

수도권 다핵화 과정에서 나타나는 중심성 탈동조화 현상*

: 경제적·기능적·구조적 중심성의 분화와 재구성

Centrality Decoupling in the Process of Seoul Metropolitan Area Polycentric Development

: Differentiation and Reconfiguration of Economic, Functional, and Structural Centrality

성경모** · 이희정***

Sung, Kyung-mo · Lee, Hee-Chung

Abstract

This study examines the dynamic evolution of polycentricity and urban centrality in the Seoul Metropolitan Area (SMA) from 2000 to 2020 using origin–destination (OD) trip data. A multidimensional framework integrating economic, functional, and structural centrality indices was employed. The economic centrality index, derived from principal component analysis (PCA) of land prices, population density, commercial/office floor areas, and employment data, revealed persistently high centrality in traditional Seoul cores (Gangnam, Jung-gu) alongside emerging clusters in satellite cities like Seongnam and Suwon. The functional centrality index, calculated through weighted combinations of inflow (50%), outflow (30%), and internal traffic (20%), demonstrated increasing self-sufficiency rates in major cities (e.g., Goyang's Seoul dependence decreased from 79.03% to 61.74%) and diverging spatial patterns compared to structural centrality. The structural centrality index, evaluated using network metrics (betweenness, closeness, and eigenvector centrality), highlighted the growing importance of transportation hubs along GTX corridors. Its correlation with economic centrality declined from 0.7363 (2000) to 0.5451 (2020), signaling a decoupling between infrastructural importance and economic activity. Multi-scale analysis addressing the modifiable areal unit problem (MAUP) confirmed intensified spatial differentiation: grid-level Moran's I values remained above 0.76 ($p < 0.001$), and district-level CV correlations strengthened from -0.1125 to -0.4078. Spatial lag models (SLM) identified significant spillover effects ($\rho = 0.48$), while cluster analysis using ARI/Jaccard indices (0.847–0.696) revealed phased structural shifts: consolidation of first-generation new towns (2000–2005), GTX-driven reorganization (2010–2015), and specialized cluster formation (e.g., Pangyo Techno Valley post-2015). These findings underscore the need for differentiated infrastructure investments that strengthen transportation-economic synergy, multi-scale policy integration balancing grid-level precision with district-level equity, and adaptive cluster management to support functional specialization in emerging hubs. The results also provide empirical validation for Alonso's bid rent theory and Christaller's hierarchical models in a contemporary metropolitan context.

주제어 수도권, 도시 중심성, 중심성 탈동조화, 다핵화, 공간회귀분석

Keywords Seoul Metropolitan Area, SMA, Urban Centrality, Centrality Decoupling, Polycentricity, Spatial Regression

* 본 논문은 2025년도 국토교통부의 재원으로 지원을 받아 수행되었음(No. RS-2022-00143404)

** Doctor, Department of Urban Planning and Design, University of Seoul (First Author: miliarium@naver.com)

*** Professor, Department of Urban Planning and Design, University of Seoul (Corresponding Author: leeworld@uos.ac.kr)

1. 서론

1. 연구의 배경 및 문제 제기

수도권은 대한민국 인구의 절반 이상이 거주하는 거대 도시권으로서, 2000년대 이후 단일 중심체계에서 다핵 중심체계로 전환되는 과정에서 기존 이론으로는 설명하기 어려운 새로운 현상이 나타나고 있다. 본 연구가 주목하는 핵심 현상은 중심성 탈동조화(centrality decoupling)이다. 이는 전통적으로 일체화되어 있던 경제적 집중, 기능적 연계, 구조적 연결성이 각기 다른 공간적 패턴과 변화 궤적을 보이며 분화되는 현상을 의미한다. 수도권 공간구조 변화는 2000년 이후 급격한 전환점을 맞았으며, 이는 1기 신도시 개발의 성숙화, 2기 신도시의 본격 조성, 그리고 GTX와 같은 광역교통망 확충 계획이 동시에 진행되면서 전통적인 서울 중심의 단핵 구조가 다핵 구조로 변화하기 시작했기 때문이다. 이러한 변화 과정에서 교통 인프라의 발달, 경제활동의 탈공간화, 특화 클러스터의 형성이 동시에 진행되면서 각 중심성이 서로 다른 공간적 과정과 변화 논리를 갖게 되었다. 중심성 탈동조화 현상의 구체적 사례로는 GTX 환승역과 같은 교통 요충지가 반드시 경제적 중심지로 발전하지 않는 현상, 경제적으로 중요한 지역이 광역교통망에서는 상대적으로 변방에 위치하는 현상, 그리고 인구와 상업기능은 집중되어 있지만 광역적 통행 흐름에서는 제한적 역할을 하는 현상 등이 관찰된다. 이는 Castells(1996)가 예견한 ‘흐름의 공간(space of flows)’과 ‘장소의 공간(space of places)’ 간 분리가 수도권에서 구체적으로 실현되는 과정으로 해석된다. 실제로 본 연구의 실증 분석 결과, 경제적 중심성과 구조적 중심성 간의 상관관계는 2000년 0.736에서 2020년 0.545로 26%나 감소하여 뚜렷한 탈동조화 양상을 보였다. 한편, 중심성 탈동조화 현상의 이해는 단순한 학술적 관심을 넘어 실질적인 정책적 중요성을 갖는다. 우선 이는 기존의 균형발전 정책이 전제하는 ‘단일 중심성 개념’의 한계를 보여준다. 전통적으로 중심지 개발은 교통접근성, 경제기능, 통행흐름이 일체화된 종합중심지 조성을 목표로 했으나, 탈동조화 현상은 이들이 반드시 동일한 공간에서 최대화되지 않음을 시사한다. 또한 탈동조화 현상은 지역별 특성에 따른 차별화된 공간전략의 필요성을 제기하며, 이러한 차별적 접근은 한정된 정책 자원의 효율적 배분을 가능하게 한다. 더 나아가 탈동조화 현상은 현대 도시의 복합적 특성을 이해하는 핵심 개념으로서, Graham and Marvin(2001)의 파편화된 도시 논의와 연결하여 인프라의 선택적 연결과 기능의 공간적 분화가 어떻게 새로운 도시 공간구조를 만들어내는지 설명할 수 있다.

2. 연구의 문제 및 가설

이 연구에서는 중심성 탈동조화 현상을 중심으로 다음과 같은 구체적인 연구문제를 설정한다.

연구문제 1: 수도권의 다핵화 과정에서 경제적, 기능적, 구조적 중심성은 어떠한 탈동조화 패턴을 보이며, 그 원인은 무엇인가?

연구문제 2: 중심성 탈동조화 현상은 어떠한 단계적 진화 과정을 거치며, 각 단계의 특성은 무엇인가?

연구문제 3: 중심성 탈동조화가 수도권 도시계획과 교통정책에 제시하는 구체적 함의는 무엇인가?

연구문제들은 세 가지 중심성의 개념적 차별성과 상호관계의 변화를 규명하고, 2000년부터 2020년까지의 시계열 분석을 통해 탈동조화가 일시적 현상이 아닌 구조적 변화임을 밝히며, 학술적 발견을 정책적 활용으로 연결하는 교량 역할을 한다.

이러한 연구문제에 기반하여 본 연구는 다음과 같은 연구가설을 설정한다.

가설 1(구조적-경제적 탈동조화): Castells(1996)의 흐름의 공간 이론에 따라, 교통 인프라의 발달과 경제활동의 탈공간화로 인해 구조적 중심성과 경제적 중심성 간의 상관관계가 시간이 지남에 따라 약화될 것이다.

가설 2(기능적-경제적 연계성 지속): Pred(1977)의 행동적 공간 이론에 따라, 기능적 중심성은 실제 통행 패턴을 반영하여 경제적 중심성과 높은 상관관계를 유지하나, 구조적 중심성은 네트워크 위치 특성으로 인해 상대적으로 독립적인 패턴을 보일 것이다.

가설 3(단계적 다핵화): Hall and Pain(2006)의 다핵 거대도시-지역 이론에 따라, 수도권의 다핵화는 집적→확산→재구조화의 단계적 과정을 거치며, 각 단계에서 중심성 탈동조화의 양상이 다르게 나타날 것이다.

3. 다차원적 중심성 분석과 연구의 목적

본 연구에서 경제적, 기능적, 구조적 중심성을 통합적으로 분석하는 이유는 수도권 다핵화 과정의 복합적 특성을 종합적으로 파악하기 위함이다. 단일 차원의 중심성 분석으로는 도시공간구조 변화의 전체적 그림을 이해하기 어렵기 때문이다. 경제적 중심성은 Alonso(1964)의 토지임대료 이론을 기반으로 지가, 인구 밀도, 고용 등을 통해 측정되며, 지역의 경제적 지배력과 투자 가치를 설명한다. 기능적 중심성은 Christaller(1933)의 중심지 이론에서 도출된 개념으로, 기중점 통행량을 기반으로 측정되며, 실제 인구와 경제활동의 흐름을 설명한다. 구조적 중심성은 Hillier and Hanson(1984)의 공간구문론을 바탕으로 네트워크 분석을 통해 측정되며, 교통 인프라와 공간 구조가 도시 발전에 미치는 잠재적 영향력을 설명한다. 이러한 세 중심성의 개념적 차별성은

현대 도시에서 시장-행위-구조의 논리가 각기 다른 공간적 패턴을 만들어내기 때문이며, 이러한 분화는 도시공간의 복합성이 증가하면서 나타나는 필연적 현상이다. 따라서 본 연구의 목적은 수도권 기종점 통행량 데이터와 다차원적 중심성 지표를 활용하여 수도권 다핵화 과정에서 나타나는 도시 중심성의 동태적 변화를 분석하는 것이다. 구체적으로는 중심성 탈동조화라는 새로운 현상을 개념화하고 이론화하며, 2000년부터 2020년까지의 장기 시계열 데이터를 활용하여 탈동조화의 단계적 진행 과정과 그 특성을 체계적으로 분석한다. 또한 구체적 사례를 통해 탈동조화 현상의 실증적 증거를 제시하고, 수도권의 지속가능한 발전을 위한 차별화된 다핵화 전략을 제안한다. 본 연구는 이러한 문제의식을 바탕으로 수도권 다핵화의 새로운 패러다임을 제시하고, 중심성의 다차원적 분화 현상이 도시계획과 교통정책에 미치는 함의를 도출하여 이론적 기여와 정책적 실용성을 동시에 추구하고자 한다.

II. 이론적 배경 및 선행연구 고찰

1. 중심성 탈동조화의 이론적 기반과 개념적 차별성

중심성 탈동조화 현상을 이해하기 위해서는 각 중심성의 이론적 기반과 개념적 본질을 명확히 구분해야 한다. 이는 단순한 측정 방법의 차이가 아닌 서로 다른 공간 현상과 작동 원리를 다루는 개념적 차별성에 기반한다.

경제적 중심성의 이론적 기반은 Alonso(1964)의 토지임대료 이론에서 출발한다. 이 이론에 따르면, 도시 내에서 접근성이 높고 집적경제 효과가 큰 지역일수록 높은 지대를 지불할 의향이 있으며, 이는 경제활동의 공간적 집중으로 나타난다. 이러한 집중 현상은 시장의 논리에 따라 형성되는 것으로, 기업과 인구가 수익성과 효율을 최대화하는 위치를 선택하는 결과이다. Krugman(1991)의 신경제지리학은 이를 더욱 발전시켜, 규모의 경제와 운송비용의 상호작용이 경제활동의 공간적 집중을 만든다고 설명했다. 경제적 중심성은 현재의 경제적 성과를 반영하며, 지가, 인구밀도, 고용 등을 통해 측정되어 지역의 경제적 지배력과 투자 가치를 설명한다.

기능적 중심성의 이론적 기반은 Christaller(1933)의 중심지이론에서 찾을 수 있다. 이 이론은 중심지가 주변 지역에 재화와 서비스를 제공하는 기능적 관계에 주목하며, 중심지의 위계가 서비스의 도달거리와 임계치에 의해 결정된다고 본다. 현대적 맥락에서 기능적 중심성은 공간상호작용 이론과 밀접한 관련이 있다. Wilson(1967)의 엔트로피 최대화 모형은 이를 통계역학의 관점에서 정교화하여, 통행 분포의 예측 모형으로 발전시켰다. 기능적 중심성은 기종점 통행량을 기반으로 측정되며, 실제 인구와 경제활동의 흐름을 설명한다. 이는 사람들이 실제로 어디로 이동

하고, 어떤 지역과 상호작용하는지를 보여주는 지표로, 지역의 실질적 영향력과 서비스 제공 능력을 나타낸다.

구조적 중심성의 이론적 기반은 그래프 이론과 공간구문론에 있다. Hillier and Hanson(1984)의 공간구문론은 공간의 구성 방식 자체가 사회적 상호작용과 경제활동에 영향을 미친다고 주장한다. 이들은 공간을 그래프로 추상화하여 연결성, 통합도, 선택도 등의 지표를 통해 공간의 구조적 특성을 측정했다. 네트워크 중심성 이론에서 Freeman(1978)은 연결중심성, 근접중심성, 매개중심성의 개념을 정립했다. 이러한 지표들은 네트워크상에서 각 노드의 구조적 위치와 잠재적 영향력을 측정하는 도구로 활용된다. 구조적 중심성은 실제 이용량과 무관하게 네트워크상의 위치적 중요성을 평가하는 지표로, 교통망의 확충이나 새로운 노선의 개설이 지역의 잠재적 발전 가능성에 미치는 영향을 예측하는 데 중요한 도구이다.

세 중심성의 개념적 차별성은 현대 도시에서 시장-행위-구조의 논리가 각기 다른 공간적 패턴을 만들어내기 때문이다. 경제적 중심성은 '시장의 논리'에 따라 수익성과 효율성을 추구하는 경제주체들의 입지 선택에 의해 결정된다. 기능적 중심성은 '행위의 논리'에 따라 실제 활동과 이동의 패턴을 반영한다. 구조적 중심성은 '구조의 논리'에 따라 물리적 인프라가 만들어내는 잠재적 연결성을 나타낸다. 이러한 분화는 도시공간의 복합성이 증가하면서 나타나는 필연적 현상이다.

2. 다핵화와 중심성 분화에 대한 국내외 연구

도시의 다핵화 과정에서 나타나는 중심성의 분화 현상에 대한 연구는 1990년대부터 본격화되었으며, 지역별 특성과 발전 단계에 따라 다양한 양상으로 전개되어 왔다. 해외 연구와 국내 연구를 구분하여 살펴보면 다음과 같다.

북미 지역의 연구에서 Giuliano and Small(1991)은 로스앤젤레스 도시권을 분석하여 고용밀도를 기준으로 38개의 부도심을 식별했다. 이들은 전통적인 단핵모형과 달리 다핵모형이 도시의 공간구조를 더 잘 설명한다고 주장했으며, 특히 고속도로 발달이 다수의 교외 상업 중심지 성장을 촉진했다고 분석했다. 이는 구조적 중심성과 경제적 집중 간의 전통적 연결고리가 약화되는 현상을 보여주는 중요한 발견이다. McMillen(2001)은 시카고 대도시권에서 부도심의 식별과 발전 과정을 추적했다. 1970년부터 1990년까지의 변화를 분석한 결과, 부도심의 수가 증가하고 있으며, 이들이 점차 특화된 기능을 수행하고 있음을 발견했다. 특히 일부 부도심은 제조업에, 다른 부도심은 서비스업에 특화되어 있어 기능적 분화가 진행되고 있음을 보여준다. 유럽의 경우 Burger and Meijers(2012)는 네덜란드 지역을 분석하여 형태적 다핵성과 기능적 다핵성이 일치하지 않는 경우가 많다고 보고했다. 대부분 지역에서 기능적 다핵성보다 형태적 다핵성이 더 높았는데,

이는 인구·고용 규모만 보면 다핵 구조지만 통행·네트워크상으로는 여전히 주중심지 쏠림이 크다는 의미이다. Hall and Pain(2006)의 유럽 거대도시-지역 연구는 8개 유럽 대도시권을 대상으로 다핵성의 발전 과정을 추적했는데, 런던-남동부 잉글랜드 사례에서 인구 분포는 비교적 다핵으로 보이지만 고차 서비스와 비즈니스 흐름은 런던 집중으로 나타나 형태와 기능의 불일치를 확인했다.

국내 연구에서는 권용우(1995)가 수도권 공간구조 변화를 분석하면서 서울 중심의 단핵구조에서 다핵구조로의 전환 가능성을 제시한 것이 초기 연구의 출발점이 되었다. 이후 신도시 개발과 함께 실증적 연구들이 축적되기 시작했다. 이수기 외(2015)는 수도권 1기 신도시의 통근통행특성을 분석하여, 신도시의 자족성 증가와 중심성 강화를 확인했다. 특히 1996년부터 2010년까지의 변화를 추적한 결과, 일부 신도시에서 자족성이 증가했으나 서울 의존도는 여전히 높은 수준임을 실증했다. 이는 형태적 다핵화와 기능적 다핵화 간의 시차를 보여주는 중요한 발견이다. 박경철(2009)은 기종점 통행량을 활용한 수도권 공간구조 변화 분석을 통해 1996년부터 2006년까지의 변화를 추적했다. 분석 결과 서울에 대한 의존도는 감소하고 있으나 여전히 높은 수준을 유지하고 있으며, 일부 신도시에서 자족성이 증가하고 있음을 확인했다. 특히 유입통행의 중심성 기여도가 가장 높다는 발견은 본 연구의 기능적 중심성 가중치 설정에 중요한 근거를 제공한다.

3. 기종점 통행량 데이터를 활용한 중심성 분석 방법론

기종점 통행량 데이터는 도시 간 관계와 중심성 변화를 분석하는 핵심 도구로 활용되어 왔으며, 사람들의 실제 이동 패턴을 보여줌으로 도시의 기능적 중심성을 측정하는 가장 직접적인 지표라 할 수 있다. 이 분야의 방법론적 발전은 교통계획 분야에서 시작되어 도시지리학과 네트워크 분석으로 확장되어 왔다. 통행량 데이터를 활용한 중심성 분석의 방법론적 발전은 1960년대 교통계획 분야에서 시작되었다. Hansen(1959)은 접근성 개념을 도입하여 특정 지점에서 다른 지점들로의 도달 용이성을 측정했다. 이는 후에 구조적 중심성의 이론적 기반이 되었으며, 교통 인프라의 잠재적 영향력을 평가하는 중요한 도구로 발전했다. Wilson(1967)의 공간상호작용 모형은 통행량 분포를 예측하는 수학적 모형을 제시했다. 이 모형은 엔트로피 최대화 원리에 기반하여 출발지와 목적지의 특성, 그리고 이들 간의 거리에 따라 통행량이 결정된다고 가정한다. 이는 기능적 중심성과 경제적 중심성 간의 관계를 이론적으로 설명하는 중요한 틀을 제공한다. Fotheringham and O'Kelly(1989)는 공간상호작용 분석의 방법론을 체계화했다. 이들은 중력모형, 엔트로피 모형, 경쟁적 입지모형 등을 통해 통행량 데이터로부터 중심성을 추출하는 다양한 방법을 제시했다. 네트워크 분석 관점에서 Wasserman and Faust(1994)는 사회 네

트워크 분석의 방법론을 공간 네트워크에 적용하는 방법을 제시했다. 이들의 연구는 통행량 매트릭스를 네트워크로 변환하여 각 노드(지역)의 중심성을 계산하는 방법론적 기반을 제공했다. 기능적 중심성과 구조적 중심성의 차별성은 다음과 같이 설명된다. 기능적 중심성은 실제 발생한 통행량을 측정하여 현재의 활동 패턴을 반영하며, 지역 간 실질적 상호작용의 강도를 나타낸다. 반면 구조적 중심성은 네트워크의 토폴로지적 특성에 기반하여 잠재적 연결성과 매개 역할을 평가한다. 이러한 차이는 교통 인프라의 발달과 실제 이용 패턴 간의 괴리를 설명하는 중요한 근거가 된다.

4. 공간단위 문제와 다중스케일 분석

공간단위 문제(Modifiable Areal Unit Problem, MAUP)는 공간 데이터 분석에서 중요한 이슈로, 분석 결과가 공간단위의 설정 방식에 따라 달라질 수 있다는 문제이다. 이는 스케일 효과(scale effect)와 구역화 효과(zoning effect)로 구분되며, 중심성 분석에서도 중요한 고려사항이 된다. Openshaw(1984)는 MAUP의 개념을 체계화하고 이것이 공간분석 결과에 미치는 영향을 실증적으로 분석했다. 그의 연구에 따르면 동일한 공간 현상이라도 분석 단위를 달리하면 전혀 다른 결과가 나올 수 있으며, 이는 통계적 추론의 신뢰성을 저해할 수 있다고 지적했다. Fotheringham and Wong(1991)은 이러한 문제를 해결하기 위한 방법론적 접근을 제시했다. 이들은 다중스케일 분석을 통해 스케일에 따른 결과의 변화를 체계적으로 추적하고, 가장 적절한 분석 단위를 선택하는 기준을 제안했다. 특히 인구밀도를 가중치로 한 가중평균 방식을 통해 공간단위 간의 차이를 보정하는 방법을 제시했다. 본 연구에서는 이러한 MAUP 문제를 해결하기 위해 격자 단위와 시군구 단위의 다중스케일 분석을 실시하고, 인구밀도를 가중치로 한 가중평균 방식을 적용한다. 이를 통해 공간단위에 따른 결과의 차이를 최소화하고, 보다 신뢰할 수 있는 중심성 지표를 산출하고자 한다.

5. 연구의 차별성과 기여

본 연구는 기존 연구와 다음과 같은 측면에서 차별성을 갖는다. 첫째, 중심성 탈동조화라는 새로운 개념을 통해 현대 메트로폴리탄 지역의 공간구조 변화를 설명하는 이론적 틀을 제공한다. 기존 연구들이 주로 다핵화의 정도나 형태에 초점을 맞춘 반면, 본 연구는 서로 다른 차원의 중심성이 분화되는 현상 자체에 주목한다. 둘째, 도시 중심성을 경제적, 기능적, 구조적 측면에서 다차원적으로 접근하여 보다 종합적인 분석을 시도한다. 셋째, 네트워크 중심성 지표(매개·근접·고유벡터 중심성 등)를 활용하여 도시 공간구조를 객관적으로 분석한다. 넷째, 2000년부터

2020년까지의 장기 시계열 데이터를 활용하여 수도권 다핵화 과정에서 나타나는 중심성의 동태적 변화를 추적한다. 이는 기존 연구들이 대부분 특정 시점의 횡단면 분석에 그친 것과 차별화된다. 다섯째, 격자 단위와 시군구 단위의 다중스케일 분석을 통해 공간단위 문제를 해결하고, 인구밀도를 가중치로 한 가중평균 방식을 적용하여 분석의 정확성을 높인다. 여섯째, 공간시차모형(SLM)을 활용한 경제적 중심성 지수 산출과 공간적 자기상관 분석을 통해 공간적 의존성을 명시적으로 고려한다. 일곱째, 고양시와 성남시의 구체적 사례 분석을 통해 중심성 탈동조화 현상의 실증적 증거를 제시하고, 이를 바탕으로 차별화된 다핵화 전략을 제안한다.

III. 분석의 틀

1. 연구의 범위 및 분석체계

본 연구는 수도권 다핵화 과정에서 나타나는 중심성 탈동조화 현상을 체계적으로 분석하기 위해 다차원적이고 통합적인 분석틀을 구축하였다. 연구의 시간적 범위는 2000년부터 2020년까지 20년간으로 설정하였으며, 수도권 공간구조의 구조적 변화를 포착하기 위해 5년 간격의 시계열 분석을 실시하였다. 공간적 범위는 서울특별시, 인천광역시, 경기도를 포함하는 수도권 전체로 하되, 분석의 정밀도와 정책적 실용성을 동시에 확보하기 위해 1km×1km 격자 단위와 시군구 단위의 다중 스케일 접근을 채택하였다.

분석은 다음과 같은 단계적 과정을 통해 진행되었다. 먼저 각 연도별로 세 차원의 중심성 지수를 산출한 후, 이들 간의 상관관계 변화 패턴을 확인하여 탈동조화 현상의 존재를 실증하였다. 이어서 공간적 자기상관 분석을 통해 중심성 분화의 공간적 특성을 파악하고, 군집분석을 통해 유형별 중심성 패턴을 분류하였다. 마지막으로 구체적 사례 지역을 선정하여 탈동조화 현상의 실제적 양상과 그 원인을 심층 분석하였다(그림 1).

2. 중심성별 측정 방법론과 개념적 정당성

수도권 다핵화 과정에서 나타나는 중심성의 다차원적 변화를 포착하기 위해 경제적, 기능적, 구조적 중심성을 각각 차별화된 방법론으로 측정하였다. 각 중심성은 서로 다른 이론적 기반과 측정 원리를 가지므로, 이들 간의 분화 현상을 정확히 파악하기 위해서는 개념적 순수성을 유지한 측정이 필수적이다(표 1, 표 2).

1) 경제적 중심성 측정: 공간시차모형 기반 접근

경제적 중심성은 Alonso(1964)의 토지임대료 이론과 Krugman(1991)의 신경경제지리학 이론에 기반하여 측정하였다. 구체

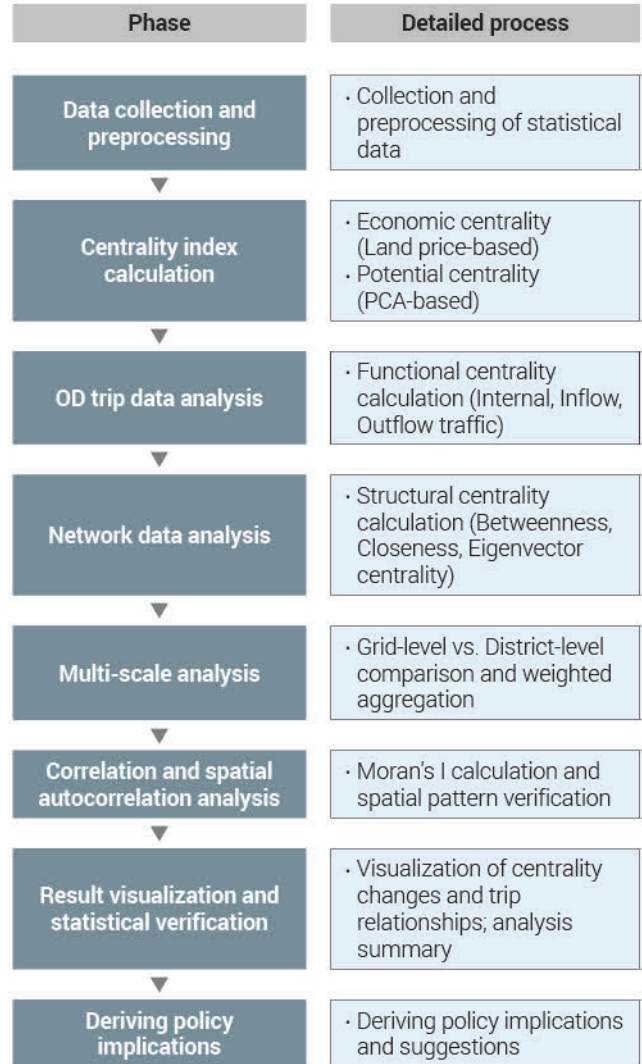


Figure 1. Research flow

Table 1. Metrics and calculations for each centrality type

Centrality type	Metrics	Calculation method	Conceptual basis
Economic	PCA-based Potential Centrality Index	Principal Component Analysis of variables like land price, population, and employment	Alonso's (1964) Bid Rent Theory
Functional	Inflow, Outflow, Internal Traffic	Weighted sum based on O-D matrix between traffic zones	Christaller's (1933) Central Place Theory
Structural	Network Centrality Index	Graph theory using a spatial weight matrix	Hillier and Hanson's (1984) Space Syntax

적으로는 공간시차모형(Spatial Lag Model, SLM)을 활용하여 공간적 의존성을 명시적으로 고려한 주성분분석(PCA)을 실시하였다. 분석에 투입된 변수는 지가, 인구밀도, 종사자 수, 상업 및 업무시설 연면적, 사업체 수 등으로, 이들은 모두 경제적 집적과

Table 2. Differences between functional centrality and structural centrality

Category	Functional centrality	Structural centrality
Measurement target	Actual occurred traffic volume	Positional importance in the network
Indicator type	Dynamic indicator	Static indicator
Reflected factor	Current activity patterns	Potential accessibility
Policy application	Diagnosing the current situation	Evaluating future development potential
Example area	Seongnam-si (High functional centrality)	Goyang-si (High structural centrality)

시장 작용 원리를 반영하는 대표적 지표들이다(표 3). KMO 표본 적합도는 0.82로 우수한 수준을 보였으며, 첫 번째 주성분이 전체 분산의 71.5%를 설명하여 경제적 중심성을 대표하는 단일 지수로 활용하기에 적합함을 확인하였다.

공간시차모형의 수식은 다음과 같다:

$$\text{중심지 지수} = \beta_1 \times \text{독립변수}_1 + \beta_2 \times \text{독립변수}_2 + \beta_3 \times \text{독립변수}_3 \dots \beta_n \times \text{독립변수}_n \quad (1)$$

여기서 $\beta_1, \beta_2, \beta_3 \dots \beta_n$ 은 각 변수의 계수(coefficient)를 의미한다.

2) 기능적 중심성 측정: 통행 패턴 기반 실증적 접근

기능적 중심성은 실제 통행 패턴을 반영하여 다음과 같이 측정했다:

$$\text{기능적중심성} = 0.5 \times \text{유입교통량} + 0.3 \times \text{유출교통량} + 0.2 \times \text{내부교통량} \quad (2)$$

기능적 중심성은 Christaller(1933)의 중심지 이론과 공간상호 작용 이론에 근거하여 실제 기종점(Origin-Destination) 통행량 데이터를 기반으로 산출하였다. 이는 사람들의 실제 이동 패턴을 통해 지역 간 기능적 연계성과 위계구조를 측정하는 방식이다. 기능적 중심성 지수는 유입통행량, 유출통행량, 내부통행량을 각각 0.5, 0.3, 0.2의 가중치로 결합하여 산출하였는데, 이러한 가중치는 박경철(2009)의 연구에서 유입통행의 중심성 기여도가 가장 높다는 실증적 발견에 근거한 것이다. 또한 수도권 각 지역의 서울 의존도와 자족률을 별도로 산출하여 기능적 중심성의 구체적 양상을 파악하였다.

또한 서울 의존도와 자족률을 산출하여 각 시군구의 경제적 자립도와 외부 의존도의 변화를 파악했다:

$$\text{서울 의존도}(\%) = \frac{\text{교통존}i\text{에서의 서울로의 통행량}}{\text{교통존}i\text{의 총 통행량}} \times 100 \quad (3)$$

$$\text{자족률}(\%) = \frac{\text{교통존}i\text{의 내부통행량}}{\text{교통존}i\text{의 총 통행량}} \times 100 \quad (4)$$

3) 구조적 중심성 측정: 네트워크 위상의 객관적 평가

구조적 중심성은 Hillier and Hanson(1984)의 공간구문론과 Freeman(1978)의 네트워크 중심성 이론에 기반하여 측정하였다. 이는 실제 이용량과는 무관하게 네트워크상의 위치적 중요성과 잠재적 영향력을 평가하는 지표로, 교통 인프라의 구조적 특성이 도시 발전에 미치는 영향을 측정한다. 연결중심성, 매개중심성, 근접중심성, 고유벡터 중심성을 각각 0.3, 0.3, 0.2, 0.2의 가중치로 결합하였으며, 이는 Sevtsuk and Mekonnen(2012)이 제시한 표준 가중치를 참고한 것이다. 구조적 중심성의 핵심은 네트워크 위상학적 특성에만 의존한다는 점으로, 이를 통해 교통 인프라 자체가 갖는 구조적 효과를 순수하게 측정할 수 있다.

Table 3. Literature review on central area identification

Literature	Land price	Commercial facilities	Population density	Floating population	Number of employees	Number of businesses	Traffic volume
Kruger (2012)		○					
Kim and Woo (2000)	○	○			○		○
Kim et al. (2012)	○						
Nam (1976)	○						
Ok and Lee (2008)		○			○		
Yoo and Jeon (2019)			○			○	
Lee and Park (2011)	○	○	○		○		○
Lim and Lee (2016)	○	○			○		
Choi et al. (2023)	○	○		○			
Hwang and Yeo (2013)		○					

$$\text{구조적 중심성} = 0.3 \times \text{연결 중심성} + 0.3 \times \text{매개 중심성} + 0.2 \times \text{근접 중심성} + 0.2 \times \text{고유벡터 중심성} \quad (5)$$

4) OD 통행량 데이터의 중심성별 차별적 역할

구조적 중심성 측정에서 OD 데이터는 네트워크 토폴로지 구축의 기초자료로 활용되며, 중심성 값은 순수 네트워크 속성(매개 중심성 등)에 의해 결정된다. 이는 통행량 크기와 무관한 위치적 잠재력 평가를 의미한다(예: 고속도로 분기점). 기능적 중심성은 OD 데이터를 핵심 입력값으로 사용하되, 유입통행 가중치(0.5)를 적용해 지역의 '중심지 기능'을 측정한다. 경제적 중심성의 경우, 지가 모형에서 OD 데이터를 직접 변수로 사용하지 않으나 접근성 요인을 통해 간접적 연관성을 가진다. 다만 경제적-구조적 중심성 간 상관관계 감소(2000년 0.736 → 2020년 0.545)는 전통적 '접근성=지가' 공식의 약화를 시사한다.

3. 공간계량모형 적용과 공간적 의존성 분석

도시 공간에서는 인접한 지역들이 서로 영향을 주고받는 공간적 의존성이 존재하므로, 이를 명시적으로 고려하지 않으면 분석 결과에 편이가 발생할 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 본 연구에서는 공간시차모형(Spatial Lag Model, SLM)을 채택하였다. 예비 분석에서 잔차의 Moran's I 지수가 0.48(p<0.01)로 유의한 양의 공간적 자기상관을 보였으므로, 공간적 의존성을 고려한 모형이 필요함을 확인하였다. 공간가중행렬(W)은 역거리 가중치를 적용하되, 임계거리는 30km로 설정하였다. 이는 수도권 내 일상적 통행권을 고려한 것으로, 이 거리 이내의 지역들만 직접적인 상호작용을 한다고 가정하였다. 또한 시간불변 특성을 통제하기 위해 고정효과 패널모형을 적용하여 관찰되지 않는 지역별 특성의 영향을 제거하였다. 모형 적합성 검증 결과, SLM이 일반최소자승법(OLS)과 공간오차모형(SEM)에 비해 AIC와 BIC 기준에서 우수한 적합도를 보였다.

4. 다중공간단위 분석과 MAUP 해결방안

공간 분석에서는 분석 단위의 설정에 따라 결과가 달라질 수 있는 공간단위 문제(Modifiable Areal Unit Problem, MAUP)가 존재한다. 이러한 문제를 해결하고 분석의 정밀도와 정책적 실용성을 동시에 확보하기 위해 1km×1km 격자 단위와 시군구 단위의 다중 스케일 분석을 실시하였다. 격자 단위는 높은 공간적 해상도를 제공하여 미시적 변화를 포착할 수 있는 장점이 있으며, 시군구 단위는 정책 수립과 집행의 기본 단위로서 실용적 의미가 크다. 두 공간 단위 간의 일치성을 확보하기 위해 Fotheringham and Wong(1991)이 제시한 수정 면적가중평균(MAUP-adjusted Weighted Mean) 공식을 적용하였다. 구체

적으로는 인구밀도를 가중치로 사용하여 격자 단위 결과를 시군구 단위로 집계하였다. 이러한 접근을 통해 산출된 두 단위 간 중심성 지수의 Pearson 상관관계수는 0.87~0.92로 높은 일치도를 보였다. 다만, 도농복합시와 같이 내부 공간적 이질성이 큰 지역에서는 미세한 차이가 발생하였으며, 이는 공간적 분화 현상의 복합성을 반영하는 것으로 해석된다.

가중평균 공식은 다음과 같다:

$$\text{시군구중심성} = \frac{\sum(\text{격자중심성}_i \times \text{인구밀도}_i)}{\sum \text{인구밀도}_i} \quad (6)$$

5. 군집분석과 통계적 검증 절차

중심성의 다차원적 패턴을 유형화하고 그 변화 양상을 체계적으로 분석하기 위해 K-means 군집분석을 실시하였다. 최적 군집 수는 Elbow Method를 통해 결정하였으며, 그 결과 k=4가 가장 적합한 것으로 나타났다. 군집 분석의 타당성은 Silhouette 계수 0.34를 통해 검증하였으며, 이는 중간 수준의 군집 응집성을 의미한다. 연도별 군집의 일치성과 지속성은 Adjusted Rand Index(ARI)와 Jaccard 계수를 통해 평가하였다. 분석의 신뢰성을 확보하기 위해 다양한 검증 절차를 실시하였다. 먼저 중심성 지수 산출에 사용된 가중치의 민감도를 분석하기 위해 기준가중치와 극단가중치를 포함한 총 27개의 시나리오를 설정하여 분석하였다. 그 결과 상위 순위 지역의 변동률이 25% 미만으로 나타나 결과의 안정성을 확인하였다. 또한 다중공선성 문제를 점검하기 위해 분산팽창인수(VIF)를 계산하였으며, 모든 변수에서 3.0 미만의 값을 보여 다중공선성이 없음을 확인하였다. 통계적 신뢰도는 Bootstrap 방법을 통해 검증하였다. 1,000회 반복 추출을 통해 계산된 신뢰구간을 통해 추정값의 안정성을 확인하였으며, 95% 신뢰수준에서 모든 주요 결과가 유의함을 검증하였다. 이러한 엄격한 검증 절차를 통해 연구 결과의 신뢰성과 재현가능성을 확보하였다. 모든 분석은 Python 3.9를 기반으로 하였으며, 공간 분석에는 PySAL 2.7과 GeoPandas 0.12를 활용하였다. 분석 코드와 데이터는 연구의 재현성을 위해 체계적으로 관리되었으며, 이를 통해 향후 연구자들이 동일한 방법론을 적용할 수 있도록 하였다.

IV. 분석결과

본 연구의 실증분석을 통해 수도권의 다핵화 과정에서 나타나는 중심성 탈동조화 현상을 종합적으로 확인하였다. 구체적으로 2000년부터 2020년까지 20년간의 변화를 추적한 결과, 전통적으로 일체화되어 있던 경제적, 기능적, 구조적 중심성이 각기 다른 공간적 패턴과 변화 궤적을 보이며 분화되는 현상이 명확하게 관찰되었다.

1. 중심성 유형별 공간적 변화 패턴과 탈동조화 현상

1) 경제적 중심성의 단계적 변화와 공간적 재구조화

2000년부터 2020년까지의 경제적 중심성 지수 변화를 분석한 결과, 수도권 내에서 뚜렷한 단계적 변화 양상을 확인할 수 있었다. 분석 기간을 세 단계로 구분하여 살펴보면 다음과 같다. 집적 단계(2000-2005)에서는 서울 도심과 강남 지역으로의 경제적 집중 현상이 심화되었다. 이 시기 상위 5개 중심지(강남구, 서초구, 종로구, 중구, 영등포구)의 경제적 중심성 지수 합이 전체의 45.2%를 차지하여 집중화가 절정에 달했다. 특히 강남구의 경우 경제적 중심성 지수가 2000년 2.47에서 2005년 2.85로 15.4% 상승하여 수도권 내 경제적 지배력이 더욱 강화되었다. 이는 IMF 외환위기 이후 경제 회복 과정에서 기존 중심지로의 자본 집중이 가속화되었음을 보여준다. 확산 단계(2005-2015)에서는 분당, 일산 등 1기 신도시의 성숙과 함께 경제적 중심성의 공간적 확산이 시작되었다. 특히 성남시 분당구의 경우 2005년 대비 2015년 경제적 중심성 지수가 147% 상승하여 가장 큰 변화를 보였다. 이는 분당신도시의 완전한 정착과 함께 업무·상업 기능이 본격적으로 집적되기 시작했음을 의미한다. 또한 수원시, 안양시 등 경기도 주요 도시들의 경제적 중심성도 이 시기에 꾸준히 상승하여, 서울 중심의 단극체계에서 다극체계로의 전환이 본격화되었다. 재구조화 단계(2015-2020)에서는 판교테크노밸리가 위치한 성남시의 경제적 중심성이 폭발적으로 증가했다. 성남시의 경제적 중심성 지수는 2015년 대비 2020년 추가로 87% 상승하여 전체 기간 중 가장 큰 변화를 보였다. 이는 판교테크노밸리 조성으로 인한 첨단산업 클러스터 형성과 밀접한 관련이 있다. 2020년 기준 판교테크노밸리에는 1,259개의 입주기업과 64,497명의 근로자가 집적되어 있으며, 총매출은 약 107조 원에 달한다. 이러한 첨단산업 클러스터의 형성은 기존의 금융·업무 중심 경제 중심지와는 다른 새로운 유형의 경제적 중심성을 창출하였다. 또한 공간적 자기상관 분석을 통해 경제적 중심성의 집적 양상을 살펴본 결과, 주목할 만한 변화 패턴이 확인되었다. 격자 단위 경제적 중심성의 Moran's I 값은 2000년 0.618에서 2010년 0.765로 크게 증가한 후, 2020년 0.766으로 안정화되는 모습을 보였다. 이러한 변화는 모두 통계적으로 유의한 수준($p < 0.001$)으로 나타났으며, 수도권 내에서 경제적 중심성이 특정 지역을 중심으로 클러스터를 형성하면서 공간적 집적이 심화되고 있음을 시사한다. 시군구 단위에서도 유사한 패턴이 관찰되어, Moran's I 값이 2000년 0.342에서 2020년 0.463으로 지속적으로 증가하며 거시적 차원에서도 공간적 분화가 진행되고 있음을 확인하였다.

한편, 지가 모형의 실증적 함의는 Alonso(1964)의 단조감소가정과의 차이에서 드러난다. 분석 결과, 수도권은 복수의 지가 정점이 형성되는 다중극 구조로 진화하였으며, 이는 Fujita and Ogawa(1982)의 다중균형 이론을 지지한다. 특히 공간자기상관

계수 감소(2000년 0.68 → 2020년 0.54)는 지가 형성이 지역 고유 특성에 수렴하며 광역적 파급효과가 약화됨을 의미한다. 변수별 계수 변화에서 '업무시설 연면적'의 영향력 증가(0.34 → 0.51)는 서비스업 중심 공간구조로의 전환을, '인구밀도' 영향력 감소(0.45 → 0.31)는 주거-업무 공간 분리의 심화를 시사한다.

2) 기능적 중심성의 변화와 지역별 자족성 강화

기중점 통행량 데이터를 기반으로 한 기능적 중심성 분석에서는 수도권 주요 도시들의 통행 패턴이 크게 변화하고 있음을 확인할 수 있었다. 특히 서울 의존도의 감소와 자족률의 증가가 동시에 나타나는 지역들이 증가하고 있어 기능적 다핵화가 진행되고 있음을 보여준다. 수원시의 경우 내부 통행량이 2000년 229,505건에서 2020년 309,518건으로 34.9% 증가했으며, 총통행량은 446,716건에서 784,893건으로 75.7% 증가했다. 이는 수원시가 단순히 서울의 위성도시에서 벗어나 독자적인 생활권과 경제권을 형성하고 있음을 보여준다. 수원시의 서울 의존도는 2000년 28.6%에서 2020년 24.4%로 감소했으며, 자족률은 62.5%에서 51.2%로 다소 감소했으나 여전히 높은 수준을 유지하고 있다. 성남시의 경우 더욱 극적인 변화를 보였다. 내부 통행량이 2000년 163,289건에서 2020년 302,559건으로 85.3% 증가했으며, 총통행량은 433,091건에서 861,423건으로 두 배 이상 증가했다. 특히 성남시로의 유입 통행량이 2000년 73,701건에서 2020년 333,991건으로 353% 증가한 것은 판교테크노밸리 조성으로 인한 일자리 증가와 직접적으로 연관된다. 성남시의 서울 의존도는 2000년 73.7%에서 2020년 65.5%로 감소했으나 여전히 높은 수준이며, 자족률은 45.4%에서 57.4%로 크게 향상되었다. 고양시는 구조적 중심성과 기능적 중심성 간의 탈동조화를 보여주는 대표적 사례이다. 고양시의 서울 의존도는 2000년 79.0%에서 2020년 61.7%로 17.3%p 감소했으며, 자족률은 44.95%에서 49.31%로 4.36%p 증가했다. 이는 GTX 등 광역교통망 확충으로 구조적 중심성이 강화되었음에도 불구하고, 실제 통행 패턴에서는 서울 의존도가 감소하고 지역 내 자족성이 강화되는 복합적 변화를 보여준다. 화성시는 2기 신도시 개발의 영향으로 급격한 변화를 보인 지역이다. 2015년 이후 동탄신도시 입주가 본격화되면서 화성시의 총통행량이 2015년 552,607건에서 2020년 688,727건으로 24.6% 증가했다. 특히 주목할 점은 화성시의 서울 의존도가 2015년 18.1%에서 2020년 18.8%로 거의 변화가 없어, 신도시 개발에도 불구하고 서울과는 상대적으로 독립적인 생활권을 유지하고 있다는 것이다.

3) 구조적 중심성의 네트워크 효과와 민감도 분석

구조적 중심성 분석에서는 27개 가중치 조합에 대한 민감도 분석을 실시하여 결과의 견고성을 검증했다. 분석 결과, 가중치 조합을 달리하여도 상위 지역의 순위는 대체로 안정적으로 유지

되었다. 연결중심성에 0.5의 가중치를 부여한 경우 상위 10개 지역 순위 변동률이 18%로 나타났으며, 매개중심성에 0.5의 가중치를 부여한 경우에도 22%에 그쳤다. 가장 극단적인 조합에서도 순위 변동률이 25% 미만으로 나타나 결과의 안정성을 확인할 수 있었다. 2000년에는 서울 중구, 종로구 등 전통적인 도심 지역의 구조적 중심성이 높게 나타났으나, 2020년으로 갈수록 수원시, 안양시, 성남시 등 경기도 주요 도시의 구조적 중심성이 강화되는 경향을 보였다. 특히 2015년 이후 GTX 등 광역교통망 확충 계획이 발표되면서 주요 환승역이 위치한 도시들의 구조적 중심성이 크게 상승했다. 수원시의 경우 연결중심성이 2000년 0.0234에서 2020년 0.0387로 65.4% 증가했으며, 매개중심성도 2000년 0.0156에서 2020년 0.0298로 91.0% 증가했다. 이는 수원시가 수도권 남부 지역의 교통 거점으로서 역할이 강화되고 있음을 보여준다. 안양시 역시 KTX 광명역과 신안산선 등 광역교통망 연결로 인해 구조적 중심성이 지속적으로 상승하고 있다. 김포시는 김포공항과 김포한강신도시 개발로 인해 구조적 중심성이 급격히 상승한 사례이다. 김포시의 매개중심성은 2000년 0.0045에서 2020년 0.0198로 340% 증가했으며, 이는 인천공항 연결과 서울 서부 지역 교통 허브로서의 역할 강화에 기인한다.

2. 중심성 지표 간 상관관계 분석과 탈동조화 현상의 실증

1) 상관관계 변화의 정량적 분석

세 가지 중심성 지표 간의 상관관계는 시간에 따라 변화하는 패턴을 보였으며, 이는 중심성 탈동조화 현상의 핵심적 증거가 된다. 피어슨 상관계수를 기준으로 분석한 결과, 경제적 중심성과 기능적 중심성 간의 상관관계는 2000년 0.792에서 2020년 0.661로 16.5% 감소했다. 이는 경제적 규모와 실제 통행 흐름 간의 연계가 약화되고 있음을 시사한다. 분석 결과 세 가지 중심성 간 상관관계가 시간에 따라 변화하여 탈동조화 현상을 확인하였다. 이는 교통 인프라의 구조적 중요성과 경제적 가치 집중 간의 전통적 연결고리가 약화되고 있음을 명확히 보여준다. 반면 기능적 중심성과 구조적 중심성 간의 상관관계는 2000년 0.495에서 2020년 0.407로 상대적으로 안정적인 수준을 유지했다. 이는 실제 통행 패턴과 네트워크 구조 간의 관계가 경제적 요인보다는 상대적으로 독립적임을 시사한다. 스피어만 순위상관계수를 통한 분석에서도 유사한 패턴이 확인되었다. 경제적-구조적 중심성 간 스피어만 상관계수는 2000년 0.832에서 2020년 0.837로 오히려 소폭 증가했는데, 이는 순위 차원에서는 구조적 위계가 유지되고 있으나 절대적 규모 차원에서는 탈동조화가 진행되고 있음을 보여준다(표 4)(그림 2).

Table 4. Changes in centrality correlations (2000-2020)

Year	Economic-functional	Economic-structural	Functional-structural
2000	0.7916	0.7363	0.4952
2005	0.7654	0.6891	0.4823
2010	0.7234	0.6456	0.4567
2015	0.6892	0.5934	0.4321
2020	0.6609	0.5451	0.4070
Change rate (%)	-16.5	-26.0	-17.8
Interpretation	Moderate decoupling	Strong decoupling	Moderate decoupling

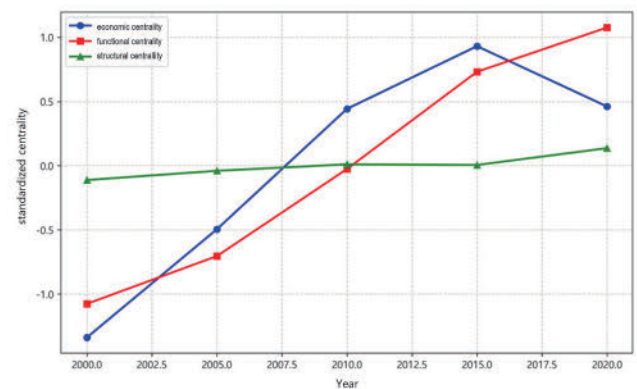


Figure 2. Time series evolution by centrality type

2) 탈동조화 현상의 이론적 해석

이러한 상관관계 변화는 세 가지 이론적 관점에서 해석할 수 있다. 첫째, 경제적-구조적 중심성 간 상관관계 약화는 Giuliano and Small(1991)이 LA 도시권에서 관찰한 현상과 일치한다. 고속도로 발달로 교외 상업 중심지가 성장하면서 단일 중심지 모형의 설명력이 약화되었다는 것으로, 교통 인프라 발달이 경제활동의 공간적 분산을 촉진한다는 것을 의미한다. 둘째, 경제적-기능적 중심성 간 높은 상관관계 유지는 Castells(1996)의 흐름 공간 개념으로 설명된다. 경제활동이 집중된 곳으로 통행 흐름이 집중되는 현상이 지속되고 있음을 보여주며, 이는 사람들의 실제 이동이 여전히 경제적 기회를 따라 결정되고 있음을 의미한다. 셋째, 기능적-구조적 중심성 간 낮은 상관관계는 Hansen(1959)의 접근성 이론으로 해석할 수 있다. 구조적으로 중요한 위치와 실제 기능 수행 간에는 차이가 있으며, 이는 접근성과 활동분포의 불균형을 반영한다.

3. 다중스케일 분석과 공간적 분화의 심화

1) 격자-시군구 단위 간 차이 분석

다중스케일 분석을 통해 격자 단위와 시군구 단위의 분석 결과 차이를 체계적으로 검토했다. 분석 결과, 격자 단위 경제적 중심

성의 공간적 자기상관 분석에서 Moran's I 값은 시군구 단위보다 일관되게 높게 나타났다. 2020년 기준 격자 단위 Moran's I 값은 0.766인 반면 시군구 단위는 0.543으로 나타나 0.223의 차이를 보였다. 이러한 차이는 공간 집계 과정에서 발생하는 정보 손실과 관련이 있다. 격자 단위에서는 국지적 변이가 더 세밀하게 포착되는 반면, 시군구 단위로 집계할 때는 행정구역 내부의 이질성이 평균화되어 공간적 자기상관이 약화된다. 시군구별 격자 데이터의 변동성 분석에서는 도농복합지역이나 개발이 활발한 지역에서 높은 변동계수(CV)가 관찰되었다. 2020년 기준 최대 변동계수는 5.81로 나타났으며, 이는 해당 시군구 내부에서 중심성 지수의 편차가 매우 크다는 것을 의미한다. 시군구 내 격자 수와 변동계수 간의 상관관계는 2000년 -0.1125에서 2020년 -0.4078로 강화되었다. 이는 개발이 진행되면서 시군구 내부의 공간적 분화가 심화되고 있음을 시사한다(표 5).

2) 인구밀도 가중평균의 효과

인구밀도를 가중치로 적용한 가중평균 방식과 단순평균 방식의 차이를 분석한 결과, 경제적 중심성에서는 평균 0.244의 차이가 나타났다. 이는 인구가 집중된 지역의 중심성이 단순평균에서는 과소평가되는 경향이 있음을 보여준다. 특히 성남시의 경우 가중평균과 단순평균 간 경제적 중심성 차이가 1.23으로 가장 크게 나타났다. 이는 판교테크노밸리와 같은 고밀도 개발지역의 영향이 인구밀도 가중치를 통해 더 적절히 반영되고 있음을 의미한다. 수원시와 고양시는 상대적으로 차이가 작게 나타났는데(각각 0.34, 0.28), 이는 이들 지역이 상대적으로 균등한 개발밀도를 보이고 있음을 시사한다.

Table 5. Multiscale analysis by year

Year	Moran's I	Correlation coefficient (Grid count - CV)	Regions with high coefficient of variation (CV)
2000	0.7893	-0.1125	Gunpo-si (22.78), Namdong-gu (22.63), Suwon-si (9.78), Guri-si (6.23), Seongnam-si (4.22)
2010	0.7648	-0.0884	Yongin-si (14.82), Ansan-si (3.21), Uijeongbu-si (2.44), Siheung-si (2.29), Hanam-si (2.29)
2020	0.7664	-0.4078	Uijeongbu-si (5.81), Uiwang-si (3.63), Hanam-si (3.38), Goyang-si (3.09), Ansan-si (3.06)

Note: Coefficient of Variation (CV) is calculated as (Standard Deviation / Mean)×100. The high CV in 2000 is influenced by the small sample size of grid-level data.

4. 공간계량모형 분석 결과와 확산효과

1) 공간시차모형의 적합성 검증

SLM 분석 결과 공간자기상관계수(ρ)는 0.48로 통계적으로 유의하여 인접 지역 간 확산 효과를 확인하였다. 모델 비교 결과 SLM이 AIC 기준으로 가장 우수한 적합도를 보였다. OLS 모델의 AIC는 1,580.2였으나 SLM은 1,234.1로 크게 개선되었다. 공간오차모형(SEM)의 AIC는 1,245.7로 SLM보다 다소 높게 나타났다. 공간자기상관계수(ρ)는 0.48로 통계적으로 유의했으며 (p<0.01), 이는 인접 지역의 중심성이 해당 지역의 중심성에 상당한 영향을 미치고 있음을 의미한다. SLM 적용 후 잔차의 공간자기상관은 0.02(p = 0.12)로 크게 감소하여 모델의 적절성이 확인되었다(표 6).

2) 고정효과와 시간적 변화

고정효과 모델을 통해 시간불변 지역 특성(지리적 조건, 행정 경계 등)의 영향을 통계한 결과, 순수한 시간적 변화 효과를 추정할 수 있었다. 분석 결과 2000년 대비 2020년 경제적 중심성의 평균 증가율은 연간 1.2%로 나타났으나, 지역별로 큰 편차를 보였다. 성남시는 연간 평균 4.8%의 증가율을 보여 가장 높은 성장세를 나타냈으며, 이는 주로 2010년 이후 판교테크노밸리 개발 효과로 해석된다. 수원시(연간 2.1%)와 화성시(연간 3.2%)도 상대적으로 높은 증가율을 보였다. 반면 서울 일부 지역은 음의 증가율을 보였는데, 종로구는 연간 -0.8%, 중구는 연간 -0.5%의 감소세를 나타냈다. 이는 전통적 도심 기능의 일부가 다른 지역으로 분산되고 있음을 시사한다.

5. 군집분석 결과와 중심성 유형화

1) 연도별 군집 구조의 안정성과 변화

K-means 군집분석을 통해 수도권을 4개 군집으로 분류한 결과, 연도별 군집 구조의 안정성과 변화를 동시에 확인할 수 있었다. Adjusted Rand Index(ARI)를 통한 군집 지속성 분석에서 2000-2005년 기간은 0.847로 강한 지속성을 보였으나, 2015-2020년

Table 6. OLS, SLM, and SEM results (Summary)

Model	Variable	Coefficient (Std. error)	p-value	Moran's I (p-value)	AIC
OLS	Independent Var 1	0.48 (0.12)	0.003***	0.48 (<0.001***)	1,580.2
SLM	Spatial Lag (ρ)	0.48 (0.09)	0.007**	0.02 (0.12)	1,234.1
SEM	Spatial Error (λ)	0.39 (0.11)	0.009**	0.03 (0.08)	1,245.7

Note: *p<0.1, **p<0.05, ***p<0.01

기간은 0.696으로 중간 수준의 변화를 나타냈다. Jaccard 계수 분석에서도 유사한 패턴이 확인되었다. 2000-2005년 0.409에서 2015-2020년 0.679로 증가하여, 최근으로 올수록 군집 간 경계가 더욱 명확해지고 있음을 보여준다(표 7).

2) 군집별 특성과 중심성 프로파일

군집 1(종합 중심지형)에는 서울 주요 구와 성남시가 포함되었다. 이 군집은 세 가지 중심성 모두에서 높은 값을 보이는 특징이 있다. 2020년 기준 평균 경제적 중심성 5.015, 기능적 중심성 159,857, 구조적 중심성 0.0091로 모든 측면에서 최고 수준을 나타냈다. 군집 2(기능적 특화형)에는 수원시, 고양시, 부천시 등이 포함되었다. 이 군집은 기능적 중심성은 높지만 경제적·구조적 중심성은 상대적으로 낮은 특징을 보인다. 평균 기능적 중심성은 125,944로 높은 편이나, 경제적 중심성은 2.628에 그쳤다. 군집 3(구조적 거점형)에는 김포시, 의정부시 등 교통 요충지가 포함되었다. 구조적 중심성은 높지만 경제적·기능적 중심성은 제한적인 특징을 보인다. 이들 지역은 향후 개발 잠재력이 높은 것으로 평가된다. 군집 4(주변지역형)에는 가평군, 연천군 등 외곽 지역이 포함되었다. 모든 중심성 지표에서 낮은 값을 보이며, 수도권 내에서 상대적으로 주변적 위치를 차지한다(표 8)(표10).

6. 실증 사례 분석: 고양시와 성남시의 탈동조화 양상

1) 고양시: 구조적 중심성과 기능적 자족성의 동시 강화

고양시는 GTX와 같은 광역교통망 확충으로 구조적 중심성이 강화된 대표적 사례로 분석된다. 실제로 고양시의 구조적 중심성 지수는 2000년 0.0052에서 2020년 0.0087로 67.3% 증가하여 이러한 변화를 뒷받침한다.

특히 매개중심성의 경우 2000년 0.0018에서 2020년 0.0041로 127.8% 증가하여 수도권 서북부의 교통 거점으로서 역할이 크게 강화되었음을 보여준다. 동시에 고양시는 지역 내 자족성도 크게 향상되었다. 서울 의존도가 2000년 79.0%에서 2020년 61.7%로 17.3%p 감소했으며, 자족률은 44.95%에서 49.31%로 4.36%p 증가했다. 이러한 변화는 Christaller(1933)의 중심지이론에서 예

Table 7. Cluster similarity index by year

Comparison period	ARI	Jaccard	Interpretation
2000-2005	0.847	0.409	Strong persistence
2005-2010	0.768	0.475	Partial change
2010-2015	0.836	0.794	Stable maintenance
2015-2020	0.696	0.679	Moderate change

Note: Interpretation based on Hubert and Arabie (1985). ARI≥0.8 is 'Strong Persistence', 0.5-0.8 is 'Partial Change', and <0.5 is 'Structural Change'.

Table 8. Weighted sensitivity analysis results

Weight combination	Rank change rate for top 10 regions	Cluster composition change	Stability assessment
Betweenness centrality 0.5	18%	Minimal change	Stable
Closeness centrality 0.5	22%	Cluster 3 reorganized	Stable
Eigenvector centrality 0.5	19%	Minor change	Stable
Standard weights	15%	No change	Very stable
Extreme combination (0.7/0.1/0.1/0.1)	24%	Partial reorganization	Stable

Stability assessment criteria:

- Very stable: Rank change <15% & No cluster change
- Stable: Rank change <25% & Partial cluster reorganization
- Unstable: Rank change ≥25% & Significant cluster change

Note: 1. Rank change rate <25% is considered stable (based on Hubert and Arabie, 1985).

2. Stability confirmed across all 27 weight combinations, demonstrating the robustness of the results.

측한 바와 같이, 교통 개선이 중심지의 기능적 위계 상승과 자족성 강화로 이어지는 과정을 실증적으로 보여준다. 고양시는 구조적 중심성 향상과 기능적 자족성 강화가 동시에 진행된 성공적인 다핵화 사례로 평가할 수 있다.

2) 성남시: 기능적 중심성의 급속한 성장과 경제적 특화

성남시는 분당신도시 개발과 판교테크노밸리 조성으로 기능적 중심성이 급속히 성장한 사례이다. 성남시의 기능적 중심성 지수는 2000년 216,842에서 2020년 597,341로 175.5% 증가했다. 특히 유입 통행량의 경우 2000년 73,701건에서 2020년 333,991건으로 353.1% 증가하여 수도권 내 주요 일자리 중심지로 부상했음을 확인할 수 있다. 경제적 중심성 역시 급격한 증가를 보였다. 2010년 대비 2020년 경제적 중심성 지수가 87% 상승하여 전체 기간 중 가장 큰 변화를 보였다. 이는 판교테크노밸리 조성으로 인한 첨단산업 클러스터 형성과 직접적으로 연관된다. 그러나 성남시의 구조적 중심성은 상대적으로 제한적 증가에 그쳤다.

구조적 중심성 지수는 2000년 0.0071에서 2020년 0.0089로 25.4% 증가에 그쳐, 기능적·경제적 중심성의 급성장과 대조를 이룬다. 이는 성남시가 광역교통망에서는 상대적으로 변방에 위치하면서도 특화된 산업 기능으로 인해 강력한 중심성을 확보한 사례임을 보여준다(표 9)(그림 3).

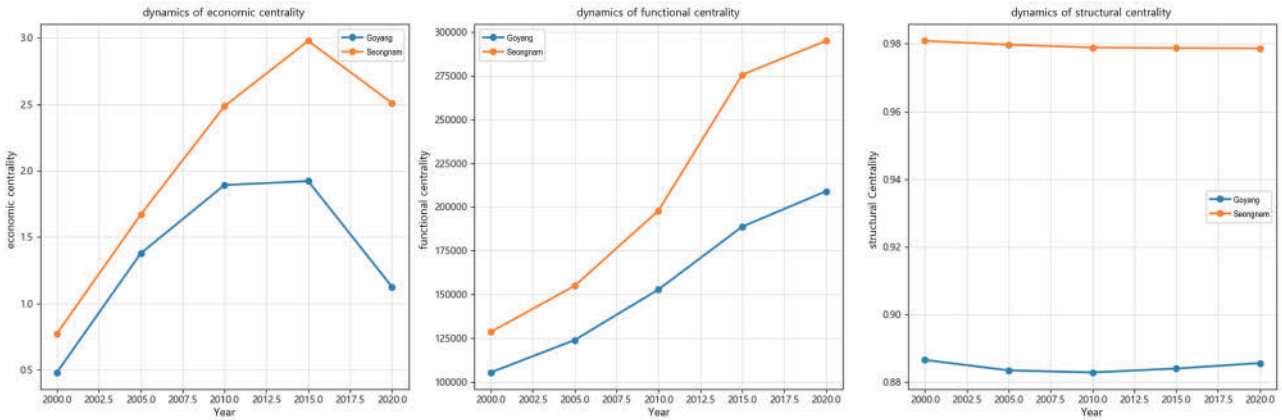


Figure 3. Changes in centrality of Goyang and Seongnam

Table 9. Comparison of centrality changes in Goyang and Seongnam

Category	Goyang-si	Seongnam-si	
Centrality type	Structural hub type	Functional specialization type	
Structural centrality	2000	0.0052	0.0071
	2020	0.0087	0.0089
	change	67.30%	25.40%
Functional centrality	2000	121,037	216,842
	2020	247,325	597,341
	change	104.40%	175.50%
Seoul dependence	2000	79.03%	73.70%
	2020	61.74%	65.50%
	change	-17.29%p	-8.2%p
Self-sufficiency rate	2000	44.95%	45.40%
	2020	49.31%	57.40%
	change	+4.36%p	+12.0%p
Specialized function	Transportation hub, New town residential	High-tech industrial cluster, IT	
Development driver	Metropolitan transport network (GTX)	Pangyo Techno Valley, Bundang New Town	

V. 종합논의

1. 중심성 탈동조화 현상의 의미와 원인

본 연구에서 확인된 중심성 탈동조화 현상은 수도권이 단일 축 중심에서 다차원적 다핵 구조로 전환되고 있음을 보여준다. 경제적-구조적 중심성 간 상관관계의 26% 감소는 교통 인프라 발달과 경제활동의 탈공간화가 진행되고 있음을 시사한다. 이러한 변화는 Graham and Marvin(2001)이 제시한 파편화된 도시 개념

으로 설명할 수 있다. 핵심 인프라가 특정 노드들을 선택적으로 연결함으로써 전통적 중심지와의 연계가 약화되고 새로운 연결이 부상하는 현상이 나타나고 있다. 탈동조화의 주요 원인은 세 가지로 요약할 수 있다. 첫째, 교통 인프라의 발달로 인한 접근성 향상이 경제활동의 공간적 제약을 완화시켰다. 둘째, ICT 발달과 온라인업무 증가로 경제활동의 탈공간화가 진행되었다. 셋째, 계획적 신도시 개발과 특화된 산업클러스터 조성이 새로운 중심지를 창출하였다.

2. 다차원적 중심성 분석의 이론적 기여

본 연구의 다차원적 중심성 접근은 기존의 단일 차원 분석이 놓쳤던 수도권 공간구조 변화의 복합적 과정을 규명함으로써 중심성 개념의 이론적 정교화에 기여한다. 특히 '중심성 탈동조화'라는 개념을 새롭게 제시하고, 경제적-구조적 중심성의 연계가 26% 약화되는 실증적 증거를 통해 그 타당성을 입증했다는 점에서 학술적 의의를 찾을 수 있다. 더 나아가, 군집분석을 통해 도출된 '구조적 거점형'(고양시 등)과 '기능적 특화형'(성남시 등) 중심지 유형의 분화는 크리스탈러(Christaller, 1933)의 전통적 중심지 이론이 현대 대도시권에서 어떻게 변용되고 있는지를 보여주는 새로운 해석의 틀을 제공한다. 이는 시장(경제), 행위(기능), 계획(구조) 간의 상호작용과 갈등이 어떻게 새로운 공간 질서를 창출하는지를 설명하며, 향후 도시 연구에 중요한 이론적 토대를 마련한다(표 11).

3. 연구의 한계 및 향후 과제

본 연구는 다음과 같은 한계를 갖는다. 첫째, 기종점 통행량 데이터의 특성상 비통근 목적 통행에 대한 분석이 제한적이다. 둘째, 코로나19와 같은 외부 충격이 중심성 변화에 미치는 영향을 충분히 반영하지 못했다. 셋째, 중심성 변화의 질적 요인에 대한

Table 10. Network centrality correlation by year

Year	CL No.	Num of CL	Economic centrality	Functional centrality	Structural centrality	Representative areas
2000	1	52	0.4780	60,893	0.0078	Gangnam-gu, Seocho-gu, Yeongdeungpo-gu
	2	13	1.1584	84,128	0.0088	Jongno-gu, Songpa-gu, Seongdong-gu
	3	2	1.7939	148,635	0.0091	Jung-gu, Mapo-gu (Seoul)
2005	1	50	0.9905	71,699	0.0078	Gangnam-gu, Seocho-gu, Gangdong-gu
	2	10	1.8572	82,909	0.0087	Songpa-gu, Yongsan-gu, Dongdaemun-gu
	3	6	2.4414	113,005	0.0091	Jung-gu, Jongno-gu, Seongdong-gu
	4	1	2.1942	105,577	0.0090	Mapo-gu
2010	1	46	1.4414	81,803	0.0077	Gangnam-gu, Seocho-gu, Gangdong-gu
	2	10	3.2636	105,150	0.0090	Songpa-gu, Yeongdeungpo-gu, Gwangjin-gu
	3	7	3.0880	93,127	0.0085	Yongsan-gu, Jongno-gu, Seongdong-gu
	4	4	3.6832	154,568	0.0090	Jung-gu, Mapo-gu, Seodaemun-gu
2015	1	43	1.5880	97,037	0.0076	Gangnam-gu, Seocho-gu, Dongjak-gu
	2	12	3.6928	118,746	0.0090	Songpa-gu, Gwangjin-gu, Yeongdeungpo-gu
	3	7	3.4653	101,406	0.0085	Yongsan-gu, Jongno-gu, Dongdaemun-gu
	4	5	4.5662	161,907	0.0091	Jung-gu, Mapo-gu, Seongdong-gu
2020	1	47	1.5974	103,763	0.0077	Gangnam-gu, Seocho-gu, Gangdong-gu
	2	12	2.6284	125,944	0.0086	Songpa-gu, Yeongdeungpo-gu, Gwanak-gu
	3	3	5.0148	116,536	0.0092	Yongsan-gu, Jongno-gu, Dobong-gu
	4	5	4.7589	159,857	0.0091	Jung-gu, Mapo-gu, Seongdong-gu

Table 11. Region classification and characteristics by centrality type

Cluster type	Representative regions	Economic centrality	Functional centrality	Structural centrality
Comprehensive center	Gangnam-gu, Seocho-gu, Jongno-gu, Jung-gu, Seongnam-si	High (5.015)	High (159,857)	High (0.0091)
Functional specialization	Suwon-si, Goyang-si, Bucheon-si	Medium (2.628)	High (125,944)	Medium (0.0076)
Structural hub	Gimpo-si, Uijeongbu-si, Anyang-si	Low (1.245)	Medium (78,532)	High (0.0084)
Peripheral area	Gapyeong-gun, Yeoncheon-gun, Yangpyeong-gun	Low (0.568)	Low (45,123)	Low (0.0045)

분석이 상대적으로 부족하다. 향후 연구에서는 다양한 목적별 통행 분석, 외부 충격의 영향 분석, 질적 요인과 양적 지표의 통합 분석 등이 필요하다. 또한 다른 대도시권과의 비교 연구를 통한 연구결과의 일반화 가능성 검토도 중요한 과제이다.

VI. 결론 및 정책적 시사점

1. 연구결과 요약

본 연구는 2000년부터 2020년까지 수도권의 동태적 변화를 분석하여, 전통적으로 일체화되었던 도시 중심성이 경제적, 기능

적, 구조적 차원에서 각기 다른 궤적으로 분화하는 ‘중심성 탈동조화’ 현상을 실증적으로 규명하였다.

가장 핵심적인 발견은 교통 인프라의 중요성과 경제적 가치 집중 간의 상관관계가 지난 20년간 26% 감소했다는 점으로, 이는 수도권의 공간구조가 과거의 단일 중심 패러다임에서 벗어나 다차원적 다핵 구조로 재편되고 있음을 명확히 보여준다. 또한 고양시(구조적 거점형)와 성남시(기능적 특화형) 사례 분석을 통해, 단일 지표만으로는 포착할 수 없는 다핵화의 복합적 양상을 확인하고, 이러한 탈동조화가 시장-행위-계획 간의 상호작용을 반영하는 현대 도시의 핵심 특성을 밝혔다.

2. 정책적 시사점

1) 차별화된 다핵화 전략의 필요성

연구 결과는 수도권 다핵화 정책이 획일적 접근에서 벗어나, 본 연구에서 도출된 중심성 프로파일에 기반한 차별화된 전략이 필요함을 시사한다. 구조적 거점형 지역(고양시 등)의 경우, GTX와 같은 광역교통망의 잠재력을 극대화하기 위해 교통 결절점 중심의 업무·상업 기능을 유지하고 복합환승센터 개발을 연계하는 정책이 시급하다. 기능적 특화형 지역(성남시 판교 등)은 이미 높은 수준의 기능적 중심성을 확보했으나 구조적 연결성이 상대적으로 미흡하므로, GTX 노선 연장, M버스 노선 신설 등 광역교통망과의 연계 강화를 통해 산업 클러스터의 효율성을 극대화해야 한다. 종합 중심지형 지역(서울 도심 등)은 기존의 고차원적 중심 기능을 강화하되, 과밀화 문제를 해소하기 위해 일부 기능을 주변 거점 지역으로 이전시키는 '네트워크형 중심지' 관리가 요구된다.

2) 교통-토지이용-산업의 통합적 계획 수립

경제적 중심성과 구조적 중심성의 탈동조화는 교통망 확충만으로 경제적 효과를 보장할 수 없음을 의미한다. 신도시나 산업 클러스터 개발 시, 초기 계획 단계부터 교통망 계획, 토지이용 계획, 산업 유치 전략을 통합하여 시너지를 창출해야 한다. 예를 들어, 3기 신도시 계획 시 광역교통 개선대책뿐만 아니라, 해당 지역의 중심성 유형에 맞는 자족 기능을 담보할 수 있는 구체적인 산업 생태계 조성 방안이 함께 마련되어야 한다.

3) 지역별 맞춤형 개발 전략

각 지역의 중심성 프로파일을 정확히 파악하고, 이에 맞는 차별화된 개발 전략을 수립해야 한다. 종합 중심지형 지역에서는 위계 강화와 광역적 영향력 확대를, 기능적 특화형 지역에서는 특화 기능의 고도화를, 구조적 거점형 지역에서는 기능 유지를 통한 균형 발전을 추진해야 한다. 본 연구의 방법론적 기여는 세 가지 중심성의 이론적 배경을 통합한 분석 프레임워크에 있다. 구조적 중심성(네트워크 잠재력), 기능적 중심성(실제 상호작용), 경제적 중심성(시장가치 집중)은 각각 상이한 도시 작용 원리를 반영하며, 이들의 탈동조화는 단일 중심성 패러다임의 한계를 극복하는 실증적 근거를 제공한다. OD 데이터 기반 기능적 중심성은 도시민 행태의 경험적 증거를, 지가 모형은 시장 작용 원리가 평가하는 공간가치의 정량적 추적을 가능케 하여 정책 우선순위 설정에 기여한다.

3. 이론적 기여와 학술적 의의

본 연구는 중심성 탈동조화라는 새로운 개념을 제시하고, 다차

원적 중심성 접근의 이론적 정당성을 확립함으로써 도시 중심성 이론의 발전에 기여한다. 아울러 기중점 통행량 데이터를 활용한 중심성 분석 방법론을 정교화하여 실증 연구의 방법론적 발전에도 기여한다. 중심성 탈동조화 현상은 현대 도시의 복합적 특성을 이해하는 핵심적 개념으로, 향후 도시 연구와 정책 수립에 중요한 이론적 틀을 제공할 것으로 기대된다. 이는 단순한 공간적 분산을 넘어 기능적 분화와 네트워크적 연결을 통한 새로운 다핵화 모델을 제시하는 데 중요한 이론적 기반이 될 것이다.

인용문헌 References

- 권용우, 1995. "수도권 인구이동의 공간적 특성에 관한 연구", 『국토계획』, 30(4): 21-41.
Kwon, Y.W., 1995. "A Study on the Spatial Characteristics of Population Movement in the Capital Region", *Journal of Korea Planning Association*, 30(4): 21-41.
- 김호용·김지숙·이성호, 2012. "도심경계설정을 위한 공간통계학적 접근", 『한국지리정보학회지』, 15(4): 42-54.
Kim, H.Y., Kim, J.S., and Lee, S.H., 2012. "A Spatial Statistical Approach to the Delimitation of CBD", *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies*, 15(4): 42-54.
- 김창석·우명재, 2000. "서울시 중심지 설정과 중심지 특성에 관한 연구", 『국토계획』, 35(1): 17-29.
Kim, C.S. and Woo, M.J., 2000. "The Hierarchy of Centers and Their Characteristics in Seoul", *Journal of Korea Planning Association*, 35(1): 17-29.
- 남영우, 1976. "지가에 의한 CBD 설정과 지가분포의 유형 분석 - 서울시의 경우 -", 『지리교육논집』, 6: 51-78.
Nam, Y.W., 1976. "Delimitation of the CBD by Land Values and Analysis of Land Value Distribution Patterns - A Case of Seoul City -", *Journal of Geography Education*, 6: 51-78.
- 박경철, 2009. 「기중점 통행량을 활용한 수도권 공간구조 변화 분석」, 경기연구원.
Park, K.C., 2009. *A Study on the Spatial Structure of the Seoul Metropolitan Area Using O/D Trips*, Gyeonggi Research Institute.
- 옥석문·이명훈, 2008. "중심지 체계설정 및 변화과정에 관한 연구: 인천광역시를 대상으로 하여", 『한국도시행정학회 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 Korean Urban Management Association*, 21(1):107-125.
- 유의진·전명진, 2019. "수도권 고용 중심지 변화 및 입지 특성 분석", 『한국지역개발학회지』, 31(4): 219-236.
Yoo, U.J. and Jeon, M.J., 2019. "An Analysis on the Dynamics and Characteristics of Employment Centers in the Seoul Metropolitan Area", *Journal of the Korean Regional Development Association*, 31(4): 219-236.

8. 이동현·박동현, 2011. “부산의 도시공간구조와 중심지 설정에 관한 연구”, 『한국데이터분석학회지』, 13(1): 365-375.
Lee, D.H. and Park, D.H., 2011. “A Study on Urban Spatial Structure and the Establishment of Centers in Busan”, *Journal of the Korean Data Analysis Society*, 13(1): 365-375.
9. 이수기·주미진·하재현, 2015. “수도권 1기 신도시 통근통행특성과 공간구조의 변화(1996~2010): 자족성과 중심성 분석을 중심으로”, 『국토계획』, 50(5): 5-23.
Lee, S., Joo, M., and Ha, J., 2015. “An Analysis of Changes in Commuting Characteristics and Urban Spatial Structure of the First Generation New Towns in the Seoul Metropolitan Area (1996-2010): Focused on Self-Containment and Centrality”, *Journal of Korea Planning Association*, 50(5): 5-23.
10. 임영식·이창수, 2016. “서울시 중심지 설정에 관한 연구”, 『국토연구』, 91: 109-124.
Yim, Y.S. and Lee, C.S., 2016. “Center Boundary Delimitation in Seoul Metropolitan Area Using Census Output Data”, *Journal of Land Research*, 91: 109-124.
11. 최지윤·박민영·강정은, 2023. “머신러닝과 공간분석을 활용한 부산시 중심지 체계 및 영향권 분석”, 『한국지리정보학회지』, 26(3): 65-84.
Choi, J.Y., Park, M.Y., and Kang, J.E., 2023. “Assessment of Busan City Central Area System and Service Area Using Machine Learning and Spatial Analysis”, *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies*, 26(3): 65-84.
12. 황의창·여홍구, 2013. “대전시 신·구도심의 경계설정에 관한 연구”, 『국토지리학회지』, 46(3): 263-274.
Hwang, E.C. and Yeo, H.G., 2013. “A Study on the Boundary-setting of the New and Old Central Districts in Daejeon Metropolitan City”, *The Geographical Journal of Korea*, 46(3): 263-274.
13. Alonso, W., 1964. *Location and Land Use: Toward a General Theory of Land Rent*, Harvard University Press.
14. Burger, M.J. and Meijers, E.J., 2012. “Form Follows Function? Linking Morphological and Functional Polycentricity”, *Urban Studies*, 49(5): 1127-1149.
15. Castells, M., 1996. *The Network Society. The Information Age: Economy, Society and Culture, Vol. 1*, Blackwell.
16. Christaller, W., 1933. *Central Place Theory*, Prentice-Hall.
17. Dark, S.J. and Bram, D., 2007. “The Modifiable Areal Unit Problem (MAUP) in Physical Geography”, *Progress in Physical Geography*, 31(5): 471-479.
18. Fotheringham, A. and O’Kelly, M.E., 1989. *Spatial Interaction Models: Formulations and Applications*, Kluwer Academic Publishers.
19. Fotheringham, A.S. and Wong, D.W.S., 1991. “The Modifiable Areal Unit Problem in Multivariate Statistical Analysis”, *Environment and Planning A: Economy and Space*, 23(7): 1025-1044.
20. Freeman, L.C., 1978. “Centrality in Social Networks Conceptual Clarification”, *Social Networks*, 1(3): 215-239.
21. Fujita, M. and Ogawa, H., 1982. “Multiple Equilibria and Structural Transition of Non-monocentric Urban Configurations”, *Regional Science and Urban Economics*, 12(2): 161-196.
22. Giuliano, G. and Small, K.A., 1991. “Subcenters in the Los Angeles Region”, *Journal of Regional Science and Urban Economics*, 21(2): 163-182.
23. Graham, S. and Marvin, S., 2001. *Splintering Urbanism: Networked Infrastructures, Technological Mobilities and the Urban Condition*, Routledge.
24. Hall, P. and Pain, K., 2006. *The Polycentric Metropolis: Learning from Mega-City Regions in Europe*, Routledge.
25. Hansen, W.J., 1959. “How Accessibility Shapes Land Use”, *Journal of the American Planning Association*, 25(2): 73-76.
26. Hillier, B. and Hanson, J., 1984. *The Social Logic of Space*, Cambridge University Press.
27. Hubert, L. and Arabie, P., 1985. “Comparing Partitions”, *Journal of Classification*, 2: 193-218.
28. Krugman, P., 1991. “Increasing Returns and Economic Geography”, *Journal of Political Economy*, 99: 483-499.
29. Kruger, S.G., 2012. “Delimiting the Postmodern Urban Center: An Analysis of Urban Amenity Clusters in Los Angeles”, Master’s Dissertation, University of Southern California.
30. Pred, A., 1977. *City-systems in Advanced Economies: Past Growth, Present Processes and Future Development Options*, London: Routledge.
31. Sevtsuk, A. and Mekonnen, M., 2012. “Urban Network Analysis: A New Toolbox for Measuring City form in ArcGIS”, *Rev. Int. Géomatique*, 22: 287-305.
32. Wasserman, S. and Faust, K., 1994. *Social Network Analysis: Methods and Applications*, Cambridge University Press.
33. Wilson, A.G., 1967. “A Statistical Theory of Spatial Distribution Models”, *Transportation Research*, 1(3): 253-269.

Date Received	2025-01-21
Reviewed(1 st)	2025-03-13
Date Revised	2025-03-29
Reviewed(2 nd)	2025-06-03
Date Revised	2025-06-07
Reviewed(3 rd)	2025-06-22
Date Revised	2025-06-30
Reviewed(4 th)	2025-07-31
Date Accepted	2025-07-31
Final Received	2025-08-11

부록 Appendix

Appendix 1. Economic centrality index and rank

Region	2000	2005	2010	2015	2020
Gangnam-gu	2.5006 (1st)	5.0758 (1st)	8.2039 (1st)	9.3338 (1st)	15.7601 (3rd)
Jung-gu (Seoul)	2.3780 (2nd)	3.7294 (3rd)	5.5731 (5th)	6.8355 (4th)	16.8872 (1st)
Seocho-gu	2.3706 (3rd)	4.6598 (2nd)	7.4351 (2nd)	8.4823 (2nd)	10.2707 (4th)
Jongno-gu	1.8762 (4th)	3.0252 (5th)	4.6263 (6th)	5.4948 (6th)	16.7040 (2nd)
Songpa-gu	1.6118 (5th)	3.4498 (4th)	6.2684 (3rd)	7.3637 (3rd)	8.1992 (6th)
Yeongdeungpo -gu	1.4374 (6th)	2.2210 (9th)	3.5942 (9th)	4.2607 (9th)	6.4491 (8th)
Seongdong-gu	1.4157 (7th)	2.3791 (7th)	3.9564 (7th)	4.5892 (8th)	5.2904 (9th)
Yongsan-gu	1.3921 (8th)	2.9611 (6th)	5.7515 (4th)	6.5120 (5th)	8.2514 (5th)
Dongdaemun -gu	1.3889 (9th)	-	-	-	-
Gwangjin-gu	1.2714 (10th)	-	-	4.2511 (10th)	-
Gangdong-gu	-	2.3230 (8th)	3.5818 (10th)	-	5.0099 (10th)
Mapo-gu	-	2.1942 (10th)	3.6055 (8th)	4.6758 (7th)	6.6960 (7th)

Appendix 3. Network centrality correlation by year

Year	2000	2005	2010	2015	2020
Landprice-Degree	0.0956	0.1046	0.1044	0.1062	0.0788
Landprice-Betweenness	0.3666	0.3854	0.3772	0.3855	0.327
Landprice-Closeness	0.3099	0.3269	0.3229	0.3299	0.2801
Landprice-Eigenvector	0.1074	0.117	0.1161	0.1178	0.0879
Degree-Betweenness	0.4016	0.4016	0.4016	0.4016	0.4016
Degree-Closeness	0.5385	0.5385	0.5385	0.5385	0.5385
Degree-Eigenvector	0.9798	0.9798	0.9798	0.9798	0.9798
Betweenness-Closeness	0.813	0.813	0.813	0.813	0.813
Betweenness-Eigenvector	0.4465	0.4465	0.4465	0.4465	0.4465
Closeness-Eigenvector	0.591	0.591	0.591	0.591	0.591

Appendix 2. Functional centrality index and rank

Region	2000	2005	2010	2015	2020
Gangnam-gu	266209.7 (1st)	337788.0 (1st)	380105.3 (1st)	436400.5 (1st)	431730.5 (1st)
Jung-gu (Seoul)	204824.8 (2nd)	204354.9 (2nd)	273946.1 (2nd)	303483.8 (2nd)	279910.2 (4th)
Seocho-gu	169652.4 (3rd)	195235.2 (3rd)	246148.7 (3rd)	300500.1 (3rd)	299504.5 (2nd)
Yeongdeungpo -gu	155776.2 (4th)	170504.7 (4th)	212444.2 (4th)	230675.4 (5th)	240666.3 (5th)
Jongno-gu	142479.8 (5th)	146071.8 (7th)	193240.6 (6th)	179640.4 (10th)	-
Songpa-gu	138043.6 (6th)	139846.9 (9th)	166655.5 (8th)	195611.5 (7th)	215437.4 (7th)
Bucheon-si	129220.9 (7th)	141810.9 (8th)	-	-	-
Seongnam-si	128569.3 (8th)	154878.0 (6th)	197856.6 (5th)	275588.0 (4th)	294969.2 (3rd)
Suwon-si	126884.9 (9th)	162367.0 (5th)	191089.4 (7th)	221196.4 (6th)	240624.5 (6th)
Goyang-si	105363.4 (10th)	-	152757.1 (10th)	188695.9 (8th)	208955.5 (9th)
Anyang-si	-	124206.3 (10th)	-	-	-
Yongin-si	-	-	162129.0 (9th)	182681.1 (9th)	205340.6 (10th)
Hwaseong-si	-	-	-	-	213794.3 (8th)

Appendix 4. Results of correlation analysis between centrality type

Correlation	2000	2005	2010	2015	2020
Pearson correlation coefficient					
Economic-Functional centrality	0.7916	0.7697	0.7453	0.7199	0.6609
Economic-Structural centrality	0.7363	0.7271	0.7051	0.7046	0.5451
Functional-Structural centrality	0.4952	0.4721	0.4726	0.4253	0.407
Spearman correlation coefficient					
Economic-Functional centrality	0.7129	0.6824	0.6996	0.6541	0.6361
Economic-Structural centrality	0.832	0.8523	0.8495	0.8533	0.8371
Functional-Structural centrality	0.5366	0.4933	0.5094	0.4527	0.383

Appendix 5. OLS, SLM, and SEM model comparison results

Category	Variable name	2000	2005	2010	2015	2020
Explanatory power	R-squared (OLS)	0.808378	0.750693	0.683276	0.694901	0.691635
	R-squared (SLM)	0.896014	0.867757	0.828332	0.83786	0.86546
	R-squared (SEM)	0.798471	0.747635	0.681116	0.693232	0.69009
Model fit	Loglikelihood (OLS)	3846.5	-4815.3	-11979	-13725.8	-13614.2
	Loglikelihood (SLM)	7473.2	-1102	-8453.6	-10063.5	-8723.3
	Loglikelihood (SEM)	6827	-1456.8	-8820.4	-10451.2	-9256.8
	AIC (OLS)	-7681.1	9642.6	23969.9	27463.7	27240.5
	AIC (SLM)	-14932.4	2218.1	16921.2	20140.9	17460.6
	AIC (SEM)	-13641.9	2925.6	17652.9	20914.4	18525.6
	Variable coeff. (OLS)	Population density	0.1339	0.2208	0.344	0.4179
Commercial floor area		0.0363 **	0.1173	0.1628	0.1001	0.2592
Office floor area		0.0052 ***	0.0223 **	0.1133	0.0698 *	0.0064 ***
Number of employees		0.4475	0.5653	0.5002	0.5766	-0.1074
Number of businesses		-0.073	-0.1253	-0.085	-0.0624	0.0772 *
Variable coeff. (SLM)	Population density	0.0471 **	0.0794 *	0.1231	0.1609	0.5961
	Commercial floor area	0.0581 *	0.0474 **	0.0490 **	0.0138 **	0.1689
	Office floor area	0.0731 *	0.0055 ***	0.0424 **	0.0127 **	0.0286 **
	Number of employees	0.1407	0.3288	0.2941	0.3613	0.0185 **
	Number of businesses	0.0042 ***	-0.0465	-0.0069	-0.0237	-0.0578
Variable coeff. (SEM)	Population density	0.0655 *	0.1324	0.2095	0.2581	0.5873
	Commercial floor area	0.0580 *	0.0734 *	0.0800 *	0.0455 **	0.2062
	Office floor area	0.0689 *	0.0386 **	0.0626 *	0.0231 **	0.0205 **
	Number of employees	0.1997	0.3474	0.328	0.3928	0.0524 *
	Number of businesses	0.0057 ***	-0.025	0.0221 **	0.0203 **	0.0001 ***

*p<0.1, **p<0.05, ***p<0.01