 다

른 격자로 구분될 수 있다. 둘째, 격자를 분석의 공간단위로 할 경우, 분석결과를 해석하는 과정에 있어서 특정한 ‘행정동’을 중심으로 하는 해석이 어려울 수 있다. 예를 들어, 하나의 격자가 두 개 이상의 행정동에 걸쳐서 위치할 경우, 하나의 행정동을 중심으로 분석결과를 해석하는데 한계가 있다.

2. 분석과정 및 방법

본 연구는 스마트카드 자료를 활용하여 도시활동 및 공간구조를 모니터링하기 위해 다음의 분석과정을 거쳤다. 첫째, 2011년 3월과 2014년 10월에 각각 구축된 일주일 분량의 스마트카드 자료를 가공

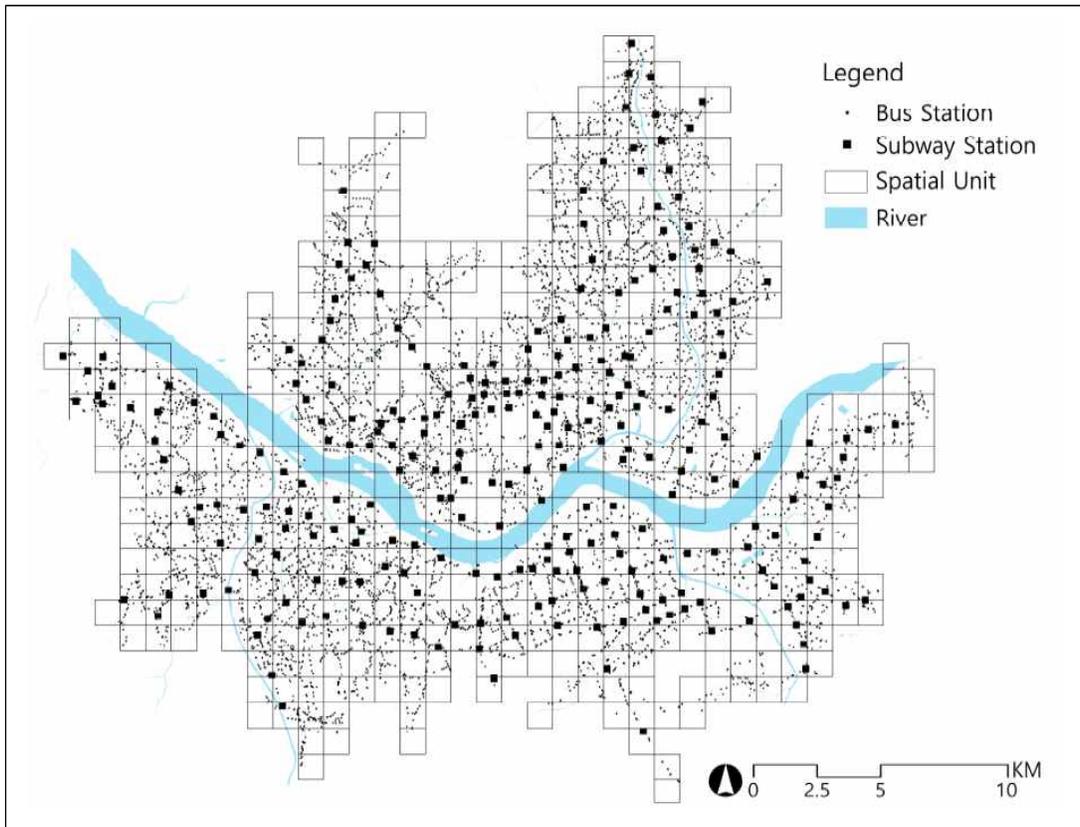


그림 2. 분석의 공간단위 (1km×1km 격자)
Figure 2. Spatial unit of analysis (1km×1km grid)

하였다. 우선, 주중통행의 경우, 첨두시간에 이루어진 통행을 통근목적의 통행으로 추정하여 활용하였으며, 주말통행의 경우에는 대중교통 이용자의 첫 통행을 비통근목적의 통행으로 추정하여 이용하였다. 다음으로, 서울시를 1km×1km의 격자로 분할하여 분석의 공간단위를 기준으로 기종점 통행OD자료를 구축하였다(그림 2 참고). 이 과정을 통해 통근목적과 비통근목적의 통행을 544×544의 구조를 갖는 OD자료를 구축하였다. 결과적으로, 각 연도별로 7일치 통근 및 비통근목적 통행에 해당하는 총 14개의 OD자료가 생성되었다.

둘째, 앞선 과정을 통해 구축한 14개 OD자료에 대해 상관분석을 실시하였다. 이 과정을 통해 요일별, 연도별로 도시민들의 통행패턴이 어느 정도의 상관성을 보이는지 파악하고자 하였다. 구체적으로, 주중과 주말의 통행패턴 차이, 2011년 3월과 2014년 10월의 통행패턴 차이의 정도를 확인하였다.

셋째, 2011년 3월과 2014년 10월 스마트카드 자료를 이용해 구축한 OD매트릭스 자료를 이용하여 각 격자의 위세중심성을 산출하였다¹⁾. 위세중심성 지표는 통행네트워크를 바탕으로 지역의 중심성을 추정하는 방법으로, R 프로그램의 'igraph' 패키지를 이용해 산출할 수 있다. 우선, 14개 OD자료를 이용하여 산출한 위세중심성 지표 간 상관성을 분석하였다. 이 과정을 통해 지역의 중심성이 주중과 주말에 따라, 또는 2011년 3월과 2014년 10월에 어느 정도 상관성이 있는지 확인하였다. 다음으로, 2011년 3월 주중과 주말, 2014년 10월 주중과 주말의 평균 OD자료를 활용하여 위세중심성을 산출하고, 각 시점별 위세중심성 지표와 순위 간의 관계를 살펴보았다. 이 과정을 통해 각 연도별로 통근통행과 비통근통행 네트워크를 활용하여 분석한 지역 중심성의 분포를 확인할 수 있으며, 이를 통해 서울시의 다핵수준 및 그 변화를 파악하였다.

넷째, 통근과 비통근목적의 통행네트워크를 기반

으로 산출한 지역중심성의 영향요인을 분석하였다. 본 연구에서 활용한 변수는 소·중·대 규모별 상업 및 업무용도와 지역의 접근성 수준이다. 용도별 규모는 소·중·대, 세 단계로 나누었으며, 소규모는 5,000m²이하, 중규모는 5,000m²초과 10,000m²이하, 대규모는 10,000m²초과를 기준으로 하였다. 앞서 설정한 용도별 규모의 기준은 자료의 분포를 바탕으로 설정하였으며, 규모를 구분함으로써 용도별 연면적 증감이 공간구조에 미치는 영향을 규모에 따라 확인하고자 하였다. 이를 위해, 각 규모별 용도별 연면적의 분포가 유사하도록 규모 분류기준을 설정하였다. 한편, 지역의 접근성 수준은 지하철역과 버스정류장의 수를 기반으로 활용하였다.

앞선 분석과정을 통해 확인하고자 하는 주요 연구질문은 다음과 같다. 첫째, 서울시의 공간구조가 다핵 구조로 변하였는지 살펴보고자 한다. 실제로, 서울시 도시기본계획에서는 서울시의 중심지체계가 다핵구조가 나아가야 함을 명시하고 있으며, 본 연구에서는 2011년과 2014년에 기록된 도시민들의 통행패턴을 기반으로 다핵수준의 변화를 파악한다. 둘째, 통근통행과 비통근통행을 기반으로 도출한 서울시의 중심지 위계가 어떠한 차이를 보이는지 확인하고자 한다. 통행의 목적에 따라 공간구조는 다르게 나타날 수 있으며, 본 연구에서는 주중과 주말에 이루어진 통행을 바탕으로 분석을 진행한다. 셋째, 스마트카드 자료를 통해 측정된 지역의 중심성 변화가 실제 토지이용 및 교통시설 인프라의 변화와 연관성이 있는지 확인한다. 구체적으로, 상업·업무용도의 건물이 특정지역에 새롭게 공급될 경우, 그 규모에 따라 도시공간구조 중심성에 미치는 영향이 다른지 살펴봄과, 나아가 대중교통 인프라 수준으로 다른 변수의 경우, 지역의 교통접근성 강화가 중심성에 미치는 영향을 확인한다. 여기서 본 연구의 초점은 스마트카드 자료를 통해 확인한 도시활동 및 공간구조 변화가 실제의 토지이용 및 교

통 변화와 관련이 있는지에 대한 내용이다. 앞선 연구질문을 중심으로, 본 연구는 스마트카드 자료를 이용하여 도시활동과 도시의 공간구조를 모니터링할 수 있는지에 대해 살펴본다.

IV. 분석결과

1. 시간대 및 요일별 대중교통 이용패턴

본 장에서는 스마트카드 자료를 이용하여 시간대별 및 요일별 대중교통 이용패턴에 대해 살펴본다. 우선, 대중교통 이용자들이 특정 요일에 대중교통을 이용한 횟수를 바탕으로 통행을 구분하여, 횟수별로 시간대별 분포를 확인한다. 이 과정을 통해 도시민들의 대중교통 이용패턴이 요일별로 어떠한 차이를 보이는지 파악한다.

그림 3 ~ 9은 도시민들의 대중교통 이용횟수를 기준으로 한 시간대별 통행량 분포이며, 일주일 간 구축된 자료(2014년 10월 20일 ~ 10월 26일)에 기반한 내용이다. 우선, 그림 3 ~ 7에서 볼 수 있듯이, 주중 대중교통 이용패턴은 비교적 일관성이 있음을 알 수 있다. 구체적으로, 오전 7시부터 10시 사이가 첨두시간인 것을 파악할 수 있으며, 도시민들 대부분의 첫 통행이 첨두 시간에 이루어진 것을 볼 수 있다. 또한, 가장 많은 통행이 이루어진 시간대는 8시로, 약 65만명이 통행하는 것으로 나타났다. 한편, 일부 대중교통 이용자의 첫 통행이 오후 6시부터 8시 사이에 이루어진 것을 볼 수 있는데, 이는 출근 시 대중교통을 이용하지 않고 퇴근 시에만 이용하는 경우 또는 실제로 이 시간대에 첫 통행을 한 경우로 볼 수 있다.

주말의 경우, 주중과는 전혀 다른 통행패턴을 확인할 수 있다 (그림 8 ~ 9 참고). 우선, 첨두시간의 경계가 주중에 비해 명확하지 않은 것을 알 수 있

다. 또한, 대중교통 이용인원이 주중에 비해 현저하게 낮은 것을 확인할 수 있으며, 토요일에 비해 일요일의 대중교통 통행량이 낮은 것으로 나타났다.

앞서 살펴보았듯이, 주중과 주말의 대중교통 통행분포는 확연한 차이를 보인다. 본 연구에서는 보다 추가적인 분석을 위해 주중의 경우, 첨두시간인 오전 7시부터 10시 사이에 이루어진 통행을 통근통행으로 추정하고, 주말의 경우에는 도시민들의 첫 통행을 비통근통행으로 추정하였다. 여기서 비통근 통행은 쇼핑 및 여가의 목적으로 이루어지는 통행 전반에 대한 의미를 포함한다고 볼 수 있다. 다음의 분석결과는 주중의 경우에는 첨두시간에 이루어진 통행, 주말의 경우에는 대중교통 이용자의 첫 통행을 바탕으로 도출되었다.

그림 10은 2011년 3과 2014년 10월에 기록된 일주일 분량의 스마트카드 자료를 이용하여 파악한 요일별 기종점 OD자료에 대한 상관분석 결과이다. 앞서 언급하였듯이, 분석에 활용된 OD자료는 주중

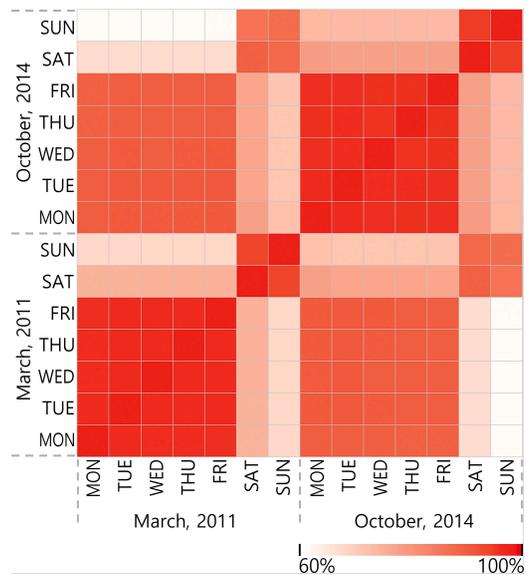


그림 3. 요일별 기종점 통행량 상관분석 결과
Figure 3. Correlation results of daily origin-destination travel volume

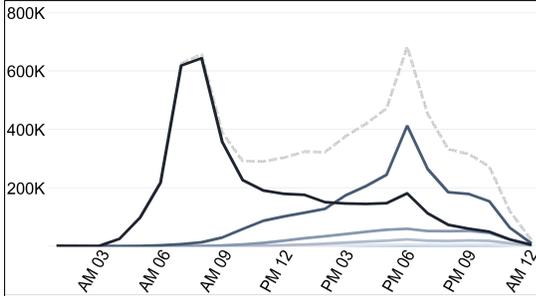


Figure 3. Temporal patterns of trip distribution on Monday (October 20, 2014)

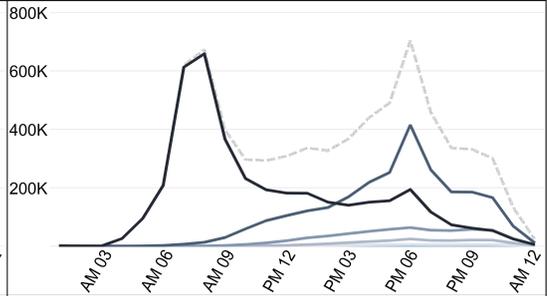


Figure 4. Temporal patterns of trip distribution on Tuesday (October 21, 2014)

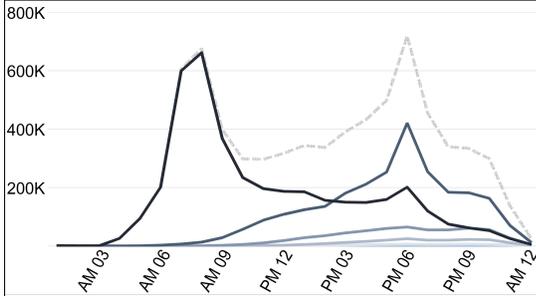


Figure 5. Temporal patterns of trip distribution on Wednesday (October 22, 2014)

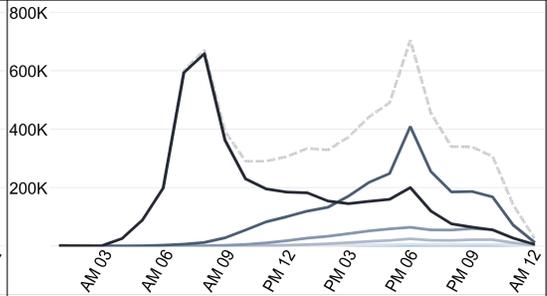


Figure 6. Temporal patterns of trip distribution on Thursday (October 23, 2014)

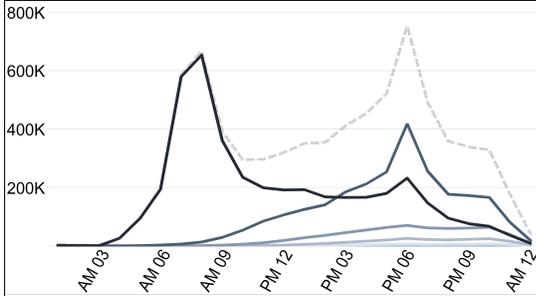


Figure 7. Temporal patterns of trip distribution on Friday (October 24, 2014)

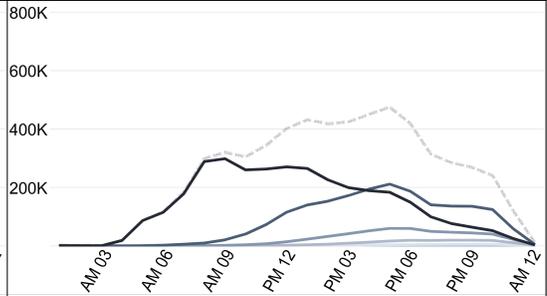


Figure 8. Temporal patterns of trip distribution on Saturday (October 25, 2014)

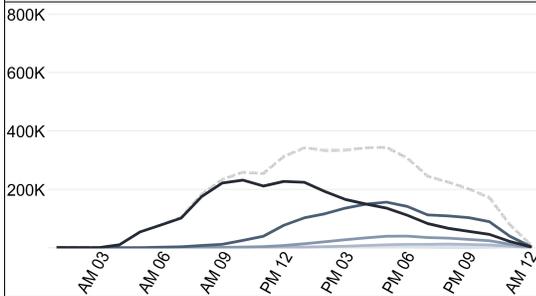


Figure 9. Temporal patterns of trip distribution on Sunday (October 26, 2014)

- 범례 Legend
- (thick black) 교통카드ID별 첫번째 통행
First travel of each Card ID
 - (medium black) 교통카드ID별 두번째 통행
Second travel of each Card ID
 - (dark blue) 교통카드ID별 세번째 통행
Third travel of each Card ID
 - (medium blue) 교통카드ID별 네번째 통행
Fourth travel of each Card ID
 - (light blue) 교통카드ID별 다섯번째 통행
Fifth travel of each Card ID
 - - - (grey) 전체 통행
Total travel

의 경우 침투 시간에 이루어진 통행, 주말의 경우 대중교통 이용자의 첫 통행이다. 그림 10을 통해 확인할 수 있는 내용은 다음과 같다. 첫째, 각 연도별 주중 통행은 상관성이 95% 이상인 것으로 나타났다. 이는 주중 침투시간에 이루어진 통행이 일주일 내의 범위에서 큰 차이가 없다는 것을 의미한다. 또한, 주중과 주말의 통행 OD는 상관성이 60~70% 정도로 차이가 있는 것으로 확인할 수 있다. 둘째, 각 연도별 주말 간 통행OD는 큰 차이를 보이지 않았지만, 토요일과 일요일 간 통행OD의 상관성이 80~90%로 차이가 조금 있는 것으로 나타났다. 셋째, 2011년 3월과 2014년 10월의 통행 OD 자료를 비교한 결과, 상관성이 70~80인 것으로 나타나 서울시 내에서 이루어진 통행이 시간이 흐름에 따라 다소 변한 것으로 볼 수 있다.

2. 요일별 통행 네트워크 및 변화분석

본 장에서는 2011년 3월과 2014년 10월에 구축된 스마트카드 자료에 기반한 통행 OD자료를 활용하여 위세중심성 지표를 산출하고, 그 변화를 살펴 보았다. 통행 네트워크를 통해 도출한 위세중심성 지표는 도시의 공간구조를 분석하는데 이용되며, 도시민들의 실제통행에 기반하여 도시의 공간구조를 파악한다는 점에서 유용하다.

우선, 그림 11은 2011년과 2014년의 일주일 분량 스마트카드 자료를 이용하여 산출한 위세중심성 지표에 대해 상관분석을 실시한 결과이다. 분석결과는 다음과 같이 정리할 수 있다. 첫째, 2011년 3월과 2014년 10월의 경우, 주중에 이루어진 통행 네트워크를 기준으로 산출한 위세중심성 지표는 상관성이 95% 이상인 것으로 나타났다. 둘째, 주중과 주말의 통행을 이용하여 산출한 위세중심성 지표는 상관성이 80~90% 정도로 차이가 있는 것으로 나

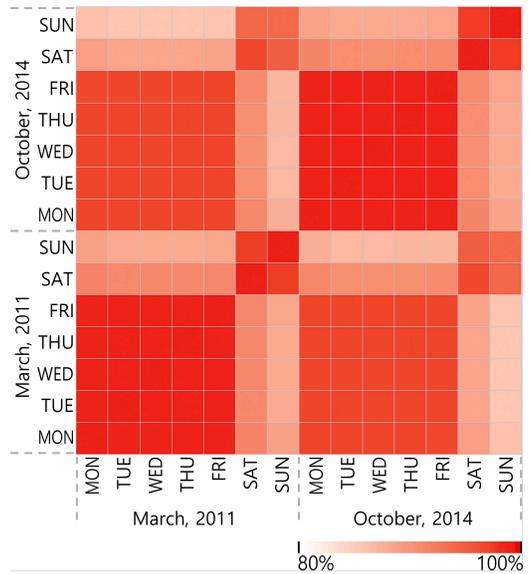


그림 11. 요일별 위세중심성 지표 상관분석 결과
Figure 11. Correlation results of prestige centrality index based on daily travel volume

타났다²⁾. 이는 주중과 주말의 통행 네트워크가 다르다는 것을 의미한다. 더 나아가, 도시민들의 통근 통행과 비통근통행으로 도출한 통행 네트워크가 다르다는 것을 파악할 수 있다. 셋째, 2011년 3월과 2014년 10월에 구축된 통행자료를 이용하여 산출한 위세중심성 지표는 상관성이 90% 이상으로 조금의 차이가 있는 것을 확인할 수 있다. 이는 통행 네트워크를 통해 도출한 도시의 공간구조가 두 시점 간에 차이가 있다는 것을 뜻한다.

다음으로, 그림 12는 두 시점별 통근통행과 비통근통행을 이용하여 도출한 위세중심성 지표와 각 순위 간의 관계를 살펴본 것이다. 위세중심성 지표와 순위 간의 관계는 선형일수록 지역 간 중심성의 차이가 적은 것을 의미하며, 통행네트워크에 기반한 도시의 공간구조가 다핵임을 뜻한다. 반대로, 위세중심성 지표와 순위 간의 관계가 비선형인 경우에는 지역별 중심성이 차이가 많이 나는 것을 의미하며, 단핵의 도시공간구조로 볼 수 있다.

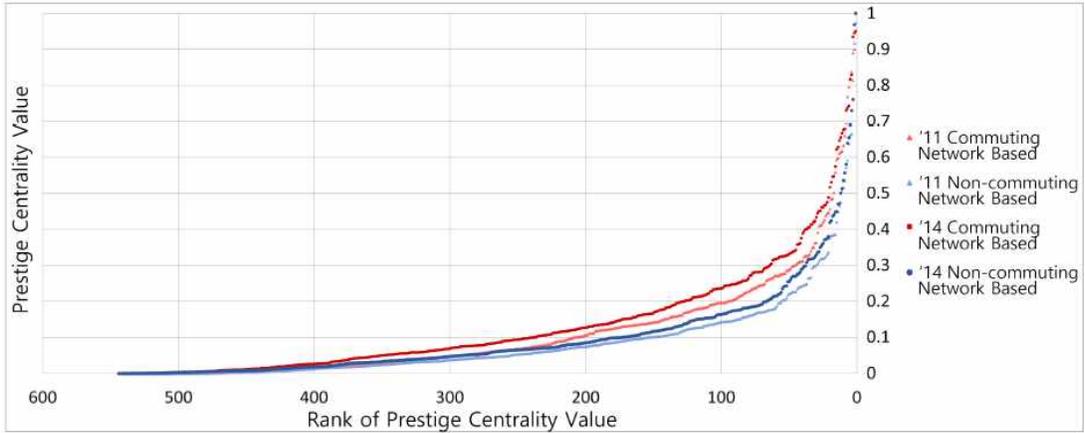


그림 12. 연도별 및 통행목적별 통행네트워크의 위세중심성 - 순위 간 관계

Figure 12. Relationship between prestige centrality index and rank by year and travel purpose

그림 12를 통해 도출할 수 있는 결론은 다음과 같다. 첫째, 통근통행의 측면에서 위세중심성 지표와 순위 간의 관계를 살펴보면, 2011년에 비해 2014년의 공간구조가 더 높은 수준의 다핵구조를 띠는 것을 확인할 수 있다. 둘째, 비통근통행을 기준으로 위세중심성 지표와 순위 간의 관계를 통해 알 수 있듯이, 비통근통행을 이용하여 구축한 통행 네트워크 구조 또한 2011년에 비해 2014년에 더 높은 수준의 다핵구조를 보이는 것으로 나타났다. 셋째, 통근통행과 비통근통행을 활용하여 도출한 위세중심성 지표와 순위 간의 관계에서 알 수 있듯이, 통근통행을 이용하여 도출한 도시의 공간구조가 더 높은 다핵 수준을 띠는 것으로 나타났다. 이는 통근통행 네트워크의 중심성은 다수지역이 높은 수준을 보이는 반면, 비통근통행 네트워크의 중심성은 일부지역에서만 높은 수준을 보이는 것을 의미한다.

3. 연도별 통근/비통근 통행네트워크의 위세중심성 변화 분석

본 장에서는 각 연도별 통근 및 비통근 통행네트워크 자료를 이용하여 산출한 위세중심성의 변화

를 살펴본다. 그림 13은 2011년 3월과 2014년 10월의 통근통행 네트워크를 이용하여 산출한 위세중심성 지표의 분포를, 그림 14는 두 시점별 비통근통행 네트워크를 이용하여 도출한 위세중심성 지표의 분포를 시각화한 것이다.

우선, 통근통행 네트워크에 기반한 위세중심성의 변화는 그림 13을 통해 확인할 수 있으며, 주요변화내용은 다음과 같다. 첫째, 앞선 장에서도 언급하였듯이, 2011년 3월에 비해 2014년 10월의 도시공간구조가 다핵 수준이 높은 것을 확인할 수 있다(그림 13 참고). 실제로, 강북지역의 경우, 2011년에는 도심지역만을 중심으로 위세중심성 지표가 높았던 반면, 2014년에는 동대문역사문화공원역, 연신내역, 수유역, 노원역 일대 등 지역의 위세중심성 지표가 높은 것을 확인할 수 있다. 이는 기존의 3개 도심지역(도심, 영동, 영등포)보다는 위계가 낮지만, 중심성이 높은 지역이 발전하고 있는 것으로 생각해볼 수 있다.

둘째, 2011년에는 영동지역의 위세중심성이 도심지역보다 높았던 반면, 2014년의 경우에는 도심지역(을지로입구역 일대)의 위세중심성이 높은 것으로 나타났다. 특히, 을지로 3-4가역 일대의 위세중심성

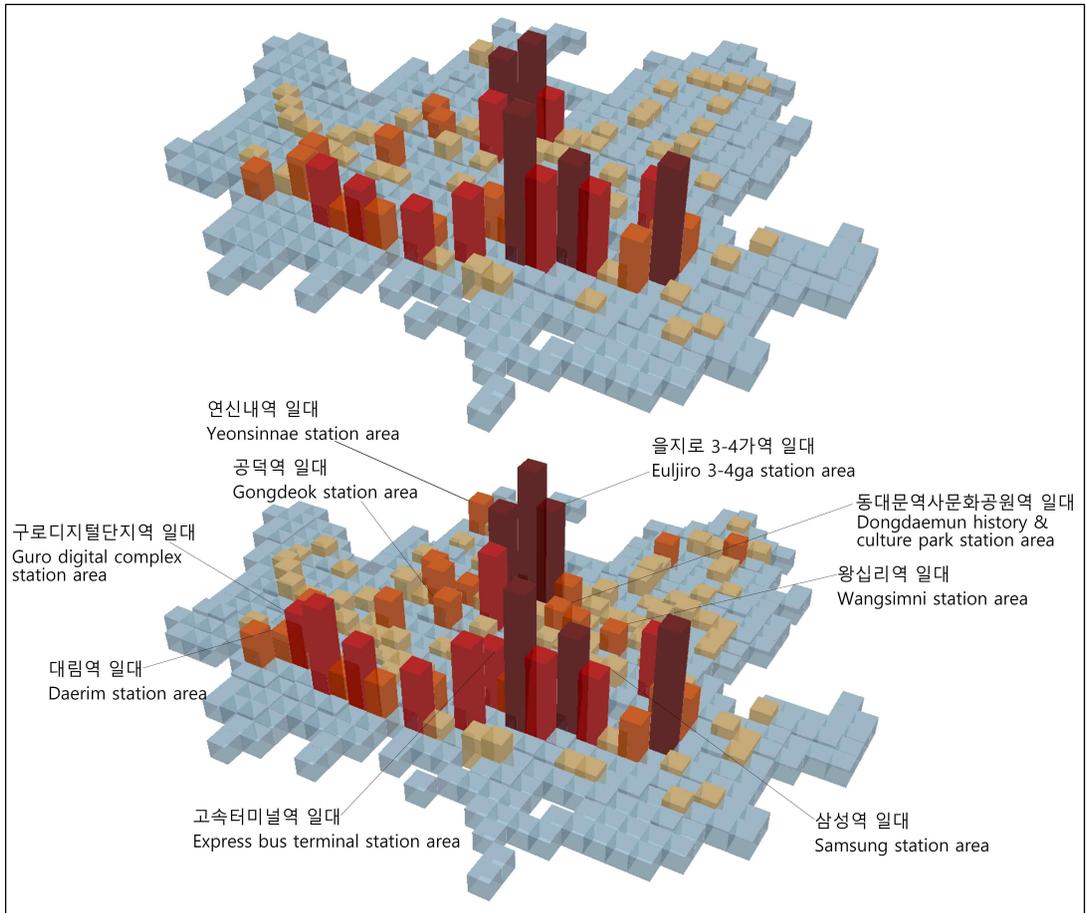


그림 13. 통근통행 네트워크 위세중심성 분포 (상단 : 2011년 3월; 하단 : 2014년 10월)
 Figure 13. Spatial distribution of prestige centrality index based on commuting network
 (Top : March 2011; Bottom : October 2014)

이 크게 증가한 것으로 확인되었으며, 영동 삼성역 일대의 중심성은 감소한 것으로 나타났다. 본 연구의 경우, 두 개 시점만을 분석하였기 때문에, 향후 보다 더 다양한 시점을 대상으로 도심지역과 영동 지역의 중심성 변화를 파악할 필요가 있다.

셋째, 일부지역의 경우, 2020 서울도시기본계획에서 설정한 중심지체계에 따라 중심성이 증가한 것으로 나타났다. 비교적 최근인 2014년에 2030 서울도시기본계획이 수립되었지만, 본 연구는 2011년과 2014년을 대상으로 분석을 시행하고 있어 2020

서울도시기본계획 내용을 참조하였다. 구체적으로, 2020 서울도시기본계획에서 부도심으로 계획된 왕십리/청량리 일대의 중심성이 증가한 것으로 나타났다. 또한, 지역중심으로 설정된 연신내, 공덕, 대림 지역의 중심성이 높아진 것으로 파악되었다. 이는 도시기본계획이 지역의 공간구조 및 위계에 영향을 줄 수 있는 것으로 생각해볼 수 있다.

마지막으로, 동대문역사문화공원역 일대의 위세 중심성은 전반적으로 증가한 것을 볼 수 있다. 이는 지난 2013년 11월에 준공된 동대문디자인플라

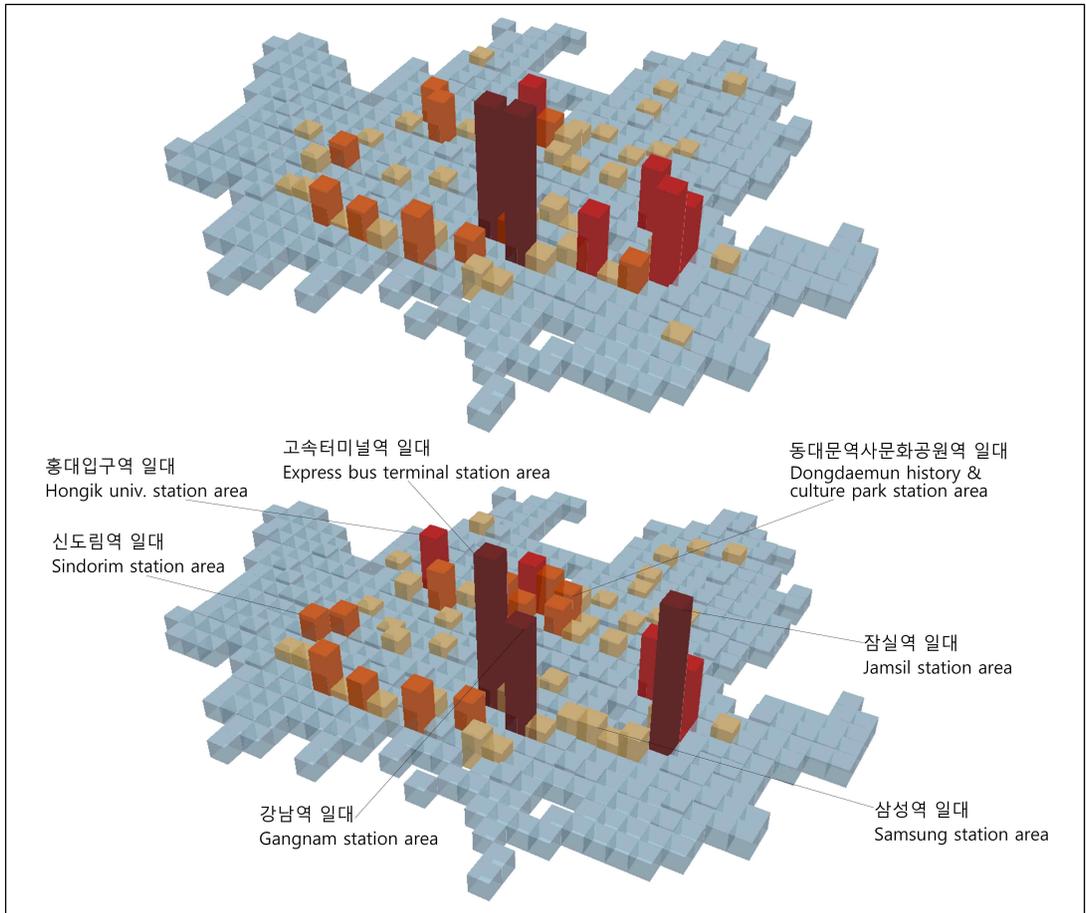


그림 14. 연도별 비통근통행 네트워크 위세중심성 (상단 : 2011년 3월; 하단 : 2014년 10월)
 Figure 14. Spatial distribution of prestige centrality index based on non-commuting network
 (Top : March 2011; Bottom : October 2014)

자의 영향으로 생각해볼 수 있으며, 대규모의 시설 공급이 지역의 중심성 변화에 영향을 줄 수 있는 것으로 판단된다.

다음으로, 비통근통행 네트워크를 이용하여 산출한 연도별 위세중심성 및 그 변화는 그림 14와 같다. 주요변화는 다음과 같이 확인할 수 있다. 첫째, 앞선 장에서 살펴보았듯이, 비통근통행 네트워크의 측면에서 살펴본 도시공간구조는 2011년에 비해 2014년의 다핵수준이 높은 것으로 나타났다. 한편, 통근통행 네트워크의 구조보다는 다핵 수준이 낮은

것으로 파악되었는데, 이는 비통근통행의 목적지가 통근통행보다 일부 지역에 한정돼 있음을 의미한다.

둘째, 민간 및 공공의 대규모 시설 공급이 비통근통행 측면의 위세중심성을 증가시키는 것으로 나타났다. 예로, 잠실역, 신도림역, 동대문역사문화공원역 일대의 비통근통행 네트워크의 위세중심성이 증가하였다. 실제로, 신도림역에 위치한 디큐브시티 백화점은 2011년 8월 말, 동대문역사문화공원역에 위치한 동대문디자인플라자는 2013년 11월 말, 잠실역에 위치한 롯데월드 타워점 (제2롯데월드)은

2014년 10월 초에 개장하였다. 이처럼, 쇼핑 및 여가를 위한 대규모의 시설공급은 도시의 공간구조에 영향을 미치는 것으로 생각해볼 수 있다.

셋째, 홍대입구역 일대의 경우, 2011년에 비해 2014년에 비통근통행 네트워크의 위세중심성이 크게 증가한 것으로 나타났다. 홍대입구역 일대의 경우, 젠트리피케이션 현상의 대표적인 예이며, 경의선 숲길 (2012년 4월 1단계 조성사업 완료) 등 도시민들이 비통근의 목적으로 통행하는 지역이다. 이처럼, 지역의 특성 변화는 도시민들의 통행행태에 반영이 되고, 이를 통해 지역의 중심성이 높아지는 것으로 생각해볼 수 있다.

마지막으로, 도심주변지역은 비통근통행 네트워크의 중심성이 전반적으로 증가한 반면, 영동지역의 중심성은 감소한 것으로 나타났다. 실제로 강남역 일대는 2011년에 비해 중심성이 다소 감소하였으며, 삼성역 일대는 확연히 감소한 것으로 나타났다. 이에 대한 원인으로, 주변지역인 잠실역 일대에 공급된 대규모 상업시설에 의한 빨대효과로 생각해볼 수 있다. 또한, 구체적으로 살펴보자면, 삼성역 일대에 위치한 대규모 상업시설인 코엑스몰이 2013년 3월부터 2014년 11월까지 리모델링 공사로 인해 휴관을 했기 때문인 것으로 추정해볼 수 있다.

4. 통행목적별 위세중심성 영향요인

본 장에서는 통근통행과 비통근통행 네트워크 자료를 이용하여 도출한 위세중심성에 영향을 미치는 요인에 대해 살펴보고자 한다. 지역의 중심성에 영향을 미치는 요인을 확인함으로써, 향후 도시기본계획을 통해 중심지체계를 설정하는 경우, 계획을 실현하기 위한 정책을 수립하는데 기여할 수 있다.

우선, 표 1은 통근통행과 비통근통행 네트워크의 위세중심성에 영향을 미치는 요인에 대한 분석결과

이다. 종속변수는 위세중심성 지표이며, 정규성 확보를 위해 제곱근 변환을 사용하였다. 독립변수는 지역의 규모별 상업 및 업무용도와 버스 및 지하철 정거장 수이다. 여기서 버스 및 지하철 정거장 수는 지역으로의 이동성으로 볼 수 있다.

분석방법으로 공간통계모형을 이용하였으며, 이는 지역의 위세중심성 값이 공간자기상관성을 가질 경향이 매우 높기 때문이다. 이에 따라, Anselin (2005)에 의해 개발된 공간통계분석 패키지인 Geoda 프로그램과 R프로그램을 이용하여 OLS 모형, 공간사차모형, 공간오차모형, 공간더빈오차모형을 비교 분석하였다. 분석결과 독립변수의 공간자기상관성을 추가적으로 고려하는 공간더빈오차모형이 통계모형으로 가장 적합한 것으로 나타났다.

표 1을 통해 볼 수 있듯이, 통근통행 네트워크의 위세중심성 지표는 소·대규모 상업용도 건물 면적과 중·대규모 업무용도 건물 면적과 연관이 있는 것으로 나타났다. 통근통행 네트워크는 업무용도와 높은 관련성을 가지기 때문에, 업무용도 측면에서 설명하자면, 소규모의 업무용도 건물보다는 중규모 이상의 업무용도 면적이 높을수록 중심성이 높은 것으로 설명할 수 있다. 한편, 지역의 접근성과 중심성 간의 관계를 살펴보면, 대중교통 공급 수준이 높을수록 지역의 중심성이 높은 것으로 나타났다.

다음으로, 비통근통행 네트워크의 위세중심성 지표는 상업용도 면적의 영향을 많이 받는 것으로 파악되었다 (표 1 참고). 앞서 살펴봤듯이, 2011년에 비해 2014년에 비통근통행 네트워크의 위세중심성이 증가한 지역은 백화점 또는 대규모 여가시설이 공급된 지역임을 확인하였다. 이와 동일한 맥락에서 중·대규모의 상업용도 면적이 지역의 중심성과 높은 상관성을 가지는 것으로 나타났다. 더 나아가, 비통근통행 네트워크의 위세중심성 역시, 지역의 접근성의 영향을 많이 받는 것으로 파악되었다.

표 2는 앞선 분석보다 한 단계 더 나아가, 지역

표 1. 통행목적 및 시점별 위세중심성 영향요인 분석결과 (공간더빈오차모형)

Table 1. Determinants of prestige centrality by travel purpose and time (Spatial durbin error model)

Variable		Prestige centrality index of commuting network				Prestige centrality index of non-commuting network			
		Year of 2011		Year of 2014		Year of 2011		Year of 2014	
		Coef.	z	Coef.	z	Coef.	z	Coef.	z
(Intercept)		-0.030	-1.10	-0.005	-0.20	-0.053 *	-1.83	-0.023	-0.83
Commercial use	Small scale	0.006 *	1.83	0.006 *	2.01	0.009 ***	2.89	0.008 ***	2.65
	Middle scale	2.4.E-04	0.20	0.002	1.34	0.001	1.11	0.002 *	1.81
	Large scale	0.002 **	2.31	0.003 ***	3.47	0.002 **	2.15	0.003 ***	3.06
Office use	Small scale	0.004 *	1.82	0.002	1.24	0.003	1.55	0.001	0.36
	Middle scale	0.003 **	2.52	0.003 **	2.48	0.004 ***	3.24	0.003 ***	3.16
	Large scale	0.003 ***	3.21	0.002 **	1.96	0.001	1.00	0.001	0.72
Accessibility	Bus station	0.004 ***	6.89	0.004 ***	6.54	0.003 ***	8.18	0.002 ***	5.83
	Subway Station	0.118 ***	20.96	0.100 ***	18.85	0.116 ***	23.61	0.104 ***	22.31
(Intercept)		-0.022 **	-2.22	-0.019 **	-2.01	-0.012	-1.20	-0.014	-1.43
W/ Commercial use	Small scale	0.003 ***	2.70	0.002 *	1.74	0.002	1.36	0.001	1.22
	Middle scale	-0.001	-1.38	-0.001	-1.33	-0.001	-1.36	-0.001 *	-1.95
	Large scale	1.0.E-04	0.25	1.1.E-04	0.30	9.1.E-05	0.23	2.8.E-05	0.08
Office use	Small scale	-3.3.E-04	-0.43	0.001	0.69	0.001	0.76	0.001	1.07
	Middle scale	0.001	1.54	0.001 *	1.66	0.001	1.26	0.001	1.62
	Large scale	4.9.E-05	0.13	-3.6.E-04	-1.01	1.6.E-05	0.04	-2.3.E-04	-0.69
Accessibility	Bus station	-3.4.E-05	-0.16	-1.7.E-04	-0.87	1.4.E-04	1.16	9.9.E-05	0.92
	Subway stn.	-0.008 ***	-3.93	-0.004 **	-2.04	-0.006 ***	-2.97	-0.003 *	-1.76
Lambda		0.051 ***		0.050 ***		0.064 ***		0.053 ***	
Observation (N)		544		544		544		544	
Moran's I (OLS)		0.157 ***		0.192 ***		0.116 ***		0.124 ***	
Moran's I (SEM)		-0.004		-0.006		-0.002		-0.005	
Moran's I (SDEM)		-0.002		-0.003		-0.004		-0.007	
AIC (OLS)		-948.1		-1013.2		-997.5		-1064.3	
AIC (SEM)		-967.5		-1040.8		-1036.3		-1092.9	
AIC (SDEM)		-974.1		-1038.2		-1044.1		-1094.3	

*** p<0.01; ** p<0.05; * p<0.10

의 규모별 용도의 변화와 접근성의 변화가 지역의 중심성 변화에 미치는 영향에 대한 분석결과이다. 표 2에서 활용된 종속변수는 2011년과 2014년의 중심성 순위를 기준으로 산출한 순위이동성 지수이다³⁾. 2011년의 중심성 순위가 3, 2014년의 중심성 순위가 1인 경우, 순위이동성지수는 0.5이며, 2011년의 중심성 순위가 300, 2014년의 중심성 순위가 100인 경우에도 순위이동성지수는 0.5이다. 이 경우에도 자료의 공간자기상관성을 제어해주기 위해 공

간통계모형을 이용하였으며, 모형검증결과 공간오차 모형이 가장 적합한 것으로 확인되었다. 표 2를 통해 알 수 있듯이, 공간오차모형을 이용할 경우, 공간자기상관성 문제가 제어되는 것으로 나타났다.

우선, 통근통행 네트워크 위세중심성의 순위이동성지수를 분석한 결과를 살펴보면, 대규모의 업무용도가 증가하였을수록 위세중심성의 순위가 증가한 것으로 나타났다. 중규모 업무용도 변수의 경우, 유의하였지만 음의 계수를 보였는데, 이는 중규모 업

표 2. 통행목적별 위세중심성 순위이동성지수 영향요인 분석결과 (공간더빈오차모형)

Table 2. Determinants of rank mobility index(RMI) of prestige centrality by travel purpose (Spatial durbin error model)

Variable		RMI of prestige centrality of commuting network		RMI of prestige centrality of non-commuting network		
		Coef.	z	Coef.	z	
(Intercept)		-0.008	-0.45	-0.008	-0.44	
Commercial use	Δ Small scale	-3.0.E-07	-0.98	-4.1.E-08	-0.12	
	Δ Middle scale	-5.4.E-07	-1.03	2.5.E-07	0.43	
	Δ Large scale	7.1.E-08	1.16	1.1.E-07	1.54	
Office use	Δ Small scale	2.3.E-07	0.44	-5.6.E-07	-0.95	
	Δ Middle scale	-1.4.E-06 ***	-2.85	-1.0.E-06 *	-1.84	
	Δ Large scale	2.0.E-07 ***	3.68	-5.2.E-08	-0.85	
Accessibility	Δ Bus station	0.003 ***	8.20	0.002 ***	5.71	
	Δ Subway station	0.029 **	1.99	0.070 ***	4.24	
W	(Intercept)		-0.008 ***	-2.58	-0.004	-1.26
	Commercial use	Δ Small scale	3.6.E-07 ***	3.26	3.3.E-07 ***	2.83
		Δ Middle scale	-6.3.E-07 ***	-2.71	-4.5.E-07 *	-1.81
		Δ Large scale	9.9.E-08 ***	3.58	7.4.E-08 **	2.46
	Office use	Δ Small scale	1.6.E-07	0.85	-2.0.E-07	-1.04
		Δ Middle scale	-4.7.E-07 **	-2.28	-4.5.E-07 **	-2.04
		Δ Large scale	1.9.E-08	0.85	7.6.E-08 ***	3.29
	Accessibility	Δ Bus station	3.1.E-04 ***	2.75	8.0.E-05	0.68
		Δ Subway station	0.002	0.24	-0.005	-0.82
Lambda		0.065 ***		0.044 ***		
Observations (N)		544		544		
Moran's I (OLS)		0.234 ***		0.128 ***		
Moran's I (SEM)		-0.021		0.000		
Moran's I (SDEM)		-0.018		0.002		
AIC (OLS)		-1123.9		-1033.8		
AIC (SEM)		-1197.6		-1060.3		
AIC (SDEM)		-1217.2		-1068.6		

*** p<0.01; ** p<0.05; * p<0.10

무용도 면적의 증가는 중심성 변화에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 생각해볼 수 있다. 한편, 버스정류장 및 지하철정거장 수의 증가는 지역의 중심성 증가에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이 결과를 통해, 지역의 접근성 개선은 지역의 중심성 증가에 기여하는 것으로 판단된다.

다음으로, 비통근통행 네트워크 위세중심성의 변화를 분석한 결과, 상업면적의 증가는 위세중심성의 순위 증가와 양의 관계가 있는 것으로 나타났지만

통계적으로 유의하지는 않았다. 소·대규모의 업무용도 면적 증가는 유의한 변수로 도출되었지만, 음의 계수를 보였다. 이는 소·중규모의 업무용도는 비통근통행 네트워크 측면의 중심성 증가에 영향을 미치지 않는 것으로 생각해볼 수 있다. 한편, 앞서 다룬 결과와 동일한 맥락에서 대중교통 시설의 공급은 지역의 접근성 개선 측면에서 비통근통행 네트워크 측면의 중심성을 증가시키는 것으로 나타났다.

V. 결론

본 연구는 2011년 3월과 2014년 10월에 기록된 스마트카드 자료를 이용하여 도시활동 및 공간구조의 변화를 분석하였다. 또한, 대중교통 빅데이터를 이용하여 도시에서 발생하는 활동과 도시의 중심지 체계를 모니터링할 수 있는지 살펴보았다. 더 나아가, 스마트카드 자료를 이용하여 측정된 도시의 공간구조가 토지이용 및 교통시설 변화와 연관성이 있는지 확인하였다. 본 연구의 주요 결과는 다음과 같이 정리할 수 있다.

첫째, 2011년 3월과 2014년 10월에 구축된 스마트카드 자료를 이용하여 기종점 통행량과 위세중심성 값의 상관성을 분석한 결과, 주중과 주말, 2011년과 2014년은 다소 차이가 있는 것으로 나타났다. 이는 시간의 흐름에 따라 도시민들의 통행패턴이 변하며, 결과적으로 지역의 중심성에도 영향을 미치는 것으로 생각해볼 수 있다.

둘째, 두 개 시점의 주중 및 주말 통행자료를 활용하여, 위세중심성 값과 순위 간의 관계를 살펴본 결과, 서울시 중심지체계의 다핵 수준이 증가한 것으로 파악되었다. 더 나아가, 비통근통행에 비하여 통근통행 네트워크를 이용해 분석한 도시공간구조의 다핵 수준이 높은 것으로 나타났다. 이는 통근통행의 목적지가 비통근통행의 목적지보다 더 다양함을 의미한다. 또한, 2011년에 비해 2014년에 도시민들의 목적지가 더 다양해짐과 동시에, 일부 지역의 중심성이 증가한 것으로 확인되었다.

셋째, 통근통행네트워크를 중심으로 위세중심성 값을 산출하여 2011년과 2014년을 비교한 결과, 영동지역에 비해 도심지역의 중심성이 상대적으로 증가한 것으로 나타났다. 또한, 일부지역의 한해 2020 서울도시기본계획에서 설정한 중심지체계에 따라 중심지가 증가한 것으로 나타났다. 향후, 보다 많은

시점의 스마트카드 자료를 이용하여 서울시의 도시공간구조 변화를 구체적으로 살펴볼 필요성이 있을 것으로 판단된다.

넷째, 비통근통행네트워크를 중심으로 지역별 중심성의 변화를 살펴본 결과, 민간 및 공공의 대규모 시설 공급이 비통근통행 측면의 중심성을 증가시키는 것으로 나타났다. 실제로, 대형백화점 및 복합문화공간시설의 공급은 비통근통행 네트워크 측면에서의 중심성 증가에 영향을 미친 것으로 판단된다. 또한, 홍대입구 지역의 젠트리피케이션, 삼성동 코엑스몰의 휴관 등은 도시민들의 활동패턴 및 중심성에 영향을 주는 것으로 보인다.

다섯째, 본 연구는 지역의 중심성에 영향을 미치는 요인으로 규모·용도별 연면적과 대중교통 인프라 수준을 다루었다. 그 결과, 대규모의 상업 또는 업무시설은 지역의 중심성과 높은 관련성이 있는 것으로 나타났다. 이는 향후 도시기본계획의 중심지 계획을 실현하는데 있어서 민간 또는 공공의 대규모 시설투자가 중요한 역할을 할 수 있음을 의미한다. 더 나아가, 지역의 대중교통 인프라 수준 및 대중교통 시설의 공급은 중심성 증가에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이는 지역의 접근성과 연관지어 생각해볼 수 있으며, 특정 지역의 대중교통 서비스 수준을 높이는 정책은 지역의 중심성 증가에 영향을 미칠 것으로 판단된다.

마지막으로, 앞선 결과를 종합하여, 스마트카드 자료를 활용한 도시민들의 활동 및 도시공간구조의 모니터링이 가능할 것으로 판단된다. 분석결과, 도시민들의 활동 및 지역의 중심성 변화는 실제 지역의 변화를 반영하고 있는 것으로 나타났다. 또한, 스마트카드 자료를 이용하여 지역 전반의 공간구조 변화를 파악할 수 있는 것으로 확인되었다. 본 연구의 결과는 향후 스마트카드 자료 이용, 도시활동 및 공간구조 모니터링, 근거기반 도시계획에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구는 스마트카드 자료를 중심으로, 도시 빅데이터의 활용 가능성과 공간단위 설정의 문제를 다루었다. 그럼에도 다음과 같은 한계점을 가질 수 있다. 우선, 스마트카드 자료 확보의 어려움으로 연구의 시간적 공간적 범위에 한계가 있다. 향후, 다수 시점에 대한 스마트카드 자료를 활용함으로써, 도시활동 및 공간구조에 대한 시계열적인 변화를 모니터링할 수 있을 것으로 판단된다. 또한, 서울시 뿐만 아니라 수도권 전체의 스마트카드 자료를 통해 광역적인 범위에서 도시활동 및 공간구조 변화를 분석할 수 있다. 다음으로, 스마트카드 자료의 경우 대중교통 수단에 대한 통행기록만 포함하고 있기 때문에, 이를 통해 도시활동 및 공간구조의 변화를 전체적으로 설명하기에는 한계가 있다. 그럼에도 불구하고, 서울시민의 통근시 대중교통 수단분담률은 40% 이상으로 스마트카드 자료만을 이용한 분석도 의미가 있다. 향후 도시 빅데이터의 활용은 도시에서 발생하는 다양한 활동과 변화를 선제적으로 모니터링하는데 사용될 것으로 기대된다.

주1. 위세중심성 지표는 보나시치 권력 중심성 (Bonacich Power Centrality) 지수를 통해 산출되며, 본 연구에서 각 격자의 중심성을 측정하기 위해 사용한 산출식은 다음과 같다 (Bonacich, 1987; 이희연·김홍주, 2006). 격자 i의 위세중심성은

$$\sum_j [(격자 j의 연결중심성) \times (ij간의 통행량)] \text{이며,}$$

여기서 격자 j의 연결중심성은 격자 j에 직접적인 통행이 연결된 결절점수를 (통행네트워크 전체의 결절점수-1)로 나누어준 값이다.

주2. 2011년과 2014년의 위세중심성 값에 대해 대응표본 T검정 분석을 시행한 결과는 다음과 같다.

구분	평균차	t	df	p-value
통근통행	-0.030	-19.18	543	0.000
비통근통행	-0.008	-6.52	543	0.000

주3. 순위이동성 지수에 대한 식은 다음과 같다.
 i 격자의 순위이동성 지수 = (2011년도 위세중심성 순위 - 2014년도 위세중심성 순위) / (2011년도 위세중심성 순위 + 2014년도 위세중심성 순위)

인용문헌

References

- 김관호·오규협·이영규·정재윤, 2013. “스마트카드 빅데이터를 이용한 서울시 지하철 이동패턴 분석”, 『한국전자거래학회지』, 18(3): 211-222.
Kim K., Oh, K., Lee, Y. K., & Jung, J. Y., 2013. “Discovery of Travel Patterns in Seoul Metropolitan Subway using Big Data of Smart Card Transaction Systems”, *The Journal of Society for e-Business Studies*, 18(3): 211-222.
- 김지윤·임수연·추상호·박인기, 2015. “서울시 대중교통 이용 패턴 및 영향요인 분석 연구”, 『국토연구』, 87: 49-65.
Kim, J., Lim, S., Choo, S., & Park, I., 2015. “Analysis of Transit Ridership Patterns and Influencing Factors in Seoul”, *The Korea Spatial Planning Review*, 87: 49-65.
- 박경철·좌승희, 2009. 「기종점 통행량을 활용한 수도권 공간구조 변화 분석」, 경기: 경기개발연구원.
Park, J. C., & Zwa, S. H., 2009. *A Study on the Spatial Structure of the Seoul Metropolitan Area Using O/D Trips*, Gyeonggi: Gyeonggi Research Institute.
- 이희연·김홍주, 2006. “서울대도시권의 통근 네트워크 구조 분석”, 『한국도시지리학회지』, 9(1): 91-111.
Lee, H. Y., & Kim, H. J., 2006. “The Analysis of the Structure of Commuting Network in Seoul Metropolitan Area”, *Journal of the Korean Urban Geographical Society*, 9(1): 91-111.
- 하재현·이수기, 2016. “스마트카드 자료를 활용한 통근통행 추정과 통근네트워크 구조 분석”, 『국토계획』 51(4): 123-143.
Ha, J., & Lee, S., 2016. “The Estimation of Commuting Pattern and the Analysis of the Commuting Network Structure using Smart Card Data : Focused on the Possibility of Application through the Validation Process with Household Travel Survey Data”, *Journal of Korea Planning Association*, 51(4): 123-143.

6. 한상욱·강희용·이명훈, 2015. “교통카드 데이터를 활용한 주요 역세권별 대중교통 이용 통근통행자의 주거지 분포: 수도권을 대상으로”, 「국토계획」 50(4): 103-117.
Han, S. U., Kang, H., Y., & Lee, M. H., 2015. “Residential Distribution of Public Transport Commuter by Smart Card through the Use of the Major Subway Influence Area : Focus on Metropolitan”, *Journal of Korea Planning Association*, 50(4): 103-117.
7. Anselin, L., 2005. *Exploring Spatial Data with GeoDa: A Work Book*, Spatial Analysis Laboratory, University of Illinois, Center for Spatially Integrated Social Science: Urbana, IL, USA.
8. Cui, Z., & Long, Y., 2015. *Perspectives on Stability and Mobility of Passenger's Travel Behavior through Smart Card Data*, arXiv preprint arXiv:1508.06033.
9. Eagle, N., Pentland, A. S., & Lazer, D., 2009, “Inferring Friendship Network Structure by using Mobile Phone Data”, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(36): 15274-15278.
10. Gao, S., 2015. “Spatio-temporal Analytics for Exploring Human Mobility Patterns and Urban Dynamics in the Mobile Age”, *Spatial Cognition & Computation*, 15: 86-114.
11. Green, N., 2007. “Functional Polycentricity: A Formal Definition in terms of Social Network Analysis”, *Urban Studies*, 44(11): 2077-2103.
12. Guimera, R., Mossa, S., Turttschi, A., & Amaral, L. A., 2005, The Worldwide Air Transportation Network: Anomalous Centrality, Community Structure, and Cities' Global Roles, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 102(22): 7794-7799.
13. Guo, D., Zhu, X., Jin, H., Gao, P., & Andris, C., 2012. “Discovering Spatial Patterns in Origin-destination Mobility Data”, *Transactions in GIS*, 16(3): 411-429.
14. Kitchin, R., 2013. “Big Data and Human Geography: Opportunites, Challenges and Risks”, *Dialogues in Human Geography*, 3(3): 262-267.
15. Kitchin, R., 2014. “The Real-time City? Big Data and Smart Urbanism”, *GeoJournal*, 79(1): 1-14.
16. Nyhan, M., Grauwin, S., Britter, R., Misstear, B., McNabola, A., Laden, F., & Ratti, C., 2016. “Exposure Track - The Impact of Mobile - Device - Based Mobility Patterns on Quantifying Population Exposure to Air Pollution”, *Environmental Science & Technology*, 50(17), 9671-9681.
17. Santi, P., Resta, G., & Ratti, C., 2014. “Quantifying the Benefits of Taxi Trips in New York through Shareability Networks”, ERCIM News, *Smart Cities*, 98: 25-26.
18. Spiekermann, K., & Wegener, M., 2004. “How to measure polycentricity?”, Paper given at ESPON 1.1.3. Project Meeting, Warsaw, Poland: Warsaw University.
19. Zhong, C., Arisona, S. M., Huang, X., Batty, M., & Schmitt, G., 2014. “Detecting the dynamics of urban structure through spatial network analysis”, *International Journal of Geographical Information Science*, 28(11): 2178-2199.
20. Zhong, C., Manley, E., Arisona, S. M., Batty, M., & Schmitt, G., 2015. “Measuring variability of mobility patterns from multiday smart-card data”, *Journal of Computational Science*, 9: 125-130.

Date Received 2017-05-31
 Reviewed(1st) 2017-06-22
 Date Revised 2017-09-21
 Reviewed(2nd) 2017-10-03
 Date Accepted 2017-10-03
 Final Received 2017-11-13