

수도권전철 역별 네트워크 중심성에 따른 역세권 토지이용패턴 분석 연구*

Analyzing the Land-use Pattern of the Station Area of the Seoul Metropolitan Railway by Based on the Network Centrality

홍성표** · 이창효*** · 이승일****
Hong, Soung-Pyo · Yi, Chang-Hyo · Lee, Seungil

Abstract

This research mainly examined how the network centrality of each station affects the land-use pattern of each station area of the Seoul Metropolitan Railway (SMR), applying the methodology of social network centrality. For estimating centrality of each station, the SMR network was established considering travel time (headways, transfer time, moving time, etc.). From the network it was found that degree centrality is strongly distributed in the stations of Subway 'Line 1', and closeness centrality is high in the stations of the CBD area. Betweenness centrality is, however, much higher in the south-west region stations and the suburban transfer stations. For each station area, each land use was converted to 'Residence', 'Commerce', and 'Office' categories. Then the land-use pattern of each category, depending on the network centrality of each station with the distance from the station and building floor number, was estimated using binomial logistic model. As a result, this research proved that each centrality significantly affects the land-use categories in each station. Contrary to the relevant previous researches, this research confirmed that the grades of centrality for each station are different and this affects the land-use pattern of the station area significantly.

키 워 드 · 사회 네트워크, 수도권전철, 역세권, 네트워크 중심성, 토지이용패턴
Keywords · Social Network, the Seoul Metropolitan Railway, Station Area, Network Centrality, Land-use Pattern

I. 서론

토지이용과 교통의 상호작용 이론에 따르면 교통 체계의 변화는 접근도 등의 변화를 초래하며, 이는 토지이용의 입지 선정에 영향을 미치게 되어 결국 토지이용체계 또한 변화하게 된다. 이처럼 교통과

토지이용은 아주 밀접한 관계에 있으며, 서로 영향을 주고받는 관계에 있다. 이와 같은 관계의 대표적인 사례로서 역세권은 각종 교통수단의 연결점, 생활권의 중심, 미래 지역성장의 거점 및 대도시 전체지역에 대한 축소모형이라는 특성을 가지고 있다 (한봉림, 1991). 역세권은 대중교통을 이용한 목적

* 본 논문은 국토교통부 첨단도시개발사업(11 첨단도시 G06)과 한국연구재단의 이공분야기초연구사업(NRF-2013 R1A1A2058091)의 지원을 받아 수행되었음

** Department of Urban Planning and Design, The University of Seoul (First author: neverhsp@hanmail.net)

*** Department of Urban Planning and Design, The University of Seoul

**** Department of Urban Planning and Design, The University of Seoul (Corresponding author: silee@uos.ac.kr)

통행의 출발지, 목적지, 경유지로의 역할을 수행하고 있기 때문에 토지이용과 교통의 상호작용이 가장 크게 영향을 미칠 수 있는 지역으로 역세권의 토지이용패턴을 분석하기 위해서는 이 상호관계를 고려하는 것이 필요하다. 그러나 국내의 도시철도의 역별 이용수요 영향요인 및 역세권 유형화, 역세권 토지이용패턴과 관련된 대부분의 연구에서는 특정 역의 역세권에 대해서만 분석을 수행하거나 역간 상호작용에 대한 고려 없이 모든 역의 위계를 동등하게 가정하고 있다(이희연, 1997; 윤시운·이광국, 1999; 임희지, 2005; 성현곤 외, 2006; 임병호 외, 2011; 지남석 외, 2013).

이러한 문제의 인식을 바탕으로 복잡한 네트워크로 이루어진 도시철도의 역세권간 상호작용을 고려하여 역세권의 토지이용패턴을 분석하기 위해 사회 네트워크 분석방법을 적용하는 것이 유용하다고 본다. 사회 네트워크 분석방법은 네트워크를 구성하는 각 행위자들이 전체 네트워크 구조에서 차지하는 위치, 형태, 행위를 파악할 수 있기 때문에 개인 간 상호작용이나 관계에서 형성되는 구조적 지위나 지배력을 파악하는데 폭넓게 사용되어 왔다(이희연·김흥주, 2006b).

이와 같은 배경에 따라 본 연구에서는 사회네트워크 분석방법론을 적용한 역별 네트워크 위계와 역세권 특성을 함께 고려하여 역세권의 토지이용패턴을 분석하고자 한다. 사회네트워크 중심성 개념을 수도권전철 네트워크에 적용하여 역별 네트워크 중심성을 도출한 후, 네트워크 중심성과 역으로부터 거리 등 역세권 특성이 토지이용 용도별 분포패턴에 미치는 영향을 분석하여 향후 역세권 관련 연구 및 계획 시 개별 역세권 특성과 이러한 도시철도 네트워크의 연계정도에 따른 효과를 함께 고려하여야 함을 실증적으로 제시하고자 한다.

본 연구의 시간적 범위는 2011년이며, 공간적 범위는 서울을 대상으로 역세권 소속 필지 중 서울

내 지역을 분석범위로 설정하되, 수도권전철 역별 중심성 분석을 위해서는 수도권전철 전체 네트워크를 고려하였다. 본 연구의 흐름은 다음과 같다. 이론 및 선행연구 검토에서는 사회네트워크의 개념과 중심성을 고찰하고, 중심성을 활용한 도시공간구조 분석 사례와 역세권과 관련하여 진행된 연구를 검토하여 종합적인 연구방향을 설정하였다. 다음으로 수도권전철 현황검토와 함께 분석모형을 설정하고, 분석결과를 제시하였다. 마지막으로 수도권전철 역별 중심성, 역세권 특성과 용도별 토지이용 분포와의 관계를 바탕으로 분석결과에 대한 시사점을 도출하였다. 본 연구에서는 'ArcGIS 10.2' 및 'SPSS statistics 21', 'EMME/2' 등의 분석 패키지를 활용하였다.

II. 관련이론과 선행연구 검토

1. 사회 네트워크와 중심성 개념

'사회 네트워크'란 사람들이 연결되어 있는 관계망으로 표현할 수 있으며, 사람 사이의 '사회적 관계'를 토대로 성립한다(손동원, 2002). 사회 네트워크에서 중심성이란 각 행위자가 중심에 근접한 정도를 평가하는 것으로, 1948년 Bavelas에 의해 소개된 이후 1950~60년대 사회 관계망 속에서 중심성 측정방법론에 관한 다양한 연구가 진행되었다(Freeman, 1979).

손동원(2002)은 다양한 중심성 산출방법 중 연결정도중심성(Degree Centrality), 근접중심성(Closeness Centrality), 매개중심성(Betweenness Centrality)에 대하여 아래와 같이 제시하고 있다¹⁾.

먼저 연결정도중심성은 다른 점(노드)과의 연결된 정도를 중심으로 보는 개념으로, 한 점에 연결된 다른 점의 수로 측정되며, 직접 연결된 점이 많고 적음이 절대적인 기준이 된다. 즉, 한 점이 다른 점들과 얼마만큼의 관계를 맺고 있는가를 통해서

그 점이 중심에 위치하는 정도를 계량화하는 것으로 측정방법은 (식 1)과 같다. 여기서 C^D 는 연결 정도중심성, n 은 전체 노드수를 의미한다.

$$C_i^D = \frac{i\text{와 직접 연결된 노드수}}{(n-1)} \quad (\text{식 1})$$

근접중심성은 한 점이 다른 점에 가까운 정도에 대한 개념으로 두 점 사이의 거리가 핵심개념으로 작용한다. 다른 점과 가깝게 있다면 그들과 쉽게 관계를 맺을 수 있다고 보고 그만큼 중심적인 역할을 한다고 간주하는 것이다. 근접중심성은 직·간접적으로 연결된 모든 점들을 고려하되, 한 점의 근접중심성은 네트워크 내 연결되어 있는 모든 다른 점들에 대한 최단거리의 합으로 정의된다. 근접중심성 지수가 높을수록 다른 점들과 가까이 위치하고 있다는 의미로 해석되며, 측정방법은 (식 2)와 같다. 여기에서 C_i^C 는 근접중심성, n 은 전체 노드수, d_{ij} 는 i 와 j 노드 간 최단거리를 의미한다.

$$C_i^C = \frac{(n-1)}{\sum_{j=1, j \neq i}^n d_{ij}} \quad (\text{식 2})$$

매개중심성은 한 점이 다른 점들과의 네트워크를 구축하는데 중개자 혹은 다리(bridge) 역할을 수행하는 정도를 측정하는 개념으로, 중개역할에 초점을 맞추어 ‘중심’으로 간주하는 특징을 가진다. 즉, 전체 네트워크 사이의 정보흐름과 교환에 있어서 중요한 중재역할을 수행하는 정도의 크기로, 네트워크 내 두 점을 연결하는 최단경로 중 특정 점을 통과하는 경로의 비율로 측정된다. i 노드의 매개중심성은 (식 3)과 같이 측정된다. 여기서 g_{jk} 는 j 와 k 간 최단경로의 수, $g_{jk}(i)$ 는 j 와 k 간 최단경로 중 i 를 경유하는 최단경로의 수, n 은 전체 노드수를 의미한다.

$$C_i^B = \frac{\sum_{j < k} (g_{jk}(i) / g_{jk})}{\left[\frac{(n-1)(n-2)}{2} \right]} \quad (\text{식 3})$$

2. 사회 네트워크 중심성 활용 사례

사회과학 분야에서의 중심성은 지리경제분석(Wilson, 2000), 교통계획(Goulias, 2002; Meyer and Miller, 2000) 등 도시 관련 분야에서도 적용되었으며, 중심성이 강한 지역은 주위로부터 접근이 용이한 지역이라는 해석으로 장소에서의 활동 간 관계를 측정하는 지표로 다루어졌다(Porta et al., 2009).

국외의 관련 연구(Goncalves et al., 2009; Porta et al., 2009; Wang et al., 2011)에서는 대부분 특정 도시를 사례로 하여 네트워크 중심성과 도시공간구조 간의 관계를 비교분석하였다. Goncalves et al.(2009)은 브라질 Rio de Janeiro의 철도망을 대상으로 철도역별 연결정도중심성, 근접중심성, 매개중심성을 산출한 후 역세권별 수요를 증진시키기 위한 대안을 제시하였다.

Porta et al.(2009)은 이탈리아 Bologna의 도로망을 대상으로 각 결정점의 근접중심성, 매개중심성, 직선(Straightness)중심성을 산출한 후 도시 상업용도 분포와의 비교분석을 통하여 네트워크 중심성이 높을수록 상업용도의 분포정도가 높음을 제시하였으며, Wang et al.(2011)은 미국 Baton Rouge의 가로망을 대상으로 근접중심성, 매개중심성, 직선중심성을 산출한 후 각 중심성과 인구·종사자 밀도와의 관계성을 분석하였다.

국내에서 중심성을 이용하여 도시공간구조 또는 교통특성을 분석한 연구는 크게 도시공간구조 관련 연구와 도로·철도 등 실제 네트워크를 활용한 연구로 구분된다.

도시공간구조 관련 연구에서는 대부분 시군구 또는 읍면동 단위 통행량, 인구이동량 등 이동에 대한 데이터셋을 이용하여 중심성을 산출한 후 지역별 중심성과 도시공간구조 현황 또는 변화를 분석하는 연구가 주를 이루고 있다. 이들 연구는 대부분 서울 또는 수도권을 대상으로 주로 이동의 시·종점 간을 네트워크로 연결한 후 각 시·종점 기준의 연결정도중심성과 위세중심성을 산출하여 도시공간구조를 판단하고 있다(조명호·임창호, 2001; 이희연·김흥주, 2006a; 2006b; 김효진, 2008; 김희철·안건혁, 2012; 이성용·하창현, 2014)²⁾.

도로·철도 등 실제 네트워크를 적용하여 중심성을 측정 및 비교분석에 수행한 연구로서 오성열(2011)은 공항네트워크를 활용하여 네트워크 중심성 이론을 적용하여 공항별 중심성을 산출하여 항공시장을 분석하였다. 양지수 외(2009)는 지하철 네트워크의 중심성 지표를 산출한 후 대중교통 취약지 분석을 수행한 바 있으며, 강창덕(2014)은 서울시 도로망을 활용하여 각 필지별 접근성 및 중심성을 산출한 후, 이를 지가와 비교분석을 수행하였다. 임혜민 외(2013)의 연구에서는 지하철 환승역세권 이용자, 강영경 외(2014)의 연구에서는 지하철 혼잡도에 영향을 미치는 요인을 분석함에 있어, 원인변수에 매개중심성을 포함하여 분석을 수행하였다.

3. 역세권 관련 선행연구 고찰

지금까지 수행된 역세권 관련 연구는 대중교통 이용수요, 역세권 유형화, 역세권 토지이용 등 다양한 주제를 대상으로 삼고 있다.

첫째, 역세권 대중교통 이용수요 관련 연구에서는 주로 역세권의 밀도·복합도 등 토지이용특성 및 가로망, 연계교통망 특성과 지하철이용수요와의 관계성을 분석하여 시사점을 도출하였다(성현곤 외, 2006; 박지형, 2008; 문영일, 2013). 하지만 이들

초기 연구에서는 개별 역세권만을 대상으로 각 역의 위계를 동일하게 가정하고 분석을 수행하였다. 그러나 점차 지하철 네트워크와 역세권 토지이용에 의한 접근도에 따라 역을 차등화 하기 시작하였으며(이승일, 2004; 이승일·이창효, 2004), 이를 고려하여 접근도에 따라 지하철이용자수에 영향을 미치는 정도가 다름을 밝히는 방향(Lee et al., 2013)으로 발전하였다.

둘째, 역세권 유형화와 관련된 연구에서 국내의 경우 대부분의 유형화 연구들이 도시공간구조를 기반으로 도시계획적 차원에서 접근하고 있으며, 현재 혹은 미래의 도시공간구조를 고려하여 도시계획적 차원에서 역세권 개발의 대응방안을 마련하기 위한 연구가 주를 이루고 있다. 계획적 차원에서는 도심부, 부도심부 등 도시기분계획 상 공간구조 차원에서 접근하고 있으며(윤시운·이광국, 1999; 임희지, 2005), 실증연구차원에서는 역세권 토지이용현황, 승하차인원수, 가로망현황, 연계교통현황 등 역세권 자체의 특성을 기반으로 역세권 유형을 분류하고 있다(성현곤·김태현, 2005; 김옥연, 2010).

마지막으로 역세권 토지이용과 관련된 연구로 이희연(1997)은 건대입구역을 대상으로 지하철 개통과 환승역 형성에 따른 지가 및 토지이용의 변화를 분석하였으며, 소비자와의 직접적인 접촉 필요성이 높은 상업시설은 거의 대부분 1층 등 저층에 입지하고 있으며, 지선도로변의 경우 고층은 주거적인 용도로 활용되고 있는 경향이 나타나고 있음을 도출하였다. 이재영 외(2004)는 분당신도시(미금, 서현)와 일산신도시(마두)의 역세권 중심상업·업무용도 토지이용분포를 역으로부터 거리대별로 분석하였으며, 거리대가 가까울수록 중심상업시설의 비율이 높게 나타나고 높은 층일수록 업무용도가 강하게 나타나고 있음을 제시하였다. 지남석 외(2013)의 연구에서는 지하철 개통으로 인한 역으로부터 거리대별, 층수별, 접도차선별 건축물 용도변화 패턴을

분석하였다. 이 외에도 임병호 외(2011), 성현곤·최막중(2014) 김상훈·남진(2015) 등의 연구에서 역세권의 토지이용 또는 밀도 패턴을 연구하였다.

4. 소결

앞선 대부분의 연구에서는 모든 역세권을 동일하게 가정하였지만 개별 지하철역은 독립된 역이 아니라 지하철 네트워크를 통하여 다른 역들과 연결되어 있어 네트워크 연계성에 따라 각 역의 위계는 다르게 나타나기 때문에 이에 대한 고려가 필요하다.

사회네트워크 분석에서 다수 활용하고 있는 중심성 지표를 네트워크 연계성에 따른 역별 위계를 측정하는 데 적용할 수 있다. 즉, 연결정도중심성이 높은 역일수록 이용자가 환승 없이 많은 역을 이동할 수 있음을, 근접중심성이 높은 역일수록 각 역으로 더욱 빠르게 이동할 수 있음을, 매개중심성이 높은 역일수록 해당 역을 경유하는 비율이 높은 동시에 최단경로로 접근하는 경우가 높은 것으로 해석할 수 있다. 또한 모든 중심성에서 네트워크 연계성을 고려하지만, 연결정도중심성과 근접중심성은 해당 역을 기준으로 한 능동적인 중심성을, 매개중심성은 타 역에 의해 영향을 받는 수동적인 중심성을 나타내는 것으로 접근이 가능하다.

따라서 본 연구에서는 기존 연구의 한계를 극복하기 위해 서로 상이한 특성을 가지고 있는 중심성 지표를 지하철 네트워크 특성을 결합하여 역세권 특성과 네트워크 중심성에 따른 역세권 내 용도별 토지이용패턴을 분석하고자 한다.

Ⅲ. 수도권전철 현황 및 분석모형 설정

1. 수도권 도시철도 네트워크 현황

2011년 기준 수도권전철 노선망을 도시화한 결

과는 (그림 1)과 같다. 서울을 중심으로 인접한 인천·경기도와 연계되어 있으며, 천안·아산 등 충청남도 지역과 춘천 등 강원도 지역까지 연계되어 서울을 중심으로 한 광역 네트워크를 이루고 있다.

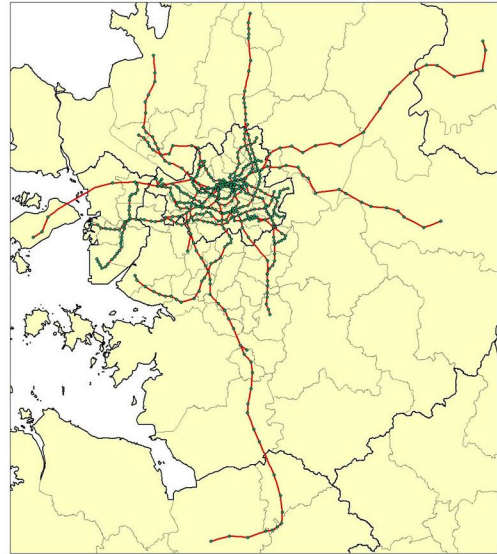


그림 1. 수도권전철 네트워크(2011년)

Figure 1. Seoul Metropolitan Subway Network (2011)

표 1. 2001년과 2011년 수도권전철 연장과 역수 비교

Table 1. Comparison on the Length and the Number of Station of the Seoul Metropolitan Subway

구분 Item	지역 Region	2001년 In 2001	2011년 In 2011	증가율 Growth Rate
연장 Length (km)	서울 In Seoul	321.1	397.1	23.7%
	서울 외 Out of Seoul	166.5	506.2	204.0%
	전체 Total	487.6	903.3	85.3%
역수 No. of Station	서울 In Seoul	281	335	19.2%
	서울 외 Out of Seoul	100	198	98.0%
	전체 Total	381	533	39.9%

자료: 한국철도공사, 월별 수도권전철 역간 이동인원(12월 기준)
Source: Korea Railroad, O/D data among the stations by each month (as of December)

2001년부터 10년 간 수도권전철 전체 연장은 487.6km에서 903.3km로 85.3% 증가하였으며, 서울 내 지역보다 서울 외 지역에서의 증가세가 높게 나타났다(표 1 참조). 역수 또한 수도권전철 전체로는 381개에서 533개로 39.9% 증가하였고, 서울 외 지역에서 2001년 대비 2011년 98.0%의 높은 증가세를 보여, 수도권전철이 서울 외 지역으로 더욱 광역화되었음을 알 수 있다.

표 2. 2002, 2010년 서울 수단통행량 변화
Table 2. Changes of Mode shares between 2002 and 2010 in Seoul

(단위: 천통행/일, Unit a thousand trips/day)

수단 Modes	서울 내부 Inside Seoul		서울 출발 또는 도착 Departure from Seoul or Arrival to Seoul	
	2002년 In 2002	2010년 In 2010	2002년 In 2002	2010년 In 2010
승용차 Vehicle	5,033 (27.7%)	4,491 (22.6%)	7,983 (31.4%)	7,257 (27.3%)
버스 Bus	5,977 (32.9%)	6,880 (34.6%)	7,705 (30.3%)	8,534 (32.1%)
지하철/철도 Subway/Rail	4,404 (24.3%)	5,121 (25.7%)	6,027 (23.7%)	6,726 (25.3%)
택시 Taxi	1,872 (10.3%)	2,034 (10.2%)	2,195 (8.6%)	2,235 (8.4%)
기타 Others	854 (4.7%)	1,379 (6.9%)	1,513 (6.0%)	1,800 (6.8%)
전체 Total	18,140 (100.0%)	19,905 (100.0%)	25,422 (100.0%)	26,553 (100.0%)

자료: 각 연도별 가구통행실태조사
Source: Household Travel Survey by each year

(표 2)에 따르면 수도권전철 네트워크의 광역화 등으로 인하여 2002년 대비 2010년 지하철·철도의 수단부담률은 서울 출발 또는 도착통행에서 1.6%p, 서울 내부통행에서 1.4%p 증가하였다. 이와 같이 수도권전철 네트워크가 점차 광역화됨에 따라 역별 중심성 산출 시 서울 내부보다는 광역화된 전체 수도권전철 네트워크에 대한 고려가 필요하다.

2011년 기준 호선별 역수는 (표 3)과 같이 나타난다. 전체 533개 역 중 395개의 일반역, 125개의

환승역이 있으며, 13개 역은 환승역이지만 영입위탁으로 개찰구는 1개 호선에만 있는 통합환승역이다³⁾.

표 3. 수도권전철 호선별 역 유형별 역수(2011년)
Table 3. The Number of Station by Subway Line and Station Characteristic of the Seoul Metropolitan Subway (as of 2011)

호선 Line	일반역 Station	환승역 Transfer Station	전체 (통합환승역)* Total (Integrated Transfer Station)
1호선 Line 1	76	17	98 (5)
2호선 Line 2	29	20	51 (2)
3호선 Line 3	28	11	42 (3)
4호선 Line 4	36	9	48 (3)
5호선 Line 5	35	15	51 (1)
6호선 Line 6	26	11	38 (1)
7호선 Line 7	31	11	42 (0)
8호선 Line 8	12	4	17 (1)
9호선 Line 9	18	6	24 (0)
경의선 Gyeongui Line	17	2	20 (1)
경춘선 Gyeongchun Line	16	0	18 (2)
공항철도 Airport Railroad	4	6	10 (0)
분당선 Bundang Line	17	5	23 (1)
신분당선 Shinbundang Line	3	3	6 (0)
인천1호선 Line 1 Incheon	27	2	29 (0)
중앙선 Jungang Line	20	3	28 (5)
전체 Total	395	125	533(13)

* 개찰구가 1개 노선에만 있는 환승역
A transfer station that only one line has ticket exists.

2. 분석모형 설정

역세권 및 네트워크 특성에 따른 용도별 분포패턴 분석을 위해 각 용도별 0(용도 미존재)과 1(용도 존재)로 구분되는 이항로지스틱 모형을 적용하였으

며, 각 지하철 역세권 내 건축물 자체 특성과 역의 네트워크 중심성 특성으로 구분하였다. 기본 분석모형은 (식 4)와 같으며, 여기서 p_{yij} 는 i 역세권 j 건축물 내 y 용도가 1일 확률을 의미하고, $f(ij)$ 는 i 역세권 내 j 건축물의 특성을, $g(i)$ 는 i 역의 지하철 네트워크 중심성을 나타낸다.

$$\ln\left(\frac{p_{yij}}{1-p_{yij}}\right) = \beta_0 + f(ij) + g(i) \quad (\text{식 } 4)$$

역세권 내 개별 건축물에 관한 모형 구축시에는 선행 연구들에서 다수 적용하고 있는 역으로부터 거리와 층수를 모형 분석을 위한 변수로 설정하였다. 여기서 D_{ij} 는 역으로부터 건축물까지의 직선거리, F_j 는 분석대상용도의 층수(1층, 2층, 3층 이상)이다.

$$f(ij) = \beta_{11}D_{ij} + \beta_{12}F_j \quad (\text{식 } 5)$$

각 역의 지하철 네트워크 중심성 특성에 관한 모형은 아래와 같다. 여기서 i 는 각 역을, C^D 는 연결정도중심성, C^C 는 근접중심성, C^B 는 매개중심성이다.

$$g(i) = \beta_{21}C_i^D + \beta_{22}C_i^C + \beta_{23}C_i^B \quad (\text{식 } 6)$$

3. 역세권 설정과 토지이용 데이터 구축방법론

역세권의 정의와 설정방법론은 다양하지만, 본 연구에서는 서울시 도시계획조례에 명시된 각 역 반경 500m를 역세권으로 정의하였다. 이때 첫째, 환승역이라도 역사가 통합되어 있는 통합환승역이 아닌 이상 호선별로 지하철 출입구 등은 상이한 곳에 위치하며 환승역 내에서 호선별로 주변의 토지 이용상황은 다른 양상을 보인다. 이러한 점을 고려하여 통합환승역을 제외한 환승역은 호선별 역세권을 따로 분류하였다. 둘째, 역세권이 중첩되는 경우

에 상호배타적인 영역을 구획하여 거리상으로 더 가까운 역의 역세권에만 속하도록 설정하였다(Kuby and Upchurch, 2004).

이후 각 역세권 내 100% 포함되는 서울 내 필지만을 추출하였으며, 서울이 아닌 곳에 역이 있더라도 반경 내 서울 필지가 있을 시 분석에 포함하였다. 다음으로 건축물대장 증별현황 데이터와 연계하여 지하층, 옥탑층을 제외한 레코드만을 추출한 후 대장 내 주용도코드를 이용하여 각 용도를 주거, 상업, 업무, 기타 용도로 단순화하였으며⁴⁾, 기타 용도는 분석에서 배제하였다.

4. 수도권전철 역별 중심성 산출방법론

1) 수도권전철 네트워크 구축

수도권전철 네트워크는 역간 거리를 고려하여 단순하게 구축하는 방법도 있으나, 역간 거리가 동일할지라도 급행열차 운행여부와 배차간격 등에 따라 소요시간의 차이가 발생한다. 본 연구에서는 단순한 거리보다 소요시간이 수도권전철 네트워크에서 더욱 현실성이 있는 점을 고려하여 Lee et al.(2013)의 방법론⁵⁾을 적용한 시간 단위 수도권전철 네트워크를 구축하였다.

본 네트워크에서 노드는 역 센트로이드 및 역 승강장으로 구분할 수 있으나, 통합환승역을 고려하여 노드 유형을 역 개찰구, 역 대합실, 역 승강장으로 구분하여 구축하였다. 링크는 대합실 진출입(개찰구↔대합실), 승강장 진출입(대합실↔승강장), 열차 운행(이전역→다음역), 환승(A호선 대합실↔B호선 대합실) 링크로 구분하였으며, 링크유형별 속성 변수(시간) 부여방법을 상이하게 적용하였다. 이 때 신분당선과 공항철도 일부구간은 상이한 요금체계임을 감안하여 대중교통시간가치를 고려한 가중치를 적용하였다⁶⁾. 위의 방법론을 적용하여 네트워크를 구축한 결과는 (그림 2)와 같다.

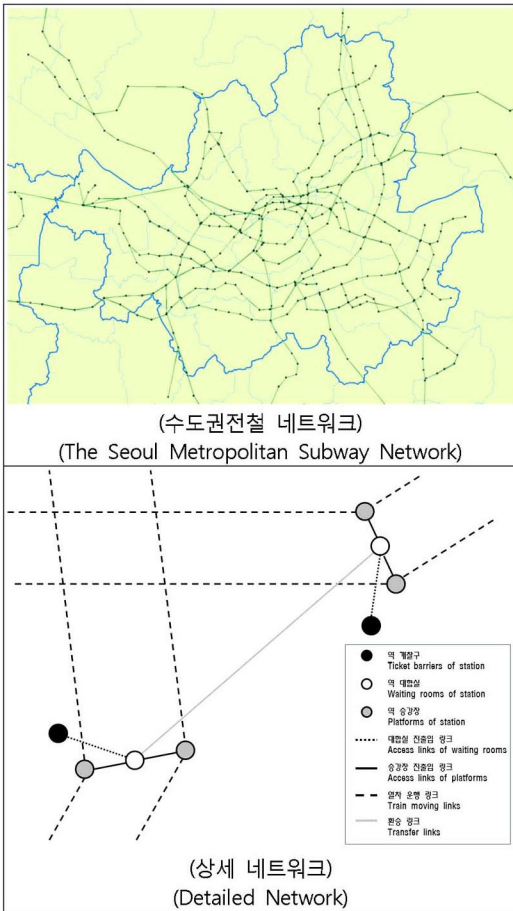


그림 2. 수도권전철 네트워크 구축 결과
Figure 2. Construction of the Seoul Metropolitan Subway Network

2) 역별 중심성 산출방법론

연결정도중심성은 분석대상 역 및 해당 역과의 환승역을 제외한 모든 역 중 지하철을 이용하여 한 번에 도착할 수 있는 역의 수에 대한 비율로 정의하였다⁷⁾. 산출식은 (식 7)과 같으며, i 는 분석대상 역, j 는 상대역, n 은 전체 역수, $N_{ij(Direct)}$ 는 i 역과 j 역 간 직접 연결되는 정도(0 또는 1), TS_i 는 i 역과의 환승역 수를 의미한다.

$$C_i^D = \frac{\sum_j (N_{ij(Direct)})}{(n-1) - TS_i} \quad (\text{식 7})$$

개별 역의 근접중심성은 전체 지하철 네트워크 소요시간의 합계 대비 해당 역으로부터 상대역까지 최단소요시간의 합으로 산출하였다. 사회네트워크 분석에서는 인접 행위자 간의 거리를 '1'로 설정하여 분석하기 때문에 상대적 근접중심성 산출시 분자를 $(n-1)$ 로 설정할 수 있지만, 지하철네트워크에서는 인접 역간 거리가 다름을 감안해야 한다. 이 점을 해결하기 위해 기존 중심성 산출 식에서 분자를 전체 구축된 수도권전철 네트워크 내 소요시간의 합계로 변환하였으며, 중복 네트워크($i \rightarrow j, j \rightarrow i$)가 있음에 따라 2로 나누어주었다⁸⁾. T_{NT} 는 각 네트워크의 소요시간, T_{ij} 는 i 와 j 역 간 최단통행시간이다. 여기에서 역 i 와 직접 연결된 환승역 간 최단통행시간은 제외하였다.

$$C_i^C = \frac{\left(\frac{\sum T_{NT}}{2} \right)}{\sum_{j=1, j \neq i, j \neq TS_i}^n T_{ij}} \quad (\text{식 8})$$

사회 네트워크에서 매개중심성은 전체 행위자 간 최단거리 중 특정 행위자를 통하는 경우의 비율로 정의된다. 이 개념을 적용하여 수도권전철 네트워크에서 특정 역의 매개중심성은 역간 전체 최단경로 중 특정 역을 통과하는 경로수에 대한 비율로 산출하였다. (식 9)는 본 연구에서 적용한 매개중심성 산출식이며, 전체적으로 분자부분은 역 i 를 통과하는 최단경로 수, 분모부분은 i 역과 i 역의 환승역을 제외한 전체 최단경로 수를 의미한다. i 역을 통과하는 최단경로수는 j 호선 i 역으로의 지하철을 통한 유입량($I_{Rt,j,Si}^S$)과 환승을 통한 유입량($I_{Rt,j,Si}^T$)의 합계에서 i 역의 최종 유출량(O_i)을 감하는 방법으

로 산출하였으며, 전체 최단경로수 산출 시 i 역과 j 역의 환승역(TS_i)을 함께 고려하였다⁹⁾.

$$C_i^B = \frac{[I_{R_i, \& i}^S + I_{R_i, \& i}^T - O_i]}{(n - TS_i - 1)(n - TS_i - 2)} \quad (\text{식 } 9)$$

역간 최단통행시간과 역별 유입량 분석을 위해 먼저 역간 O/D 행렬표를 생성한 뒤 i 역과 j 역 간 통행량을 '1'로 산정하였다¹⁰⁾. 다음으로 앞서 구축한 O/D표와 수도권전철 네트워크를 교통분석용 패키지 중 하나인 EMME/2에 입력한 후 통행배정기법 중 하나인 'All-or-Nothing' 기법을 적용하여 산출된 값들을 중심성 산출에 활용하였다.

IV. 모형분석을 위한 데이터 산출결과

1. 역세권별 토지이용현황 구축결과

각 역별 역세권 내 100% 포함되는 필지를 추출한 후 각 필지별 주소를 이용하여 해당 주소에 포함되는 건축물대장 증빙현황 데이터를 추출하였다¹¹⁾. 추출된 데이터를 집계한 결과는 (표 4)와 같다. 자료의 빈도 기준으로 주거용도 597,871개(72.9%), 상업용도 114,324개(14.4%), 업무용도 100,804개(12.7%)가 추출되었으며, 연면적 기준으로도 주거용도가 77,775천 m^2 으로 가장 높은 비율로 추출되었다.

역으로부터 거리에 따른 용도별 분포패턴을 보면

표 4. 분석대상 역세권 내 용도별 빈도 및 연면적
Table 4. Descriptive Statistics by Land-use Type in Station areas

용도 Land-use	주거 Residential	상업 Commerce	업무 Office	전체 Total
빈도 Frequency	579,871 (72.9%)	114,324 (14.4%)	100,804 (12.7%)	794,999 (100.0%)
연면적(천 m^2) Floorspace (Thousand m^2)	77,775 (63.8%)	16,218 (13.3%)	27,946 (22.9%)	121,939 (100.0%)

주: 기타용도 제외 Exception of others
(165,472, 30,758 thousand m^2)

역과 가까울수록 상업 및 업무용도의 분포비율이 높게 나타나고 있으며, 용도별 평균거리 또한 주거보다는 상업·업무용도에서 더욱 가까운 것으로 나타났다(표 5 참조).

표 5. 분석대상 역세권 내 용도별 거리대별 분포 및 평균거리

Table 5. Distribution by Distance of Land-use Types

용도 Land-use	주거 Residential	상업 Commerce	업무 Office	전체 Total
0~100m	14,023 (44.6%)	8,894 (28.3%)	8,546 (27.2%)	31,463 (100.0%)
100~200m	78,087 (62.5%)	25,143 (20.1%)	21,715 (17.4%)	124,945 (100.0%)
200~300m	148,575 (71.9%)	30,957 (15.0%)	27,154 (13.1%)	206,686 (100.0%)
300~400m	180,967 (76.7%)	28,860 (12.2%)	26,262 (11.1%)	236,089 (100.0%)
400~500m	158,219 (80.8%)	20,470 (10.5%)	17,127 (8.7%)	195,816 (100.0%)
전체 All	579,871 (72.9%)	114,324 (14.4%)	100,804 (12.7%)	794,999 (100.0%)
평균거리 Avg. Distance (m)	318.6	274.3	272.1	306.3

표 6. 토지이용의 층별 분포

Table 6. Distribution of Floor by Land-use Type

토지이용 Land-use	1층 First Floor	2층 Second Floor	3층 이상 Third Floor and above	전체 Total
주거 Residence	207,306 (35.8%)	166,956 (28.8%)	205,609 (35.5%)	579,871 (100.0%)
비주거 Non-residence	89,454 (41.6%)	45,562 (21.2%)	80,112 (37.2%)	215,128 (100.0%)
전체 Total	296,760 (37.3%)	212,518 (26.7%)	285,721 (35.9%)	794,999 (100.0%)
상업 Commerce	76,327 (66.8%)	21,128 (18.5%)	16,869 (14.8%)	114,324 (100.0%)
비상업 Non-commerce	220,433 (32.4%)	191,390 (28.1%)	268,852 (39.5%)	680,675 (100.0%)
전체 Total	296,760 (37.3%)	212,518 (26.7%)	285,721 (35.9%)	794,999 (100.0%)
업무 Office	13,127 (13.0%)	24,434 (24.2%)	63,243 (62.7%)	100,804 (100.0%)
비업무 Non-office	283,633 (40.9%)	188,084 (27.1%)	222,478 (32.0%)	694,195 (100.0%)
전체 Total	296,760 (37.3%)	212,518 (26.7%)	285,721 (35.9%)	794,999 (100.0%)

각 용도별 층별 분포현황을 살펴보면 주거용도의 경우 '1층'이 35.8%로 가장 높았으며 '3층 이상' 또한 35.5%로 1층과 유사한 패턴을 보이고 있다. 상업용도는 '1층'이 66.8%로 가장 높은 빈도이며, 층수가 높을수록 빈도가 줄어드는 양상을 보였다. 업무용도는 층수가 높을수록 빈도 또한 높았으며, '3층 이상'에서 62.7%로 가장 높다(표 6 참조).

2. 역별 중심성 산출결과

(식 7)~(식 9)를 적용하여 수도권전철 네트워크 상 각 역(n=533)의 연결정도중심성, 근접중심성, 매개중심성을 산출하였다. 역별 산출된 각 중심성에 대한 기초통계는 (표 7)과 같다. 수도권전철에서 각 중심성의

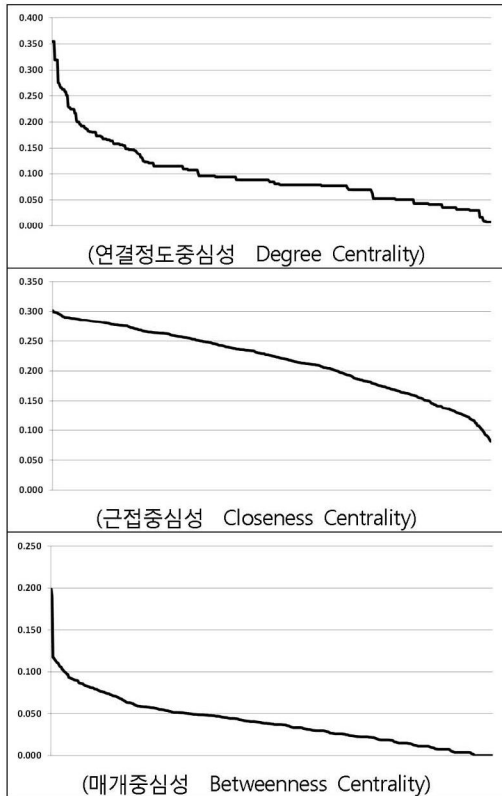


그림 4. 수도권전철 역별 중심성 추이
Figure 3. Centralities by Each Station

평균값은 0.098(연결정도), 0.217(근접), 0.040(매개)를 보이고 있고, 상대적으로 매개중심성의 표준편차가 낮아 평균을 중심으로 더욱 조밀한 분포를 보이고 있다.

각 중심성 별 값이 가장 높은 역부터 순차적으로 중심성 값을 그래프로 표현한 결과는 (그림 3)과 같다. 연결정도중심성과 매개중심성은 중심성 값 상위 역의 격차가 비교적 높은 분포를 보이고 있는 반면, 근접중심성은 순차적으로 하향하는 패턴을 보인다.

표 7. 중심성에 대한 기초통계

Table 7. Descriptive Statistics on Centralities

중심성 Centrality	연결정도중심성 Degree	근접중심성 Closeness	매개중심성 Betweenness
평균 Mean	0.097702	0.216711	0.040299
최대값 Maximum	0.354717	0.301432	0.198363
최소값 Minimum	0.007519	0.081587	0.000000
표준편차 Standard deviation	0.059273	0.054008	0.028178

역별 중심성 값 분포는 (그림 4)와 같고, 각 중심성별 상위 10개 역을 정리한 결과는 (표 8)과 같다. 연결정도중심성은 각 호선 중 역수가 가장 많은 1호선을 중심으로 높는데, 상위 10개 역 중 9개 역이 1호선을 포함하고 있음을 알 수 있다.

근접중심성은 수도권전철 네트워크가 집중하는 도심지역이 상대적으로 높게 도출되었으며, 상위 10개역 모두 도심지역에 위치하고 있음을 알 수 있다.

매개중심성은 인천, 수원, 안산 등 지역과 연계되는 1호선과 4호선 서남지역에서 높은 값을 보이고 있는데, 이는 수도권전철 네트워크가 연계되어 있지만, 단일노선이 집중되어 있어 이들 노선에서 외곽에서 서울방향으로 진입할수록 매개중심성 값이 점차 높아지는 양상을 띠고 있다. 그 외에 일부 역에서는 서울 도심부보다 높은 중심성 값이 산출되어 주로 서울 외곽 서남부 지역 및 외곽 환승역에서

높은 패턴을 보이고 있으며, 매개중심성 상위 10개 역 전체가 서울의 서남부 방향으로 집중하고 있다.

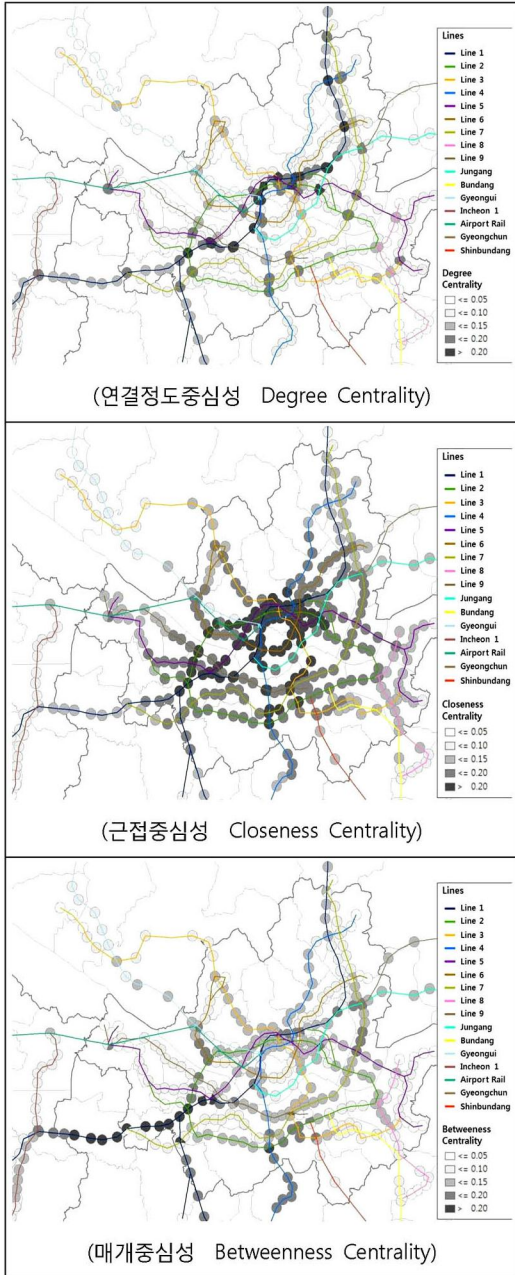


그림 5. 수도권전철 역별 중심성 산출결과
Figure 4. Results of Centralities by Each Station

표 8. 중심성별 상위 10개 역
Table 8. Top 10 Stations by Each Centrality

순위 Rank	연결정도중심성 Degree	근접중심성 Closeness	매개중심성 Betweenness
1	종로3가(1,3,5) Jongno 3-ga (0.354717)	종로3가(1) Jongno 3-ga(1) (0.301432)	구로 Guro (0.198363)
2	서울역(1,4,경의,공형) Seoul Station (0.319471)	서울역(1) Seoul Station(1) (0.298999)	신도림 Sindorim (0.189802)
3	신길(1,5) Singil (0.274953)	서울역(4) Seoul Station(4) (0.298777)	온수(1) Onsu(1) (0.117088)
4	신도림 Sindorim (0.268797)	종로3가(3) Jongno 3-ga(3) (0.298658)	구일 Guil (0.116628)
5	동대문(1,4) Dongdaemun (0.265537)	동대문역사 문화공원(4) Dongdaemun History & Culture Park(4) (0.298317)	금정 Guemjeong (0.114613)
6	동대문역사 문화공원(2,4,5) Dongdaemun History & Culture Park (0.262264)	충무로 Chungmuro (0.297931)	개봉 Gaebong (0.113579)
7	시청(1,2) City Hall (0.258004)	시청(1) City Hall(1) (0.297710)	역곡 Yeogkok (0.111982)
8	동묘앞(1,6) Dongmyo (0.250471)	동대문역사 문화공원(2) Dongdaemun History & Culture Park(2) (0.296462)	오류동 Oryu-dong (0.110689)
9	용산 Yongsan (0.229323)	시청(2) City Hall(2) (0.296223)	사당(4) Sadang(4) (0.110493)
10	청량리(1,중앙) Cheongnyangni (0.227872)	을지로3가(2) Euljiro 3-ga(2) (0.294928)	소사 Sosa (0.108900)

V. 중심성과 역세권 토지이용현황 간 관계성 분석

(식 4)~(식 6)을 이용하여 모형을 적용한 결과는 (표 9)와 같다. 역세권 특성(거리, 층수)에 따른 용도별 분포패턴을 보면, 역으로부터 거리의 경우 주거용도는 멀수록, 상업 및 업무용도는 가까울수록 분포패턴이 높게 나타나고 있다. 층수의 경우에는 상업용도는 낮을수록, 주거 및 업무용도는 높은 층일수록 임지하고 있을 확률이 높은 것으로 도출되어 거리와 층수에 대한 용도별 영향력은 기존 연구 결과들과 어느 정도 일치하고 있음을 알 수 있다.

지하철 네트워크 특성에 따른 용도별 분포패턴 분석결과를 보면, 연결정도중심성은 주거 및 업무용도는 낮을수록, 상업용도는 높을수록 높은 분포패턴을 보이고 있고, 근접중심성은 주거용도는 낮을수

록, 상업 및 업무용도는 높을수록 분포확률이 높은 것으로 분석되었다. 매개중심성의 경우에는 상업용도는 낮을수록, 주거 및 업무용도는 높을수록 존재확률이 높은 것으로 도출되었다.

이와 함께 각 독립변수 간 상대적인 비교를 위하여 전체 분석자료에서 각 지표별 표준화값(Z-score)을 산출한 후 다시 모형을 적용하였으며, (표 10)과 같이 산출되었다¹²⁾. 산출결과 중 독립변수별 파라미터의 절대값을 통해 비교분석한 결과는 아래와 같다.

먼저 각 중심성별 토지이용패턴의 영향력의 경우 연결정도중심성은 상업용도에서 가장 높은 영향력(0.079)을, 업무용도에서 가장 낮은 영향력(0.027)을 보이고 있다. 근접중심성의 경우에는 업무용도가 가장 높은 영향력(0.425)을, 상업용도가 가장 낮은 영향력(0.242)을 나타내고 있으며, 매개중심성은 상

표 9. 분석 결과(독립변수 비표준화)

Table 9. Analyzing the Results (Non-standardization of Independent Variables)

구분 Category	주거* Residence			상업* Commerce			업무* Office			
	B	Sig.	Exp(B)	B	Sig.	Exp(B)	B	Sig.	Exp(B)	
변수 Variables	역으로부터 거리(m) Distance from Station (m)	0.003**	0.000	1.003	-0.003**	0.000	0.997	-0.003**	0.000	0.997
	층수(1,2,3) Floor	0.074**	0.000	1.077	-0.937**	0.000	0.392	0.891**	0.000	2.438
	연결정도중심성 Degree	-0.757**	0.000	0.469	1.423**	0.000	4.150	-0.496**	0.000	0.609
	근접중심성 Closeness	-14.212**	0.000	0.000	9.254**	0.000	10,442.5	16.242**	0.000	11,321,531.6
	매개중심성 Betweenness	0.189***	0.130	1.208	-1.138**	0.000	0.320	1.089**	0.000	2.973
	(상수항) (Constant)	3.475*	0.000	32.286	-1.612*	0.000	0.199	-7.260*	0.000	0.001
적합도 검정 Goodness of Fit	카이제곱 χ^2	48,259.588			70,259.512			65,285.167		
	Sig.	0.000			0.000			0.000		
모형 요약 Summary	-2 LL	880,070.738			584,516.170			539,317.141		
	Nagelkerke R ²	0.085			0.151			0.148		
Hosmer & Lemeshow Test	카이제곱 χ^2	2,651.064			424.148			710.888		
	Sig.	0.000			0.000			0.000		

* : 0=없음 · 1=있음(0=Non-existence · 1=Existence), ** : p<0.01, *** : p<0.15

표 10. 분석 결과(독립변수 표준화)

Table 10. Analyzing the Results (Standardization of Independent Variables)

구분 Category		주거* Residence			상업* Commerce			업무* Office		
		B	Sig.	Exp(B)	B	Sig.	Exp(B)	B	Sig.	Exp(B)
변수 Variables	역으로부터 거리(m) Distance from Station (m)	0.385**	0.000	1.470	-0.364**	0.000	0.695	-0.292**	0.000	0.747
	층수(1,2,3) Floor	0.064**	0.000	1.066	-0.802**	0.000	0.448	0.763**	0.000	2.144
	연결정도중심성 Degree	-0.042**	0.000	0.959	0.079**	0.000	1.802	-0.027**	0.000	0.973
	근접중심성 Closeness	-0.372**	0.000	0.689	0.242**	0.000	1.274	0.425**	0.000	1.530
	매개중심성 Betweenness	0.005***	0.130	1.005	-0.029**	0.000	0.971	0.028**	0.000	1.028
	(상수항) (Constant)	1.063*	0.000	2.894	-2.066*	0.000	0.127	-2.238*	0.000	0.107
적합도 검정 Goodness of Fit	카이제곱 χ^2 Sig.	48,259.587 0.000			70,259.512 0.000			65,285.166 0.000		
모형 요약 Summary	-2 LL Nagelkerke R ²	880,070.739 0.085			584,516.170 0.151			539,317.142 0.148		
Hosmer & Lemeshow Test	카이제곱 χ^2 Sig.	2,651.064 0.000			424.148 0.000			710.887 0.000		

* : 0=없음 · 1=있음(0=Non-existence · 1=Existence), ** : p<0.01, *** : p<0.15

업용도가 가장 높고(0.029), 주거용도가 가장 낮은 영향력(0.005)을 가지고 있는 것으로 분석되었다.

이와 함께 각 용도별 중심성의 영향력은 모든 용도에서 근접중심성이 가장 높은 영향력(주거 0.372, 상업 0.242, 업무 0.425)을 보이고 있으며 주거와 상업 용도에서는 매개중심성이 가장 낮은 영향력(주거 0.005, 상업 0.029)을 보이고 있다. 업무 용도의 경우 연결정도중심성(0.027)과 매개중심성(0.028)의 영향력이 비슷한 수준인 것으로 추정되었다. 역세권 특성을 함께 보면 대체로 거리와 층수에 따른 영향력이 높은 편이지만, 주거용도의 경우 층수보다 근접중심성이, 업무용도의 경우 거리보다는 근접중심성이 더욱 큰 영향력을 나타내고 있다.

분석결과를 통해 본 연구의 주요 결과를 도출하면, 첫째, 지하철 네트워크의 연계정도에 따른 역별 중심성이 역세권 토지이용 분포에 유의미한 영향을 미치고

있다는 점이다. 연결정도중심성값이 클수록 상업용도의 입지확률이 높아지고, 근접중심성값이 클수록 상업과 업무용도의 입지확률이 높아지며, 매개중심성값이 클수록 주거 및 업무용도의 입지확률이 높아지는 것으로 나타났다. 연결정도중심성은 주로 환승역에서 높은 값을 나타내고 있다. 2개 이상 노선이 교차하여 타 역으로 손쉬운 접근 가능성이 더욱 높기 때문에 이들 역세권에서는 상업용도가 입지할 확률이 높은 것으로 해석 가능하다. 근접중심성은 지하철 네트워크의 중심부에 위치하고 네트워크가 집중되어 접근 소요시간이 가장 적게 걸리는 도심지역에서 높은 값을 보이고 있다. 근접중심성이 높은 역들에 상업·업무 등 고차원적인 토지이용 분포패턴이 높게 나타났으며, 이는 도시공간구조 이론과 부합한다. 매개중심성은 주변 역들과 네트워크 연계성에 따라 영향을 받는 수동적인 중심성 지표로, 외곽지역을 지나는 역들에서 높은 패턴을 보인다.

매개중심성이 높은 역일수록 해당 역을 이용하기보다는 단순 경유하는 경우가 높기 때문에 상업용도의 경우에는 부정적인 영향을 미치지만, 주거 및 업무용도에는 긍정적인 영향을 미치는 것으로 해석 가능하다.

둘째, 일부 용도의 경우 역세권 특성보다는 중심성 특성에 더 큰 영향을 받는다는 점이다. 상업용도의 경우 역으로부터 거리와 층수로 대변되는 역세권 내 특성이 중심성보다 큰 영향력을 갖지만, 주거용도의 경우 층수보다, 업무용도에서는 역으로부터 거리보다 역의 중심성이 더 큰 영향력을 나타낸다. 이를 통해 역세권 토지이용분포 분석 및 역세권 관련 계획수립 시 지하철 네트워크의 연계정도에 따른 역별 위계를 고려해야 함을 강조할 수 있다.

마지막으로 계획적 차원에서 역별 역세권 정비 시 지하철 네트워크의 중심성 등 연계정도를 고려하여 중심 토지이용 방향을 결정할 필요가 있다. 본 연구에 따르면 상업용도는 연결정도중심성과 근접중심성이 높은 곳에, 업무용도는 근접중심성과 매개중심성이 높은 역에 정하는 것이 바람직하다.

VI 결론

본 연구에서는 수도권전철을 대상으로 역간 상호작용 효과를 측정할 수 있는 방법론 중 하나인 사회 네트워크 중심성 이론을 적용하여 역간 상호작용 효과에 따른 역세권 토지이용패턴을 분석하였다. 각 역별 중심성을 산출한 결과 연결정도 중심성은 각 호선 중 역수가 가장 많은 1호선 역을 중심으로, 근접중심성은 수도권전철 네트워크가 집중되어 있는 도심지역이, 매개중심성은 인천, 수원, 안산 등과 연계되는 서남지역 및 외곽지역 환승역이 높게 산출되어, 지역별로 상이한 분포패턴이 도출되었다.

이러한 역간 상호작용 효과와 역세권 특성이 용도별 토지이용 분포에 미치는 영향을 분석한 결과

연결정도중심성은 상업용도에, 근접중심성은 상업과 업무용도에, 매개중심성은 주거와 업무용도에 긍정적인 효과로 작용하고 있는 것으로 나타나는 등 토지이용 용도별 각 네트워크 중심성의 효과는 상이하게 도출되었다. 또한 일부 용도에서는 역으로부터 거리 등 역세권 개별 건축물의 특성보다 역의 네트워크 중심성이 더욱 큰 영향력을 나타내고 있는 등 역별 네트워크 중심성이 용도별 토지이용 분포에 유의한 영향을 미치고 있음이 증명되었다. 이를 통해 역세권 토지이용 관련 연구 또는 계획수립 시 역세권 내부의 특성과 역별 네트워크를 고려한 특성을 고려한 종합적인 분석이 함께 진행되어야 할 것이다.

본 연구는 네트워크 특성을 중심으로 서울 내 역세권의 용도별 분포패턴을 분석하였기에 역세권 내 건축물의 특성의 경우 ‘거리’, ‘층수’ 등 매우 한정적인 변수만을 포함한 한계가 있다. 또한 본 연구는 서울에 한정하여 분석을 수행하였지만, 수도권 전철은 서울뿐만 아니라 인천, 경기도 등 타 지역과 광역적으로 연계되어 있고, 부산 등 지하철이 건설된 지방 대도시권 또한 네트워크 효과에 따라 역세권 토지이용 양상이 다르게 나타날 수 있다. 이를 고려하여 국내 지하철 역세권 전체를 대상으로 한 추가적인 연구를 통하여 종합적인 결론을 도출할 필요가 있다.

- 주1. 중심성은 절대적 중심성과 상대적 중심성으로 구분된다(손동원, 2002). 본 연구에서는 상대적 중심성 개념을 적용하였으며, 각 중심성은 0~1 사이의 값을 가진다. 앞에서 언급한 세 가지 중심성 외에도 주변 노드의 중심성을 고려하는 위세중심성과 거리의 직선화 정도를 고려하는 직선(Straightness) 중심성 등이 있으나 다른 중심성의 중복으로 인해 본 연구에는 포함하지 않았다.
- 주2. 각 사례 중 근접중심성 또는 매개중심성을 이용한 사례도 있으나, 대부분의 연구에서 연결정도중심성 또는 위세중심성을 산출하였다.
- 주3. 2011년 기준 통합환승역은 아래와 같다.
 - 용산(1, 중앙), 회기(1, 중앙), 신도림(1, 2), 창동(1, 4), 연신내(3, 6), 옥수(3, 중앙), 충무로(3, 4), 금정(1, 4),

- 대곡(3, 경의), 까치산(2, 5), 복정(8, 분당), 망우(중앙, 경춘), 상봉(중앙, 경춘)
- 주4. 상세 용도구분 방법은 아래와 같다.
 -주거: 단독주택, 다가구주택, 다중주택, 공간, 아파트, 연립주택, 다세대주택, 고시원
 -상업: 시장, 판매시설, 숙박, 서비스(미용, 목욕 등), 위락시설(주점 등), 오락시설(당구장, 게임업소, PC방 등) 등
 -업무: 사무소, 금융업소, 업무시설
 -기타: 위 용도에 포함되지 않는 용도(교육시설 등)
- 주5. 본 연구에서 지하철 네트워크 구축 시 역사 및 승강장으로 구성되는 노드와 승·하차, 노선, 환승통로로 구성되는 링크로 구분하여 구축하였으며, 속성자료로 노드는 역코드, 링크는 통행시간에 대한 정보를 입력하였다. 링크 구축시 승·하차링크(역 승강장노드와 역사노드를 연결), 노선링크(출발 역 승강장노드와 도착 역 승강장노드를 연결(방향별 분리)), 환승링크(일반 환승역일 경우 역사와 역사간을 연결)로 구분하였다.
- 주6. 상세 네트워크 구축방법은 아래와 같다.
 [Node] -역 개찰구(Centroid), 역 대합실, 역 승강장
 [Link] -대합실 진출입 개찰구↔대합실
 -승강장 진출입: 대합실↔승강장
 ※노선-방향완행/급행별 분리
 -열차운행: (이전)역→(다음)역
 -환승: 대합실(A호선)↔대합실(B호선)
 [시간] -대합실 진출입: 5분(가상으로 부여)
 -대합실→승강장: 열차 평균대기시간(배차간격÷2)
 ※평일 12~14시까지 역별 평균배차간격
 (운행시간표에서 산출)
 -승강장→대합실: 0.5분
 -열차운행: 운행시간표 상 이동시간(분)
 (급행/일반 구분)
 [특수노선 가중치]
 -신분당선(전 구간), 공항철도(검암~운서)
 ※별도요금구간에 대하여 대중교통 시간가치 (9,350원/시간)를 고려하여 가중값 부여 (한국교통연구원, 2012)
 ·신분당선: 대합실→승강장 링크에 적용
 ·공항철도: 검암~운서 간 운행링크에 적용
- 주7. 동일한 호선이라도 역 위치에 따라 연결정도중심성은 달라진다. 예를 들어 1호선 구로, 개봉, 독산역을 비교할 때 구로역에서는 지하철 1회 탑승으로 1호선 전 구간을 이동할 수 있지만, 개봉역은 경부선 구간을 이동할 시 지하철을 1회 갈아타야 하고, 독산역은 경인선 구간 및 광운대역 이후 구간 이동 시 지하철을 1회 갈아타야 한다. 본 연구에서 연결정도중심성 산출 시 분자는 동일노선이라도 지하철 환승 없이

이동가능한 역수로 정의하였다. 또한 해당역과의 환승역 또한 지하철을 통한 이동이 없으므로 분석 시 제외하였다.

- 주8. 여기에서 급행네트워크는 제외하였다.
- 주9. 이와 같은 방법론 적용시 다른역과 달리 2개 이상의 노선이 단일 호선 개찰구를 이용하고 있는 통합환승역의 매개중심성이 과다하게 산출되는 문제가 발생한다. 매개중심성은 해당 역의 특성보다는 타 역과 네트워크 연결성에 의해 결정되기 때문에, 타 역과 동일한 조건에서의 중심성 비교를 위해 호선별 지하철유입량+환승유입량을 산출한 후 최대값을 중심성 산출 시 적용하는 방법으로 보정하였다.
- 주10. O/D 행렬표 구축 시 동일역 및 환승역 간 통행량은 '0'으로 처리하였다.
- 주11. 이때 지하층과 옥탑은 제외하였으며, 건축물 연면적이 '0'인 데이터들 또한 제외하였다.
- 주12. 전체 자료(n=794,999)를 대상으로 각 독립변수별 '지표값-평균'÷'표준편차' 방법론으로 표준화값을 산출하였으며, 계산 시 적용한 독립변수별 평균과 표준편차는 아래와 같다.

Variable	Mean	Standard deviation	N
Distance from Station	306.31	111.45	794,999
Floor	1.9861	0.8559	
Degree centrality	0.1013	0.0553	
Closeness centrality	0.2498	0.0262	
Betweenness centrality	0.0434	0.0255	

인용문헌

References

- 강영경·이창효·이승일, 2014. "서울 도시철도 네트워크와 역세권 토지이용 특성을 고려한 도시철도 차내 혼잡도의 영향요인", 「국토계획」, 49(1): 203-218.
 Kang, Y., Yi, C., and Lee, S. 2014. "A Study on the Factors Affecting Crowding Degree in the Subway Train Considering the Seoul Metropolitan Subway Network and the Land Use of Its Catchment Area", *Journal of Korea Planners Association*, 49(1): 203-218.
- 김상훈·남진, 2015. "서울시 도시철도 확충이 신규 역세권 개발밀도 변화에 미치는 영향 분석", 「국토계획」, 50(2): 173-195.

- Kim, S. H., and Nam, J., 2015. "Before and After Analysis on the Development Density Change in New Railway Station Area by Urban Railway Expansion in Seoul", *Journal of Korea Planners Association*, 50(2): 173-195.
3. 김옥연, 2010. "역세권 유형별 도시관리 방안에 관한 연구: 서울시를 중심으로", 한양대학교 대학원 박사학위논문.
- Kim, O. Y., 2010. "Development on the Urban Management Policy by the Types of Subway Station Areas: the case of Seoul, Korea", Ph. D. Dissertation, Graduate School of Hanyang University.
4. 김효진, 2008. "사회네트워크 분석을 이용한 통근연구: 서울대도시권의 시간대별 통근", 『지리교육논집』 52: 25-43.
- Kim, H. J., 2008. "A Study on Commuting Patterns using Social Network Analysis in the Seoul Metropolitan Area", *Journal of Geography Education*, 52: 25-43.
5. 김희철·안건희, 2012. "연결망 이론으로 본 인구, 고용, 사회적 자본과 서울 대도시권 중심성 사이의 관계", 『국토계획』 47(3): 105-122.
- Kim, H. C., and Ahn, K. H., 2012. "The Relation of Population, Jobs, Social Capitals and Centrality in Seoul Metropolitan Area, using Social Network Theory", *Journal of Korea Planners Association*, 47(3): 105-122.
6. 문영일, 2013. "역세권의 토지이용 유형별 지하철 이용수요에 미치는 도시계획 요소 분석", 한양대학교 도시대학원 박사학위논문.
- Moon, Y. I., 2013. "An Empirical Analysis of Urban Planning Factors toward Public Transportation Demand Considering Land Use Type of Subway Station Area in Seoul", Ph. D. Dissertation, The Graduate School of Urban Studies, Hanyang University.
7. 박지형, 2008. "TOD 계획요소별 대중교통 이용효과 분석 - 서울시 역세권을 대상으로-", 한양대학교 대학원 박사학위논문.
- Park, J., 2008. "Impacts Analysis of TOD Planning Elements on Transit Ridership in Seoul Rail Station Areas", Ph. D. Dissertation, Graduate School of Hanyang University.
8. 성현근·김태현, 2005. "서울시 역세권의 유형화에 관한 연구: 요일별 시간대별 지하철 이용인구를 중심으로", 『대한교통학회지』, 23(8): 19-29.
- Sung, H. G., and Kim, T. H., 2005. "A Study on Categorizing Subway Station Areas in Seoul by Rail Use Pattern", *Journal of Korean Society of Transportation*, 23(8): 19-29.
9. 성현근·노정현·김태현·박지형, 2006. "고밀도시에서의 토지이용이 통행패턴에 미치는 영향: 서울시 역세권을 중심으로", 『국토계획』, 41(4): 59-75.
- Sung, H. G., Rho, J. H., Kim, T. H., and Park, J. H., 2015. "A Study on the Effects of Land Use on Travel Pattern in the Rail Station Areas of a Dense City: A Case of Seoul", *Journal of Korea Planners Association*, 41(4): 59-75.
10. 성현근·최막중, 2014. "철도역 접근성이 건축물 개발밀도에 미치는 영향", 『국토계획』, 49(3): 63-77.
- Sung, H. G., and Choi, M. J., 2014. "An Effect of Rail Station Accessibility on Building Development Density", *Journal of Korea Planners Association*, 49(3): 63-77.
11. 손동원, 2002. 『사회 네트워크 분석』, 서울: 도서출판 경문사.
- Sohn, D. W., 2002. *Social Network Analysis*, Seoul: Gyeongmunsa.
12. 양지수·손기민·전경수, 2009. "중심성 지표를 활용한 대중교통 취약지 분석 -서울시 지하철 네트워크를 중심으로-", 『대한교통학회 학술대회지』, 인천시: 송도컨벤시아.
- Yang, J. S., Kim, D. S., and Chon, K. S., 2009. "Centrality indicators as an instrument to evaluate transit network", Paper presented at the KOR-KST Conference (Autumn), Incheon, Korea: Songdoconvensia.
13. 오성열, 2011. "공향네트워크 중심성 연구", 인하대학교 물류전문대학원 박사학위논문.
- Oh, S. Y., 2011. "Network Analysis on the

- Centrality of Airports”, Ph. D. Dissertation, Graduate School of Logistics, Inha University.
14. 윤시운·이광국, 1999. “지하철 역세권의 상세 계획 구역 설정방법에 관한 연구”, 「한국지역개발학회지」, 11(3): 89-101.
 - Yoon, S. W., and Lee, K. K., 1999. “The study on the method for the appointment of detailed planning zone of subway station area”, *Journal of The Korean Regional Development Association*, 11(3): 89-101.
 15. 이성용·하창현, 2014. “제주지역의 인구이동과 지역구조변화 분석”, 「국토계획」, 49(2): 41-53.
 - Lee, S., and Ha, C., 2014. “Analysis on Migration and Regional Structural Change in Jeju Region”, *Journal of Korea Planners Association*, 49(2): 41-53.
 16. 이승일, 2004. “GIS를 이용한 수도권 지하철 광역 접근도 분석연구”, 「국토계획」, 39(3): 261-275.
 - Lee, S., 2004. “Regional Accessibility Measurement of Seoul Metropolitan Subway Using GIS”, *Journal of Korea Planners Association*, 39(3): 261-275.
 17. 이승일·이창호, 2004. “직장접근도비를 통한 수도권 지하철 역세권의 통근이용 잠재성 분석”, 「서울도시연구」, 5(4): 13-28.
 - Lee, S., and Yi, C., 2004. “Analysis of Potential of Commuter Subway Trip Based on Job Accessibility Ratio in Catchment Areas of the Seoul Metropolitan Subway”, *Seoul Studies*, 5(4): 13-28.
 18. 이재영·송태수·박진희, 2004. “수도권 신도시 역세권의 토지이용 특성 및 변화분석”, 「도시행정학보」, 17(2): 47-63.
 - Lee, J. Y., Song, T. S., and Park, J. H., 2004. “The Analysis of the Characteristics and Change of Land Use of Subway Influential Area in the New Town of the Capital Region”, *The Journal of the Korean Urban Administration Association*, 17(2): 47-63.
 19. 이희연, 1997. “접근도의 변화에 따른 역세권의 토지이용변화와 개발방향에 관한 연구: 건대역을 사례로 하여”, 「대한지리학회지」, 32(1): 69-90.
 - Lee, H. Y., 1997. “A Study of Land Use Changes and Direction of Development of Surrounding Area of Konkuk Subway Station According to Change in Accessibility”, *The Journal of the Korean Geographical Society*, 32(1): 69-90.
 20. 이희연·김흥주, 2006a. “네트워크 분석을 통한 수도권권의 공간구조 변화 1980~2000년”, 「국토계획」, 41(1): 133-151.
 - Lee, H. Y., and Kim, H. J., 2006a. “The Transformation of the Spatial Structure by Commuting Flows in the Capital Region Using Network Analysis, 1980-2000”, *Journal of Korea Planners Association*, 41(1): 133-151.
 21. 이희연·김흥주, 2006b. “서울대도시권의 통근 네트워크 구조 분석”, 「한국도시지리학회지」, 9(1): 91-111.
 - Lee, H. Y., and Kim, H. J., 2006b. “The Analysis of the Structure of Commuting Network in Seoul Metropolitan Area”, *Journal of the Korean Urban Geographical Society*, 9(1): 91-111.
 22. 임병호·이건호·지남석, 2011. “지하철 개통 이후 지방 대도시 역세권의 토지이용 변화 및 특성 - 대전시를 대상으로 -”, 「국토계획」, 46(3): 179-191.
 - Lim, B. H., Lee, K. H., and Ji, N. S., 2011. “A Study on the Change of Land Use in the Subway Influencing Area after the Opening of Subway in DaeJeon Metropolitan”, *Journal of Korea Planners Association*, 46(3): 179-191.
 23. 임혜민·고주연·이승일, 2013. “서울시 도시철도 역세권의 토지이용과 교통 특성을 고려한 환승역의 이용자 영향요인 분석”, 「서울도시연구」, 14(4): 27-41.
 - Lim, H. M., Go, J. Y., and Lee, S., 2013. “An Analysis of the Factors Influencing Users in the Transfer Station Areas of the Seoul Metropolitan Subway Based on the Characteristics of Their Land Use and

- Network”, *Seoul Studies*, 14(4): 27-41.
24. 임희지, 2005. “고밀다핵도시 서울의 대중교통이용 활성화를 위한 역 중심 개발 유도방안 연구”, 「대한교통학회지」, 23(5): 93-104.
- Lim, H. J., 2005. “A Study on Transit-Oriented Development Method to Activate Transit Use for High Urban-Density Multi-Nucleated Seoul”, *Journal of Korean Society of Transportation*, 23(5): 93-104.
25. 조명호·임창효, 2001. “수도권 도시공간구조의 분석”, 「국토계획」, 36(7): 183-195.
- Cho, M. H., and Yim, C. H., 2001. “A Analysis on Spatial Structure in Seoul Metropolitan Area”, *Journal of Korea Planners Association*, 36(7): 183-195.
26. 지남석·임병호·이준호, 2013. “지하철 역세권 건축 물 용도변화의 영향요인에 관한 연구 -대전시 3개 지하철 역세권을 대상으로-”, 「한국지역개발학회지」, 25(1): 39-56.
- Ji, N. S., Lim, B. H., and Lee, C. H., 2013. “A Study on the Factors Influencing to the Changes of Building Use at the Subway Station Area in Daejeon Metropolitan”, *Journal of The Korean Regional Development Association*, 25(1): 39-56.
27. 한국교통연구원, 2012. 「2011년 국가교통수요조사 및 DB구축사업: 제2권 전국 여객 O/D 전수화 및 장래수요예측 I」, 경기.
- The Korea Transport Institute, 2012. *Project of National Transport Demand survey & Building Database in 2011*, Gyunggi-do.
28. 한봉림, 1991. “지하철건설에 따른 주변지역의 지가변화에 관한 연구 -서울시 사당역 역세권을 중심으로-”, 「지역사회개발연구」, 16(1): 177-198.
- Han, B. R., 1991. “A Study of the Variability of Land price by Subway Construction-Particularly in Park and Ride of Sadang-Subway Station in Seoul-”, *Community Development Review*, 16(1): 177-198.
29. Freeman, C. Linton, 1979. “Centrality in Social Networks Conceptual Clarification”, *Social Networks*, 1: 215-239.
30. Goncalves, J.A.M., Portugal, L.S., and Nassi, C.D., 2009. “Centrality indicators as an instrument to evaluate the integration of urban equipment in the area of influence of a rail corridor”, *Transportation Research Part A*, 43: 13-25.
31. Goulias, K., 2002. *Transportation Systems Planning: Methods and Applications*, Florida: CRC Press.
32. Kuby, M.B. and Upchurch, C., 2004. “Factors Influencing Ligh-rail Station Boardings in the United States”, *Transportation Research A*, Vol. 38, pp.223-247.
33. Lee, S., Yi, C. and Hong, S., 2013. “Urban structural hierarchy and the relationship between the ridership of the Seoul Metropolitan Subway and the land-use pattern of the station areas”, *Cities*, 35: 69-77.
34. Meyer, M. and Miller, E., 2000. *Urban Transportation Planning*, Ohio: McGraw-Hill.
35. Porta, S., Strano, E., Iacoviello, V., and Messori, R., 2009. “Street centrality and densities of retail and services in Bologna, Italy”, *Environment and planning B, Planning & design*, 36(3): 450-465.
36. Wang, F., Antipova, A., and Porta, S., 2011. “Street centrality and land use intensity in Baton Rouge, Louisiana”, *Journal of Transport Geography*, 19: 285-293.
37. Wilson, G., 2000. *Complex Spatial Systems: The Modelling Foundations of Urban and Regional Analysis*, New Jersey: Prentice-Hall.
38. <http://www.ktdb.go.kr/>

Date Received 2015-04-30
 Date Reviewed 2015-06-02
 Date Accepted 2015-06-02
 Date Revised 2015-06-10
 Final Received 2015-06-10