

POI 빅데이터를 활용한 도시활동 중심지 도출과 중심지 기능 분석

: 서울 대도시권을 중심으로*

Identifying Urban Activity Centers and Their Functions using POI Big Data
: The Case of Seoul Metropolitan Area

김선재** · 이수기***

Kim, Sunjae · Lee, Sugie

Abstract

During the past several decades, urban scholars and regional economists have tried identifying urban activity centers in metropolitan areas using indicators, such as, population, employment, and housing prices. However, the identification of these urban activity centers has been a challenging assignment due to the limited availability of data. In this study, various activity centers and their functions in the Seoul metropolitan area were identified. Using the Point-of-Interest (POI) big data and Contour tree method, the urban spatial structure of the Seoul metropolitan area was analyzed and the existing urban and regional policies that have induced the polycentric urban form were evaluated. The results indicated that the POI big data had excellent advantages while identifying the urban activity centers and their functional relationships across the Seoul metropolitan area. Further, this study was discovered that the activity centers of the Seoul metropolitan area have been formed around the newly developed areas or important nodes of transportation networks. As a result of comparing the urban activity center and the urban master plans, this study was found that there was some difference. In particular, it has been observed that realistic urban activity centers can be identified by deriving centers beyond administrative districts. As a result of analyzing these urban activity centers with Location Quotient (LQ), city centers and sub-centers were found to have specialized financial functions. In contrast, residential and public facility functions are specialized in regional centers outside Seoul. In conclusion, the urban activity centers outside Seoul should accommodate various facilities to strengthen their regional centrality in the polycentric metropolitan spatial structure.

주제어 Point-of-Interest (POI), 도시공간구조, 도시활동 중심지, 도시 빅데이터

Keywords Point-of-Interest (POI), Urban Spatial Structure, Urban Activity Center, Urban Big Data

1. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

대도시권의 도시공간구조는 주민들의 일상생활과 삶의 질에

영향을 미치는 중요한 요인 중 하나이다. 대도시의 성장 단계에서 단핵 공간구조는 대부분의 일자리가 중심지에 위치하여 전체적으로 접근성이 우수하다고 볼 수 있다. 하지만 도시가 성장하면서 공간적으로 확장될 때, 단핵 공간구조는 직주분리로 심각한 교통체증이 발생하고 통근 시간이 증가하여 삶의 질이 떨어지게

* 이 논문은 2020년 대한국토·도시계획학회 추계산학술대회에서 발표한 논문을 수정·보완하여 작성하였음.

** Master's Degree, Department of Urban Planning & Engineering, Hanyang University (sunjaekim@hanyang.ac.kr)

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

된다. 다핵 공간구조의 부도심과 지역중심지는 도심의 고용밀도를 분산하고 직주근접을 통해 공간구조의 비효율성을 완화하는데 중요한 역할을 할 수 있다. 따라서 대도시의 도시공간구조 및 중심지를 설정하는 것은 도시 관리와 도시민의 삶의 질 측면에서 중요하다(임은선 외, 2006).

이와 같은 배경에서 대도시는 도시기본계획을 통해 다핵의 도시공간구조 및 중심지체계를 설정하고 있다(옥석문·이영훈, 2008). 수도권 권의 경우 서울플랜 2030, 인천도시기본계획 2030, 경기도 종합계획 2012~2020 등에서 나타난다. 그러나 이와 같은 도시계획들은 해당 도시의 공간구조와 중심지 체계를 설정하고 있을 뿐 실제 광역생활권인 수도권 권을 대상으로 공간구조를 설명하는 데 한계를 가지고 있다. 한편, 그동안 도시공간구조와 중심지 식별을 위한 선행연구는 고용밀도, 인구밀도, 지가, 통근통행 등 지표를 활용하였다(한상욱 외, 2008; Feng et al., 2009; Jun, 2020; Nam and Kim, 2017; Wen and Tao, 2015; Zou et al., 2015). 그러나 이러한 지표는 원하는 시점에서 자료의 구득이 어렵고, 주로 고용을 중심으로 도시공간구조를 도출하고 있다. 이와 같은 중심지는 실제로 도시에서 일어나는 다양한 활동을 대표하는 데 한계를 가지고 있다. 따라서 대도시권 전체의 공간구조와 중심지 위계를 분석하기 위해서는 수도권정비계획, 광역도시계획과 같은 상위계획뿐만 아니라 실제 사람들의 활동을 바탕으로 대도시권의 공간구조를 파악하는 것은 중요하다.

최근 도시의 활동에 관한 빅데이터가 광범위하게 축적되어 있고, 웹 기반의 Application Programming Interface(API) 서비스 사용이 용이하게 되면서, 도시의 일상활동과 밀접한 관련이 있는 Point-of-Interest(POI) 자료를 활용할 수 있게 되었다. POI 빅데이터는 해외에서 도시활력(Jin et al., 2017; Yue et al., 2017), 도시의 토지이용, 도시기능의 공간적인 분포 분석(Chen et al., 2020; Yao et al., 2017; Zhai et al., 2019) 등 다양한 분야에서 활용되고 있다. 또한, POI를 통해서 사람들의 활동을 파악할 수 있을 뿐만 아니라 이를 바탕으로 도시공간구조를 분석할 수 있는 것으로 나타났다(Deng et al., 2019; Yu et al., 2020). 그러나 국내에서는 다양한 도시활동을 확인할 수 있는 POI 빅데이터로 중심지를 식별하고, 중심지의 기능을 분석한 연구는 미비한 수준이다.

이러한 배경에서 본 연구는 웹 기반 POI 빅데이터를 활용하여 서울 대도시권의 활동중심지를 도출하고 중심지의 기능을 분석한다. 구체적으로 POI 밀도분석과 Contour tree 방법론으로 서울 대도시권의 공간구조를 파악하고, 입지계수(Location Quotient: LQ)로 중심지의 기능을 진단한다. 연구의 분석 결과는 기존 도시기본계획의 중심지 체계를 진단해 볼 수 있을 뿐만 아니라 서울 대도시권의 체계적인 공간구조 개편 방향을 도출하는 데 유용하게 활용될 수 있다.

II. 선행연구 고찰

1. 도시공간구조 이론

도시공간구조를 설명하기 위해 20세기 초 도시생태학자들은 동심원 이론(Burgess, 1926), 선형이론(Hoyt, 1939), 다핵심 이론(Harris and Ullman, 1945) 등을 제시하였다. 이 중 동심원 이론은 도시의 공간구조를 중심상업지역(Central Business District, CBD)을 중심으로 점이지역, 저소득층 지역, 중산층 지역, 통근자 지역으로 구분하였다. 반면, Harris and Ullman(1945)은 도시가 성장하면서 기존의 단핵중심의 공간구조가 다핵중심의 공간구조로 변화된다고 보았다.

도시공간구조의 형성은 도시개발과 교통인프라 투자 등에 의해 영향을 받으며 점진적인 과정을 통해 이루어진다고 보았다(Bourne, 1982). 이러한 도시공간구조의 진화는 인구증가, 토지이용 및 교통의 변화 등 복합적인 요인이 영향을 미친다고 볼 수 있다(임은선 외, 2006). 또한, 대도시 규모의 도시에서는 단핵의 공간구조보다는 다핵의 공간구조가 공간상 효율적임을 시사했다(Davoudi, 2003; Halbert et al., 2006).

한편, 서울은 1960년대 이후 인구와 산업의 집중이 가속화되면서, 교통과 주택문제 등 과밀화 현상을 해결하기 위해 도시기본계획을 통해 다핵의 도시공간구조로 전환을 구상했다(김현철·안영수, 2018; 옥석문·이명훈, 2008). 또한, 1990년대 이후 집값 안정과 주택난 해결을 위해 1기와 2기 신도시 사업을 추진하였다. 구체적으로, 수도권의 다핵도시공간구조 형성을 위해서 서울 도심으로부터 20km 이상의 거리에 1기, 2기 신도시를 개발했다. 이런 신도시는 일자리와 주택을 공급하여 새로운 지역거점 형성을 유도했고, 도심지역의 과밀을 해소하기 위한 전략으로 추진되었다(이외희 외, 2007).

그러나 지난 수십 년간 수도권에서 추진된 공간구조개편 정책이 실제 도시공간에서 다핵의 도시공간구조로 나타나고 있는지 평가와 실증연구는 부족한 실정이다. 이러한 측면에서 현재의 수도권의 도시공간구조 분석과 중심지 도출은 그동안 수도권 다핵 도시공간구조 개편 정책을 평가하고, 시사점을 도출하는 데 중요하다고 판단된다.

2. 도시 활동중심지와 중심지 기능분석

도시공간구조와 관련된 이론에서 중심지는 도시공간구조의 핵심으로 고용과 인간의 활동이 밀집한 지역으로 정의할 수 있다(Giuliano and Small, 1991; Sun et al., 2016). 또한, 중심지는 경제활동이나 인간활동이 특정 지역에 집중되어 있는 지역으로 집적경제(agglomeration economies)가 중요하고 이는 도시공간구조의 효율성에 영향을 미친다(Alonso, 1964). 효율적인

도시공간구조를 만들기 위해서는 중심지에 주거, 상업, 업무 등 주요 기능이 집적해 있어야 하고, 중심지의 집적이익은 다양한 인구 및 사회경제 활동을 유발할 수 있다(김도형·우명제, 2018; 김선웅 외, 2019; 서주옥 외, 2017).

도시의 중심지를 확인한 선행연구는 인구밀도(한상욱 외, 2008; Feng et al., 2009), 통근통행(김도형·우명제, 2018; 김현철·안영수, 2018; Jun, 2020), 산업과 고용(McMillen, 2001; Nam and Kim, 2017), 지가(김갑영·이윤미, 2013; Wen and Tao, 2015; Zou et al., 2015) 등의 지표를 활용하고 있다. 한편, Christaller(1966)는 중심지의 위계를 중심지의 기능과 영향범위를 중심으로 설명하였다. 그러나 선행연구에서 설명한 대부분의 지표는 주로 고용 중심지에 집중되어 있고 고용을 포함하는 다양한 활동중심지에 대한 연구가 부족하다. 이러한 맥락에서 선행연구는 고용이 집중되는 중심지뿐만 아니라 사람들의 다양한 활동을 볼 수 있는 활동중심지가 중요하다고 설명하였다(Casello and Smith, 2006; Li et al., 2018). 활동중심지는 사람들의 다양한 활동으로부터 나타나기 때문에 실제 활동을 유발하는 시설로 파악할 수 있으며, 미시적인 단위에서 다양한 활동이 밀집한 중심지를 확인할 필요가 있다.

한편, 도시의 중심지는 현실적으로 다양한 기능을 한 장소에 모두 집적하기 어렵기 때문에 주변 중심지 간의 연결이나 기능적 연결이 중요하다(Vasanen, 2012). 특히, 도시의 중심지 체계는 주변 지역과 연결된 네트워크가 있기 때문에 도시의 행정경계보다 더 넓은 지역을 포함하는 것으로 나타났다(Hall, 2009; Parr, 2004). 이러한 배경에서 서울시 도시기본계획 「2030 서울플랜」에서는 권역별 자족기반을 강화하고 주변의 배후도시와 연계할 수 있는 중심지의 중요성을 강조하였다. 또한, 김도형·우명제(2018)의 연구는 도시 간 기능적 관계(functional relation)를 확인하기 위해 마르코프-연쇄 모형과 Mean First Passage Time(MFPT)을 활용해서 분석했다. 분석 결과 서울 대도시권은 광역적인 중심지 역할을 하고 있으며 대부분의 거점도시가 인접한 중·소도시들과 강한 네트워크 관계를 확인하였다.

그동안 대도시권을 대상으로 도시 활동중심지와 중심지의 기능 분석은 분석 자료와 단위의 한계로 미시적인 분석이 많이 이루어지지 않았다. 또한, 대부분의 도시공간구조 연구가 고용 중심지에 초점을 두고 있기 때문에 활동중심지와 중심지의 다양한 기능에 대해서는 연구가 미흡한 실정이다.

3. 도시 빅데이터와 공간구조 분석

최근 다양한 도시 빅데이터 활용이 공간구조 분석에 활용되고 있다. 예를 들면 야간조명(nighttime light) 위성사진, 관심시설(POI) 빅데이터는 공간적인 한계가 없고 효율적으로 사람들의 활동을 파악할 수 있는 지표이다(Chen et al., 2017; Deng et al.,

2019; Lu et al., 2020; Yu et al., 2020).

Chen et al.(2017)은 야간조명 위성사진을 바탕으로 중심지를 확인하고자 했으며, Contour tree 방법론으로 중국 상하이의 경계와 중심지를 도출하였다. 야간조명 위성사진은 도시의 활동을 확인할 수 있지만 일상의 도시활동을 설명하는 데 한계가 있다. 한편, 야간조명 위성사진의 한계를 극복하기 위해서 Deng et al.(2019)은 POI 빅데이터를 활용하여 중국 베이징의 도시공간구조를 파악하였다. 구체적으로, GaodeMaps에서 수집한 159,027개의 POI 데이터를 분석에 활용하였으며, Contour tree 방법론으로 도시의 중심지를 등고선으로 표현하였다. 등고선의 가장 높은 부분은 인간의 활동이 높은 영역, 계곡은 활동이 낮은 영역을 의미한다. 유사한 연구로 Yu et al.(2020)은 POI 지점자료와 Density-Based Spatial Clustering(DBSCAN) 방법론을 활용하여 도시의 중심지를 도출하였다. 나아가, 도시의 중심지를 분산하기 위해서는 신도시의 역할이 중요함을 시사했다. 그러나 DBSCAN 분석 알고리즘은 중심지 간의 위계구조는 식별할 수 없다는 한계점을 가지고 있다.

야간조명 위성사진이나 POI 빅데이터는 공간적인 경계를 구분하지 않고 도시 공간구조의 중심지를 미시적으로 도출하는 데 유용한 것으로 나타났다. 특히, POI 빅데이터는 야간조명 위성사진의 단점을 보완할 수 있고, 중심지의 다양한 주거, 상업, 업무, 여가 등의 주요 기능들을 파악할 수 있다. 또한, POI 빅데이터는 선행연구에서 주로 설명한 고용 중심지뿐만 아니라 사람들의 다양한 활동이 밀집한 지역을 확인할 수 있다(Jin et al., 2017; Yue et al., 2017).

4. 선행연구와의 차별성

앞서 검토된 도시공간구조를 분석한 선행연구의 한계점과 본 연구의 차별성은 다음과 같다.

첫째, 도시의 공간구조와 중심지 체계를 분석한 연구는 구득 가능한 통계자료를 활용하기 위해서 도시공간구조를 센서스 트랙(census tracts)이나 행정동과 같은 행정경계로 구분하고 있는 것을 볼 수 있다. 그러나 실제 도시의 공간구조는 행정구역의 경계와 상관없이 형성되어 있으며 미시적 분석단위에서 접근하는 것이 더 바람직하다고 볼 수 있다.

둘째, 서울 대도시권을 대상으로 도시공간구조를 분석한 연구는 그동안 많이 진행이 되었다. 그러나 대부분의 연구가 행정동과 같은 분석단위에서 인구, 고용, 지가, 통근통행 등의 자료에 의존하여 진행되었다. 반면 실제 중심지의 다양한 도시활동을 발생시키는 시설을 중심으로 도시공간구조를 분석한 사례는 많지 않은 실정이다. 또한, 도시의 중심지는 주변지역과 유기적인 연결을 통해서 위계를 가지고 있고 중심지마다 서로 다른 기능을 가지고 있다. 그러나 대부분의 도시공간구조 관련 선행연구는 중심지의

위계에서 나아가 중심지별 기능에 대한 고려는 미흡한 실정이다.

셋째, 대도시권의 중심지 체계는 장기발전계획에 해당하는 도시기본계획이나 광역계획의 틀 속에서 제시된다. 따라서 실제 도시개발 사업이나 도시정비 사업 등은 상위계획에 해당하는 도시기본계획과 광역계획의 틀 속에서 이루어지는 것이 타당하다. 이러한 관점에서 2020년 미래 비전으로 제시된 서울 대도시권 중심지 체계와 실제 중심지 체계를 비교분석한 연구가 필요하지만 이와 관련된 실증연구는 거의 이루어지지 않았다.

위와 같은 한계점과 비교해서 본 연구가 가지는 차별성은 다음과 같다. 우선, 수도권 전역을 대상으로 도시활동과 밀접한 관련이 있는 POI 빅데이터를 구축한다. 그리고 중심지의 공간적 위계와 주변 지역 간의 연계를 확인할 수 있는 Contour tree 방법론을 활용하여 중심지를 식별한다. 다음으로 서울 대도시권에 속하는 서울특별시, 인천광역시, 경기도에서 제시한 중심지 체계와 비교분석한다. 마지막으로 POI 빅데이터를 통해 도출된 중심지 체계와 각 중심지의 기능을 분석하고, 대도시권 도시공간구조 관리를 위한 정책적 시사점을 제시한다.

III. 분석자료와 상위도시계획

1. 분석의 공간적 범위와 POI 빅데이터

본 연구의 공간적인 분석범위는 서울특별시, 인천광역시, 경기도를 포함하는 서울 대도시권 지역이다. 서울 대도시권은 한국의

전체 면적의 약 11.8%를 차지한다. 또한, 한국 인구의 약 50% 이상이 집중된 지역이고, 다핵 분산형 공간구조를 가지고 있으며 다양한 유형의 활동 중심지가 분포하고 있는 지역이다.

〈그림 1〉은 연구에서 사용한 카카오 맵(Kakao map) 관심시설(POI)의 공간적인 분포를 나타낸다. POI 빅데이터는 서울 대도시권의 도시공간구조와 활동중심지를 도출하고 각 중심지의 기능을 밝히는 데 유용한 자료이다. POI 빅데이터는 기존의 건축물 용도 데이터와 비교했을 때, 한 건물에 다양한 시설들을 확인할 수 있는 장점이 있다. 그리고 미시적인 지점 단위의 자료로 행정 경계에 대한 공간적인 제약이 없기 때문에 도시공간구조 분석과 중심지의 기능을 파악하는 데 장점을 가지고 있다.

POI 빅데이터는 카카오 맵에서 API를 활용하여 데이터를 수집하였고, 데이터의 구축시점은 2020년 6월부터 8월까지로 하였다. 카카오 맵 서비스는 한국에서 가장 영향력이 있는 포털(portal) 3사의 서비스 중 하나로 2020년 1월의 이용자 수는 약 840만 명이며 신뢰할 수 있는 대중적인 정보를 제공한다고 판단하였다. 카카오 맵의 POI는 길 찾기(navigation) 기반으로 사람들이 많이 방문하는 장소에 대한 정보가 포함되어 있고, 이러한 장소는 사람들의 요청에 따라서 추가되거나 수정될 수 있어서 정확도가 높은 자료라고 할 수 있다.

분석에서 사용한 POI의 분류는 〈표 1〉과 같다. POI 분류는 카카오 맵에서 구분하는 분류를 활용하였고, 도시공간구조 관련 선행연구를 참조하였다. 2020년 8월 기준으로 서울 대도시권에서는 약 1,084,899개의 POI가 있는 것으로 나타났다.

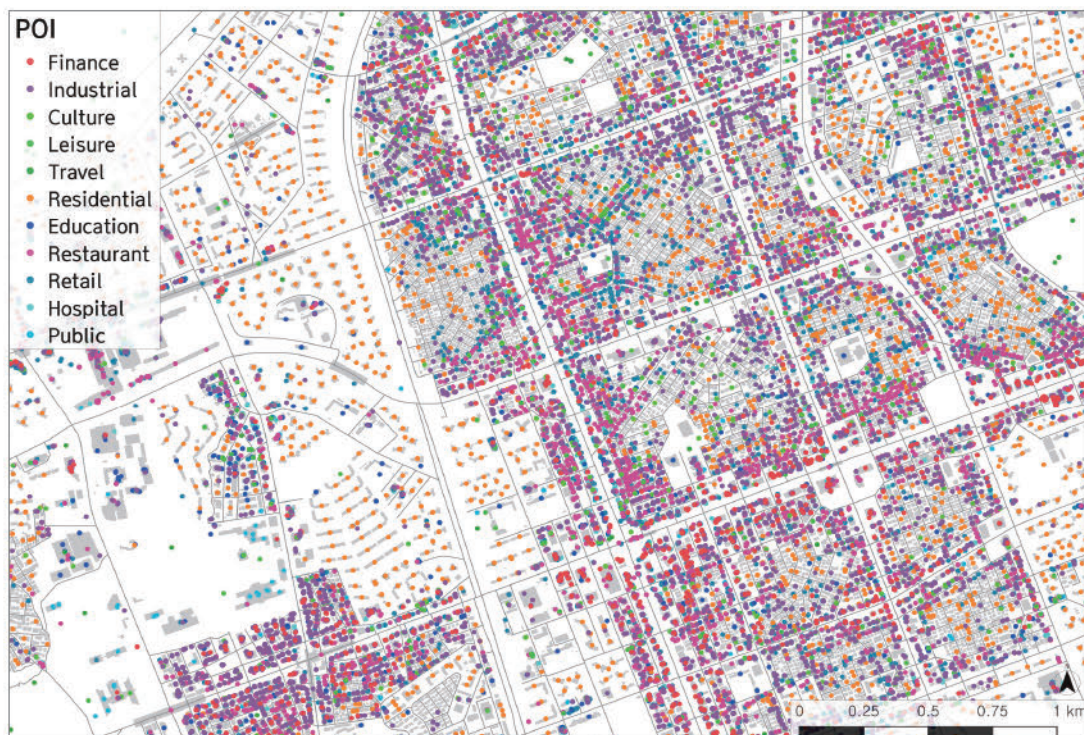


그림 1. POI 분류와 공간적 분포(서울 강남지역 예시)

Figure 1. Types and distribution of POI (example of Gangnam, Seoul)

표 1. POI 분류

Table 1. POI classification

분류 Classification	세부 분류 Detailed classification
금융 Finance (Fin.)	은행, 증권, 보험 등 bank, securities, insurance, etc.
산업 Industrial (Ind.)	제조업, 서비스업, 신문사 등 manufacturing, services, newspaper, etc.
문화 Culture (Cul.)	소극장, 영화관, 미술관 등 small theater, movie theater, art gallery, etc.
레저 Leisure (Leis.)	축구장, 스포츠 시설, 필라테스 등 soccer field, sport facility, pilates, etc.
여행 Travel (Trav.)	관광지, 산, 호수 등 tourist attraction, mountain, lake, etc.
주거 Residential (Res.)	아파트, 빌라, 연립주택, 기숙사 등 apartment, villa, townhouse, dormitory, etc.
교육 Education (Edu.)	학원, 학교, 어린이집, 도서관 등 academy, school, day care center, library, etc.
음식점 Restaurant (Rest.)	한식, 패스트푸드, 치킨, 카페 등 Korean food, fast food, chicken, cafe, etc.
근린상업 Retail	미용실, 옷가게, 편의점, 세탁소 등 hair salon, clothing store, convenience store, dry cleaner, etc.
병원 Hospital (Hosp.)	약국, 치과, 대형병원, 일반의원 등 pharmacy, dental clinic, large hospital, general clinic, etc.
공공시설 Public facility (Pub.)	복지시설, 행정기관, 파출소, 주민센터 등 welfare facility, administrative institution, police station, community service center, etc.

2. 상위계획의 중심지 체계

장기발전계획에 해당하는 도시기본계획이나 광역계획의 틀 속에서 실제 중심지 체계와 비교분석을 하기 위해서 상위계획의 중심지 체계를 살펴보았다. 서울 대도시권 지역을 대상으로 하는 상위계획은 크게 수도권정비계획¹⁾, 수도권 광역도시계획²⁾, 서울플랜(서울시 도시기본계획)³⁾, 인천시 도시기본계획⁴⁾, 경기도 종합계획⁵⁾ 등이 있다. 우선, 수도권을 공간계획 단위로 하는 「제3차 수도권 정비계획(2006~2020)」은 서울을 중심으로 지역 도시 간 연계를 강화한 다핵 연계형 공간구조로 전환을 제시하고 있으며, 서울 및 주변 지역의 과밀을 완화하고자 했다. 또한, 「2020 수도권 광역도시계획」에서는 서울로 집중된 통행을 완화할 수 있는 위치에 거점도시를 계획하였다. 그리고 거점도시는 산업 및 서비스 기능을 충족하고 인접한 주변 도시 간의 상호 연계성을 높이고자 하였다.

다음으로, 서울특별시 「2030 서울플랜」에서는 기존의 1도심이었던 중심지 체계를 도시경쟁력 및 지역균형 발전을 목표로 한 양도성, 영등포·여의도, 강남의 3도심 체계로 전환하였다. 이를

통해 서울시의 중심지 체계를 3도심 7광역중심 12지역중심으로 설정하고 있다. 인천광역시의 경우 「2030 인천 도시기본계획」에서 광역거점 간 연계 및 자족성 마련과 중심지별 특화 기능을 강화하기 위해 공간구조를 설정하고 있다. 그 결과 4도심 3부도심 9지역중심으로 나타났다. 마지막으로 경기도의 경우 「경기도 종합계획 2012~2020」을 통해 경기도 지역의 자족성을 높일 수 있는 자립적인 중심도시권 형성을 제시하고 있다. 이에 따라 경기도 종합계획은 경기도 전역을 대상으로 8광역거점, 8전략거점, 17지역거점 중심지 위계를 제시하였다.

그러나 서울시, 인천시, 경기도에서 제시하고 있는 중심지 체계는 수도권 전체를 하나의 대도시권으로 고려하지 못한 한계를 가지고 있다. 또한, 지방자치단체별로 설정되어 있는 중심지 체계는 실제 중심지 체계와 어떤 차이가 있는지 비교분석할 필요가 있다.

IV. 분석과정 및 방법론

1. 분석과정

본 연구의 분석과정은 <그림 2>와 같다. 데이터 수집단계는 Python과 카카오 맵 API를 활용하여 POI 데이터를 구축하였다. 우선, 데이터 분석에서 카카오 맵을 통해 구축한 POI 빅데이터에서 불필요한 POI를 제외하고, 전체 POI를 바탕으로 커널밀도(kernel density) 분석을 하였다. 등고선을 생성하기 위해서 다양한 대역폭(bandwidth)을 실험하였고, 서울 대도시권의 도시공간구조를 설명할 수 있는 대역폭을 선택하였다. 다음으로, Contour

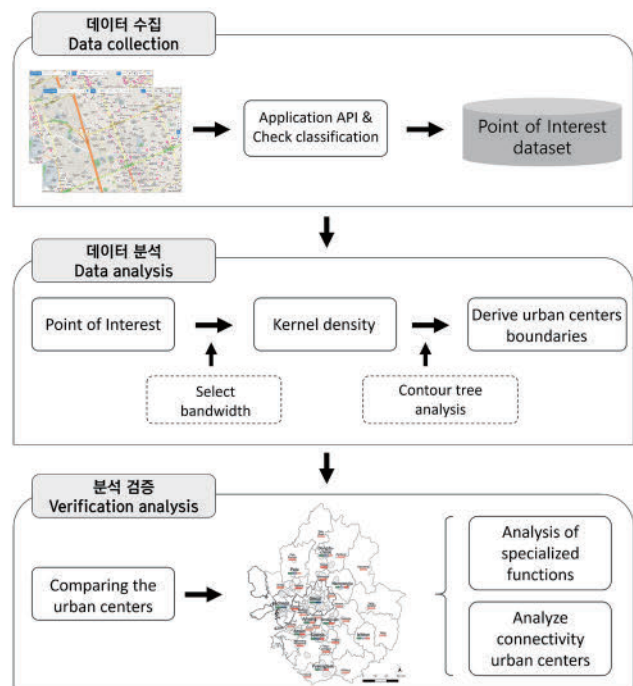


그림 2. 분석 프레임워크
Figure 2. Analysis framework

tree 방법론을 적용하기 위해선 적절한 임계값(threshold)을 도출하는 게 필요하다. 따라서 통계청에서 제공하는 도시화 지역 공간자료를 활용해서 임계값을 도출해 Contour tree 분석에 활용하였다. Contour tree 방법론으로 래스터(raster) 형태의 노이즈(noise)를 제어하고, 이를 바탕으로 도시공간구조의 중심지 경계를 도출하였다.

다음의 분석 검증 단계로, 다양한 활동을 바탕으로 도출된 POI 중심지와 도시기본계획 체계에서의 중심지와 유사한지 비교분석을 하였다. 그리고 지하철역과 광역철도망(Great Train eXpress, GTX) 자료를 활용해서 POI 중심지의 교통 연결성을 확인하고 입지계수로 중심지의 특화기능을 분석하였다. 본 연구는 도시의 다양한 활동을 대표하는 POI 빅데이터를 통해서 서울 대도시권의 도시공간구조를 확인하고 Contour tree 방법론으로 중심지를 식별한다. 그리고 도출된 중심지의 특화기능과 연결성을 파악하여 도시공간구조 관리를 위한 정책적 시사점을 제시한다.

2. 커널밀도 분석

커널밀도 분석(Kernel Density Estimation, KDE)은 공간상의 지점에서 공간의 밀도를 시각적 표현하고 공간상 군집을 발견하는 데 유용한 방법론이다. 본 연구에서 사용한 방법론인 비모수 밀도 추정 방법론은 일정한 크기의 대역폭을 설정하고, 대역폭 내에 포함되는 지점을 바탕으로 밀도를 조정한다. 특히, 커널밀도는 중심으로부터의 거리가 증가함에 따라 점차 감소하는 가중치를 가지고 있다. 즉, 중심의 가중치가 가장 높고 대역폭이 최대치에 도달하면 가중치는 0으로 된다. 따라서 연구에서 커널밀도 방법론의 분석은 식 (1)과 같다.

$$P_i = \frac{1}{n\pi R^2} \sum_{j=1}^n K_j \left(1 - \frac{D_{ij}^2}{R^2}\right)^2 \quad (1)$$

P_i 는 i 위치에서의 커널밀도를 의미하고 D_{ij} 는 공간적인 i 와 j 사이의 대역폭을 의미한다. 다음으로, k_j 는 j 의 위치에서 가중치를 계산한 것이고, n 은 대역폭 내의 POI 개수를 의미한다.

한편, 선행연구는 커널밀도의 분석 방법론의 대역폭이 분석결과에 영향을 미치는 것으로 나타났다(Silverman, 1986). 도시의 공간구조를 파악한 선행연구는 다양한 대역폭을 실험하고, 도시의 공간구조를 설명하는 데 가장 적합한 대역폭을 선택해서 분석에 활용하고 있다(Han and Song, 2020; Lu et al., 2020).

〈그림 3〉은 다양한 커널밀도의 대역폭을 확인한 결과이다. 〈그림 3〉의 대역폭을 높이면 POI 밀도의 경계는 모호해지고 도출되는 중심지가 크게 나타났다. (A)와 같이 대역폭을 낮게 조절했을 때, 서울 대도시권의 중심지가 많이 도출되었고 중심지의 크기도 작게 나타났다. 이와 같은 대역폭은 서울 대도시권 단위

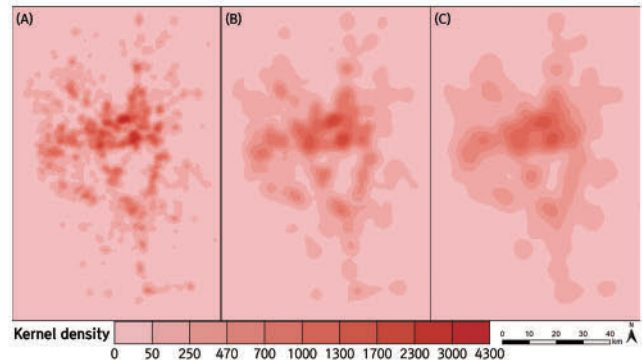


그림 3. 커널밀도 대역폭

Figure 3. Kernel density bandwidth
(A) 2,000m (B) 4,000m (C) 6,000m

보다 작은 지역 단위에서 적절하다고 볼 수 있다. (C)와 같이 대역폭을 높게 할 경우, 중심지의 경계가 모호해지는 현상이 나타나서 중심지를 도출하기 적합하지 않은 것으로 나타났다. 따라서 본 연구는 이러한 특성을 고려해서 4,000m를 서울 대도시권의 POI를 설명하는 데 가장 적합한 대역폭으로 도출하였다. 종합적으로 4,000m 대역폭을 설정하였을 때, 서울 대도시권의 POI의 도시공간구조를 도출할 수 있고 중심지의 경계를 적절하게 구분하는 것으로 나타났다.

다음으로, 커널밀도로 나온 분석 결과를 등고선으로 나타냈다. 도시의 중심지는 일반적으로 도시화 지역에 있기 때문에 적절한 도시의 범위를 도출하는 것은 중요하다. 해외의 선행 연구는 주로 등고선의 밀도대비 등고선의 반지름 또는 중심지에서 경계까지의 거리로 변곡점을 도출해서 도시화 지역을 선정하고 있다(Deng et al., 2019; Han and Song, 2020). 한편, 국내는 통계청에서 도시화 경계 도형자료를 제공하고 있다. 따라서 본 연구는 통계청의 도시화 경계 자료를 사용해서 해당 등고선의 POI 밀도 대비 도시화 비율을 도출하였고, 비율이 급격하게 변경하는 지점을 변곡점으로 주요지역(main area)으로 도출하였다.

3. Contour tree 분석

본 연구에서 이용한 경사나무(Contour tree) 분석은 지리학적, 기하학적 특성을 탐지하는 데 유용한 방법론으로 알려져 있다(Chen et al., 2017; Wu et al., 2015). Contour tree 방법론은 다양하고 정밀화된 원격감지 빅데이터가 많아지면서, 이를 정량적으로 측정하기 위한 새로운 방법론이 필요한 배경에서 나타났다(Wu et al., 2015).

Contour tree 방법론은 래스터(raster) 자료 데이터의 오류 및 노이즈(noise)를 줄일 수 있는 방법론으로 미시적인 데이터의 공간적인 오류를 제어할 수 있다. 또한, Contour tree 방법론은 주로 지리 분야에서 사용되었지만, 기하학적 특성과 위상 관계를 분석하기 위해서 다른 분야에서 응용할 수 있음을 밝혔다. 이러한

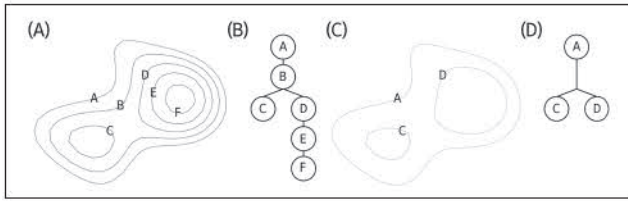


그림 4. Contour tree 방법론

Figure 4. Contour tree method

(A) contour, (B) contour tree structure,
(C) simplified contour, (D) simplified contour tree structure

Contour tree 방법론은 도시의 위계적인 공간구조를 설명하는 데 활용될 수 있는 것으로 나타났다(Chen et al., 2017; Deng et al., 2019; Han and Song, 2020).

이에 대한 개념은 <그림 4>와 같이 도식화할 수 있다. 연속된 지리정보 데이터의 밀도를 바탕으로 (A)와 같은 등고선으로 지형화할 수 있다. 다음으로, (B)에서 이를 Contour tree 구조로 도식화할 수 있고, 이는 노드(node)와 링크(link)의 구조로 구성되어 있다. (C)와 (D)는 앞의 등고선을 Contour tree 방법론으로 전처리한 것으로 데이터의 불확실한 부분이나 노이즈를 줄여 불필요한 정보를 보완하는 것으로 볼 수 있다. (D)에서 C노드와 D노드는 단일의 중심지로 볼 수 있고 A노드는 두 중심지를 연결하는 지역으로 볼 수 있다. 따라서 Contour tree 방법론으로 도시의 다핵구조와 중심지를 도출할 수 있다.

따라서 본 연구는 POI와 커널밀도(kernel density) 방법론을 활용해서 서울 대도시권의 도시활동의 밀도가 높은 지역을 확인한다. 다음으로 Contour tree 방법론으로 도시 활동중심지를 확인하고 중심지의 경계를 도출하고, 주변 중심지 간의 위계를 확인하고자 한다. 마지막으로 도출된 중심지를 바탕으로 도시기본계획에서 설정된 중심지가 실제로 나타났는지 비교·분석하고자 한다.

4. 입지계수 분석

본 연구는 중심지에서 POI 기능의 특화 정도를 확인하기 위해 지역경제 분석에 주로 활용되는 입지계수(Location Quotient, LQ)를 사용하였다. 입지계수는 POI의 11개의 세분화된 분류를 바탕으로 구축하였으며, 도시 중심지에 특정 기능이 얼마나 특화되어 있는가를 파악할 수 있는 지수이다. 입지계수 산출은 다음의 식 (2)와 같다.

$$Q_k^i = \frac{e_k^i / e^i}{E_k / E} \quad (2)$$

Q_k^i 는 k 중심지의 i 산업의 입지계수를 의미한다. 연구에서 E 는 서울 대도시권의 총 POI의 개수이고, E_k 는 k 중심지에 있는 전체 POI의 개수이다. e^i 는 서울 대도시권에서 i 분류에 해당하는 POI의

표 2. 입지계수 범위와 정의

Table 2. Definition of Location Quotient ranges

입지계수 범위 Location Quotient range	정의 Definition
$0.00 \leq LQ \leq 0.70$	특화 부족 Lack of specialization
$0.70 < LQ \leq 0.90$	약간 부족한 특화 Slight lack of specialization
$0.90 < LQ \leq 1.10$	평균 특화 Average specialization
$1.10 < LQ \leq 1.30$	적당한 특화 Adequate specialization
$1.30 < LQ$	특화 Specialization

개수이고, e_k^i 는 k 중심지에서 i 분류에 해당하는 POI의 개수이다.

다음으로 입지계수인 LQ를 해석하기 위해 <표 2>의 분류를 참조하였다(Miller et al., 1991). 입지계수가 0.70 이하인 중심지는 특정 기능이 부족한 것으로 해석할 수 있고, 입지계수가 0.70에서 0.90의 값을 가지는 기능이 약간 부족하다고 볼 수 있다. 다음으로 0.90에서 1.10의 값은 기능이 평균적인 수치를 나타내는 것을 의미하고, 1.10에서 1.30까지의 값은 적당히 특화되어 있다고 볼 수 있다. 그리고 중심지의 입지계수가 1.30을 초과한 값일 경우 중심지에 특정 기능이 특화되어 있다고 볼 수 있다.

이를 통해 Contour tree와 입지계수 방법론으로 도출된 중심지의 연계와 특화된 기능을 확인하고자 하였다. 특화된 기능은 선행연구에서 설명한 중심지의 집적이익(agglomeration economies) 측면에서 중요하고, 효율적인 도시 공간구조를 만들기 위해서는 필수적이다. 나아가 주변 중심지의 특화 기능을 파악해서 향후 부족한 기능을 연결하거나 보완하기 위한 시사점을 도출하고자 한다.

V. 분석결과

1. POI 빅데이터 커널밀도 분석

<그림 5>는 POI 빅데이터를 바탕으로 커널밀도를 분석하였고, 이를 등고선으로 변환해서 6단계 분위수로 시각화하였다. 등고선의 시작점은 1에서 시작하고 등고선 간격은 10m 단위로 만들어서 분석에 활용하였다. POI의 밀도가 높은 지역은 사람들의 일상 활동에 필요한 시설이 많이 분포하고 있는 지역으로 볼 수 있다. 이와 같이 POI 밀도는 서울의 한양도성, 강남지역, 영등포·여의도 지역을 중심으로 높게 나타났으며, 서울시 외곽의 경우 기존 도심과 신도시 등을 중심으로 높게 나타났다. 인천광역시의 경우 「2030 인천도시기본계획」에서 제시한 4개 도심 중 구도심인 부평·계양, 동인천·구월 지역에서 POI 밀도가 높게 나타났다.

서울시는 POI 밀도가 전체적으로 높게 나타났으며, 서울시 외 광역지역은 상대적으로 낮은 것으로 나타났다. 경기도지역의 경우 POI 밀도는 서울시와 비교할 때 상당히 낮은 것으로 나타나지만 기존 도심이나 신도시를 중심으로 POI 밀도가 높은 지역이 도출되

었다. 신도시를 중점적으로 보면 POI의 밀도가 높은 지역으로 분당, 일산, 산본, 평촌, 중동 등 1기 신도시지역은 전체적으로 POI 밀도가 높은 것으로 나타났다. 2기 신도시는 판교와 운정 신도시에서 POI 밀도가 높게 나타났으며, 한강, 검단, 광교, 동탄 신도시에서도 POI 밀도가 주변지역보다 높은 것을 알 수 있다.

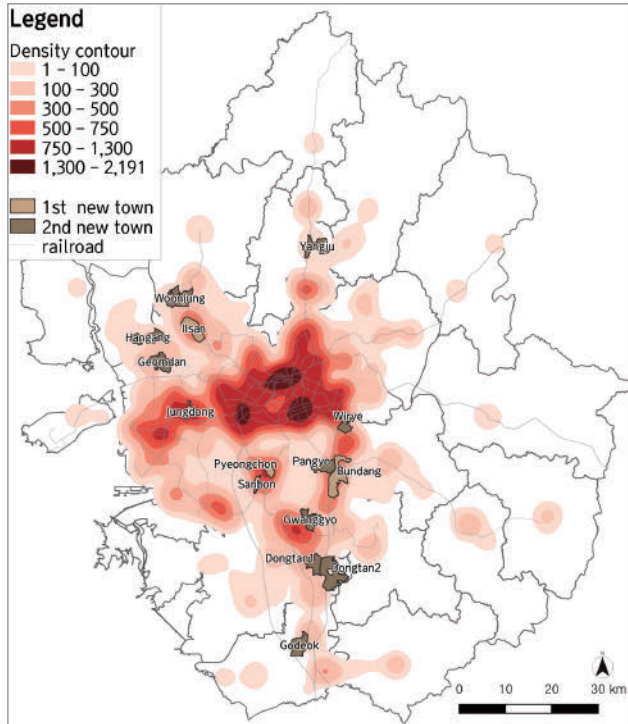


그림 5. POI 커널밀도 분석

Figure 5. Analysis of POI Kernel density

2. POI 빅데이터 Contour tree 분석

앞선 POI 커널밀도 분석은 연속적인 밀도 평면을 제공하지만 중심지의 경계를 도출하기 위해서는 Contour tree 방법론의 활용이 필요하다. <그림 6>은 도시활동을 대변하는 전체 POI 자료를 Contour tree 방법론으로 분석한 결과이다. 주요지역은 도시화 경계 도형자료를 사용해서 POI 밀도대비 도시화 지역의 면적이 급격하게 변화하는 지점을 임계값(threshold)으로 도출하였다.

우선, 서울 대도시권은 주요지역(main area)을 중심으로 다핵 중심지를 가지고 있는 것으로 나타났고, 교외지역에는 다른 중심지와 연계되지 않은 활동중심지가 있는 것으로 나타났다(그림 6-A참고). 구체적으로, 서울 대도시권은 광역적으로 연계된 1개의 주요지역과 15개의 교외 중심지로 구성된 것으로 나타났다. 이는 서울 대도시권이 서울을 중심으로 다핵구조의 도시공간구조를 가지고 있음을 의미한다. 특히, 광역적으로 연계된 주요지역은 서울의 남쪽지역 약 50km 반경의 수원, 동탄, 오산지역까지 확장되어 있고, 서쪽으로는 인천에서 안산시의 시화지구까지 확장된 도시공간구조를 보이고 있다.

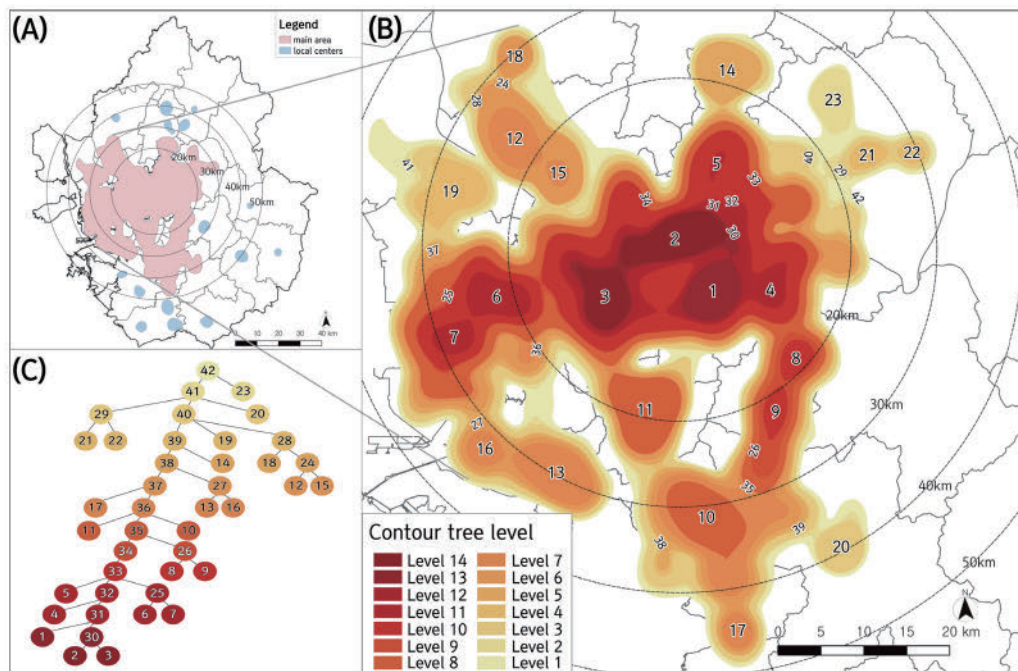


그림 6. POI 밀도 Contour tree 분석 결과

Figure 6. Result of Contour tree analysis of POI density

(A) The center of the Seoul metropolitan area, (B) The expansion of the main region in the Seoul metropolitan area, (C) Contour tree structure

다음으로, 〈그림 6〉의 (B)는 서울 대도시권의 광역적으로 연계된 중심지를 미시적으로 확인한 결과이다. Level 1(노랑)에서 Level 14(빨강)로 갈수록 도시 활동중심지로서 중심성이 강화되는 것을 알 수 있다. Level 14일수록 POI 밀도가 높은 것을 의미하고 Contour tree에서 상위의 위계구조를 가진다고 볼 수 있다. 예를 들어 서울 명동지역(2)과 서울 영등포역(3)은 상위 중심지로 연계되어 있는 하위구조(30)를 가지고 있으며, 하위구조는 중심지 간의 위계구조를 확인할 수 있을 뿐만 아니라 중심지 간의 연계성이 있다는 것을 의미한다. 이를 실제 도면의 POI를 통해서 확인했을 때, Contour tree 구조와 마찬가지로 POI가 인접한 중심지 간의 연결이 공간적으로 이어지는 것으로 나타났다.

또한, 1기, 2기 신도시 개발 지역과 신도시 주변의 택지개발 사업은 서울 대도시권에서 상대적으로 높은 POI 밀도를 보였고, 중심지 체계에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 예를 들어 경기도 분당·판교 신도시 지역(9)의 경우 성남시의 지형적인 특성 때문에 북쪽과 남쪽으로 긴 타원형의 중심지가 형성된 것을 확인할 수 있다. 또한, 인천의 검단 신도시와 김포의 한강 신도시가 인접한 지역(19)은 신도시를 중심으로 POI 밀도가 높은 것으로 나타났다. 이와 마찬가지로 경기도의 평촌 신도시와 산본 신도시가 있는 지역(11)은 신도시를 중심으로 POI 밀도가 높은 것으로 나타났다.

다. 서울시를 제외한 인천광역시와 경기도 지역의 경우 기존 도심과 더불어 신도시가 개발된 지역과 택지개발 사업이 이루어진 지역을 중심으로 도시 활동중심지가 형성된 것을 알 수 있다. 이러한 결과는 신도시 개발과 주변지역의 택지개발 사업이 도시 활동중심지를 형성하는 데 중요한 역할을 할 수 있음을 시사한다.

다음으로 〈그림 6〉의 (A)와 (B)를 바탕으로 Contour tree 구조를 도식화하면 (C)와 같다. 이는 POI 밀도의 위계적인 연결성을 Contour tree 구조로 도식화한 것을 의미한다. 이를 종합하자면 서울 대도시권의 주요지역은 서울을 중심으로 23개의 중심지가 도출됐고, 교외지역에는 15개의 교외 중심지가 나타났다. 그리고 Contour tree 구조를 통해서 1부터 42까지의 중심지(node) 위계가 있는 것으로 알 수 있다. 이를 통해 서울 대도시권의 다핵공간구조를 확인할 수 있고, 중심지 간의 연결성과 복잡성을 확인할 수 있다.

3. POI 기반 중심지와 상위계획 중심지 비교

POI 빅데이터를 통해 도출된 중심지와 서울 대도시권 지역 상위계획에서 제시하고 있는 중심지와 비교분석을 진행하였고 이는 〈그림 7〉과 같다. 우선, 서울 대도시권 및 경기도 종합계획을 대상

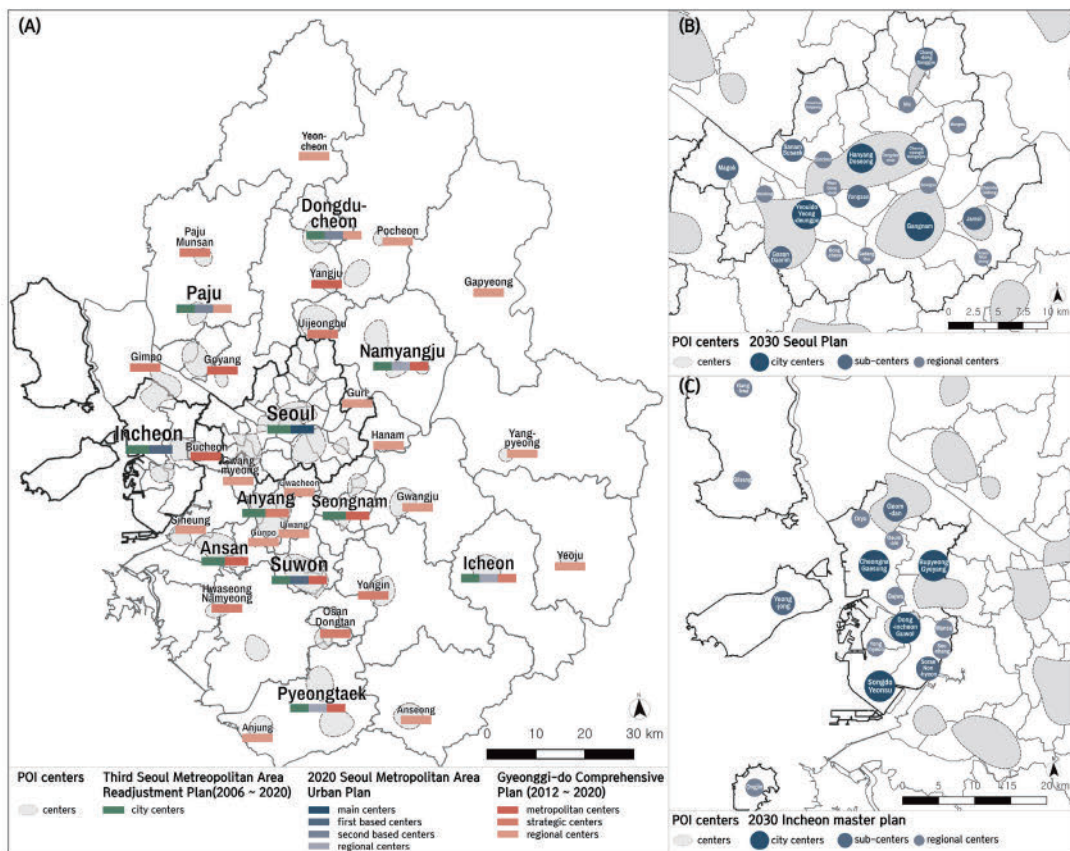


그림 7. POI 기반 중심지와 상위계획 중심지 비교·분석

Figure 7. Comparison between POI based activity centers and designated activity centers in comprehensive planning

(A) All centers in the Seoul metropolitan area, (B) 2030 Seoul Plan, (C) 2030 Incheon Master Plan

으로 한 도시기본계획은 <그림 7>의 (A)와 같다. 제3차 수도권정비계획(2006~2020)에서는 서울과 인천을 하나의 중심지로 제시하고 있다. 반면, POI 중심지는 서울에 5개의 중심지와 인천지역은 2개의 중심지가 식별되었다. 인천지역과 경기지역의 경계에서 중첩되는 2개의 중심지와 인천시청 지역에서 1개의 중심지가 식별되었다. 이와 같이 POI 빅데이터를 활용할 경우 행정구역의 경계의 제한없이 실제 중심지의 경계를 도출할 수 있다.

다음으로 경기도, 서울시, 인천시 도시기본계획과 POI 중심지가 미시적으로 어떤 차이가 있는지 확인하고자 했다. 먼저, 경기도에 대해 POI 빅데이터를 통해 도출된 중심지는 경기도 종합계획상에서 중심지로 설정된 파주, 동두천, 남양주, 이천, 수원, 평택, 안양, 안산, 성남 등과 일치하는 것으로 나타났다. 또한, 경기도 종합계획에서 설정하고 있는 파주문산, 화성남양 같은 미시적인 중심지 또한 POI 중심지에서 도출되었다. 그러나 가평, 연천과 같은 중심지는 POI 중심지에서 도출되지 않았다. 이러한 결과는 상위계획에서 중심지로 설정이 되어 있으나 실제 개발이나 발전이 미흡하기 때문에 중심지의 역할을 하지 못하기 때문으로 판단된다. 반면, POI 중심지에서는 나타났지만 경기도 종합계획에 설정되어 있지 않은 중심지로는 화성시의 향남, 포천의 송우지구로 나타났다. 화성시의 향남읍은 인근에 향남 제약단지과 발안 일반산업단지가 있고, 최근 향남지구 개발로 성장하고 있는 도시이다. 향남지구의 POI를 확인해본 결과 주변지역보다 산업시설, 음식점, 주거시설, 근린상업 등이 밀집해 있는 것으로 나타났다. 그리고 포천의 송우지구는 주변 지역보다 상대적으로 인구가 밀집해 있고 산업시설, 근린상업, 음식점 등 다양한 기반시설이 밀집한 지역으로 나타났다.

서울과 인천의 도시기본계획에서 도출된 중심지와 본 연구에서 도출한 POI 중심지는 다소 차이가 있는 것으로 나타났다. 이러한 이유로 본 연구는 서울 대도시권을 모두 고려한 중심지를 설정했기 때문으로 볼 수 있다. 이와 같은 내용은 <그림 7>의 (B)와 (C)에서 확인할 수 있다. 「2030 서울플랜」에서 설명한 3도심이 POI 중심지로 나타났으며, 서울 대도시권으로 봤을 때 서울 도심의 중심지 경계의 범위는 더 넓은 것으로 나타났다. 구체적으로 서울플랜의 한양도성 도심은 POI 중심지에서 신촌부터 청량리·왕십리까지 모두 포함하는 지역으로 나타났다. 다음으로 서울플랜의 영등포·여의도 중심지는 지역중심인 목동과 광역중심인 가산·대림을 포함하는 지역으로 나타났다. 마지막으로 강남 중심지는 강남뿐만 아니라 서초지역을 포함하고 있으며, 북쪽으로는 성수지역까지 영향력을 미치는 것으로 볼 수 있다. 도시기본계획과 본 분석의 차이는 POI가 지점 단위의 정밀한 도시의 중심지 경계를 도출할 수 있기 때문에 나타난 결과이다. 또한, 서울과 같은 고밀집적인 도시는 주변 지역과의 연계성이 높기 때문에 중심지의 경계가 넓게 나타난 것으로 판단된다.

<그림 7>의 (C) 「2030 인천도시기본계획」의 중심지 체계와 비

교하면 검단지역이나 부평·계양 지역의 경우 POI 중심지는 행정구역의 경계를 벗어나 경기도 지역과 중첩되는 것으로 나타났다. 그리고 동인천·구월 중심지가 있는 곳에서 중심지가 나타났다. 반면, 청라·가성, 송도·연수의 중심지는 POI 중심에서 나타나지 않은 것으로 확인되었다.

종합하면 서울 대도시권을 대상으로 POI 빅데이터를 통해 도출한 활동중심지는 기존의 상위계획에서 설정하고 있는 주요 중심지와 다소 다른 것으로 나타났다. 상위계획에서는 중심지로 설정되어 있으나 POI에서 도출되지 않은 중심지도 확인하였으며, POI를 통해 중심지로 도출되었지만 상위계획에는 설정되어 있지 않은 중심지도 확인하였다.

4. POI 빅데이터 기반 중심지 유형 분류

서울 대도시권 지역은 다핵 도시공간구조를 가지고 있고, 중심지들 간의 위계가 존재한다. 또한, 도심 중심지는 광역교통망을 통해 다른 중심지와 유기적인 연계를 가지고 있다. 중심지 간의 광역적인 연결을 통한 접근성 강화는 부족한 기능을 서로 보완할 수 있는 장점을 가지고 있다.

우선, 서울 대도시권 지역의 중심지 위계를 분류하기 위해 POI 밀도가 상대적으로 높은 주요지역(main area)과 나머지를 교외 지역으로 분류하였다. 주요지역에서 POI 밀도가 1,000 이상이면 도심(city centers), 밀도가 500 이상 1,000 미만이면 부도심(sub-centers), 그리고 POI 밀도가 500 이내인 지역을 지역중심(regional centers)으로 분류하였다. 그리고 교외지역에 독립적으로 존재하는 중심지는 교외중심(local centers)으로 분류하였다. 이와 같은 중심지 분류의 결과는 <그림 8>과 같다. 중심지의 숫자는 POI 밀도의 순위로 구분하였고 Contour tree의 구조를 고려하여 연결을 확인하였다. 즉, 광역적으로 연계된 주요지역은 POI 밀도를 바탕으로 1부터 23까지의 숫자로 구분하였고, Contour tree 구조에서 벗어난 외곽지역의 단일 중심지는 43부터 57까지로 분류하였다.

중심지 위계에 따른 분류를 통해서 서울 대도시권에 도출된 중심지는 서울을 중심으로 3개의 도심이 확인되었고, 부도심으로 서울의 잠실(4), 창동(5)과 인천시청(7) 그리고 경기도의 부천(6), 성남(8, 9), 수원(10)에서 부도심이 도출되었다. 다음으로, 지역중심은 서울로부터 북쪽지역에 많이 도출되었으며, 1기 신도시가 있는 산본, 평촌 신도시(11) 그리고 철도망으로 연계되는 용인(20), 안산(13, 16), 오산지역(17)이 중심지로 도출되었다. 이와 같이 POI 빅데이터를 통해 도출된 중심지는 현재 교통인프라와 밀접한 관련을 가지는 것으로 확인되었다.

한편, 도시의 광역교통망 확충은 서울 대도시권에서 주요 중심지로부터 접근성을 획기적으로 개선할 수 있다. 도심은 모두 수도권 광역급행철도와 연계가 예정되어 있고, 부도심과 지역중심

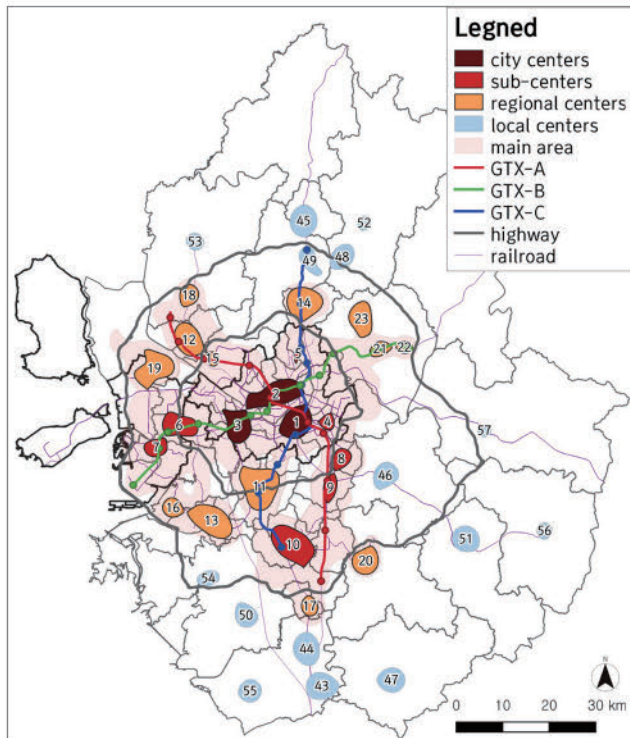


그림 8. POI 기반 중심지의 유형 분류 결과

Figure 8. Classification results of POI based activity centers

도 현재의 광역교통체계 및 미래에 확충될 광역교통망과 밀접한 관련을 가지는 것으로 나타났다. 특히, 수도권 2기 신도시가 위치한 양주 신도시(49)의 경우 교외중심지에 해당하지만 광역교통망이 예정대로 들어올 경우 접근성이 크게 향상되고, 중심지의 위계도 높아질 것으로 예상해볼 수 있다.

5. POI 빅데이터 기반 중심지 특화기능 분석

중심지의 특화기능을 알아보기 위해 입지계수(LQ)를 바탕으로 분석한 결과는 〈그림 9〉와 같고, 이를 종합한 것은 〈표 3〉이다. 표의 음영은 선행연구에서 분류한 입지계수 해석(Miller et al., 1991)을 바탕으로 입지계수가 1.3을 초과하는 기능은 중심지의 특화된 기능으로 해석하였다.

우선, 중심지의 분류별 특화기능에서 POI 밀도가 높은 곳은 금융(Fin.), 문화(Cul.), 산업(Ind.) 기능이 상대적으로 특화된 것으로 나타났다. 구체적으로 「2030 서울플랜」에서 서울의 3도심으로 알려진 강남(1), 명동(2), 영등포(3) 지역이 POI 활동중심지로 나타났고, 도심은 금융기능과 문화기능이 특화되어 있는 것으로 나타났다. 부도심 또한 금융기능이 특화되어 있는 것으로 나타났다. 반면, 지역중심은 다른 중심지와 비교했을 때 상대적으로 주거(Res.) 기능이 특화된 것으로 나타났다.

따라서 서울 대도시권의 도시공간구조는 산업, 문화, 금융기능이 특화된 곳에서 사람들의 활동이 밀집되어서 중심지가 형성되었으며, 중심지의 위계가 높은 것을 알 수 있다. 반면, 서울 대도시권

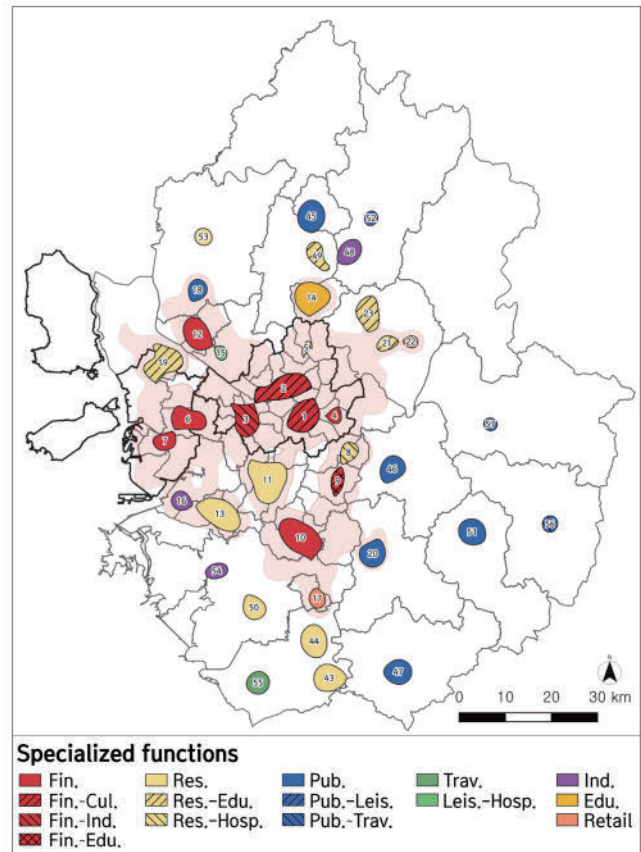


그림 9. POI 기반 중심지 특화기능 분석 결과

Figure 9. Specializations of POI based activity centers

외곽에 형성된 외곽중심지는 다른 중심지와 비교했을 때, 공공시설(Pub.) 기능이 특화되어 있는 것으로 나타났다.

다음으로 주거(Res.) 기능을 중점적으로 보면 검단 신도시(19), 양주 신도시(49) 등 2기 신도시가 중심지로 나타났다. 이외에도 2기 신도시가 아닌 지역으로는 안산 중앙역(13), 남양주 호평지구(21), 남양주 진접지구(23), 평택역(43), 화성 향남지구(50), 파주 문산역(53) 등이 있다. 이와 같이 주거기능이 높은 중심지는 평택역(43)을 제외하고는 산업기능이 다소 부족한 것으로 나타났다. 따라서 주거기능이 집적된 중심지는 주변지역에 산업기능이 특화된 중심지와 연계성을 강화해주는 계획이 필요하다.

교육(Edu.) 기능이 특화된 중심지는 주거가 특화된 중심지와 유사한 것으로 나타났다. 구체적으로 분당·판교 신도시(9), 의정부 중앙역(14), 검단 신도시(19), 남양주 호평지구(21), 남양주 진접지구(23), 양주 신도시(49)에서 나타났고, 주로 신도시에서 많이 나타났다. 이러한 결과는 신도시 지역에서 교육시설에 대한 만족도가 높다는 분석 결과와 같은 맥락으로 볼 수 있다(김선재·이수기, 2020; 이외회 외, 2007).

산업(Ind.)이 특화된 중심지는 영등포역(3), 안산 시화지구(16), 포천 송우지구(48), 화성 향남지구(50), 화성 남양지구(54)로 나타났다. 이들 중심지는 대부분 주변에 산업단지가 입지하고 있어 산업기능이 특화된 것으로 볼 수 있다. 예를 들어 산업에 특

표 3. POI 기반 중심지 특성 및 기능

Table 3. POI based activity centers and their functions

No	Activity center	Area (km ²)	Subway station	GTX station	POI density	Fin.	Ind.	Cul.	Leis.	Trav.	Res.	Edu.	Rest.	Retail	Hosp.	Pub.
1	Gangnam Station, Seoul	36.89	30	Samsung (A,C) Yangjae (C)	1485.04	2.55	1.17	2.15	0.95	0.17	0.66	0.77	0.97	0.94	1.25	0.51
2	Myeong-dong area, Seoul	48.42	58	Seoul (A,B) Cheongnyangni (B,C)	1459.73	1.61	1.04	2.26	0.60	0.58	0.44	0.62	1.20	1.10	0.85	1.10
3	Yeongdeungpo Station, Seoul	32.01	19	Sindorim (B)	1280.91	1.60	1.45	0.93	0.75	0.17	0.59	0.72	0.90	0.99	0.91	0.96
city centers		39.11	35.67	-	1408.56	1.92	1.22	1.78	0.77	0.31	0.56	0.70	1.03	1.01	1.00	0.86
4	Jamsil Station, Seoul	8.27	9	-	993.24	1.64	0.83	0.90	1.16	0.43	0.77	0.89	1.07	1.22	1.12	0.55
5	Changdong Station, Seoul	3.40	2	Changdong (C)	832.63	1.06	0.66	0.61	1.02	0.27	1.77	1.10	0.87	1.13	1.07	1.22
6	Jungdong New Town, Gyeonggi	30.46	14	Bupyeong (B)	790.85	1.34	0.91	0.80	0.98	0.27	0.94	0.97	1.03	1.13	1.15	0.84
7	Incheon City Hall, Incheon	15.43	12	Incheon City Hall (B)	746.25	1.54	0.78	0.80	0.85	0.20	0.99	0.75	1.10	1.23	1.23	0.90
8	Shinheung Station, Gyeonggi	13.53	7	-	568.86	1.03	0.80	0.72	0.87	0.17	0.65	0.89	1.05	1.35	1.32	1.22
9	Bundang & Panggyo New Town, Gyeonggi	12.65	5	Seongnam (A)	536.91	1.37	0.69	1.01	1.22	0.33	1.10	1.43	0.93	1.16	1.20	0.62
10	Suwon City Hall, Gyeonggi	53.74	10	Suwon (C)	531.45	1.33	0.74	0.82	0.99	0.56	0.96	1.27	1.07	1.12	1.19	0.99
sub-centers		19.64	8.43	-	714.31	1.33	0.77	0.81	1.01	0.32	1.03	1.04	1.02	1.19	1.18	0.91
11	Pyeongchon New Town, Gyeonggi	58.60	12	Geumjeong (C)	475.67	1.03	1.08	0.68	1.04	0.44	1.46	1.18	0.91	0.94	1.14	0.84
12	Ilsan New Town, Gyeonggi	33.02	10	KINTEX (A)	430.44	1.32	0.69	1.28	1.24	0.53	1.15	1.24	1.08	1.04	1.23	0.63
13	Jungang Station, Gyeonggi	46.38	9	-	371.38	1.05	0.88	0.74	1.08	0.54	1.38	1.05	1.01	1.06	1.05	0.96
14	Uijeongbu Central Station, Gyeonggi	40.84	19	Uijeongbu (C)	304.82	1.12	0.68	0.68	1.08	0.49	1.05	1.32	1.05	1.24	1.18	1.16
15	Hwajeong Station, Gyeonggi	6.44	1	-	303.81	0.75	0.58	0.93	1.33	0.48	1.28	1.21	0.94	1.08	1.60	0.78
16	Sihwa District, Gyeonggi	14.06	2	-	278.13	0.89	1.57	0.33	0.97	0.37	1.21	0.72	0.82	0.81	0.56	0.74
17	Osan Station, Gyeonggi	11.59	2	-	241.88	0.69	0.71	0.56	1.08	0.55	1.12	1.03	1.20	1.33	1.05	1.18
18	Woonjung New Town, Gyeonggi	14.84	2	-	162.80	1.14	0.70	0.65	0.98	0.53	1.14	1.14	1.15	1.15	1.04	1.31
19	Geomdan New Town, Incheon	42.21	9	-	153.86	0.90	0.74	0.67	1.08	0.59	1.55	1.40	1.01	0.96	1.15	0.85
20	Yongin Stadium, Gyeonggi	25.62	7	-	139.04	0.97	0.89	0.53	1.18	0.81	1.20	1.09	1.01	1.08	0.96	1.37
21	Hoppyeong District, Gyeonggi	10.89	1	Pyeongnae Hopyeong (B)	126.98	0.58	0.46	0.69	1.28	0.52	1.45	1.80	1.05	1.05	1.20	0.98
22	Maseok District, Gyeonggi	6.20	2	Maseok (B)	122.31	0.48	0.54	0.57	1.01	0.47	1.19	1.10	1.10	1.33	1.17	0.61
23	Jinju District, Gyeonggi	28.48	0	-	100.56	0.35	0.82	0.64	1.16	0.60	1.93	1.31	0.92	0.89	1.03	0.65
regional centers		26.09	5.85	-	247.05	0.87	0.80	0.69	1.12	0.53	1.32	1.20	1.02	1.08	1.10	0.93

(Continue on next page)

No	Activity center	Area (km ²)	Subway station	GTX station	POI density	Fin.	Ind.	Cul.	Leis.	Trav.	Res.	Edu.	Rest.	Retail	Hosp.	Pub.
43	Pyeongtaek Station, Gyeonggi	31.90	2	-	157.36	1.27	0.76	0.75	0.86	0.55	1.32	0.96	1.03	1.11	1.09	1.08
44	Godeok New Town, Gyeonggi	31.58	2	-	137.25	0.87	0.75	0.67	1.12	0.60	1.31	0.95	1.08	1.14	0.79	1.02
45	Dongducheon City Hall, Gyeonggi	31.40	3	-	102.57	0.62	0.71	0.73	1.06	0.82	1.14	1.02	1.01	1.21	1.04	1.60
46	Gyeonggi Gwangju Station, Gyeonggi	23.86	1	-	100.73	1.02	0.92	0.52	1.08	0.53	1.03	1.16	0.98	1.09	0.96	1.32
47	Anseong City Hall, Gyeonggi	24.84	0	-	93.65	0.80	0.98	0.62	0.79	0.66	0.72	1.01	1.13	1.06	1.10	1.72
48	Songwoo District, Gyeonggi	21.92	0	-	80.94	0.96	1.43	0.43	1.01	0.53	0.66	0.73	0.99	0.96	0.78	0.74
49	Yangju New Town, Gyeonggi	17.75	2	Deokjeong (C)	74.98	0.37	0.62	0.49	1.22	1.24	1.50	1.51	1.08	0.96	0.93	1.19
50	Hyangnam District, Gyeonggi	19.96	0	-	74.88	1.11	0.86	0.37	1.20	0.96	1.31	1.10	1.11	0.96	0.89	0.80
51	Icheon General Terminal, Gyeonggi	26.39	1	-	70.05	1.19	0.76	0.72	1.07	1.10	0.88	1.08	1.09	1.14	1.04	1.31
52	Pocheon City Hall, Gyeonggi	6.90	0	-	57.19	0.68	0.90	0.71	1.26	0.63	0.52	0.95	1.26	1.03	1.01	3.01
53	Munsan Station, Paju-si, Gyeonggi	10.90	1	-	55.42	0.52	0.49	0.48	0.67	0.32	1.36	1.21	1.23	1.23	1.01	1.17
54	Namyang District, Gyeonggi	12.66	0	-	52.36	1.12	1.42	0.24	1.07	0.72	0.90	0.84	0.93	0.84	0.82	1.28
55	Anjung Area, Gyeonggi	18.90	0	-	52.06	0.66	0.76	0.47	1.14	1.33	1.12	1.16	1.10	1.03	1.25	1.20
56	Yeoju Station, Gyeonggi	9.22	1	-	43.03	0.67	0.82	0.82	1.11	1.58	0.50	0.76	1.25	1.09	1.21	1.90
57	Yangpyeong Station, Gyeonggi	6.29	1	-	33.18	0.68	0.88	0.88	1.31	0.48	0.63	0.73	1.22	1.08	1.28	2.33
local centers		19.63	1.14	-	79.04	0.84	0.87	0.59	1.07	0.80	0.99	1.01	1.10	1.06	1.01	1.45

화된 포천 송우지구(48)와 양주 신도시(49)는 서로 인접해 있으나, 이들 중심지는 연결성이 부족한 단일 중심지로 나타났다. 도시의 중심지는 모든 기능을 충족할 수 없기 때문에 주변 지역과의 연계를 통해서 부족한 기능을 보완하는 전략이 필요하다.

도시의 중심지에는 산업, 금융 등의 일자리뿐만 아니라 여가 기능도 중요하다(김선웅 외, 2019). 따라서 문화(Cul.), 레저(Leis.), 여행(Trav.) 관련 POI 시설을 살펴보았다. 여가기능이 특화된 지역은 강남역(1), 명동지역(2), 고양 화정역(15), 평택 안중지역(55), 여주역(56), 양평역(57) 등이 나타났다. 특히, 문화기능이 특화된 지역으로는 강남역(1)과, 명동지역(2)으로 나타났다. 이는 여가 및 문화시설이 많은 도심에서 사람들의 활동이 많은 것으로 해석할 수 있다.

한편, 레저와 여행 기능이 특화된 평택 안중지역(55), 여주역(56), 양평역(57) 중심지는 서울 중심부에서 동남쪽으로 40km 이상 떨어진 곳이다. 레저 및 여행 기능의 POI 시설은 서울을 중심으로 비교적 멀리 떨어진 지역에서 특화된 것으로 나타났다. 따라서 중심지의 기능특성을 고려해 여가생활을 즐길 수 있는 레저, 여행기능이 특화된 중심지에서 주거, 산업시설의 특화된 중심지 간의 유기적인 연결이 중요하다고 볼 수 있다.

병원(Hosp.), 근린상업(Retail), 공공시설(Pub.), 음식점(Res.) 기능은 일상생활과 밀접한 연관이 있고, 생활하는 데 필수적인 기능이다. 병원기능은 성남 신흥역(8), 고양 화정역(15)에서 높게 나타났다. 근린상업 기능은 성남 신흥역(8), 오산역(17), 남양주 마석지구(22)에서 높게 나타났다. 한편, 공공시설 기능은 운정신도시(18), 용인종합운동장(20), 동두천시청(45), 경기 광주역(46), 안성시청(47), 이천종합터미널(51), 포천시청(52), 여주역(56), 양평역(57) 등에서 높게 나타났다. 특히, 교외지역이나 농촌지역의 중심지는 공공시설 기능이 가장 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있다.

6. POI 기반 중심지와 통행 OD 기반 중심지 비교·분석

POI 빅데이터에 기반한 중심지와 국가교통 DB의 통행 OD 자료 기반 중심지를 비교·분석하였다. 분석의 유사한 시간적인 시점에서 활동중심지를 설정하기 위해서, 국가교통 DB에서 2020년 추계한 전일 통행 데이터를 활용하였다. 분석단위는 행정동 단위의 분석을 하였으며, 중심지의 내부통행은 분석에서 제외하였다.

통근통행 자료를 바탕으로 중심지를 도출하기 위해 네트워크

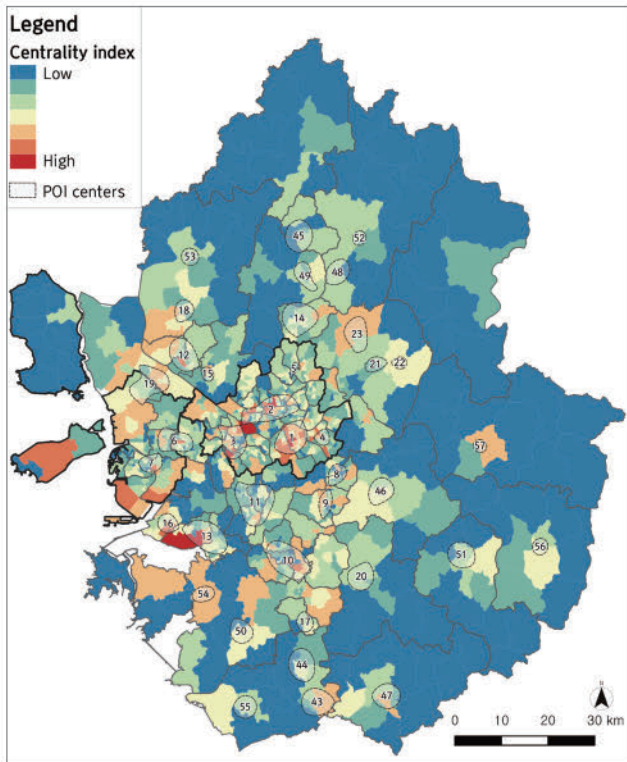


그림 10. POI 기반 중심지와 통행 OD 기반 중심지 비교

Figure 10. Comparison of POI based activity centers with travel OD based activity centers

중심성 지수인 PageRank centrality index를 활용하였다 (Zhong et al., 2014). PageRank는 도시의 중심성을 확인할 수 있는 지표로 위세중심성과 유사한 지표이지만 순위(rank)를 활용해 기존의 위세중심성의 한계를 보완한 지표이다. 구체적으로 네트워크 분석에서 결절점(node)인 행정동의 순위를 표준화해서 중심지를 도출하는 분석 방법론이다(하재현·이수기, 2016).

POI 기반 중심지와 통근 OD 기반 중심지를 비교·분석한 결과는 〈그림 10〉과 같다. 전체적으로 도출된 중심지가 완전히 일치하지는 않지만 PageRank 중심성이 상대적으로 높은 지역에서 POI 중심지가 위치하고 있는 것을 알 수 있다. 이를 통해 POI 밀도가 높은 지역은 통행기반의 위세중심성도 높은 것을 알 수 있다. 이는 공간적인 제약 없이 현시점의 자료를 분석에 활용할 수 있는 POI 빅데이터와 Contour tree 방법론의 활용이 서울 대도시권의 중심지 도출이 유용한 방법임을 시사한다.

VI. 결론

본 연구는 서울 대도시권 지역을 대상으로 실제 도시활동을 대표할 수 있는 카카오 맵의 POI 데이터를 활용하여 도시공간구조를 확인하였다. 구체적으로 전체 POI를 바탕으로 중심지를 식별하였고, 식별된 중심지로 주변 지역 간의 연결성과 특화된 기능을 분석하였다. 본 연구의 주요 결과와 시사점은 다음과 같다.

첫째, 본 연구에서 도출한 결과와 기존 상위계획과 비교했을 때, POI 도시활동 중심지가 서울 대도시권을 대상으로 설정한 중심지를 대부분 도출할 수 있는 것으로 나타났다. 특히, 사람들의 활동을 확인할 수 있는 POI 중심지는 서울 대도시권 지역에서 설정하고 있는 중심지보다 미시적이고 실질적인 중심지를 도출할 수 있는 것으로 나타났다. 나아가 수도권 국가교통 DB 자료의 통행 OD를 활용한 PageRank 중심성 분석 결과와 비교할 때, POI 빅데이터를 통해 도출한 중심지와 대체적으로 일치하는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 POI 빅데이터의 활용이 대도시권의 활동중심지 체계와 도시공간구조를 이해하는 데 매우 유용함을 시사한다. 또한, POI 빅데이터는 행정단위의 제약 없이 행정구역의 경계에 형성된 중심지를 도출하는 데 유용한 것으로 나타났다. 이는 본 분석에서 사용한 POI 빅데이터 자료는 지점단위의 자료로 행정경계의 제약이 없기 때문에 실제 사람들의 활동이 일어나는 중심지를 도출할 수 있음을 보여준다. 따라서 서울 대도시권 지역에서 도시의 중심지 체계는 행정경계에 제한되지 않고 유기적으로 연결되기 때문에, 광역도시계획의 틀 속에서 대도시권 공간구조를 이해하고 관리하는 것이 매우 중요하다고 할 수 있다.

둘째, POI 밀도를 바탕으로 도시공간구조를 분류한 결과 도심에서 금융, 문화기능이 특화되고, 부도심에서 금융기능이 특화된 것으로 나타났다. 이는 주로 도시 활동이 밀집한 중심지는 금융, 문화기능이 특화된 지역과 연관 있는 것을 의미한다. 그리고 지역중심은 신도시가 개발된 지역에서 주로 도출이 되었고, 주거기능과 교육기능이 높게 나타남을 확인하였다. 한편, 서울 대도시권의 교외중심지는 주로 공공시설 기능이 특화된 것으로 나타났다. 서울 대도시권 외곽지역의 경우 공공시설이 밀집된 지역을 주변으로 중심지가 형성될 수 있음을 시사한다.

한편, 산업기능이 특화된 중심지는 대부분 산업단지의 입지와 관련이 있는 것으로 나타났다. 또한, 주거기능이 특화된 중심지는 신도시를 중심으로 나타났다. 그리고 주거기능 특화 중심지와 산업기능 특화 중심지 간의 연계성은 부족한 것으로 확인되었다. 주거기능과 산업기능의 연계는 통근시간 단축을 통해서 도시민의 삶의 질을 높일 수 있다. 따라서 산업기능이 특화된 중심지와 주거기능이 특화된 중심지 간의 연계성을 강화시킬 수 있는 도시계획 또는 교통계획이 필요함을 시사한다.

다음으로 여가생활을 할 수 있는 기능으로 문화, 레저, 여행기능이 특화된 중심지를 확인했다. 문화기능은 서울의 주요 도심인 강남과 명동지역에서 특화된 것으로 나타났다. 반면, 레저와 여행기능이 특화된 지역은 서울 대도시권 중심에서 40km 떨어진 여주, 양평, 평택에서 나타났다. 이는 서울 대도시권에 일자리와 주거뿐만 아니라 여가생활을 즐길 수 있는 중심지와 유기적인 연계가 필요함을 시사한다. 따라서 분석에서 나타난 중심지의 특화 기능을 바탕으로 향후 중심지 간의 연계를 위한 도시공간구조 계획의 중요한 기초 자료로 활용될 수 있다.

셋째, Contour tree를 통해 공간의 위계 구조를 파악한 결과, 서울 대도시권에는 서울을 중심으로 23개 중심지가 있는 것으로 나타났고 교외지역에서 15개의 중심지를 확인할 수 있었다. 다음으로, POI 밀도로 중심지를 분류했을 때, 3개의 도심, 7개 부도심, 13개 지역중심으로 나타났다. 경기도 지역의 경우 도시 활동 중심지는 주로 신도시를 중심으로 형성되는 것으로 나타났다. 그리고 신도시 주변에 다른 신도시나 택지개발 지역이 있는 경우 동일한 중심지로 묶이는 것으로 파악되었다. 이러한 결과는 신도시를 통해 도시의 중심지가 분산됐음을 의미하고, 대도시권의 중심지 계획을 수립하는 데 있어서 행정구역의 경계가 아닌 활동 기반의 중심지에 대한 고려가 필요함을 시사한다.

마지막으로, POI 빅데이터를 통해 서울 대도시권의 공간구조를 분석한 결과, 서울 대도시권의 중심지는 대규모 도시개발지역과 교통인프라인 철도망을 따라 형성되어 있는 것으로 나타났다. 이는 그동안 추진되어온 교통인프라 시설의 설치와 1기, 2기 신도시 사업 그리고 중소규모의 택지개발 사업이 도시공간구조에 큰 영향을 미친 것으로 볼 수 있다. 이는 향후 추진이 계획되어 있는 수도권 3기 신도시사업과 GTX 사업 그리고 광역교통개선 사업 등이 서울 대도시권 도시공간구조와 중심지 체계에 큰 영향을 미칠 수 있음을 시사한다.

한편, 본 연구의 한계점과 의의는 다음과 같다. POI 빅데이터는 지점으로 표현되기 때문에 미시적인 분석에는 유리하나 실제 시설의 규모를 고려하지 않아 토지이용 측면에서 과소평가되는 현상이 있을 수 있다. 이러한 문제는 향후 POI에 시설의 규모와 면적에 대한 가중치를 주는 방법을 통해 어느 정도 개선할 수 있을 것으로 판단된다. 그럼에도 본 연구는 도시의 다양한 활동을 대변하는 POI 빅데이터를 활용해서 도시공간구조의 중심지를 분석하고 중심지의 다양한 특화 기능을 파악했다는 점에서 의의가 있다. 또한, POI 빅데이터를 통해 각종 도시개발사업이나 교통인프라 사업의 효과를 도시공간구조 변화 측면에서 모니터링하고 정책적 시사점을 제시할 수 있다는 점에서 의의가 있다.

- 주1. 제3차 수도권정비계획(2006~2020)은 도심권 중심도시 서울, 인천, 수원, 파주, 동두천, 남양주, 이천, 평택, 안산, 안양, 성남 지역으로 구분했다.
- 주2. 2020 수도권 광역도시계획 주핵도시로 서울, 1차 거점도시로 인천, 수원, 2차 거점도시로 파주, 동두천, 평택, 지역중심도시로 남양주와 이천으로 구분했다.
- 주3. 2030 서울플랜은 3도심으로 한성도성, 영등포·여의도, 강남, 7광역중심으로 용산, 청량리·왕십리, 창동·상계, 상암·수색, 마곡, 가산·대림, 잠실로 구분했다.
- 주4. 2030 인천도시기본계획은 4도심으로 동인천·구월, 청라·가정, 부평·계양, 송도·연수, 3부도심으로 영종, 소래·논현, 검단, 9지역중심으로 강화, 길상, 오류, 검암, 가좌, 용현, 만수, 서창, 옹진으로 구분했다.
- 주5. 경기도 종합계획(2012~2020)에서는 8광역거점으로 수원, 안산, 부천, 고양, 양주, 남양주, 성남, 평택, 8전략거점으로 용인, 안양, 오산·동탄, 화성·남양, 김포, 파주·문산, 의정부, 이천, 17지역거점으로 안성, 과천, 의왕,

군포, 시흥, 하남, 파주, 여주, 안중, 구리, 광주, 동두천, 가평, 양평, 포천, 연천으로 구분했다.

인용문헌 References

1. 김감영·이윤미, 2013. “지가함수를 이용한 우리나라 도시 공간구조 탐색”, 『한국도시지리학회지』, 16(1): 99-112.
Kim, K. and Lee, Y., 2013. “Exploring the Urban Spatial Structure of Korean Cities Using a Land Value Function”, *Journal of the Korean Urban Geographical Society*, 16(1): 99-112.
2. 김도형·우명제, 2018. “지역 거점도시 식별 및 상호작용에 따른 영향권역 설정에 관한 연구”, 『국토계획』, 53(7): 5-22.
Kim, D. and Woo, M., 2018. “A Study on the Identification of Hub Cities and Delineation of their Catchment Areas Based on Regional Interactions”, *Journal of Korea Planning Association*, 53(7): 5-22.
3. 김선웅·김상일·성수연, 2019. 「서울시 광역중심 기능진단과 육성방안」, 서울: 서울연구원.
Kim, S.W., Kim, S., and Seong, S.Y., 2019. *Functional Diagnosis and Promoting Policies of Metropolitan Centers in Seoul*, Seoul: Seoul Research Institute.
4. 김선재·이수기, 2020. “수도권 2기 신도시 주거환경만족도 요인 분석: 웹크롤링과 텍스트 마이닝을 활용하여”, 『국토계획』, 55(7): 5-20.
Kim, S. and Lee, S., 2020. “Determinants of Residential Environment Satisfaction in the Second-Generation New Towns of the Seoul Metropolitan Area: Using Web Crawling and Text Mining”, *Journal of Korea Planning Association*, 55(7): 5-20.
5. 김현철·안영수, 2018. “통근통행에 기반한 수도권 중심지 설정과 방법론 연구”, 『지역연구』, 34(2): 49-64.
Kim, H. and An, Y., 2018. “A Study on the Identification of Center of Seoul Metropolitan Area and Methodology Based on the Commuting”, *Journal of the Korean Regional Science Association*, 34(2): 49-64.
6. 서주옥·김도년·이성창, 2017. “건축물 연면적 현황과 도시기본계획의 중심지와 비교 분석을 통한 물리적 중심지 검증 연구: 서울시 도시기본계획을 중심으로”, 『도시설계』, 18(1): 105-114.
Suh, J., Kim, D., and Lee, S., 2017. “The Verification of the Physical Urban Center through Comparative Analysis of the Floor Area of the Building and the Urban Center of Urban Basic Plan (in Seoul): With Case Study on the Seoul Urban Basic Plan”, *Journal of the Urban Design Institute of Korea*, 18(1): 105-114.
7. 옥석문·이명훈, 2008. “중심지 체계설정 및 변화과정에 관한 연구: 인천광역시를 대상으로 하여”, 『도시행정학보』, 21(1): 107-125.
Ok, S.M. and Lee, M.H., 2008. “A Study on the Establishment and the Change of Central Place System: A Case Study on Incheon Metropolitan City”, *Journal of the Korean Urban Management Association*, 21(1): 107-125.
8. 이외희·이지은·좌승희, 2007. 「수도권 제2기 신도시지역의 인구

- 유입특성에 관한 연구», 경기: 경기연구원.
- Lee, O.H., Lee, J.H., and Jwa, S.H., 2007. *A Study on In-migration Characteristics in the Second Generation of Newtown, the Capital Area*, Gyeonggi: Gyeonggi Research Institute.
9. 임은선·이종열·이희연, 2006. “도시성장관리를 위한 공간구조의 확산-압축패턴 측정”, 「국토연구」, 51: 223-247.
Im, E.S., Lee, J.Y., and Lee, H.Y., 2006. “Measurement of Urban Form in Urban Growth Management—Urban Sprawl versus Compactness”, *The Korea Spatial Planning Review*, 51: 223-247.
 10. 하재현·이수기, 2016. “통행특성별 OD 자료와 Community Detection 기법을 활용한 공간위계별 생활권 설정 연구: 2010년 수도권 가구통행실태조사자료를 중심으로”, 「국토계획」, 51(6): 79-98.
Ha, J. and Lee, S., 2016. “A Study on the Designation of Living Zones by Its Spatial Hierarchy Using OD Data and Community Detection Technique: Focused on the 2010 Household Travel Survey Data of the Seoul Metropolitan Area”, *Journal of Korea Planning Association*, 51(6): 79-98.
 11. 한상욱·오상진·박병호, 2008. “대도시 인구중심 및 밀도변화 패턴 분석: 50-100만 도시를 중심으로”, 「한국지역개발학회지」, 20(3): 67-82.
Han, S.W., Oh, S.J., and Park, B.H., 2008. “Analysis on the Changing Patterns of Population Centroid and Density in the Case of Large Cities with 500-1,000 thousands Population”, *Journal of The Korean Regional Development Association*, 20(3): 67-82.
 12. Alonso, W., 1964. *Location and Land Use: Toward a General Theory of Land Rent*, Cambridge: Harvard University Press.
 13. Bourne, L.S., 1982. *Urban Spatial Structure: an Introductory Essay on Concepts and Criteria, in Internal Structure of the City*, New York: Oxford University Press.
 14. Burgess, E.W., 1926. *The Urban Community: Selected Papers from the Proceedings of the American Sociological Society, 1925*, Chicago: University of Chicago Press.
 15. Casello, J.M. and Smith, T.E., 2006. “Transportation Activity Centers for Urban Transportation Analysis”, *Journal of Urban Planning and Development*, 132(4): 247-257.
 16. Chen, Y., Chen, X., Liu, Z., and Li, X., 2020. “Understanding the Spatial Organization of Urban Functions based on Co-location Patterns Mining: A Comparative Analysis for 25 Chinese Cities”, *Cities*, 97: 1-12.
 17. Chen, Z., Yu, B., Song, W., Liu, H., Wu, Q., Shi, K., and Wu, J., 2017. “A New Approach for Detecting Urban Centers and Their Spatial Structure with Nighttime Light Remote Sensing”, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 55(11): 6305-6319.
 18. Christaller, W., 1966. *Central Places in Southern Germany*, Translated by Carlisle W. Baskin, Englewood Cliffs: Prentice Hall.
 19. Davoudi, S., 2003. “European Briefing: Polycentricity in European Spatial Planning: from an Analytical Tool to a Normative Agenda”, *European Planning Studies*, 11(8): 979-999.
 20. Deng, Y., Liu, J., Liu, Y., and Luo, A., 2019. “Detecting Urban Polycentric Structure from POI Data”, *SPRS International Journal of Geo-Information*, 8(6): 283.
 21. Feng, J., Wang, F., and Zhou, Y., 2009. “The Spatial Restructuring of Population in Metropolitan Beijing: Toward Polycentricity in the Post-Reform Era”, *Urban Geography*, 30(7): 779-802.
 22. Giuliano, G. and Small, K.A., 1991. “Subcenters in the Los Angeles Region”, *Regional Science and Urban Economics*, 21(2): 163-182.
 23. Halbert, L., Convery, F.J., and Thierstein, A., 2006. “Reflections on the Polycentric Metropolis”, *Built Environment*, 32(2): 110-113.
 24. Hall, P., 2009. “Looking Backward, Looking Forward: the City Region of the Mid-21st Century”, *Regional Studies*, 43(6): 803-817.
 25. Han, Z. and Song, W., 2020. “Identification and Geographic Distribution of Accommodation and Catering Centers”, *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9(9): 1-21.
 26. Harris, C.D. and Ullman, E.L., 1945. “The Nature of Cities”, *The Annals of the American Academy of Political and Social Science*, 242(1): 7-17.
 27. Hoyt, H., 1939. *The Structure and Growth of Residential Neighborhoods in American Cities*, Washington, DC: Federal Housing Administration.
 28. Jin, X., Long, Y., Sun, W., Lu, Y., Yang, X., and Tang, J., 2017. “Evaluating Cities’ Vitality and Identifying Ghost Cities in China with Emerging Geographical Data”, *Cities*, 63: 98-109.
 29. Jun, M.J., 2020. “The Effects of Polycentric Evolution on Commute Times in a Polycentric Compact City: A Case of the Seoul Metropolitan Area”, *Cities*, 98: 1-9.
 30. Li, J., Long, Y., and Dang, A., 2018. “Live-Work-Play Centers of Chinese Cities: Identification and Temporal Evolution with Emerging Data”, *Computers, Environment and Urban Systems*, 71: 58-66.
 31. Lu, C., Pang, M., Zhang, Y., Li, H., Lu, C., Tang, X., and Cheng, W., 2020. “Mapping Urban Spatial Structure Based on POI (Point of Interest) Data: A Case Study of the Central City of Lanzhou, China”, *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9(2): 1-26.
 32. McMillen, D.P., 2001. “Nonparametric Employment Subcenter Identification”, *Journal of Urban Economics*, 50(3): 448-473.
 33. Miller, M.M., Gibson, L.J., and Wright, N.G., 1991. “Location Quotient: A Basic Tool for Economic Development Analysis”, *Economic Development Review*, 9(2): 65-68.
 34. Nam, K. and Kim, B.H.S., 2017. “The Effect of Spatial Structure and Dynamic Externalities on Local Growth in Seoul Metropolitan Area”, *Urban Policy and Research*, 35(2): 165-179.
 35. Parr, J., 2004. “The Polycentric Urban Region: A Closer Inspection”, *Regional Studies*, 38(3): 231-240.
 36. Silverman, B.W., 1986. *Density Estimation for Statistics and Data Analysis*, London: CRC Press.
 37. Sun, Y., Fan, H., Li, M., and Zipf, A., 2016. “Identifying the City Center using Human Travel Flows Generated from Location-based Social Networking Data”, *Environment and*

- Planning B: Planning and Design*, 43(3): 480-498.
38. Vasanen, A., 2012. "Functional Polycentricity: Examining Metropolitan Spatial Structure through the Connectivity of Urban Sub-centres", *Urban Studies*, 49(16): 3627-3644.
 39. Wen, H. and Tao, Y., 2015. "Polycentric Urban Structure and Housing Price in the Transitional China: Evidence from Hangzhou", *Habitat International*, 46: 138-146.
 40. Wu, Q., Liu, H., Wang, S., Yu, B., Beck, R., and Hinkel, K., 2015. "A Localized Contour Tree Method for Deriving Geometric and Topological Properties of Complex Surface Depressions Based on High-resolution Topographical Data", *International Journal of Geographical Information Science*, 29(12): 2041-2060.
 41. Yao, Y., Li, X., Liu, X., Liu, P., Liang, Z., Zhang, J., and Mai, K., 2017. "Sensing Spatial Distribution of Urban Land Use by Integrating Points-of-Interest and Google Word2Vec Model", *International Journal of Geographical Information Science*, 31(4): 825-848.
 42. Yu, L., Yu, T., Wu, Y., and Wu, G., 2020. "Rethinking the Identification of Urban Centers from the Perspective of Function Distribution: A Framework Based on Point-of-Interest Data", *Sustainability*, 12(4): 1-18.
 43. Yue, Y., Zhuang, Y., Yeh, A.G.O., Xie, J.Y., Ma, C.L., and Li, Q.Q., 2017. "Measurements of POI-Based Mixed Use and their Relationships with Neighbourhood Vibrancy", *International Journal of Geographical Information Science*, 31(4): 658-675.
 44. Zhai, W., Bai, X., Shi, Y., Peng, Z.R., and Gu, C., 2019. "Beyond Word2vec: An Approach for Urban Functional Region Extraction and Identification by Combining Place2vec and POIs", *Computers, Environment and Urban Systems*, 74: 1-12.
 45. Zhong, C., Arisona, S.M., Huang, X., Batty, M., and Schmitt, G., 2014. "Detecting the Dynamics of Urban Structure through Spatial Network Analysis", *International Journal of Geographical Information Science*, 28(11): 2178-2199.
 46. Zou, Y., Mason, R., and Zhong, R., 2015. "Modeling the Polycentric Evolution of Post-olympic Beijing: An Empirical Analysis of Land Prices and Development Intensity", *Urban Geography*, 36(5): 735-756.

Date Received	2021-02-02
Reviewed(1 st)	2021-05-02
Date Revised	2021-07-10
Reviewed(2 nd)	2021-07-24
Date Accepted	2021-07-24
Final Received	2021-08-22