



# 결절점-장소 모형을 이용한 서울대도시권의 TOD 유형화와 대중교통 수단분담률의 관계분석\*

## Analysis of the Relationship between TOD Typology and Transit Modal Split Based on Node-Place Model for Seoul Metropolitan Area

강현도\*\* · 고승욱\*\*\* · 이승일\*\*\*\*

Kang, Hyundo · Go, Seungwook · Lee, Seungil

### Abstract

This study aims to develop the typology of transit-oriented development (TOD) based on rail and rapid bus transit networks and identify the differences in transit modal split among TOD types for the Seoul Metropolitan Area. Using cluster analysis with features derived from node-place model and TOD 3Ds (Density, Diversity and Design), this study classifies 1,013 administrative dong with wide-area transit access into 5 types, namely, Center, High-density, Hybrid, and Suburban TOD types, and TAD (Transit-adjacent Development). The findings show that firstly, there is a positive correlation between node- and place-index. However, some imbalances, particularly in the urban center, highlight the need to achieve TOD on a metropolitan scale via continuous monitoring based on the relationship between transit networks and land-use. Secondly, neighborhoods within the suburban TOD type exhibit greater rapid bus based accessibility, leading to a higher transit modal split than that in TAD type. Lastly, neighborhoods categorized as TAD exhibit a lower transit modal split owing to the combination of low transit availability and urban density. These types have contrasting levels of rail- and bus-based accessibility and varying spatial distributions. The results emphasize that TOD can help reduce private car usage and increase transit ridership, thereby helping achieve carbon neutrality within cities. However, given the existing transportation and land-use conditions within the Seoul Metropolitan Area, comprehensive TOD policies that integrate both bus and rail transit networks are required.

**주제어** 대중교통지향형 개발(TOD), 유형화, 결절점-장소 모형, 대중교통 수단분담률, 서울대도시권

**Keywords** TOD (Transit-oriented Development), Typology, Node-Place Model, Transit Modal Split, Seoul Metropolitan Area

## 1. 서론

전 세계적으로 승용차에 의존적인 도시확산으로 인해 발생하는 사회적 비용을 줄이고자 도시공간구조 차원에서 압축도시, 다핵공

간구조, 대중교통지향형 개발(transit-oriented development, TOD) 등의 다양한 이론적 논의가 전개되었다(Calthorpe, 1993; Bertaud, 2001; Burton et al., 2003). 특히 TOD는 토지이용과 교통을 유기적으로 연계함으로써 대중교통으로의 수단전환을

\* 이 논문은 한국연구재단(NRF-2021R1A2C1012039)과 국토교통부 빅데이터 기반 인공지능 도시계획 기술 개발(RS-2022-00143404)의 지원을 받아 수행되었음.

\*\* Master's Candidate, Department of Urban Planning & Design, University of Seoul (First Author: street116@uos.ac.kr)

\*\*\* Ph.D. Candidate, Department of Urban Planning & Design, University of Seoul (gsu0213@uos.ac.kr)

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



유도하여 승용차 이용을 줄일 뿐만 아니라, 쾌적한 정주환경을 조성하고 주거 선택권을 넓히는 등 지속가능한 공간구조로 평가받고 있다(Newman and Kenworthy, 1996). 이와 더불어 기후위기 패러다임이 대두됨에 따라 승용차에 의한 온실가스 배출을 감축하고 탄소중립도시를 실현하기 위해 TOD에 대한 필요성은 지속적으로 제기되고 있다(이승일, 2022).

TOD는 교통 및 도시계획의 연계를 통해 공간구조를 특정 방향으로 형성하며 도시민의 통행행태에 간접적인 변화를 실현하는 정책이다(고승욱 외, 2023). 이에 따라 TOD의 실질효과는 통행행태를 통해 나타나며 공간구조에 따라 상이하게 분포한다. 특히 대중교통 주변의 높은 밀도·복합도와 보행친화적 설계는 TOD의 계획요소 3Ds로서 통행에 영향을 미칠 수 있다(Cervero and Kockelman, 1997). 역세권은 이러한 물리적 환경을 토대로 도시활동이 발생하는 '장소'이자 교통 네트워크상 '결절점'의 특성을 동시에 가지며, 둘 간의 긍정적 상호관계에 따라 활성화된다(Bertolini, 1996). 단, 이 두 차원이 항상 균형을 이룰 수는 없기 때문에 역세권마다 개발 잠재력의 차이가 발생한다(Bertolini, 1999). 따라서 성공적인 TOD 정책을 위해서는 두 특성의 상호관계에 초점을 둔 유형화를 통해 유형 간 공간구조 특성 및 잠재력 차이를 확인하고, 실질효과 분석을 병행하여 이를 검증하는 것이 중요하다.

서울대도시권에서도 TOD 계획요소를 법제도와 도시계획에 반영하고 있으며 관련 연구가 다양하게 진행되었다. 이를 통해 밀도·복합도 등의 계획요소가 대중교통 이용에 영향을 미치는 등 실질효과적 측면이 나타났으며, 통행패턴과 개발양상 등에 따라 다양한 역세권 유형이 확인되었다(Lee et al., 2013; Lee et al., 2017; 김동준 외, 2020; 이우섭 외, 2021). 그러나 주로 역세권개발이나 대중교통 이용 증진의 관점에서 연구가 진행되었으며 토지이용과 교통의 유기적 관계를 고려한 연구는 미비한 실정이다. 도시권에서 역세권마다 교통수단별 접근성이 상이하기 때문에, 교통인프라에 맞게 토지이용계획이 적용되어야 하며 밀도·복합도 수준에 맞게 대중교통 공급이 조정되어야 한다(Vale et al., 2018). 따라서 대도시권 차원에서 효과적인 TOD 정책을 위해서는, 교통과 토지이용의 상호작용을 고려하는 관점에서 TOD 유형화의 기초연구가 필요하다.

한편, TOD 이론은 미국과 유럽에서 적용된 철도 중심의 도시개발 전략을 기반으로 하여 철도역세권에 초점을 두고 있다(Papa and Bertolini, 2015). 하지만 서울대도시권은 급격한 인구 집중에 따른 교외택지 개발이 선행된 다음 광역·도시철도가 확충되는 순서로 도시확산이 진행되어왔다(최막중 외, 2016). 여전히 철도 영향권에 있지 못하는 주거지역의 확산으로 인해 철도의 부재에 따른 간극이 있으며, 고속도로망을 활용하여 단기간에 공급할 수 있는 광역버스를 통해 해결하면서 버스 네트워크도 함께 발달하였다(홍상연 외, 2020). 최근에는 간선급행버스체계(bus rapid

transit, BRT)가 확충되고 BRT 종합계획이 수립되는 등 버스 기반의 TOD도 논의되고 있다. 이처럼 광역·도시철도를 중심으로 한 체계와 광역· 시내버스를 중심으로 한 체계가 공존하고 있지만 이를 복합적으로 고려하여 TOD를 활성화하려는 노력은 부족하다. TOD는 새로운 것을 만들기보다 기존 대중교통 서비스를 극대화하는 토지이용 및 교통계획의 측면이 크기 때문에(Thomas and Bertolini, 2017) 기존 교통 및 토지이용의 현황에 대한 이해가 요구된다. 따라서 서울대도시권의 TOD 활성화를 위해서는 기존에 도로 인프라와 함께 발달할 수 있었던 광역버스 네트워크의 영향을 함께 고려하여야 한다.

이러한 배경에 따라, 이 연구의 목적은 서울대도시권을 대상으로 광역적 차원의 철도 및 버스 네트워크와 결절점-장소 상호관계를 고려한 TOD 유형화를 실시하고, TOD 유형과 대중교통 수단분담률의 관계를 분석하는 것이다. 이를 통해 서울대도시권의 광역버스까지 반영된 새로운 유형을 도출하여 TOD 개발 잠재력을 확인하고, TOD를 형성하는 요소가 대중교통 이용증대 효과와도 연관이 있는지 파악하고자 한다. 연구결과는 향후 확장될 광역철도, BRT 등 다양한 교통수단과 토지이용의 통합적인 계획을 위한 TOD 정책에 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

## II. 이론 및 선행연구 고찰

### 1. TOD와 결절점-장소 모형(node-place model)

대중교통지향형 개발(transit-oriented development, TOD)은 미국에서 승용차 이용을 억제하기 위한 도시개발 전략으로 등장하였으며, Calthorpe(1993)로부터 논의가 시작되었다. TOD는 대중교통 이용과 보행활동을 촉진하고 역세권의 집중적인 토지이용 고도화를 통해 기존 대중교통 기능을 극대화하는 토지이용 및 교통계획을 의미한다(Thomas and Bertolini, 2017). 고안 당시의 주목적은 승용차 통행을 감소시키고 통행 거리 및 시간을 단축하는 것이었으며, 현재에도 탄소중립을 실현하기 위한 도시정책으로 TOD가 논의되고 있다(이승일, 2022).

국내에도 TOD를 실현하기 위해 「국가통합교통체계 효율화법」, 「도시재정비촉진을 위한 특별법」, 「역세권의 개발 및 이용에 관한 법」 등의 법제도를 정비하고 계획을 수립하는 등 역세권 개발을 활성화하려는 노력이 지속되고 있다(박재홍, 2010). 서울대도시권은 광역철도를 꾸준히 신설하여 대중교통 공급을 늘리고 있으며, 광역철도의 음영지역은 도심과 직통하는 광역버스의 운행을 통해 해결하고 있다. 이처럼 서울대도시권은 다양한 대중교통수단 인프라를 기반으로 TOD의 잠재력이 있는 대중교통 결절점을 충분히 갖추고 있다. 하지만 광역 대중교통체계가 구축되더라도 도시개발과 연계되지 않는다면 TOD의 잠재력을 활용하기 어렵다(성현곤 외, 2012). 즉 대중교통 네트워크의 구축뿐 아



나라 결절점 주변의 토지이용을 고도화하고 도시활동을 활성화하는 노력이 중요하다(Lee et al., 2013). 결절점 주변의 토지이용 특성 중 대중교통 이용에 영향을 미치는 요인으로는 밀도(density), 다양성(diversity), 설계(design)를 포괄하는 TOD 계획원칙 3Ds가 Cervero and Kockelman(1997)에 의해 제안되었다. 이후, 대중교통 접근성(Distance to transit), 도착지 접근성(destination accessibility)를 추가한 5Ds, 수요관리(demand management)와 인구사회특성(demography)을 포함한 7Ds로 논의가 확장되었다(이승일, 2022).

TOD에 관련된 도시교통 연구 분야에서는 이러한 대중교통 네트워크의 공급과 토지이용 간의 상호관계를 토대로 한 Bertolini의 결절점-장소 모형(node-place model)이 논의되었다. 이 모형은 철도역·버스정류장이 대중교통 네트워크상 결절점(node)이면서 동시에 활동이 일어나는 장소(place)이기도 한 양면성을 토대로 한다(Bertolini, 1996). 결절점 특성은 ‘얼마나 많은 목적지를, 얼마나 빠르고 쉽게 도달할 수 있는가?’를 나타내는 반면, 장소 특성은 ‘해당 지역에서 수행될 수 있는 활동이 얼마나 많고 다양한가?’를 나타낸다. 두 특성은 철도역이나 버스정류장에서의 대중교통 접근성을 나타내는 복합적인 요소이다(Bertolini, 1999).

결절점-장소 모형의 핵심은 다음과 같다. 첫째, 대중교통 공급 수준이 높으면 많은 인구가 방문할 수 있어 활동 잠재력이 높아지며 둘째, 결절점 주변의 개발이 활성화되어 토지이용이 고도화되면 활동 잠재력이 실현된다(Bertolini, 1999). 이처럼 대중교통 네트워크와 토지이용의 유기적 통합을 통해 접근성이 향상된 TOD는 대중교통의 효율을 높여 승용차를 억제하고 지속가능한 도시 형성에 기여할 수 있다(Kamruzzaman et al., 2014). 결절점-장소 모형은 이러한 목적을 달성하기 위해 대중교통 결절점 특성과 장소 특성 간의 상호관계를 토대로 TOD로 발전할 수 있는 잠재력을 평가하고 정책적 함의를 제공하는 이론이다.

결절점-장소 모형은 <그림 1>과 같이 y축의 결절점 특성과

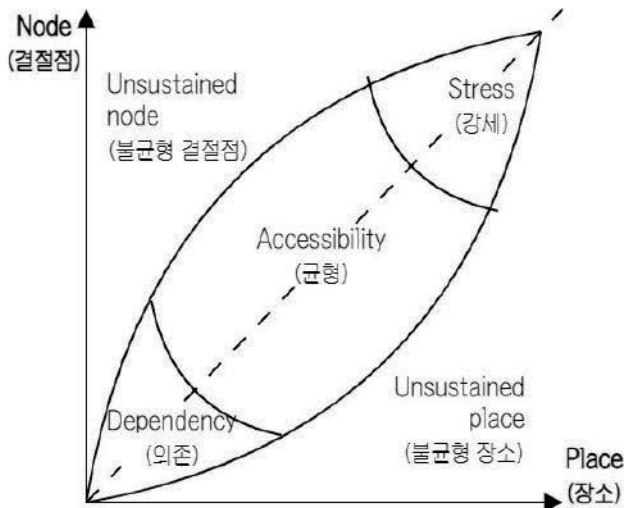


Figure 1. Node-place model (Bertolini, 1999)

x축의 장소 특성 간의 관계를 통해 유형을 도출할 수 있다. 45도 대각선은 결절점과 장소 특성이 서로 균형을 이루는 지점이다. 우상단의 강제(stress) 지점은 대중교통 공급과 도시활동이 모두 고도화된 상태이며 주로 중심지에 분포한다. 반면, 좌하단의 의존(dependency) 지점은 대중교통 공급과 도시활동이 모두 저조한 상태이다. 대각선을 벗어난 영역에서는 결절점과 장소 특성이 서로 불균형을 이룬다. 좌상단의 불균형 결절점(unsustained node)은 도시활동에 비해 대중교통 공급이 많은 상태이다. 반면, 우하단의 불균형 장소(unsustained place)는 대중교통 공급에 비해 도시활동이 포화상태이다. 이처럼 결절점과 장소 특성 간의 관계를 통해 대중교통 공급이 더 필요한 유형, 토지이용 활성화가 더 필요한 유형, 균형을 이루고 있는 유형 등을 파악할 수 있다.

## 2. TOD 유형화 관련 연구

TOD 유형화(TOD Typology)는 TOD 수준을 평가하기 위해 대중교통 결절점의 특성과 그 주변의 특성을 활용하여 분류하는 분석방법이며 선행연구에서 주로 활용되었다(Ibraeva et al., 2020). 유형화는 가치판단을 내리지는 않으나 정책적인 우선순위를 나타낼 수 있어 대중교통 활성화 정책을 제안하는 데 유용한 방법이다(Rodriguez and Kang, 2020).

국내에서는 대중교통 이용패턴과 개발양상 등의 기준에서 주로 역세권의 유형화가 수행되었다. 이용패턴과 관련하여, 성현곤·김태현(2005)은 지하철 이용패턴을 기준으로 역세권을 유형화한 다음 토지이용특성과의 연관성을 파악하였고, 이정우 외(2015)는 침투시간대 이용패턴을 기준으로 지하철역을 유형화하였다. 개발양상과 관련하여, 김동준 외(2020)는 상업·업무 개발양상을 기준으로 서울시 역세권을 유형화하여 공간적 위계에 따른 차이를 확인하였고, 이우섭 외(2021)는 서울시 지하철 2호선을 대상으로 수송용량, 평균공시지가, 평균용적실현비에 따른 개발용량을 산출하여 잠재 개발역량이 높은 유형을 도출하였다. 한편, Lee et al.(2017)은 보다 다양한 수단을 반영하여, 서울대도시권의 시군구를 대상으로 대중교통 수단분담률과 승용차 내부통행비용의 변화 관계에 따라 3개 유형을 도출하였다. 이 연구에서 도출된 교외 유형은 철도가 없는 시군구가 대부분 포함되었으며 대중교통 수단분담률 감소보다 내부통행비용 감소가 두드러졌다.

이처럼 국내 도시를 대상으로 한 연구들은 통행수요나 역세권 개발 관리의 관점에서의 연구가 주로 수행되었다. 한편, 결절점 및 장소 특성의 상호관계 속에서 대중교통 결절점들은 상이한 특성을 가지기 때문에, 이에 따라 지역마다 차별화된 관리를 위한 진단지표가 필요하다. 그러나 이를 고려하는 관점의 국내연구는 일부 수행되었으며(이주아 외, 2012; 김태호 외, 2013; 오지에 외, 2019), 한 방향만을 분석하였거나, 대중교통 접근성이 아닌



이용수요 기준에서의 연구가 수행되었다. 해외 도시를 대상으로는 결절점-장소 모형을 활용함으로써 결절점과 장소 특성 간의 상호관계를 고려하는 관점에서의 TOD 유형화 연구가 활발히 진행되었다. 유형화의 변수를 구축하기 위해 결절점-장소 모형이 주요 이론으로 활용되었으며 대중교통 이용에 영향을 미치는 TOD 계획요소 3Ds의 밀도(density), 다양성(diversity), 설계(design) 특성이 주로 활용되었다.

초기에는 결절점 특성과 장소 특성 간의 상관관계를 통해 교통-토지이용의 긴밀한 통합 수준을 확인하고 <그림 1>과 같이 시각화를 통해 도시 및 역세권 단위의 TOD 실현 잠재력을 평가하는 연구가 진행되었다(Bertolini, 1999; Chorus and Bertolini, 2011). 이러한 방법은 직관적이고 정성적인 평가가 가능하지만, 연구자의 주관에 의존하게 되어 명확한 기준에 따라 평가하기 어려운 한계가 있었다.

따라서 정확성을 높이고자 결절점-장소 모형과 함께 주성분분석, 군집분석 등 통계적 분류기법을 활용한 연구가 진행되었다(Vale, 2015; Lyu et al., 2016; Vale et al., 2018; Pezeshknejad et al., 2020). 많은 연구에서 결절점 및 장소 특성을 대표하는 변수는 Bertolini(1999) 등의 연구를 참고하여 선정하였으며 <표 1>과 같다. 선행연구에서 결절점 특성에는 철도와 버스 등의 운행방향(directions) 수와 운행빈도(frequency), 장소 특성에

는 TOD 계획요소 중 밀도와 다양성을 나타내는 주거 및 고용밀도와 토지이용혼합도가 주로 활용되었다. 한편, 보행친화성을 반영하기 위해 '설계'요소를 반영한 연구가 진행되었으며 결절점-장소 모형의 확장 형태로 수행되었다. Lyu et al.(2016)은 z축에 설계를 적용한 3차원의 분석을 실시하였으며 Vale et al.(2018)은 삼각형 다이어그램을 활용하였다.

유형에 따라 통행행태에 어떤 차이를 보이는지 확인하여 유형화 검증에 병행한 연구도 수행되었다. Lee et al.(2013)은 네트워크상 최단거리를 반영한 접근성을 기준으로 서울시 지하철 역세권을 유형화하고 승객수와 토지이용패턴의 관계를 분석하였다. Rodriguez and Kang(2020)은 '장소', '통합', '입지', '부동산 가치' 측면에서 서울시 지하철역을 유형화하고 분산분석을 통해 유형 간 대중교통 승객수의 차이를 확인하였다. Kamruzzaman et al.(2014)은 가구통행과의 관계를 규명하기 위해 집계구를 단위로 다항로지트모형을 추정하였다. 유형화 검증 연구들은 밀도와 다양성 측면에서 TOD에 부합하는 지역일수록 대중교통 이용률도 높다는 공통된 결과를 도출하였다(Lee et al., 2013; Kamruzzaman et al., 2014; Park et al., 2018; Rodriguez and Kang, 2020).

Table 1. Previous studies on node-place model and TOD typology

Studies	Node-index	Place-index		Design
		Density	Diversity	
Bertolini (1999)	Number of directions; frequency; station counts within 20 min; proximity to motorway; car parking capacity; number of bicycle paths; bicycle parking capacity	Number of residents; number of workers	-	-
Chorus and Bertolini (2011)	Number of connections; type of train connections; proximity to CBD by rail		Multifunctionality	-
Kamruzzaman et al. (2014)	Combine following index: number of directions; frequency; diversity of services	Employment density; residential density	Land-use diversity	Intersection density; cul-de-sac density
Vale (2015)	Number of directions; frequency; station counts within 20 min			Pedestrian shed ratio
Lyu et al. (2016)	Number of directions; frequency; travel time to center	Number of residents; number of workers	Functional mix	Intersection density; length of foot path per acre; block size; walkscores; distance to jobs and residents
Park et al. (2018)	-	Population density; workers density	Land-use diversity	Intersection density
Vale et al. (2018)	Number of directions; frequency; station counts within 20 min; proximity to motorway; car parking availability	Number of residents; number of workers; number of POIs	Functional mix	Intersection density; pedshed ratio; accessible network length
Pezeshknejad et al. (2020)	Frequency of services; station counts within 20 min; travel time to CBD			Streets integration & density; betweenness; number of intersections



### 3. 소결

도시교통 부문에서 승용차 이용을 억제하고 대중교통 이용을 촉진하는 정책수단으로써 TOD가 논의되고 있으며 교통혼잡 해소, 친환경 도시 조성, 탄소중립도시 실현 등을 위한 근간이 되고 있다. 도시권 차원에서 TOD를 실현하기 위해서는 대중교통 네트워크와 토지이용의 유기적인 통합이 필요하다. 이에 따라 결절점-장소 모형을 이론적 토대로 삼아 결절점 특성과 장소 특성의 상호관계를 반영한 TOD 유형화 연구가 활발히 진행되었다. 또한, 결절점 주변지역의 특성을 변수로 구축하기 위해 밀도·다양성 등 TOD 계획요소가 함께 활용되었다. 더 나아가, 유형 간 통행행태의 차이를 밝혀냄으로써 TOD가 대중교통 이용증대에 실질효과가 있음을 확인하였다. 그러나 국내 도시를 대상으로 결절점 특성과 장소 특성의 상호관계를 토대로 한 연구는 거의 진행되지 않았으며, 대중교통 이용패턴이나 개발양상 등의 측면에 한정된 실정이다.

한편, TOD와 관련된 선행연구들은 철도에 초점을 두고 진행되었으며, 국내연구 대부분은 서울시의 철도역세권에 국한하여 수행되었다. 그러나 도시활동은 도시권 차원에서 상호작용이 일어나기 때문에 서울대도시권을 연구대상으로 삼을 필요가 있다. 더불어, 서울대도시권은 광역철도만으로 해결되지 않는 교통 문제의 상당 부분을 광역버스로 해결하고 있다. 이러한 기존 교통체계를 반영하여 철도와 버스 네트워크를 복합적으로 고려한 분석이 필요하다.

따라서 이 연구는 서울대도시권의 광역·도시철도와 광역· 시내버스 영향권을 대상으로 결절점-장소 모형을 이용한 유형화를 실시하여 잠재력을 평가하고, 유형 간 통행수단선택의 차이를 확인함으로써 유형화를 검증하고자 한다. 서울대도시권을 대상으로 대중교통 네트워크상의 결절점 특성과 활동 장소 특성의 상호관계를 고려하며, 철도와 버스라는 두 대중교통수단을 복합적으로 고려한다는 점에서 선행연구와 차별성이 있다.

## III. 연구방법론

### 1. 연구 흐름

전반적인 연구 흐름은 다음과 같다(그림 2) 참조. 첫째, 결절점-장소 모형과 TOD 계획요소에 근거하여 대중교통 결절점(node) 특성과 활동 장소(place) 특성, 설계(design) 특성 변수를 구축하고 결절점-특성과 장소-특성 간의 상관관계를 확인한다. 둘째, 주성분분석(PCA)과 위계적 군집분석을 통해 TOD 유형화를 수행하고 TOD 실현 잠재력을 평가한다. 이때 기초통계량과 공간분포에 근거하여 유형 간 비교분석하고, 결절점-장소 모형의 결과와 비교분석한다. 셋째, 비모수적 분산분석을 통해

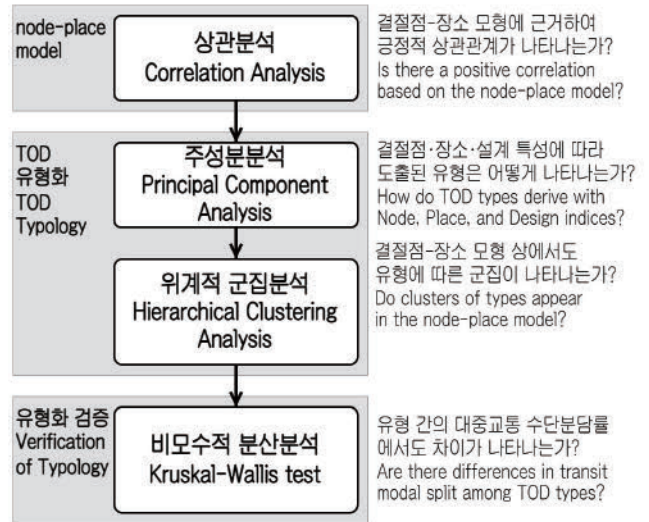


Figure 2. An analysis process

유형 간 대중교통 수단분담률의 차이를 분석함으로써 유형화를 검증하고 TOD의 효과를 확인한다.

### 2. 연구 범위

이 연구의 공간적 범위는 서울·인천·경기도를 포함하는 서울대도시권이며, 시간적 범위는 2021년을 기준으로 하되 데이터 구득이 가능한 2020~2022년 내에서 자료를 구축하였다.

TOD 연구는 대중교통 결절점과 그 주변지역을 관찰 대상으로 하는 특성상, 역세권을 분석단위로 삼는 것이 일반적이다. 하지만 이 연구는 대도시권을 범위로 하여 거시적 접근이 필요하고 통행자로 구득에 한계가 있음을 고려하여 행정동을 분석단위로 삼았다. 단, 각 행정동의 대중교통(철도·광역버스·시내버스) 영향권 내부로 범위를 한정함으로써 TOD 연구로서의 관찰 대상을 명확히 하였다(그림 3) 참조.

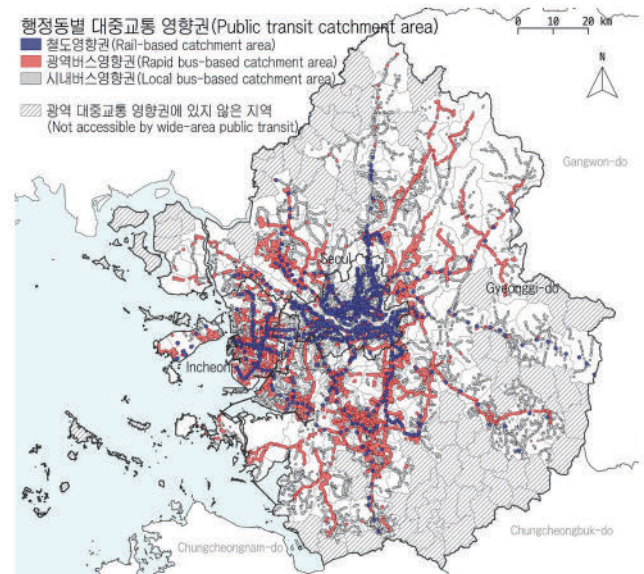


Figure 3. Catchment area as a scope of analysis



철도 영향권은 반경 500m로 설정하였다. 「서울 도시계획조례 시행규칙」에서 역세권을 반경 500m 이내 지역으로 정의하고 있으며, 이는 일반적으로 국내연구에서 활용되는 범위이다(이정우 외, 2015). 한편, 버스는 정류장 간격이 좁고 표정속도가 낮아 철도와 같은 반경을 적용할 수 없다. 표정속도가 낮은 교통수단일수록 이용자는 보행에 긴 시간을 소요하지 않으려는 경향이 있으며(Daniels and Mulley, 2013), 추정되는 도보거리 또한 버스가 철도보다 짧기 때문이다(김경환 외, 2010). 선행연구에서도 버스 영향권은 반경 300~400m로 설정하였다(윤종진·우명제, 2015). 이를 고려하여 광역버스 영향권은 반경 400m, 시내버스 영향권은 반경 300m로 설정함으로써 수단 간 차이를 반영하였다.

### 3. 변수 구축

결절점-장소 모형 및 TOD 유형화 관련 선행연구들을 토대로 유형화 및 유형화 검증에 필요한 변수를 <표 2>와 같이 구축하였다. 지표를 산출하는 범위는 개별 행정동에 중첩되는 대중교통

영향권의 범위로 한정하였다. 모든 변수는 z-score로 정규화하였는데, 이는 상관분석에서 여러 변수를 통합하고, 유형화 과정에서 과대·과소추정을 방지하기 위함이다.

결절점-특성은 대중교통 결절점이 교통 네트워크상에서 얼마나 접근성이 높은지 나타낸다(Bertolini, 1999). 즉 대중교통을 이용하여 얼마나 많은 목적지에 도달할 수 있으며, 얼마나 자주 운행되어 편리하게 이동할 수 있는지를 주요 지표로 사용할 수 있다. 이에 따라 운행방향(directions) 수와 운행빈도(frequency)가 선행연구에서 공통으로 활용되었으며, 이 연구에서도 두 지표를 변수로 채택하였다. 운행방향 수는 해당 행정동에서 환승 없이 대중교통 네트워크를 통해 도달할 수 있는 모든 행정동의 수, 운행빈도는 모든 운행계통의 일 운행횟수를 평일 기준으로 합산하였다.

단, 이 두 지표는 소요시간 및 거리의 차이가 고려되지 않기 때문에 선행연구에서는 철도로 특정 시간 내에 도달할 수 있는 역의 개수를 변수에 포함하거나(Vale et al., 2018), 도심 접근시간 및 직선거리를 반영하였다(Pezeshknejad et al., 2020; Rodriguez

Table 2. Variables for analysis

Variables		Unit	Explanation	Source**
결절점-특성 Node-index	철도; 광역버스; 시내버스 Rail; Rapid bus;	운행방향 수 Number of directions	Based on transit network within transit catchment area in Dongs (administrative districts), The 'number of directions' is the count of Dongs accessible by transit. The 'frequency of services' is the total sum of the average daily frequencies of available services in the Dongs.	NSDI (2022) KTDB (2020) Seoul (2022) Incheon (2021) Gyeonggi (2022)
	Local bus	운행빈도 Frequency of services		
	중심지 직선거리 Distance to CBD	km	Straight distance from the centroid of Dong to that of dong within CBD in Seoul.	-
장소-특성 Place-index	밀도* Density	인구수 Population	Statistics of 100m grid units and transit catchment areas were combined and aggregated.	SGIS (2021)
		종사자수 Workers		
	인구밀도 Population density	person /km <sup>2</sup>	The aggregated population and workers were calculated by dividing them by the transit catchment area.	
	고용밀도 Workers density	person /km <sup>2</sup>		
다양성 Diversity	토지이용혼합도 Land-use mix	-	Entropy index by ratio of residential, commercial, and office from uses of buildings.	EAIS (2021)
	용도별 연면적 비율 Ratio of floor area by use	-	Ratio of floor area for each use of residential, commercial, and business.	
설계-특성 Design-index	교차로 밀도 Intersection density	count /km <sup>2</sup>	Number of intersections by the transit catchment area (km <sup>2</sup> ).	MOIS
대중교통 수단분담률 Transit modal split		-	The proportion of bus, rail, and subway traffic to the total O/D traffic was calculated.***	KTDB (2020)

\* Density variables were created separately for transit (whole of modes), rail, and rapid bus.

\*\* NSDI(국가공간정보포털, National Spatial Data Infrastructure Portal), KTDB(국가교통DB, Korea Transport DataBase), SGIS(통계지리정보서비스, Statistical Geographic Information Service from Statistics, Korea), EAIS(건축데이터 민간개방, Electronic Architectural Administration Information System from Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Korea), MOIS(주요기반산업지원서비스, Road data from Ministry of the Interior and Safety, Korea)

\*\*\* Using the Passenger Travel Surveys(기종점통행량조사) from KTDB.



and Kang, 2020). 하지만 버스정류장 간의 소요시간 및 거리는 개별 노선이 경유하는 도로망의 차이로 인해 계산방식이 모호하기 때문에 중심지 직선거리를 변수로 채택하였다. 다만, 서울대도시권의 다핵화로 인해 다수의 중심지가 존재하며 지자체마다 별도의 중심지체계를 제시하고 있다(신학철 외, 2022). 따라서 도시권 차원에서 가장 명확한 중심지이며 다수의 광역교통 인프라가 집중되는 서울 3도심을 기준으로 직선거리를 산출하였다.

장소-특성은 대중교통 결절점의 주변지역에서 얼마나 많은 다양한 활동이 일어날 수 있는지 나타내며(Bertolini, 1999), TOD 계획요소 3Ds 중 밀도·다양성과 관련이 있다. 따라서 밀도의 경우 선행연구(Park et al., 2018; Vale et al., 2018; Rodriguez and Kang, 2020)의 결과를 고려하여 인구밀도와 고용밀도를 사용하였다. 또한, 행정동 간의 규모 차이를 반영하기 위한 인구수와 종사자수를 추가하였으며, 대중교통수단별 영향권 내 밀도 차이를 반영하기 위해 대중교통 영향권, 철도 영향권, 광역버스 영향권으로 나누어 산출하였다. 인구와 고용을 산출하기 위해 100m 격자 단위의 통계자료와 대중교통 영향권을 결합하였으며, 격자가 영향권 경계에 의해 절단된 경우를 보정하기 위해 면적 가중치를 적용하였다.

다양성의 측정에는 산업분류별 종사자수를 기준으로 하거나(Chorus and Bertolini, 2011) 주거·상업·업무의 일반적인 건축물용도 분류기준을 적용할 수 있다(Park et al., 2018; Rodriguez and Kang, 2020). 한편, 역세권 등 대중교통 결절점의 영향권은 일반적으로 상업·업무 개발특성을 갖고 있으며, 영향권의 규모와 기능을 결정하는 주요 요소이다(김동준 외, 2020). 따라서 이 연구는 주거와 상업·업무 비율에 따른 도시활동 다양성을 반영하기 위해 주거·상업·업무 용도별 연면적에 따른 토지이용혼합도를 산출하고, 개별 용도 비중을 반영하기 위해 용도별 연면적 비율을 추가하였다. 토지이용혼합도는 일반적으로 사용되는 엔트로피(entropy) 지수를 활용하여 식 (1)과 같이 계산하였으며, 0에 가까울수록 다양성이 낮고 1에 가까울수록 용도가 혼합되어 있음을 나타낸다(Park et al., 2018).

$$Entropy = \frac{-\sum_k^K \text{용도}k \text{의 비율} \times \ln(\text{용도}k \text{의 비율})}{\ln(K)} \quad (1)$$

K: 용도의 종류 개수

TOD 계획요소 중 설계-특성을 반영하기 위해 선행연구에서 대부분 활용된 교차로밀도를 채택하였다. 교차로밀도가 높을수록 슈퍼블록보다 소규모 블록이 많은 도시형태를 나타낸다. 적절한 소규모 블록 중심의 가로망은 통과교통이 배제되고 차량 통행속도가 저감되는 효과가 있으며 대중교통 이용을 증대시킬 수 있

다(성현근 외, 2013).

종합하여, 결절점-특성은 대중교통의 접근성과 관련된 지표들로 구성하였고, 밀도·다양성을 포함하는 장소-특성과 함께 설계-특성 변수를 구축함으로써 TOD 계획요소 3Ds와 연계하였다. 단, TOD 계획요소의 확장된 5Ds와 7Ds는 변수에 포함하지 않았는데, 이 연구의 목적이 결절점-장소 모형에 기초한 상호관계에 초점을 두고 있기 때문이다. 특히 5Ds의 대중교통 접근성과 도착지 접근성은 이 연구설계에서의 결절점 특성과 장소 특성이 혼재된 것이므로 제외하였다.

마지막으로 유형화 검증 과정에서는 통행 측면에서의 유형 간 차이를 확인하기 위해 기종점통행량조사 자료를 활용하여 행정동별 대중교통 수단분담률을 산출하였다.

## 4. 분석 모형

### 1) 결절점 및 장소 특성 간 상관분석

결절점-장소 모형을 바탕으로 대중교통 결절점의 특성과 활동장소의 특성 간에 상호작용이 있는지 확인하기 위해 피어슨 상관분석(Pearson's correlation analysis)을 수행하였다. 이 기법은 두 변수 간에 선형의 상관관계가 있는지 통계적으로 확인하는 방법이며, 결절점-장소 모형 관련 연구에서 주로 활용되었다(Pezeshknejad et al., 2020). 상관분석을 실시할 때 결절점-특성과 장소-특성의 통합 변수를 각각 구축하여 투입함으로써 총체적으로 상관성이 있는지 확인하고자 하였다. 변수를 통합하는 과정에서는 정규화된 변수 집합으로부터 동일 가중치의 평균을 산정하였다(Vale, 2015).

### 2) TOD 유형화

먼저 주성분분석(Principal Component Analysis, PCA)을 수행하였다. 이는 다중공선성을 줄이면서 자료 크기를 분석에 적합하도록 축소하여 변수의 구조와 의미를 이해하기 위함이다. 주성분분석은 서로 상관성이 있는 변수 집합으로부터 선형변환을 통해 독립적인 인공변수들을 도출하며, 이러한 차원축소를 통해 분석과 해석을 용이하게 하는 통계기법이다(이승주, 2015). TOD 유형화 관련 선행연구에서도 주성분분석 및 요인분석을 군집분석의 선행 단계로 활용하였다(Lyu et al., 2016; Rodriguez and Kang, 2020).

다음으로, 도출된 주성분을 기준으로 유형화를 실시하였다. Vale(2015), Lyu et al.(2016)의 연구를 참고하여, 위계적 군집분석(hierarchical cluster analysis)을 사용하였다. 위계적 군집분석은 최초에 모든 관측치를 개별 군집으로 간주해서 군집 간 거리행렬을 기준으로 병합을 진행하고, 하나의 군집만이 남을 때까지 병합을 반복한다(Ewing and Park, 2020). 한편, 이 방법은 군집수를 결정해줄 수 없기 때문에(Lyu et al., 2016) NbClust를 활



용하여 최적 군집 수를 탐색하였다. NbClust는 군집 수를 결정하기 위한 30개의 인덱스를 제공하고, 군집 방법의 다양한 조합을 통해 최적의 군집 수를 도출하는 통계 패키지이다(Charrad et al., 2014).

### 3) 유형화 검증

도출된 유형들을 검증하기 위해 분산분석을 수행하되 자료가 정규성을 만족하지 않아 비모수적 방법을 사용하였다. 분산분석은 주로 3개 이상의 집단 간에 연속형 종속변수의 유의미한 차이를 확인하기 위한 기법이다(채구묵, 2014). TOD유형 간 승차차수 차이를 확인하기 위해 분산분석을 사용한 Rodriguez and Kang(2020)의 연구를 참고하였다. 단, TOD의 목적은 대중교통의 이용을 높임으로써 궁극적으로 승용차 통행을 억제하는 것이기 때문에(이승일, 2022), 이 연구는 수단전환의 효과가 중요하다는 판단하에 대중교통 수단분담률을 종속변수로 채택하였다.

## IV. 분석결과

### 1. 기초통계 및 상관분석

정규화하기 전 변수의 기초통계량은 <표 3>과 같다. 철도 또는 광역버스 영향권이 포함된 행정동만 추출한 결과 서울대도시권의 1,131개 행정동 중에서 118개를 제외한 1,013개로 정리되었다. 시내버스는 유일하게 ‘영흥면’에서 0으로 나타났으며, 자료의 분포에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 판단되었다.

모든 변수는 z-score 정규화를 하였으며 상관분석을 위해 결절점-특성과 장소-특성은 각각 하위 변수들을 동일 가중치 평균으로 통합하였다. 피어슨 상관분석 결과 유의수준 0.01에서 상관계수가 0.573으로 나타나, 결절점-특성과 장소-특성 간에 양(+)의 상관관계가 있었다. 이는 결절점-장소 모형(Bertolini, 1999)에 근거하여 진행되었던 선행연구와 일치하는 결과이며, 교통(결절점)과 토지이용(장소)의 상호작용을 뒷받침한다.

결절점-특성(y축)과 장소-특성(x축)의 산점도는 <그림 4>와 같

Table 3. Descriptive statistics

Variables (N=1,013)		Unit	Min	Max	Mean	SD		
Node-index	Rail based network	Number of directions	count	0	519	118	101	
		Frequency of services	count	0	2,564	468	453	
	Rapid bus based network	Number of directions	count	0	378	47	48	
		Frequency of services	count	0	3,678	259	414	
	Local bus based network	Number of directions	count	0	424	118	701	
		Frequency of services	count	0	8,463	1,470	1,105	
	Distance to CBD	km	0	67	19.5	14.7		
Place-index	Transit catchment area*	Population	person	235.2	127,162	21,645	13,783	
		Workers	person	173.9	178,043	11,070	15,890	
		Population density	person/km <sup>2</sup>	154.9	48,651	17,056	11,207	
		Workers density	person/km <sup>2</sup>	49.9	121,421	7,923	10,385	
	Density	Rail based catchment area	Population	person	0	41,052	7,655	7,666
			Workers	person	0	148,819	5,551	12,246
			Population density	person/km <sup>2</sup>	0	54,779	15,509	12,755
			Workers density	person/km <sup>2</sup>	0	123,057	9,131	12,469
		Rapid bus based catchment area	Population	person	0	91,983	12,616	12,788
			Workers	person	0	166,211	6,970	12,871
			Population density	person/km <sup>2</sup>	0	62,329	1,374	11,613
			Workers density	person/km <sup>2</sup>	0	123,459	8,017	12,674
	Diversity	Land-use mix		0.068	0.997	0.786	0.149	
		Residential Ratio		0	0.985	0.176	0.145	
		Commercial Ratio		0.002	0.963	0.113	0.072	
		Office Ratio		0	0.983	0.418	0.222	
Design-index	Intersection Density	count/km <sup>2</sup>	5.862	2,853	431	480		

\* The Transit catchment area was calculated to include railways, rapid buses, and local buses.



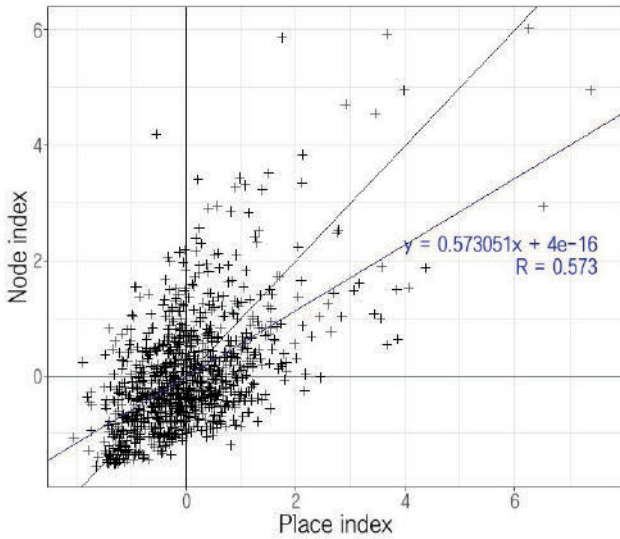


Figure 4. Node-place model results

다. 45도 대각선을 기준으로 적용하는 Bertolini(1999)의 방법에 근거하면 많은 행정동이 대체로 균형을 이루고 있으며, 우상단의 강세(stress) 부근으로 갈수록 일부 좌상 및 우하에 치우쳐 불균형을 이루는 행정동이 있다. 한편, 선형회귀 추세를 기준으로 판단한 Reusser et al.(2008)의 방법에서 착안하여 45도 대각선과 추세를 비교하면 전체의 경향을 확인할 수 있다. 추세가 중앙으로부터 장소-특성에 편향되어 있으며 이는 전체적으로 대중교통 공급에 비해 도시활동의 강도가 높은 경향을 나타낸다. 즉, 도시권 차원에서 대중교통의 공급이 더 이루어질 필요가 있음을 의미한다.

단, 45도 대각선이 균형을 기준으로 사용되기에 충분히 정확한 지에 대해 불명확하므로, 상관관계를 확인하였다는 점과 전체의 추세와 일부 극단치의 상반된 경향을 확인한 점에 의의가 있다. 보다 정확성을 높이기 위해 다음 절에서 군집분석을 통한 유형화를 실시하였다.

## 2. TOD 유형화 결과

군집분석에 앞서 주성분분석(PCA)을 실시하여 자료의 차원을 축소하였다. 카이저 기준(Kaiser rule)에 따라 성분의 고유햄(sums of squared loadings)이 1보다 큰 성분이 6개이므로 6개의 주성분을 추출하였다. 또한, 상관분석에서 변수 간의 상관관계가 확인되었기 때문에, 변수 간의 독립성이 없을 때 활용하는 사각회전(oblique rotation) 중 하나인 오블리민(oblimin) 방법을 적용하였다. 분석결과, 주성분이 전체의 77%를 설명하며, 측도(fit based upon of diagonal values)는 0.95보다 높아 적합도가 좋은 것으로 판단된다.

개별 변수가 각 주성분에 얼마나 실질적 중요도를 갖는지는 인자적재값(factor loading)으로 확인할 수 있으며 결과는 <표 4>와

같다. 인자적재값의 절댓값이 0.4보다 크면 해당 주성분의 중요한 변수로 간주한다(Field et al., 2012). 이 기준에 따라 변수들을 분류한 결과는 다음과 같다.

성분 1은 종사자수 및 고용밀도와 관련된 변수, 성분 2는 철도 및 시내버스와 도심 접근성과 관련된 변수, 성분 3은 인구밀도와 관련된 변수, 성분 4는 광역버스와 관련된 변수, 성분 5는 인구규모와 관련된 변수, 성분 6은 용도혼합 관련 변수로 분류되었다. 공간적인 집적 범위에 따라 추출되지 않고 실제 변수가 의미하고 있는 내용에 따라 추출된 것으로 판단된다. 한편, 성분 2는 철도를 중심으로 하는 기성시기의 대중교통체계를 반영하며, 성분 4는 도로 인프라를 주축으로 하는 광역버스 체계를 반영하고 있다. 이는 서울대도시권의 광역 대중교통체계에서 철도 중심의 공간구조와 광역버스 중심의 공간구조가 상이하게 분포하고 있음을 의미한다.

6개의 주성분은 변수들의 공통된 의미를 반영하여 고용 특성, 교통 특성, 인구밀도 특성, 광역버스 특성, 인구규모 특성, 용도혼합 특성으로 명명하였다. 6개 특성에 대한 인자점수(factor score)를 기준으로 군집분석을 수행하였다. 최적의 군집 수를 도출하기 위해 유클리드 거리 척도와 ward.D2 방법에 따른 NbClust를 실시하였다. 30가지의 인덱스에 의한 다수결의 규칙(majority rule)에서 3개의 군집 수가 도출되었고, 군집 수에 따른 D index의 변화 추세에 의하면 통계적으로 유의한 무릎(significant knee)은 5개의 군집 수로 확인되었다. 이 연구는 다양한 유형 간 비교를 통해 TOD의 잠재력을 평가하고자 하는 목적을 달성하기 위해 5개의 군집 수를 채택하였으며, ward.D2 방법에 따른 위계적 군집분석을 실시하였다. 이에 따라 서울대도시권의 행정동을 5개의 TOD 유형으로 분류하였으며, 공간적 분포와 기초통계량은 <그림 5>, <표 5>와 같다.

### 1) 유형별 특성 분석

중심지 TOD(유형 1)는 높은 고용 특성과 낮은 인구밀도 및 인구규모 특성에서 확인할 수 있듯 고용중심지의 특징을 갖고 있다. 또한, 철도와 광역버스 양 측면에서 교통 접근성이 매우 높다. 공간적 분포를 살펴보면 「2040 서울도시기본계획」의 서울 3도심을 포함하고 있으며, 다양한 지표를 활용하여 공간구조 및 역세권을 식별한 선행연구와 부합한다(김동준 외, 2020; 김선재·이수기, 2021; 신학철 외, 2022). 그러나 잠실·가산·문정·신촌 등 일부 광역중심지 및 지역중심지 중심지 TOD로 분류되었는데, 이는 고용 특성뿐 아니라 철도와 광역버스 접근성이 반영된 결과로 판단된다.

고밀도 TOD(유형 2)는 서울시의 비중이 매우 높지만, 경인선·경부선 철도 축과 성남시 일대를 포함하고 있다. 타 유형에 비해 인구규모 특성 대비 인구밀도 특성이 가장 높으며 고용 특성은 중간 수치를 나타내고 있다. 한편, 철도와 시내버스 기반의 교통 접근성은 높지만, 광역버스 접근성은 낮다. 이는 오래전부터 간선



Table 4. Principal component analysis results (factor loading)

Variables			Factor 1 고용 Employment	Factor 2 교통 Transit	Factor 3 인구밀도 Pop. density	Factor 4 광역버스 Rapid bus	Factor 5 인구규모 Population	Factor 6 용도혼합 Land-use mix
Node-index	Rail based network	Number of directions	0.09	0.81	-0.06	-0.02	0.02	-0.04
		Frequency of services	0.13	0.85	-0.05	0.04	0.01	-0.02
	Rapid bus based network	Number of directions	0.05	0.10	0.01	0.90	0.07	0.02
		Frequency of services	0.11	0.14	-0.06	0.86	0.00	0.03
	Local bus based network	Number of directions	0.09	0.77	0.07	0.31	-0.05	-0.05
		Frequency of services	0.11	0.69	0.08	0.29	0.02	-0.08
Distance to CBD			-0.03	0.75	0.09	-0.1	-0.19	-0.06
Place-index	Transit catchment area	Population	-0.01	0.03	0.06	-0.03	0.92	-0.05
		Workers	0.9	-0.02	-0.21	-0.03	0.22	-0.01
		Population density	-0.01	0.16	0.83	-0.16	0.03	0.07
		Workers density	0.88	0.08	0.15	-0.02	-0.18	-0.05
	Rail based catchment area	Population	0.1	0.49	0.29	-0.17	0.51	0.05
		Workers	0.9	0.12	-0.08	-0.01	0.05	0.04
		Population density	0.01	0.29	0.69	-0.24	0.14	0.06
	Rapid bus based catchment area	Population	0.01	-0.27	0.11	0.30	0.72	-0.06
		Workers	0.80	-0.08	-0.13	0.19	0.19	0.00
		Population density	0.04	-0.24	0.86	0.25	0.09	-0.02
		Workers density	0.80	-0.02	0.20	0.11	-0.15	-0.06
	Diversity	Land-use mix	0.06	0.03	-0.16	-0.24	0.31	0.50
		Residential ratio	-0.11	0.00	0.17	0.17	0.11	0.70
		Commercial ratio	0.17	-0.23	-0.09	-0.03	-0.14	0.64
		Office ratio	0.07	-0.03	-0.06	-0.01	0.14	-0.89
Design-index		Intersection density	0.02	0.28	0.38	-0.22	-0.33	-0.30

Note: Rotation method: Oblimin; Fit based upon off diagonal values: 0.98; Proportion Var: 0.77

철도 축을 중심으로 발전해온 기성시가지와 도시철도 접근성이 높은 서울시 지역의 특성으로 볼 수 있다.

혼합형 TOD(유형 3)는 철도보다 광역버스에 의한 접근성이 강하게 나타나는 유형이다. 고용 특성은 낮지만 인구밀도와 인구규모 특성이 매우 높으며 용도혼합 특성에서 가장 높은 점수를 나타내고 있다. 남양주·구리 등 교외지역은 철도가 공급되지 않은 상태에서 시가지가 조성된 후, 도심으로의 통행수요를 감당하기 위해 광역버스가 공급한 것으로 판단된다. 신시가지 조성이 먼저 진행되고 뒤늦게 광역철도 인프라를 확장하는 도시개발 패턴이 서울대도시권의 외곽지역에서 일반적이었기 때문이다(최막중 외, 2016).

서울시 전역에도 혼합형 TOD로 분류된 지역이 상계·하계·상일·구의·가락·반포·목동·신정 등 다수 분포한다. 이는 포천·파주·김포·광주 등 교외지역의 다양한 광역버스 노선이 집중되는

거점이며, 인근에 도시고속도로나 간선도로의 IC가 근접해있는 경우가 많다. 이러한 지역은 서울시 내에서 중심적 기능을 하지 않지만, 고속도로망을 토대로 광역버스 교통의 거점 역할을 하는 것으로 판단된다.

한편, 대부분의 1기 신도시와 특히 그 배후 지역이 혼합형 TOD에 포함되었다. 1기 신도시는 일산선·분당선·과천선 등 광역철도와 연계되어 있지만, 역세권을 벗어난 배후 지역은 대중교통의 확충 없이 민간 주도의 택지 개발이 진행되었다(고두환·최창규, 2013). 이러한 지역은 철도를 확충하기에 입지적으로 어렵지만, 간선도로를 중심으로 개발된 지역이기 때문에 광역버스가 공급된 것으로 볼 수 있다.

교외형 TOD(유형 4)는 다양한 특징이 혼재되어 있어 일반화하기는 어렵다. 교통 및 인구밀도 특성 점수가 낮은 것으로 나타났지만, 공간적 분포상으로는 철도 공급과 인구밀도가 낮지 않은 것



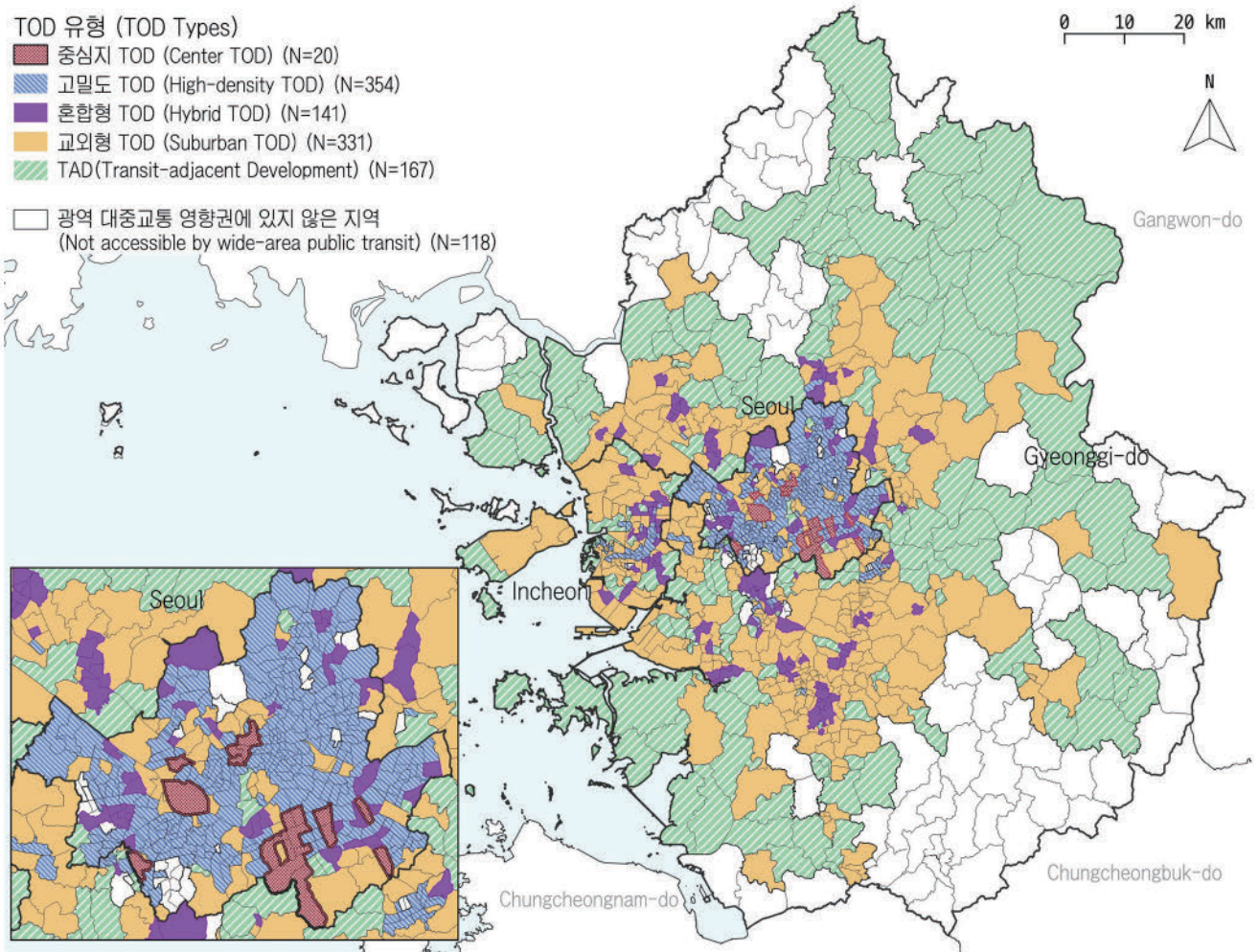


Figure 5. Spatial distribution of TOD types

Table 5. Descriptive statistics; Mean (SD)

Types		Factor 1 Employment	Factor 2 Transit	Factor 3 Pop. density	Factor 4 Rapid bus	Factor 5 Population	Factor 6 Land-use mix
중심지 TOD Center TOD	(N=20)	4.82 (2.55)	1.62 (1.06)	-0.59 (0.91)	3.06 (2.56)	0.03 (1.35)	-0.24 (0.96)
고밀도 TOD High-density TOD	(N=354)	0.14 (0.82)	0.80 (0.84)	0.74 (0.82)	-0.55 (0.80)	-0.27 (0.80)	-0.34 (0.80)
혼합형 TOD Hybrid TOD	(N=141)	-0.24 (0.33)	-0.27 (0.63)	0.66 (0.69)	0.35 (0.67)	0.30 (0.73)	1.04 (0.70)
교외형 TOD Suburban TOD	(N=331)	-0.09 (0.59)	-0.42 (0.73)	-0.49 (0.58)	0.39 (0.75)	0.46 (1.19)	-0.47 (0.82)
TAD	(N=167)	-0.48 (0.14)	-0.84 (0.50)	-1.09 (0.50)	-0.29 (0.50)	-0.60 (0.49)	0.80 (0.78)

으로 추정되는 지역이 다수 포함되어 있다. 이러한 지역들은 혼합형 TOD에 비해 인구밀도가 낮아서 교외형 TOD로 분류된 것으로 판단된다. 한편, 혼합형 TOD와 마찬가지로 교외형 TOD도 광역버스 접근성이 높게 나타났다. 이는 철도가 공급되어 있지 않고 인구밀도 또한 낮지만 광역버스가 확충된 지역이 함께 분류된 것으로 판단된다.

TAD(유형 5)로 정의한 유형은 용도혼합을 제외하면 모든 특성에서 음(-)의 점수로 TOD와 반대되는 경향을 보였다. TAD(transit-adjacent development)는 도시형태가 압축적이지 않으며 시가지가 흩어져 있어서 보행 및 대중교통에 친화적이지

않은 도시개발을 의미한다(Renne, 2009). 이 유형에 속한 모든 행정동이 부정적 의미에서 TAD형 공간구조라고 단정할 수는 없다. 저개발 상태의 농촌이거나 개발제한구역, 자연녹지지역이 포함되기 때문이다. 하지만 TAD 유형은 철도 또는 광역버스 인프라가 갖추어져 있다는 점에서 향후 교외형 TOD로 발전할 가능성이 있다. 특히 고용중심지에 인접한 지역은 향후 대중교통 결절점을 중심으로 개발을 진행할 수 있는 잠재적 TOD로 평가할 수 있다. 대표적으로 3기 신도시 개발이 진행되고 있으며 TAD 유형에 속하는 왕숙·창릉·교산 등의 지역이 이에 해당한다.

분석대상에서 제외된 행정동의 분포는 <그림 5>의 흰색 영역을



통해 확인할 수 있으며, 광역철도와 광역버스 모두 존재하지 않아 시외버스나 시내버스를 통해서만 이동할 수 있는 지역을 나타낸다. 이는 Lee et al.(2017)에서 철도 인프라를 기준으로 도출된 교외 유형보다 더 좁아진 범위이며, 서울대도시권에서 철도의 음영 지역을 광역버스가 보완하고 있음이 반영된 결과로 볼 수 있다.

2) 결절점-장소 모형과의 비교분석

5개의 유형을 결절점-장소 모형에 적용한 결과는 <그림 6>과 같다. 6개 주성분을 토대로 유형화한 결과는 결절점과 장소 특성의 관계에서도 유의미한 군집 양상을 보이는 것으로 판단된다. 중심지 TOD가 가장 높은 결절점-특성과 장소-특성 점수를 나타내며 우상단의 강세(stress) 지점에 분포하고 있다. 다음으로 높은 유형은 순서대로 고밀도 TOD, 혼합형 TOD, 교외형 TOD이며

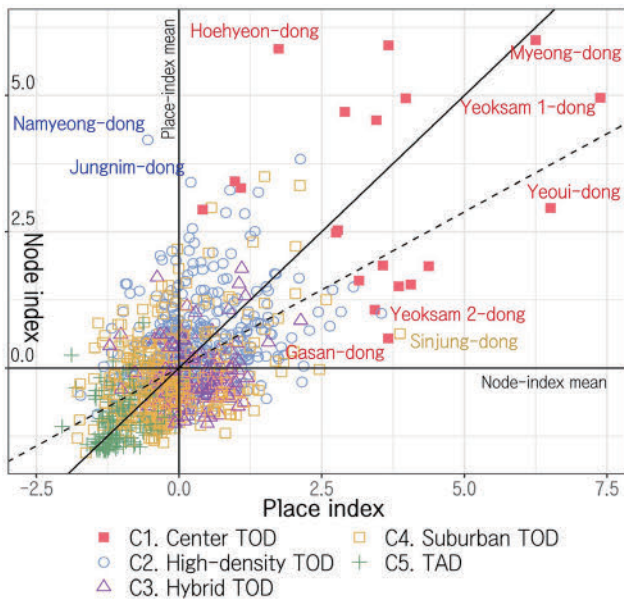


Figure 6. TOD types on node-place model

Table 6. Unsustained nodes and places (top 10 Dong)

Unsustained nodes	Dist.	Unsustained places	Dist.		
남영동	Namyeong	3.34	여의동	Yeoui	2.53
회현동	Hoehyeon	2.91	신중동	Sinjung	2.29
중림동	Jungnim	2.26	가산동	Gasan	2.21
양재2동	Yangjae2	1.76	역삼2동	Yeoksam2	1.80
장충동	Jangchung	1.75	잠실6동	Jamsil6	1.79
안암동	Anam	1.74	문정2동	Munjeong2	1.77
도곡1동	Dogok1	1.73	삼평동	Sampyeong	1.76
창신2동	Changsin2	1.69	역삼1동	Yeoksam1	1.71
신촌동	Shinchon	1.68	방이2동	Bangi2	1.71
을지로동	Euljiro	1.67	논현2동	Nonhyeon2	1.67

Note: Dist. is the Euclidean distance between the coordinates of the Dong (administrative district) and the 45-degree diagonal on Figure 6.

TAD 유형이 가장 낮다.

고밀도 TOD는 결절점 및 장소 특성 점수가 대부분 평균 이상이다. 한편, 교외형 TOD는 상당히 분산되어 있는데, 이는 공간적 분포에서 다양한 지역이 혼재된 것으로 확인된 바와 일치한다. TAD 유형은 대체로 매우 낮은 점수이지만 과천동·수궁동(은수역)·화전동 등 일부 지역은 평균 이상의 결절점-특성을 나타내고 있어 향후 TOD 잠재력이 있는 것으로 평가된다.

대체로 45도 대각선 부근에 분포하여 균형을 이루지만, 일부 불균형을 이루는 행정동이 확인된다. 이에 대한 경향을 확인하기 위해 결절점과 장소 각각 불균형에 근접한 상태의 상위 10개 행정동을 45도 대각선과의 거리 기준으로 나열하여 <표 6>으로 정리하였다. 불균형 결절점(unsustained nodes)은 대중교통 공급에 비해 도시활동이 저조한 경향, 불균형 장소(unsustained places)는 대중교통 공급에 비해 도시활동이 포화상태인 경향을 나타낸다.

이러한 기준에 따라, 여의동·신중동·가산동·역삼2동·잠실6동 등은 광역 차원의 대중교통 공급이 더 필요한 것으로 판단되며 주로 서울 3도심에 분포하거나 중심지 TOD에 포함되어 있다. 반면, 남영동·회현동·중림동·양재2동·장충동 등은 높은 수준의 대중교통 공급에 비해 장소-특성 점수가 낮아 향후 개발 가능성이 있는 것으로 판단된다. 특히 중림동·을지로동의 경우 이우섭 외(2021)의 연구에서 개발역량이 높은 것으로 평가되었는데, 밀도·다양성을 바탕으로 한 결절점-장소 모형에서도 부합하는 결과가 도출되어 유의미하다고 판단된다.

3. 유형에 따른 수단분담률의 차이

유형화 결과가 실제 통행태와도 연관성이 있는지 검증하기 위해, 유형 간 수단분담률의 차이를 확인하는 분산분석을 진행하였다. 우선 <그림 7>과 같이 신뢰구간 95%에서의 오차 막대 그래프를 작성하여 경향을 살펴보았는데, 대중교통 수단분담률이 중심지 TOD에서 가장 높고 TAD에서 가장 낮았다. 결절점-장소 모형상 군집의 순서에 따라 대중교통 수단분담률에서도 선형의 추세가 나타남이 확인된다.

사피로-윌크 검정(Shapiro-Wilk test) 수행 결과 일부 유형의 모집단이 정규분포를 따르지 않아 분산분석의 가정을 만족하지 못하였다. 따라서 비모수적 분산분석 방법으로 크루스칼-왈리스 검정(Kruskal-Wallis test)을 실시하였으며 결과는 <표 7>과 같다. 카이제곱은 406.88, 자유도는 4, 유의수준은 0.05보다 작으므로 전반적으로 TOD 유형 간의 대중교통 수단분담률에 통계적으로 유의한 차이가 있었다.

이제 개별 유형 쌍의 대중교통 수단분담률을 비교하기 위해 사후검정으로 본페르니(Bonferroni) 방법에 의한 던 검정(Dunn's test)을 실시하였으며 결과는 <표 7>과 같다. 중심지 TOD와 고밀도 TOD 간의 비교를 제외한 모든 비교 쌍에서 통계적으로 유의



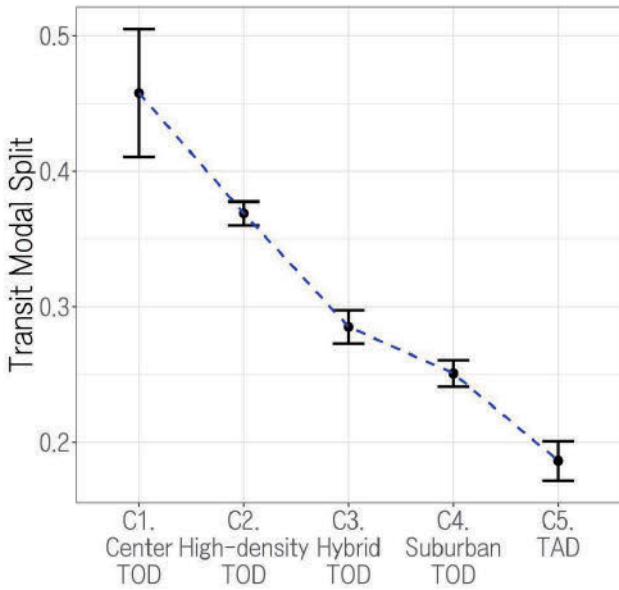


Figure 7. Results of transit modal split

Table 7. Results of Kruskal-Wallis test and Post-Hoc Dunn's test

Differences in transit modal split	Center TOD	High-density TOD	Hybrid TOD	Suburban TOD
High-density TOD	2.308 (0.105)	-	-	-
Hybrid TOD	5.416 (0.000*)	7.667 (0.000*)	-	-
Suburban TOD	7.195 (0.000*)	14.728 (0.000*)	3.606 (0.002*)	-
TAD	9.118 (0.000*)	17.330 (0.000*)	7.550 (0.000*)	5.276 (0.000*)
Kruskal-Wallis rank sum test	$\chi^2=406.876, df=4, p\text{-value}=0.000$			

\*p<.05

한 차이가 나타났다.

이는 공간구조에 의해 분류된 유형이 실제 통행수단선택 측면에서도 전반적인 차이가 나타났음을 의미한다. 구체적으로 중심지 TOD 및 고밀도 TOD > 혼합형 TOD > 교외형 TOD > TAD의 순서로 대중교통 수단분담률이 높았다. 즉, 토지이용 및 교통 특성이 TOD에 부합하는 지역일수록 대중교통 수단분담률이 높았다. Park et al.(2018)에서 미국 주요 대도시의 승용차 수단분담률이 TAD보다 TOD 유형에서 낮았는데, 이러한 경향이 서울대도시권에서도 나타난 것이다. 특히 중심지 TOD와 고밀도 TOD의 높은 대중교통 수단분담률은 밀도와 상관 있다. 서울대도시권을 포함하여 국내 도시들은 인구 및 고용밀도가 대중교통 이용에 큰 영향을 미치기 때문이다(성현곤 외, 2012; 송재민, 2021).

혼합형 TOD, 교외형 TOD, TAD 유형은 외곽에 주로 분포하며 대중교통 수단분담률이 낮았다. 그러나 혼합형 TOD는 교외

형 TOD에 비해 대중교통 수단분담률이 높았는데, 이는 기초통계량에서 확인된 바와 같이 높은 수준의 밀도 및 토지이용 다양성과 연관이 있는 것으로 판단된다. 한편, 외곽지역이라도 교외형 TOD는 TAD에 비해 대중교통 수단분담률이 상당히 높았다. 기초통계량에 따르면 상대적으로 높은 인구밀도뿐 아니라 광역버스 인프라가 중요한 요인인 것으로 판단된다. 외곽지역일수록 부족한 철도 인프라와 낮은 인구밀도로 인해 승용차 통행을 배제할 수 없다(이승일, 2022). 한편, 버스는 이러한 승용차 중심 공간구조와 공존할 수 있으면서 저비용으로 공급할 수 있는 대중교통이다(홍상연 외, 2020). 이러한 점에서 TAD 유형의 지역은 광역버스의 공급과 적절한 밀도 수준이 뒷받침된다면 대중교통 이용을 증대시킬 수 있을 것으로 판단된다.

## V. 결론

이 연구는 서울대도시권을 대상으로 결절점-장소 모형(node-place model)과 TOD 계획요소 3Ds를 적용한 TOD 유형화를 실시하고, 유형화의 검증을 위해 TOD 유형과 대중교통 수단분담률의 관계를 분석하였다. 특히 광역적 차원의 철도와 버스 네트워크를 고려하여 도출된 새로운 유형을 통해 TOD 개발 잠재력을 평가하였으며, TOD에 부합하는 유형일수록 대중교통 수단분담률이 높은 것을 확인하였다. 연구의 주요 결과와 시사점은 다음과 같다.

첫째, 서울대도시권은 광역적 차원에서 대중교통 결절점(node) 특성과 활동 장소(place)의 긍정적인 상관관계가 나타났으며, 두 특성 간의 불균형이 큰 지역들은 중심지 및 고밀도 TOD 유형에서 확인되었다. 이 유형들은 대부분 기성시가지에 분포하며, 공간구조 특성과 대중교통 수단분담률의 측면에서 높은 TOD의 수준을 갖는 것으로 평가되었다. 하지만 불균형이 큰 지역에 대해서는 대중교통 네트워크를 효과적으로 활용하기 위한 역세권개발을 추진하거나, 반대로 대중교통 공급이 확충하는 등의 접근이 요구된다. 이처럼 도시권 차원에서 효율적인 TOD를 실현하기 위해서는 대중교통 네트워크와 토지이용의 상호관계를 고려한 모니터링이 필요하며, 이를 바탕으로 지자체마다 차별화된 도시 및 교통계획을 수립할 필요가 있음을 시사한다.

둘째, 결절점 특성과 장소 특성의 상호관계를 토대로 하여 서울대도시권에서 5개의 TOD 유형이 도출되었다. 대중교통 공급 수준과 도시밀도가 높은 유형은 주로 서울시 등 기성시가지에서 발견되며, 「2040 서울도시기본계획」의 중심지 체계나 기존 철도 체계와 부합하는 경향을 보였다. 그러나 교외에서는 철도보다 광역버스 접근성이 더 높은 유형, 밀도가 높지 않으나 용도혼합이 높은 유형 등이 도출되었다. 이러한 유형 간에는 실제 대중교통 수단분담률에서도 유의미한 차이가 나타났다. 즉, 지역에 따라 철도와 버스 공급수준에 차이가 나타나며, 이를 통해 도출된 유



형은 TOD의 실질효과와도 관계가 있었다. 이는 기존에 철도역 세권을 중심으로 논의되어왔던 TOD 정책에서 나아가 광역버스 인프라를 복합적으로 고려할 필요가 있음을 시사한다. 또한, 이 연구의 유형화 결과는 현재 간선급행버스체계(BRT)를 확대하고자 하는 종합계획에 기초자료로 활용할 수 있음을 명시한다.

셋째, TAD 유형은 대중교통 공급수준과 도시밀도가 낮아 대중교통 이용이 저조하며 승용차 의존도가 높은 것으로 나타났다. 이 유형은 다양한 지역에 분포하고 있으며 대중교통 접근성의 차이를 보이기 때문에 TOD 개발 잠재력도 상이하게 평가된다. 이는 서울대도시권 전역에 TOD 계획요소를 획일적인 방식으로 적용할 수 없음을 시사한다. TAD 유형 중에서 기존 광역철도망과 연계할 수 있는 경우 철도노선의 연장과 역세권 활성화를 통해 중심지 접근성을 향상시키는 정책이 효과적이라고 판단된다. 반면, 경제적·지리적 한계로 인해 철도의 확충이 어려운 지역에 대해서는 기존의 도로 인프라를 활용하여 광역버스를 확대 공급하고 정류장을 중심으로 개발밀도를 높이는 접근이 필요하다. 이를 종합하여, 도시권 차원에서는 상이하게 분포하는 철도와 버스 중심 공간구조 간의 긴밀한 연계를 통해 효과적인 TOD 정책이 이루어질 수 있음을 시사한다. 또한, 현재 시행 및 계획 중인 GTX 중심의 광역교통대책과 3기 신도시 중 서울대도시권 중심지와 접근성이 열악한 지역의 도시교통정책 수립을 위한 기초자료로 활용할 수 있다.

이 연구는 향후 서울대도시권에서 광역철도와 BRT의 확장을 지향하는 광역교통계획과 대중교통 결절점 중심의 토지이용계획에 기초자료로 활용될 것으로 기대한다. 이 연구의 한계는 다음과 같다. 첫째, 거시적 차원에서 새로운 유형의 도출에 의의를 두었기 때문에 개별 지역 차원의 구체적인 평가가 이루어지지 않았다. 둘째, 승용차 접근성과 설계 특성에 대한 고려가 미흡하여 보행친화성 측면이 세밀하게 반영되지 못하였다. 셋째, 유형화의 검증 단계에서 대중교통 수단분담률을 통행목적으로 세분화하지 않고 포괄적으로 다루었다. 향후 이와 같은 점을 보완한 후속 연구를 통해 서울대도시권의 TOD 정책이 시사점을 제시하고자 한다.

인용문헌  
References

- 고두환·최창규, 2013. “경기도 신개발 및 기성시까지 거주자의 통근 거리 및 수단 선택 특성 비교 분석: 1기 신도시와 일반택지 및 기성시까지 비교를 중심으로”, 『국토계획』, 48(2): 83-106.  
Go, D.H. and Choi, C.G., 2013. “Commuting Distance and Mode Choice of Residents in the New Developments and the Existing Urban Areas in Gyeonggi-do: Comparing the First-stage New Towns, the Ordinary Housing Land Developments (OHL), and the Existing Urban Area”, *Journal of Korea Planning Association*, 48(2): 83-106.
- 고승욱·신학철·이승일, 2023. “API 기반 통근통행자료를 활용한 서울시 행정동별 승용차 탄소배출량 추정: 네트워크 특성과 공간 구조정책 특성을 중심으로”, 『국토계획』, 58(1): 91-103.  
Go, S.W., Shin, H.C., and Lee, S.I., 2023. “Estimation of Passenger Private Car Carbon Emissions by Administrative District Using API-based Commuter Data: Focusing on Network and Spatial Structure Policy Characteristics”, *Journal of Korea Planning Association*, 58(1): 91-103.
- 김경환·이덕환·최종문·오일성, 2010. “지하철과 버스의 서비스 권역 비교 및 이용자의 도보거리 추정: 부산시를 중심으로”, 『대한토목학회논문집 D』, 30(6D): 541-552.  
Kim, K.W., Lee, D.H., Choi, J.M., and Oh, I.S., 2010. “Comparing the Service Coverages of Subways and Buses and Estimating the Walking Distances of Their Users”, *Journal of the Korean Society of Civil Engineers D*, 30(6D): 541-552.
- 김동준·김기중·이승일, 2020. “서울시 도시철도 역세권 유형별 상업·업무 개발양상 실증 연구”, 『국토계획』, 55(3): 56-68.  
Kim, D.J., Kim, K.J., and Lee, S.I., 2020. “A Study on the Development Characteristics of Commerce and Business Building in Seoul Metro Station Catchment Area by the Type”, *Journal of Korea Planning Association*, 55(3): 56-68.
- 김선재·이수기, 2021. “POI 빅데이터를 활용한 도시활동 중심지 도출과 중심지 기능 분석: 서울 대도시권을 중심으로”, 『국토계획』, 56(6): 36-52.  
Kim, S.J. and Lee, S., 2021. “Identifying Urban Activity Centers and Their Functions using POI Big Data: The Case of Seoul Metropolitan Area”, *Journal of Korea Planning Association*, 56(6): 36-52.
- 김태호·신예철·성현곤, 2013. “거리기반 TOD 계획요소와 서울시 역세권 대중교통 이용수요와의 연관성에 관한 연구”, 『국토계획』, 48(2): 51-64.  
Kim, T.H., Shin, Y.C., and Sung, H.G., 2013. “The Relationship of Distance-based TOD Planning Elements to Public Transit Ridership in Seoul Subway Station Areas”, *Journal of Korea Planning Association*, 48(2): 51-64.
- 박재홍, 2010. “TOD 활성화를 위한 제도개선 방향”, 『교통 기술과 정책』, 7(4): 21-26.  
Park, J.H., 2010. “A Legal Reformation Proposal for Promoting TOD”, *Transportation Technology and Policy*, 7(4): 21-26.
- 성현곤·김영국·이주연, 2013. “수도권 광역철도 이용수요와 통행행태 연관성에 관한 연구”, 『국토계획』, 48(1): 165-179.  
Sung, H.G., Kim, Y.K., and Lee, L.Y., 2013. “A Study on the Relationship of Travel Behavior with Ridership for Regional Railways in the Korean Capital Region”, *Journal of Korea Planning Association*, 48(1): 165-179.
- 성현곤·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.



10. 성현곤·황보희·박지형, 2012. "다수준 회귀모형을 활용한 TOD 계획요소의 통행행태 변화 실증분석", 「국토계획」, 47(3): 265-278.  
Sung, H.G., Hwang, B.H., and Park, J.H., 2012. "Empirical Analysis of Travel Behavior Change by TOD Planning Elements through Applying Multi-level Regression Modeling", *Journal of Korea Planning Association*, 47(3): 265-278.
11. 송재민, 2021. "도시형태가 통행행태에 미치는 영향 메타분석", 「국토계획」, 56(7): 103-114.  
Song, J.M., 2021. "The Impact of Urban Form on Travel in Korea: A Meta Analysis", *Journal of Korea Planning Association*, 56(7): 103-114.
12. 신학철·이보라·우명제, 2022. "공간통계기법을 활용한 서울시 중심지 설정 및 중심지의 입지특성과 기능에 대한 연구", 「주택도시연구」, 12(3): 23-51.  
Shin, H.C., Lee, B.R., and Woo, M.J., 2022. "Identification of Urban Centers in Seoul Using Spatial Statistics and Their Characteristics of Location and Functions", *SH Urban Research & Insight*, 12(3): 23-51.
13. 오지에·홍성연·진장익, 2019. "5Ds RTOD 계획요소와 지하철 승하차 인원의 관계분석: 서울시의 고용 접근성을 중심으로", 「대한지리학회지」, 54(6): 609-620.  
Oh, J.Y., Hong, S.Y., and Jin, J.I., 2019. "The Relationship between Planning Elements of 5Ds RTOD and Transit Ridership: A Focus on Job Accessibility in Seoul", *Journal of the Korean Geographical Society*, 54(6): 609-620.
14. 윤종진·우명제, 2015. "서울시 대중교통 접근성의 공간적 정의에 대한 실증연구", 「국토계획」, 50(4): 69-85.  
Yun, J.J. and Woo, M.J., 2015. "Empirical Study on Spatial Justice through the Analysis of Transportation Accessibility of Seoul", *Journal of Korea Planning Association*, 50(4): 69-85.
15. 이승일, 2022. 「탄소중립도시를 위한 역세권 개발론」, 서울: 커뮤니케이션북스.  
Lee, S.I., 2022. *Development of Station Area for a Carbon-neutral City*, Seoul: CommunicationBooks.
16. 이승주, 2015. "주성분 분석을 이용한 빅데이터 분석", 「한국지능시스템학회 논문지」, 25(6): 592-599.  
Lee, S.J., 2015. "Big Data Analysis Using Principal Component Analysis", *Journal of Korean Institute of Intelligent Systems*, 25(6): 592-599.
17. 이우섭·강민희·송재민·황기연, 2021. "클러스터링을 통한 역세권 잠재 개발역량 평가 연구: 서울시 2호선 대중교통 용량 및 토지 특성을 중심으로", 「국토계획」, 56(6): 113-127.  
Lee, W.S., Kang, M.H., Song, J.I., and Hwang, K.Y., 2021. "A Study on Evaluating the Development Potential of the Station Area Using Clustering: The Case on the Capacity of Public Transportation and Land Characteristics of the Seoul Metro Line 2", *Journal of Korea Planning Association*, 56(6): 113-127.
18. 이정우·고주연·전상우·전철민, 2015. "대중교통 승하차 수요분석을 통한 서울시 역세권 유형화 및 토지이용 특성 연구", 「국토연구」, 84: 35-53.  
Lee, J.W., Go, J.Y., Jeon, S.W., and Jun, C.M., 2015. "A Study of Land Use Characteristics by Types of Subway Station Areas in Seoul Analyzing Patterns of Transit Ridership", *The Korea Spatial Planning Review*, 84: 35-53.
19. 이주아·박진아·구자훈, 2012. "대중교통 기반시설여건 대비 토지이용강도 분석을 통한 서울시 도시철도 역세권의 개발여건 분석: 서울시 지구중심 이하 역세권을 대상으로", 「국토계획」, 47(6): 97-107.  
Lee, J.A., Park, J.A., and Koo, J.H., 2012. "Analysis of Conditions for Development of Surrounding Areas of Subway Stations in Seoul using Land-Use Intensity Compared to Public Transportation Infrastructure: Focused on the Surrounding Areas of Subway Stations below Local Centers in Seoul, Korea", *Journal of Korea Planning Association*, 47(6): 97-107.
20. 채구묵, 2014. 「사회과학 통계분석」, 파주: 양서원.  
Chai, G.M., 2014. *Statistics in Social Sciences*, Paju: Yangseowon.
21. 최막중·김수진·임혜연, 2016. "한국의 고밀 주거개발이 대중교통 활성화에 미친 효과: 서울의 아파트와 지하철 공급의 선·후관계를 중심으로", 「국토계획」, 51(4): 161-173.  
Choi, M.J., Kim, S.J., and Lim, H.Y., 2016. "The Effect of High-density Residential Developments in Korea on Utilization of Public Transport: Focusing on the Sequence of Supply between Apartments and Subways in Seoul", *Journal of Korea Planning Association*, 51(4): 161-173.
22. 홍상연·윤혁렬·김승준·한영준·이진학, 2020. 「제3기 신도시 교통대책의 개선요소 진단: 광역버스 운영 중심으로」, 서울연구원 정책과제연구보고서, 1-87.  
Hong, S.Y., Yoon, H.R., Kim, S.J., Han, Y.J., and Lee, J.H., 2020. *Road Conditions in Seoul for the 3rd New City Traffic Improvement Measures*, Seoul Institute Policy Research Report, 1-87.
23. Bertaud, A., 2001. *Metropolis: A Measure of the Spatial Organization of 7 Large Cities*, Unpublished Working Paper, 1-22.
24. Bertolini, L., 1996. "Nodes and Places: Complexities of Railway Station Redevelopment", *European Planning Studies*, 4(3): 331-345.
25. Bertolini, L., 1999. "Spatial Development Patterns and Public Transport: The Application of an Analytical Model in the Netherlands", *Planning Practice and Research*, 14(2): 199-210.
26. Burton, E., Jenks, M., and Williams, K., 2003. *The Compact City: Sustainable Urban Form?*, Routledge.
27. Calthorpe, P., 1993. *The Next American Metropolis: Ecology, Community, and the American Dream*, Princeton Architectural Press.
28. Cervero, R. and Kockelman, K., 1997. "Travel Demand and the 3Ds: Density, Diversity, and Design", *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2(3): 199-219.
29. Charrad, M., Ghazzali, N., Boiteau, V., and Niknafs, A., 2014. "NbClust: An R Package for Determining the Relevant Number of Clusters in a Data Set", *Journal of Statistical Software*, 61(6): 1-36.
30. Chorus, P. and Bertolini, L., 2011. "An Application of the Node Place Model to Explore the Spatial Development Dynamics of Station Areas in Tokyo", *Journal of Transport and*



- Land Use*, 4(1): 45-58.
31. Daniels, R. and Mulley, C., 2013. "Explaining Walking Distance to Public Transport: The Dominance of Public Transport Supply", *Journal of Transport and Land Use*, 6(2): 5-20.
  32. Ewing, R. and Park, K., (ed.) 2020. *Basic Quantitative Research Methods for Urban Planners*, London: Routledge.
  33. Field, A., Miles, J., and Field, Z., 2012. *Discovering Statistics using R*, Thousand Oaks: Sage Publications.
  34. Ibraeva, A., de Almeida Correia, G.H., Silva, C., and Antunes, A.P., 2020. "Transit-oriented Development: A Review of Research Achievements and Challenges", *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 132: 110-130.
  35. Kamruzzaman, M., Baker, D., Washington, S., and Turrell, G., 2014. "Advance Transit Oriented Development Typology: Case Study in Brisbane, Australia", *Journal of Transport Geography*, 34: 54-70.
  36. Lee, S.I., Yi, C.H., and Hong, S.P., 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.
  37. Lee, S.I., An, Y.S., and Kim, K.J., 2017. "Relationship between Transit Modal Split and Intra-city Trip Ratio by Car for Compact City Planning of Municipalities in the Seoul Metropolitan Area", *Cities*, 70: 11-21.
  38. Lyu, G., Bertolini, L., and Pfeffer, K., 2016. "Developing a TOD Typology for Beijing Metro Station Areas", *Journal of Transport Geography*, 55: 40-50.
  39. Newman, P.W.G. and Kenworthy, J.R., 1996. "The Land Use—transport Connection: An Overview", *Land Use Policy*, 13(1): 1-22.
  40. Papa, E. and Bertolini, L., 2015. "Accessibility and Transit-oriented Development in European Metropolitan Areas", *Journal of Transport Geography*, 47: 70-83.
  41. Park, K., Ewing, R., Scheer, B.C., and Ara Khan, S.S., 2018. "Travel Behavior in TODs vs. Non-TODs: Using Cluster Analysis and Propensity Score Matching", *Transportation Research Record*, 2672(6): 31-39.
  42. Pezeshknejad, P., Monajem, S., and Mozafari, H., 2020. "Evaluating Sustainability and Land Use Integration of BRT Stations via Extended Node Place Model, an Application on BRT Stations of Tehran", *Journal of Transport Geography*, 82: 102626.
  43. Renne, J.L., 2009. "From Transit-adjacent to Transit-oriented Development", *Local Environment*, 14(1): 1-15.
  44. Reusser, D.E., Loukopoulos, P., Stauffacher, M., and Scholz, R.W., 2008. "Classifying Railway Stations for Sustainable Transitions—balancing Node and Place Functions", *Journal of Transport Geography*, 16(3): 191-202.
  45. Rodriguez, D.A. and Kang, C.D., 2020. "A Typology of the Built Environment around Rail Stops in the Global Transit-oriented City of Seoul, Korea", *Cities*, 100: 102663.
  46. Thomas, R. and Bertolini, L., 2017. "Defining Critical Success Factors in TOD Implementation using Rough Set Analysis", *Journal of Transport and Land Use*, 10(1): 139-154.
  47. Vale, D.S., 2015. "Transit-oriented Development, Integration of Land Use and Transport, and Pedestrian Accessibility: Combining Node-place Model with Pedestrian Shed Ratio to Evaluate and Classify Station Areas in Lisbon", *Journal of Transport Geography*, 45: 70-80.
  48. Vale, D.S., Viana, C.M., and Pereira, M., 2018. "The Extended Node-place Model at the Local Scale: Evaluating the Integration of Land Use and Transport for Lisbon's Subway Network", *Journal of Transport Geography*, 69: 282-293.

Date Received 2023-05-25  
 Date Reviewed 2023-07-09  
 Date Accepted 2023-07-09  
 Date Revised 2023-08-04  
 Final Received 2023-08-04