



# 수도권 GTX 노선 도입이 접근성 변화에 미치는 영향 분석 : GTFS 데이터를 활용하여\*

## Assessing the Impact of GTX Lines on Accessibility Changes in the Seoul Metropolitan Area : A GTFS Data-based Analysis

임승빈\*\* · 김태우\*\*\* · 전재연\*\*\*\* · 권준현\*\*\*\*\* · 고준호\*\*\*\*\* · 이수기\*\*\*\*\*

Im, Seungbin · Kim, Taewoo · Chun, Jayyeon · Kweon, Junhyeon · Ko, Joonho · Lee, Sugie

### Abstract

Public transportation influences the mobility and convenience of urban residents, as well as urban structure. In this context, the introduction of new public transportation routes significantly affects traffic flow, accessibility, and urban structure. Accurately understanding and predicting these effects is crucial for efficiently operating and improving the transportation system. However, previous studies have relied solely on traditional statistical models based on in-vehicle time without considering first- and last-mile travel and transfer time. To address these limitations, this study develops a method to evaluate the impact of new public transportation routes in dense urban areas using General Transit Feed Specification (GTFS) data. GTFS data, which can be analyzed using Geographic Information System (GIS) technology, provides operational information about public transportation services, including time, location, and connectivity. It enables a more accurate and realistic analysis of the impact of new routes on a finer spatial scale. We conducted an accessibility assessment of the planned Great Train eXpress (GTX) route in the Seoul Metropolitan Area (SMA). Seoul was divided into a 500 m × 500 m grid, and accessibility improvements were calculated from the SMA to the centroids of these grids. The results showed a significant increase in accessibility across all of Seoul, with improvements of up to 40% from the SMA.

**주제어** 일반 대중교통 피드 사양, 광역급행철도, 대중교통, 접근성, 공간구조

**Keywords** General Transit Feed Specification (GTFS), Great Train eXpress (GTX), Public Transit, Accessibility, Urban Spatial Structure

\* 이 연구는 2021년 한국연구재단의 지원(NRF-2021R1A2C2006539)을 받아 수행된 연구이며, 2023 대한국토·도시계획학회 & 대한교통학회 추계 공동학술대회 발표 내용을 수정·보완하여 작성하였음.

\*\* Ph.D. Student, Department of Urban and Regional Development Management, Graduate School of Urban Studies, Hanyang University (First Author: alex7739@hanyang.ac.kr)

\*\*\* Master Student, Department of Urban and Regional Development Management, Graduate School of Urban Studies, Hanyang University (teawoo89@hanyang.ac.kr)

\*\*\*\* Master Student, Urban Design, Technische Universität Berlin (ginipini@hanyang.ac.kr)

\*\*\*\*\* Ph.D. Candidate, Department of Urban Planning & Engineering, Hanyang University (legojun98@hanyang.ac.kr)

\*\*\*\*\* Professor, Department of Urban and Regional Development Management, Hanyang University (jko@hanyang.ac.kr)

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



# 1. 서론

## 1. 연구의 배경

초고밀도 도시인 서울에서 대중교통은 매우 중요하며, 개인 차량보다 시간적, 환경적, 경제적 측면에서 효율적으로 활용된다. 구체적으로, 2010년부터 2019년까지 서울시의 지하철, 버스 등 대중교통의 평일 통행수단 분담률은 65% 수준을 유지했으며, 지하철의 경우 연 최소 36%로 가장 높은 수단분담률을 기록했다(서울특별시, 2024). 이는 24% 수준의 승용차 수단분담률과 비교해 1.5배 이상 높은 수치이다. 특히, 대중교통은 통근 및 통학의 주요 수단으로 활용되는데, 수도권 내 시도 간 통근 및 통학(이하 통근) 인구는 약 238만 명이고, 이 중 약 143만 명이 서울로 유입하여 서울시 내 대중교통의 중요성은 더욱 부각된다(통계청, 2021). 통근 활동에 대해 통근 소요 시간은 큰 경제적 가치를 지니는데, 수도권 평균 통근 소요 시간은 약 2시간으로, 광주권(1시간 31분) 및 대도시권(1시간 56분)보다 길다(국토교통부, 2023). 1시간 통근의 경제적 가치는 인당 94만 원/월로 추정되며, 긴 통근 시간은 개인 및 사회의 경제적 가치를 하락시킬 수 있다. 이로 인해 지속적으로 수도권 지역 통근의 사회적 비용 문제가 대두되고 있으며, 수도권 생활 인구가 증가할 것으로 예상됨에 따라 서울 및 수도권 간 교통 문제를 해결할 필요성이 더욱 부각되고 있다(한국교통연구원, 2013; 김호정 외, 2020).

이러한 맥락에서, 새로운 대중교통 노선 도입을 통해 기존 교통 인프라를 보완하여 도시의 접근성과 이동 편의성을 향상하는 것이 중요하다. 이에, 최근 간선급행버스체계, 수도권광역급행철도(Great Train eXpress, GTX) 등이 새로운 대중교통 수단으로 주목받고 있다(서울특별시, 2023). 이 중, GTX 사업은 높은 광역통행 수요 충족을 위해 2009년부터 구성되어 현재 추진 중에 있다(대한교통학회, 2009). 구체적으로 GTX는 기존 철도보다 3배 이상 빠른 대중교통수단으로 환경 보호와 교통 혼잡 완화를 목표로 한다. 그리고 궁극적으로 수도권 전 지역을 1시간 생활권으로 조성하고, 대중교통 네트워크를 확장하는 것이 목표이다(위정수 외, 2010; 김현 외, 2009). GTX 사업은 현재 A, B, C, D 노선 등 4개 이상의 노선으로 계획되었으며, 2024년 A노선의 개통을 시작으로 나머지 노선도 개통 예정이다. 이 중, 2024년 3월 30일 GTX-A 노선의 수서-동탄 구간이 부분 개통되어 운영을 시작했다(국토교통부, 2024). 그러나 개통 후 첫 일주일 동안의 실제 이용률은 국토교통부 예측치의 약 46%에 불과해 이용 수요가 현저히 저조한 상황이다. 이로 인해, GTX의 실효성에 대한 논란이 제기되었으며, 예상과 크게 다른 이용 수요의 원인을 파악할 필요성이 대두되고 있다.

신규 노선의 도입은 기존 교통 네트워크의 변화뿐만 아니라 수도권의 공간구조에도 큰 변화를 일으킬 것으로 예상된다. 특히,

대중교통 수단분담률을 일정 수준 이상으로 유지하고, 수도권 통근 및 통학 인구의 이동성을 높이는 데 중요한 역할을 할 것으로 기대된다. 그러나 예상과 달리, 실제로 신규 노선 도입의 효과가 낮게 나타나는 현상은 이러한 교통 인프라가 기대했던 효과를 충분히 발휘하지 못할 가능성을 보여주고 있다. 따라서, 새로운 대중교통 인프라 사업의 영향을 분석하는 것뿐만 아니라, 예측치와 실제 이용률 간의 차이가 발생하는 원인을 분석하고 해결책을 마련하는 것이 중요하다. 이는 향후 신규 노선 도입 시 교통 네트워크가 원활히 작동하고, 수도권 거주민의 접근성을 개선하기 위한 필수적인 과정이며, 이를 통해 효율적이고 지속가능한 교통 시스템을 구축하는 데 도움을 줄 수 있다.

## 2. 연구의 목적

서울시 내 대중교통 시스템은 교통 혼잡 해결 및 지속 가능한 도시 발전을 위한 핵심 전략이다. 또한, 접근성을 높이는 데 중요한 역할을 하며, 대중교통 시스템의 효율성 향상을 통해 다양한 지역 간의 접근성을 확보하는 것은 도시의 중요한 과제이다. 이에, 본 연구는 GTX 사업을 통한 이동성 변화를 분석하여 접근성 변화를 평가하고자 한다.

구체적으로, 대중교통 네트워크 기반 분석을 위해, General Transit Feed Specification(GTFS) 데이터를 활용하여 GTX 노선 운영 데이터를 구축하고, GTX 노선이 실제 도입될 경우의 접근성 향상 효과를 분석하고자 한다. GTFS 데이터는 대중교통 운행정보를 표준화된 형식으로 제공하는 데이터 포맷으로, 노선, 정류장 위치, 운행 시간 등 다양한 정보를 담고 있다. 이를 분석함으로써 GTX 사업의 신규 노선 도입이 대중교통 이용자의 접근성 및 이동 패턴에 미치는 영향을 정량적으로 평가할 수 있다. 또한, GTX-A 노선의 수서-동탄 구간 부분 개통 이후 예상보다 낮은 이용 수요에 대한 원인을 분석하여, 문제 해결 방안도 제시하고자 한다. 이를 위해 이용 패턴 및 접근성 등의 비교를 통해 부분 개통 시 발생한 문제점을 분석하고, 개선을 위한 정책적 제언을 도출할 것이다.

이에 따른 연구의 목표는 다음과 같다. 첫째, GTX 도입이 수도권에서 서울로의 접근성 향상에 어느 정도의 영향을 미치는지 분석한다. 둘째, 도심 내 주요 지역에 따라 접근성 변화 편익의 편차가 발생하는지 확인한다. 셋째, GTX 사업 전후의 통행시간 및 접근성의 변화가 어느 수준으로 나타나며 사업 기대효과를 충족하는지 파악한다. 넷째, GTX-A 노선의 부분 개통 이후 발생한 낮은 이용 수요의 원인을 분석하고, 이를 해결하기 위한 구체적인 방안을 제시한다.



## II. 이론 및 선행연구 고찰

### 1. 접근성의 개념

교통의 관점에서 이동성과 접근성은 유사하고 중첩된 부분이 많으나 개념 및 수단 포함 여부에 따라 차이가 존재한다. 우선, 이동성은 이동 주체의 통행 속도와 관련이 깊고, 접근성은 주거단지나 도심 업무 단지와 같은 대규모 교통 유발지역에 얼마나 가까이 위치하는가 하는 통행 단계와 관련이 깊다(Boisjoly and El-Geneidy, 2017). 또한, 이동성은 동력 수단의 통행시간 거리 서비스 수준 등은 포함하지만, 보행이나 자전거와 같은 비동력 수단을 포함하지 않는다. 반면, 접근성은 동력, 비동력 수단을 모두 포함하며 통행비용과 시간까지 다 고려한다는 점에서 더 포괄적 개념이다(한국지역학회, 2018). 따라서 본 연구에서는 접근성을 비동력 이동 수단을 포함한 위치 기반의 개념으로 정의한다. 더 나아가 접근성은 연령 또는 사회경제적 특성에 따라, 혹은 목적지에 따라 다르게 고려될 수 있다(Fan et al., 2012; Legrain et al., 2015; Buliung and Mitra, 2016; Paez et al., 2010). 특히, 접근성은 이동성보다 더 포괄적인 개념으로, 현대에서는 사회적 형평성과 환경적 영향까지 포괄하는 의미로 사용된다. 하지만 본 연구에서는 대중교통을 이용한 공간적인 부분만을 접근성으로 한정한다.

이러한 접근성을 정량적으로 측정하기 위해서 일반적으로 통행 거리 혹은 시간을 주요한 지표로 활용할 수 있으며, 인구 비율 등 가중치를 고려하여 지표를 더욱 구체화할 수 있다(한국교통연구원, 2022). 특히, 접근성의 지표를 무엇으로 삼는가에 따라 다양한 방식으로 모형을 설정하여 접근성의 정량적 측정이 가능하다. 이에 따라 교통 요소를 고려한 거리모형, 활동 요소를 고려한 누적기회 모형, 교통 및 활동 요소를 함께 고려하는 잠재력 모형 등을 활용할 수 있으며, 더 나아가, 요소가 주는 효용을 접근성으로 측정하는 효용기반모형이나 개인의 시공간적 이동 가능성을 중심으로 접근성을 측정하는 제약기반모형 등을 활용할 수 있다. 이 중 거리를 지표로 하는 모형은 형태가 가장 단순하고 직접적으로 이해하기 쉽지만, 목적지까지의 거리가 가까울수록 접근성이 무조건 높게 측정될 수 있어 주의가 필요하다. 이에 대해 평균거리를 고려하거나 수요와 공급 분포를 고려하여 개선된 거리모형을 활용할 수 있다(Pooler, 1995; 이계연·박승규, 2017).

### 2. 대중교통 신규노선의 효과 분석

신규 대중교통 노선의 도입은 대중교통 시스템 및 도시환경에 다양한 영향을 미친다. 교통비 비출, 요금, 이동 속도, 편의성, 안전 등의 변화가 발생하기도 하고, 이동성 및 접근성의 향상, 도로 교통, 주차 및 주거 비용, 토지이용의 변화 등 다양하고 넓은 범위

에서 효과가 발생한다(Litman, 2024). 이러한 효과를 분석하는 방법에는 다양한 방법이 있으며 지역 간 접근성 향상 효과 분석, 통행 패턴의 변화 분석, 정책의 형평성 분석이 있다(Shaw et al., 2014).

지역 간 접근성 향상 효과는 신규 대중교통 노선으로 인한 통행 시간의 감소 및 용량 증가로 인한 지역 혹은 사회의 변화를 의미한다. 이러한 접근성 향상 효과를 분석하기 위한 다수의 연구가 진행되었다. 중국 장쑤성 내 고속철도에 대한 지역 내 접근성 증가 효과를 거리 및 비용 지표를 사용해 분석한 연구에서는, 고속철도의 개선은 지역 내 접근성을 전체적으로 9.6% 증가시키는 것으로 나타났다(Wang et al., 2016). 특히, 지리 정보 시스템(Geographic Information System, GIS)을 활용하여 대중교통 지점의 변화에 대한 공간 분석을 진행하여 요소 간 상호작용을 분석한 연구도 진행되었다(Dirkx, 2012). 해당 연구에서는 네덜란드를 대상으로 새로 계획된 기차역의 승차 인원을 예측하고, 접근성이 기차 이용에 미치는 영향을 분석했다. 그 결과, 기차역까지의 접근성이 승차 인원에게 가장 큰 영향을 미치는 요인으로 나타났으며, 인구 밀도, 도로 네트워크, 주요 시설과의 거리 등이 중요한 변수로 작용함을 밝혔다.

다음으로는 여행 패턴의 변화 분석이 있다. 신규 노선의 도입은 대중교통을 이용하는 사람들에게 새로운 선택지를 제공하여 수단의 전환, 생활방식의 변화를 유발한다. 조운래 외(2008)는 광역철도 개통이 주변 대중교통체계에 미치는 영향을 분석하기 위해 광역철도 사례를 바탕으로 수송 수요 측면에서 분석하였다. 주변 대중교통 수요에 대한 통계 자료와 중앙선 이용자를 중심으로 한 통행실태분석을 진행, 이후 과거 추이를 기초로 로지스틱 모형을 통해 중앙선의 장래 수요를 예측하였다. 최근에는 회귀 분석과 더불어 기계 학습을 이용한 효과 분석도 이루어지고 있다. 이스탄불을 대상으로 지하철 노선의 승객 수요 예측을 진행한 연구에서는 회귀 분석을 통해 노선 기반의 수요 예측을 진행 후, 인공지능 기반 예측 알고리즘을 사용하여 특정 노선을 지나 는 모든 역들에 대한 수요 예측을 진행하였다(Nar and Arslankaya, 2022).

마지막으로 정책의 형평성 분석이 있다. 신규 대중교통 노선은 접근성 향상을 제공하지만, 접근성 효과는 지리적으로 제한된 지역에만 적용된다는 특징이 있다(Shaw et al., 2014). Cascetta et al.(2020)은 이탈리아의 고속철도가 주는 영향을 분석한 결과, 10년간 고속철도 네트워크를 따라 있는 구역의 교통 접근성은 평균적으로 많이 증가(+32%)했지만, 다른 구역에서는 미미한 수준(+6%)에 그치는 것으로 나타났다. 이에 따라 지역 형평성은 11% 감소한 것으로 나타났다. Bruzzone et al.(2023)의 연구에서도 이탈리아 토리노-프랑스 리옹 고속철도의 사례를 바탕으로 지역 형평성을 분석한 결과, 전반적인 접근성이 개선되었음에도 형평성은 매우 빈약한 수준이며, 주요 도심지가 중소 지자체에 비해



더 많은 혜택을 누리는 것으로 나타났다. 이처럼 대중교통 신규 노선의 효과는 다양한 관점으로 분석할 수 있다.

### 3. 대중교통 노선의 접근성 평가 방법

대중교통 노선의 접근성을 평가하기 위해 노선별 평균 통행시간, 통행비용, 통행거리, 접근가능 지역 면적 등을 지표로 활용할 수 있다(Zhang et al., 2016). 해당 지표들은 지리 정보 시스템(Geographic Information System, GIS)을 통해 다양한 공간적 단위로 도출할 수 있으며, 거리에 대한 평균 가중치를 고려하여 네트워크의 변화에 따른 접근성 차이 또한 구체적으로 비교할 수 있다(Gutiérrez et al., 1996). 특히, 통행시간에 기반한 접근성 평가 방식은 철도 노선의 도입에 따른 접근성 변화를 위해 활용될 수 있다. 이에 따라, 선행연구에서는 런던 고속철도의 도입에 따른 접근성 변화, 2050 High Speed Rail in America Plan에 따른 접근성의 변화 등이 분석되었다(Sánchez-Mateos and Givoni, 2012; Chandra and Vadali, 2014). 더 나아가 정류장 등 대중교통 이용 지점을 통행시간의 기준점인 노드(Node)로 설정하고, 통행의 출발지에서 노드까지의 통행시간, 노드에서 목적지(Place)까지의 통행시간을 분리하여 더욱 정확한 차원에서의 접근성을 평가할 수 있다(Verachtert et al., 2023). 이러한 노드-목적지(Node-Place) 방법에 대해, 노드까지의 접근성은 도보, 자전거 등의 통행속도를 통해 평가되며, 목적지까지의 접근성은 차내 시간을 기준으로 평가된다. 하지만 전통적 방법의 통행시간 계산은 환승 및 차내 시간의 정확도를 확보할 수 없다는 한계가 존재한다.

### 4. 일반 대중교통 피드 사양

이러한 맥락에서 최근 일반 대중교통 피드 사양(General Transit Feed Specification, GTFS)을 활용한 연구가 진행되고 있다. GTFS는 2005년에 구글과 미국 오리건주의 대중교통 시스템 공공 운영 기관인 Tri-County Metropolitan Transportation District of Oregon(TriMet)이 도시 대중교통 네트워크의 시각화를 위해 개발하였다. GTFS는 대중교통 일정 및 관련 지리 정보에 대한 공통 형식을 정의하며, 상세 운영시간에 대한 정보를 포함하기 때문에 정교한 대중교통 네트워크의 구축 및 활용이 가능하다(Ho, 2021). 구체적으로, GTFS에 기존의 전통적 방법론을 결합하여 통행시간 접근성 평가의 정확도 확보 및 Node-Place 모델의 개선에 활용할 수 있다(Tsumita et al., 2023; Caset et al., 2018). 최근에는 실시간 운영 정보를 포함한 GTFS Realtime으로 대중교통 서비스 경험 향상을 위한 확장된 기능 또한 개발되어 활용할 수 있다. 이에 GTFS는 대중교통 시스템 운영을 하나의 표준체계로 자리 잡고 있으며, World Bank에서

도 개발도상국에서의 도입을 권장하고 있다.

이러한 맥락에서 GTFS는 GTFS Realtime과 구별하기 위해 GTFS Static 또는 정적 GTFS라고도 하며, 대중교통 일정 및 관련 지리 정보에 대한 공통 형식을 정의한다. GTFS 피드는 <표 1>과 같이 다섯 가지의 텍스트 파일의 묶음으로 구성된다. 각 파일은 대중교통 정보의 특정 측면, 즉 정류장, 경로, 이동 경로 및 기타 일정 데이터 모델링 정보를 포함하며, <그림 1>과 같은 구조로 상호작용을 통해 활용된다. 따라서 대중교통 기관 및 관련 서비스 개발자 간 데이터의 상호 운용이 용이하며, GTFS를 통해 서비스를 개발하고 공급할 수 있다(Google, 2022).

표 1. GTFS 데이터 구성요소

Table 1. Components of GTFS data

Required data	Optional data
Agency.txt (Representation of transit agencies)	Calendar.txt (Weekly schedule) Fare_attributes.txt (Fare information)
Stops.txt (Stops for vehicles)	Fare_rules.txt (Rules to apply fares) Shapes.txt (Rules for mapping paths)
Routes.txt (Transit routes)	Frequencies.txt (Time between trips) Transfers.txt (Connection points)
Trips.txt (Trips for each route)	Pathways.txt (Linking locations) Levels.txt (Levles within stations)
Stop_times.txt (Stops' arrival and departure time)	Translations.txt (Customer-facing data) Feed_info.txt (Metadata)

Source: Ho (2021, p.3)

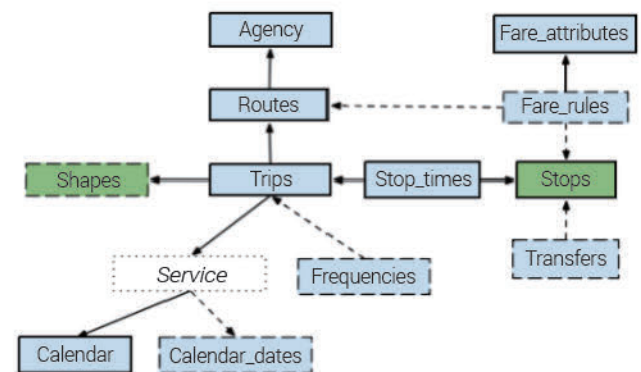


그림 1. GTFS 구성 다이어그램  
Figure 1. GTFS structure diagram

Source: Ho (2021, p.3)



GTFS 데이터는 대중교통 운영회사 등을 통해 미리 구축된 데이터로, 상세 운영 시간 정보를 포함하고 있어 정교한 대중교통 네트워크 구축에 활용할 수 있다. 대중교통을 기반으로 의료 서비스 접근성을 평가한 연구에서는 몽골 울란바토르의 도시 구조를 중심으로 대중교통과 의료시설의 위치를 구조화하고, GTFS 데이터를 활용하여 주민들의 접근성을 평가하였다(Kim et al., 2023). 해당 연구는 GTFS를 통해 울란바토르의 대중교통 체계를 구현하고, 사람들이 타지역으로 이동해 보건 서비스를 받는 데 있어 대중교통의 영향력을 도출하며, 저소득국가에서 대중교통의 중요성을 시사하였다.

또한, GTFS 데이터를 수동으로 구축하여 신규 노선 도입에 따른 접근성 변화를 분석한 연구도 존재한다(Painter et al., 2018). 해당 연구는 대중교통 네트워크의 변화에 따른 인종별 직장 접근성 차이를 도출하기 위해, 보행과 대중교통 중심의 직장 접근 시간을 GTFS를 통해 분석하였다. 연구 결과, 신규 대중교통의 도입으로 1시간 이내에 접근 가능한 지역이 유의미하게 상승하였으며, GTFS가 이러한 대중교통 네트워크 변화에 따른 접근성 평가에도 유용함을 시사하였다.

### 5. 연구의 차별성

대중교통 노선의 접근성 평가 및 GTX 노선의 도입 효과를 평가한 다수의 연구가 진행되었다. 그러나 전통적 방법의 접근성 평가는 차내 시간을 기준으로 이루어지며, 환승 및 보행 시간을 고려하지 않아 현실적인 이동시간을 반영하지 못한다는 한계가 존재한다. 또한 GTX 노선의 도입 효과를 분석한 기존 연구들은 특정 도착 지역에 한정된 분석을 진행하여 타지역의 접근성 개선 효과가 고려되지 않았고, 기존 대중교통과의 연계성 또한 고려하지 못하였다. 이러한 한계를 보완하기 위해, 본 연구는 수도권을 대상으로 GTFS 데이터를 활용하여 GTX 도입이 접근성 변화에 미치는 영향을 분석하여 신규 대중교통 노선 도입 시의 접근성 변화를 정량화하고, 이를 지역별로 비교할 수 있는 분석 프레임워크를 제시하고자 한다. 또한, GTX의 낮은 이용 수요와 그 원인을 분석하여, 개통 단계별로 접근성에 미치는 영향을 평가하고자 한다. 이에 따른 본 연구의 차별성은 다음과 같다.

첫째, 보행 시간, 환승 및 대기시간, 대중교통 시간표를 기반으로 현실적인 영향 평가를 진행한다. 둘째, 서울시 대중교통 수단과 수도권 내 모든 지점을 고려하여, GTX 도입에 따른 전체적인 접근성 개선 효과를 파악한다. 셋째, 실제 운행 노선 및 시간표를 활용하여 GTX 도입의 편익을 분석하고, 직관적이고 정확한 분석 방법론을 제시한다. 넷째, GTX-A 노선의 부분 개통 구간의 낮은 이용 수요의 원인을 분석하여, 그 문제를 해결하기 위한 방안을 제시한다.

## III. 분석 방법론

### 1. 분석의 범위

본 연구는 GTFS 데이터를 활용한 GTX 노선 사업의 영향을 알아보는 것을 목적으로 한다. GTX 노선은 <그림 2>와 같이 수도권 지역을 대상으로 도입될 예정이다. 이에 따라 본 연구에서는 GTX 노선의 운영 대상이 되는 수도권 전 영역을 공간적 범위로 설정하였다.

구체적으로 GTX는 <표 2>와 같이 3개 본 노선과 1개 추가노선이 건설 예정으로, 파주와 동탄을 잇는 83km 길이의 A노선, 송도와 마석을 잇는 80km 길이의 B노선, 덕정과 수원을 연결하는 74km의 C노선, 부천종합운동장과 장기를 연결하는 21km의 서부광역급행철도, D노선으로 구성될 예정이다(김호정 외, 2020). GTX 노선의 GTFS 구축의 경우, 기존 대중교통망에 대한 최신 정보를 확인할 수 있는 2021년 3월을 기준으로 하였다.

### 2. 분석 데이터

#### 1) GTX 노선의 GTFS 데이터

GTX 사업은 현재 계획 중인 사업이므로, 공개된 노선 시간표 및 배차간격 등의 자료가 존재하지 않는다. 이에 본 연구에서는 노선별 정차역 위치와 운영계획 고시 등을 참고하여 GTFS 구축을



그림 2. GTX 사업 노선 계획(국토교통부, 2022)  
Figure 2. GTX project route plan (Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2022)



**표 2. GTX 노선 정보**

**Table 2.** GTX route information

Route (no. of stations)	Length	Expected time
GTX-A Unjeongjungang to Dongtan (11)	82.1 km	Unjeong to Seoul: 18 min. Samsong to Dongtan: 18 min.
GTX-B Songdo Station to Maseok (14)	80.1 km	Songdo to Seoul: 28 min. Seoul to Maseok: 15 min.
GTX-C Deokjeong to Suwon (13)	74.2 km	Deokjeong to Samseong: 23 min. Samsung to Suwon: 22 min.
GTX-D Janggi to Bucheon (5)	21.1 km	Janggi to Seoul: 28 min.

Source: 고승영(2017)

위한 자료를 직접 구축하였다. 구체적으로 GTX 노선의 예비타당성조사와 국토교통부의 운영계획 고시 등을 바탕으로 GTX의 배차간격과, 배차 횟수, 기종점 정보를 수집하였다. 이 중, GTX-A 노선은 가장 먼저 운영될 노선으로, 국토교통부의 고시를 통해 공개된 배차간격과 운영 횟수를 수집하여 활용하였다. 다음으로, GTX-B, GTX-C 노선의 경우, 예비타당성조사 보고서의 운행계획을 참고하였다. 반면, GTX-D(서부 광역급행철도)는 현재 예비타당성조사가 진행중에 있어 정확한 운행 특성은 파악할 수 없지만, GTX-B 노선의 지선 형태로 운영되는 특성을 가지고 있다. 이

에 따라 두 노선의 공용구간인 부천종합운동장역에서 서울역 구간까지의 선로 여유용량을 기준으로, 서울시 내에 진입하는 열차와 전용 구간을 왕복하는 열차로 운영 정보를 구성하였다.

이후, 구간별 역 간 거리와 영업 최고속도, 운행 차량의 제원을 바탕으로 GTX 노선별 시간표를 설정하였다. GTX는 전용선과 기존의 노선 구간을 공유하도록 계획되어 있어, 구간별 최고속도가 상이하다. GTX-A 노선은 전용 구간과 수도권 고속철도 구간 모두 최고속도가 180km/h로 동일하나, GTX-B 노선의 경우 기존 구간이 150km/h, GTX-C 노선은 기존 구간이 80km/h에서 135km/h 등 다양하게 구성되어 있다. GTX 차량은 GTX-A 노선에서 도입 예정인 차량의 제원을 타 노선들도 따른다고 가정하여, 영업 최고속도 180km/h, 영업 가속도 2.5km/s<sup>2</sup>, 영업 감속도 3km/s<sup>2</sup>로 설정하였다. 최종적으로 모든 GTX 노선에 대해 최고속도 180km/h 달성 및 최대 가감속을 유지한다고 가정하여 역 간 소요 시간을 결정하였다. 모든 노선의 출발 시간은 동일하게 오전 05시 30분으로 하였으며, 다음날 00시 30분을 막차 시간으로 설정하였다. 예외 사항으로, GTX-B 노선과의 병용 구간이 존재하는 GTX-D 노선의 경우에는 GTX-B 노선 시간표와의 중첩을 피하고자, 정차역 별 2분씩 지연된 시간표로 설정하였다. 최종적으로 구축한 데이터는 일 상·하행 242회 운행 시점에-종점 운행 시간은 50분대로 형성되었다. 이는 총 44개의 정거장, 10개의 운행계통, 1,128회의 운행, 12,276회의 정차 정보를 포함하고 있다. 노선별 역 간 예상 소요 시간 및 운행 횟수 정보는 <표 3>과 같다.

**표 3. GTX 노선별 역 간 소요시간 및 구간별 운행 횟수**

**Table 3.** Travel time between stations and number of operations for each GTX route

GTX-A stations (mm:ss)		GTX-B stations (mm:ss)		GTX-C stations (mm:ss)		GTX-D stations (mm:ss)	
Unjeongjungang	00:30	Songdo Station	00:30	Deokjeong	00:30	Janggi	00:30
KINTEX	04:00	Incheon City Hall	05:00	Uijeongbu	07:00	Geomdan	03:30
Daegok	04:00	Bupyeong	03:30	Chang-dong	08:30	Gyeyang	04:00
Changneung	04:00	Bucheon Stadium	04:30	Kwangwoon University	03:00	Daejang	04:00
Yeonsinnae	03:00	Sindorim	05:00	Cheongnyangni	03:30	Bucheon Stadium	03:00
Seoul Station	05:00	Yeouido	03:00	Wangsimni	02:30	Sindorim	05:00
Samseong	05:00	Yongsan	03:30	Samseong	04:00	Yeouido	03:00
Suseo	03:30	Seoul Station	03:00	Yangjae	03:30	Yongsan	03:30
Seongnam	05:30	Cheongnyangni	04:30	Gwacheon	04:30	Seoul Station	03:00
Guseong	05:30	Sangbong	03:30	Indeogwon	04:30	-	-
Dongtan	05:30	Byeollae	04:30	Geumjeong	06:30	-	-
-	-	Wangsuk	03:30	Uiwang	05:00	-	-
-	-	Pyeongnaehopyeong	05:30	Suwon	05:30	-	-
-	-	Maseok	04:30	-	-	-	-
Total: 45 mins		Total: 52 mins 30 secs		Total: 57 mins 30 secs		Total: 29 mins 30 secs	
Unjeongjungang to Suseo: 42 times, Unjeongjungang to Dongtan: 100 times		Incheon City Hall to Sangbong: 92 times, Incheon City Hall to Maseok: 49 times		Deokjeong to Suwon: 19 times, Uijeongbu to Sangnoksu: 122 times		Janggi to Buchen Stadium: 100 times, Janggi to Seoul Station: 41 times	



## 2) 대중교통 시스템의 GTFS 데이터

기존 대중교통망에 기반한 대중교통 시스템의 GTFS 데이터는 국가교통데이터베이스(이하 KTDB)에서 제공하는 데이터를 활용하였다. KTDB는 2023년 최초로 국내 대중교통 시스템의 GTFS 데이터를 공개하였다(국가교통데이터베이스, 2023). 이는 2021년 3월을 기준으로 하며, 전국의 항공교통, 도로, 철도, 해운 교통 데이터를 포함한다. 각 데이터는 교통 서비스 사업자의 자료, 한국교통연구원 등 국내 연구기관, 버스정보서비스(타고 등) 등 해당 기관에서 직접 수집한 데이터 기반으로 평일에 해당하는 대중교통 운영 정보를 제공한다. 이를 통해 활용가능한 데이터는 209,837개의 정류장, 27,140개의 노선, 337,767회의 운행, 총합 20,306,003개의 정차정보를 포함한다. 본 연구에서는 수도권 내 접근성 변화 분석을 위해 수도권 영역에 포함하는 데이터만을 선별하여 활용하였다.

## 3) 수도권 도로 네트워크

본 연구에서 활용한 도로 네트워크는 KTDB의 도로망 데이터베이스를 이용하였다. KTDB에서 제공하는 도로망 데이터베이스를 활용할 경우, 직접 도로망을 구축하는 방식에 비해 시간과 비용 측면에서 효율적이며, 오픈소스인 OpenStreetMap보다 높은 정확성을 확보할 수 있다. 특히, KTDB의 도로망 네트워크 서비스는 2022년 최신화 작업이 이루어진 자료로, 2021년도에 수집된 네트워크로 구성되어 있어 본 연구에서 활용하기 적합한 것으로 판단하였다. 또한 구성된 자료 중 건설 작업이 진행 중인 도로에 대한 정보도 포함하고 있어, 이를 활용해 미래 도로 네트워크를 추가하고, 최종적으로 본 연구의 분석 과정에 포함하였다. 최종적으로 구축된 도로 네트워크 데이터는 <표 4>와 같이 구성되며, 도로 구분을 위한 링크(Link) ID 정보를 포함하여, 보행 가능 여부, 도로 위계, 전체 길이 정보를 포함한다. 보행자 통과 불가능 도로의 경우, 보행 금지를 의미하는 'Y'와 보행 가능을 의미하는 'N'으로 구분된다. 8가지 도로 유형 중 고속도로, 도시화 고속도로, 고속도로 연결 램프가 보행 금지에 해당하며, 나머지 다섯 가지 유형(일반국도, 특별광역시도, 국가지원지방도, 지방도, 시도·군도)은 보행 가능에 해당한다. 도로의 위계의 경우, 일반적인 도로망 분석에서 매우 중요한 요소 중 하나이나, 본 분석에서

주로 이용되는 보행자를 대상으로 할 경우, 큰 영향을 주지 않는 것으로 판단하여, 별도의 유형 구분 없이 보행 가능한 모든 도로를 일반 도로를 나타내는 '1'로 표기하였다.

## 4) 분석 단위

본 연구에서는 GTX 도입에 따른 접근성 변화를 도출하고, 비교하기 위한 공간 단위는 500m×500m 크기의 정사각형 격자로 설정하였다. 격자 경계의 경우 통계청에서 제공하는 전국 단위의 500m 격자 경계 구분자료를 활용하였다. 500m 격자 경계를 활용할 경우, 서울시 기준 모든 격자의 중심점이 서울시 내 모든 장소에 대해 350m 이내로 이격되며, 이는 페리의 근린주구론에 따른 적정 보행거리인 400m 반경을 초과하지 않는다(구미경·양우현, 2016). 이에 따라 본 연구에서는 <그림 3>과 같이 서울시 내 500m×500m 격자를 설정하여 분석에 활용하였다. 이는 추후 통계청에서 제공하는 격자별 인구, 소득, 나이, 성별, 사업체 등 다양한 변수들을 결합하여 추가 분석에도 활용 가능할 것으로 판단된다.

## 3. 분석 방법

### 1) 네트워크 분석

본 연구에서는 접근성 변화를 산출하기 위해 ArcGIS의 네트워크 분석 기능을 사용하였다. 분석에 사용한 기준일자는 2023년 8월 16일 수요일(평일)이다. 분석 시점은 통행의 특성을 잘 나타낼 수 있는 시간대인 첨두시간으로 결정하였다. 이는 통근 및 통학 승객 수요 패턴과 역세권의 토지이용 특성을 충분히 반영하며, 오전 첨두시간대(07:00~09:00), 오후 첨두시간대(18:00~20:00) 및 그 외 비첨두시간대로 구분된다(장성훈 외, 2013). 최종적으로 본 연구에서는 선행연구에서 설정한 첨두시간의 대표시간인 오전 8시, 비첨두시간의 대표시간인 오후 2시를 분석 시점으로

표 4. 도로 네트워크 데이터 구성 예시

Table 4. Example of road network data structure

Columns	Explanation	Example
LINK_ID	Link ID	287200036
ROAD_RANK	Order of construction	104
RestrictPedestrians	Pedestrian accessibility	N
ROAD_CLASS	Level of road	0
Shape_Length	Length of road	314.68

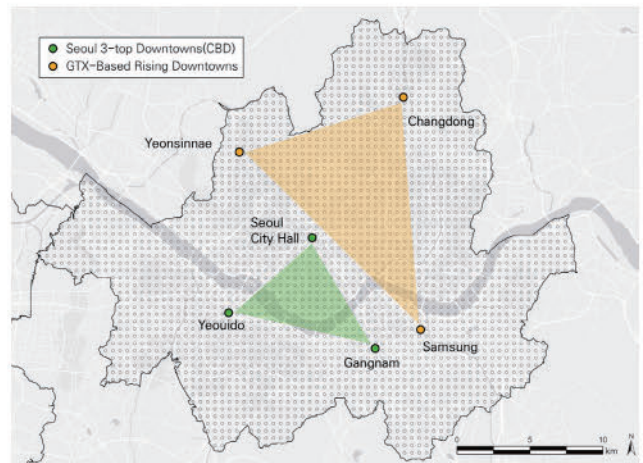


그림 3. 서울시 기준 500m×500m 격자  
Figure 3. 500 m×500 m grid system of Seoul City



표 5. 분석 시점 및 접근성 변화 기준 시간

Table 5. Analysis time points and reference times for accessibility changes

Time	Times for accessibility changes					
	Without GTX lines			With GTX lines		
Peak hour (08:00)	30	60	90	30	60	90
Non-peak hour (14:00)	30	60	90	30	60	90

선택하였다. 접근성 변화를 보기 위한 시간 기준은 30분, 60분, 90분으로 <표 5>와 같이 12가지 경우에 대한 네트워크 분석을 진행하였다.

이후, 각 격자 중심점 기준, 접근 가능 시간 이내에 도달 가능한 영역의 총면적을 산출하였다. 총면적의 크기는 해당 격자에서의 접근성을 나타내는 직관적인 지표로 활용할 수 있으며, 접근성과 정비례한다. 따라서 이를 통해 접근성 변화를 산출할 수 있다.

2) 접근성 향상 산출

본 연구는 수도권 주요 지역들에 대해 일반적인 접근성 향상 정도를 비교하기 위해, <그림 3>과 같이 서울시의 6개 주요지점을 설정하고 각 주요 지점까지 30분, 60분, 120분 내 접근할 수 있는 지역을 구하였다. 이후, 각 지역에 가중치를 부여하여 식 (1)과 같이 접근성 향상 지표를 산출하였다.

또한, 접근성 향상의 편익 비용을 산출하였다. 접근성 향상의 편익 비용은 평균 시간가치와 시간 절감 효과의 곱으로 설정하였다. 대중교통 이용자의 시간가치는 오연선·황순연(2017)에서 산출한 17,280원으로 설정하였으며, 시간 절감 효과는 이동 소요 시간과 인구수 가중치의 곱으로 계산할 수 있다.

본 연구에서는 이를 계산하기 위해 GTX 도입 전후의 네트워크에 대해 각 행정동 중심점 간 소요 시간을 계산 후 행정동 간 이동 인구수를 가중치로 곱하여 평균 시간가치로 설정하였다. 또한 생활이동데이터의 행정동 간 이동 인구수를 가중치로 설정하여 활용하였다. 접근성 향상 편익 비용 계산 과정은 식 (2)와 같다.

$$Point_x = \sum_D^{6개\ 중심} \left( \begin{matrix} [0,1]^{T_{x \rightarrow D} \le 30min} \times 4 + \\ [0,1]^{T_{x \rightarrow D} \le 60min} \times 2 + \\ [0,1]^{T_{x \rightarrow D} \le 120min} \times 1 \end{matrix} \right) \quad (1)$$

Point<sub>x</sub>: x 지점의 접근성 향상점수

[0,1]<sup>T<sub>x→D</sub> ≤ 30min</sup>: x에서 D까지 30분 이내면 1, 아니면 0

[0,1]<sup>T<sub>x→D</sub> ≤ 60min</sup>: x에서 D까지 60분 이내면 1, 아니면 0

[0,1]<sup>T<sub>x→D</sub> ≤ 120min</sup>: x에서 D까지 120분 이내면 1, 아니면 0

$$CostBenefit = T_{all} \times TV^{(1H=17,260원)}$$

$$\Delta t_{O \rightarrow D} = t_{O \rightarrow D, Before} - t_{O \rightarrow D, After}$$

$$T_{O \rightarrow D} = \Delta t_{O \rightarrow D} \times P_{O \rightarrow D}$$

$$T_{O \rightarrow} = \sum_D^{All} T_{O \rightarrow D} \quad T_{\rightarrow D} = \sum_O^{All} T_{O \rightarrow D}$$

$$T_{all} = \sum_O^{All} \sum_D^{All} T_{O \rightarrow D}$$

$$\varnothing T_{O \rightarrow} = \sum_D^{All} T_{O \rightarrow D} / \sum_D^{All} P_{O \rightarrow D}$$

$$\varnothing T_{\rightarrow D} = \sum_O^{All} T_{O \rightarrow D} / \sum_O^{All} P_{O \rightarrow D}$$

$$\varnothing T_{all} = \sum_O^{All} \sum_D^{All} T_{O \rightarrow D} / \sum_O^{All} \sum_D^{All} P_{O \rightarrow D}$$

(2)

※ Δ: 변화량, ∅: 평균

t<sub>O→D</sub>: O에서 D로 이동하는 소요시간

P<sub>O→D</sub>: O에서 D로 이동하는 인구 수

T<sub>O→D</sub>: O에서 D로 이동하는 인구의 총 절감시간

T<sub>O→</sub>: O에서 출발하는 인구의 총 절감시간

T<sub>→D</sub>: D로 도착하는 인구의 총 절감시간

T<sub>All</sub>: 유동인구의 총 절감시간

CostBenefit: 유동인구의 금전적인 시간절감가치

TV: 평균시간가치(시간당 17,280원, 교통연구원, 2016)

3) GTX-A 부분 개통에 대한 영향도 분석

GTX-A 노선의 부분 개통의 낮은 실효성에 대한 원인으로는 긴 배차 간격, 부족한 연계 체계로 인한 낮은 역 접근성 및 주요 역의 미개통으로 인한 낮은 연결성 등이 존재한다(정중훈, 2024). 이에 본 연구는 이러한 문제를 파악하기 위해 부분 개통 구간만을 가지고 GTFS 데이터를 구축하여 네트워크 분석을 진행하였다.

이때, 운영효과 파악을 위해, 8시부터 10시까지 5분 간격의 접근 가능 지역을 중첩하여, 운영 빈도가 포함된 서비스 수준 지표를 도출하였다. 이 지표를 통해 본 연구에서는 부분 개통에 따른 문제와 GTX 정거장의 접근성 문제를 분석하였다. 부분 개통에 따른 효과를 평가하기 위해 강남의 중심지를 대상으로 서비스 수준과 서비스 면적을 비교하여 문제점과 개선점을 도출하였다. 또한 정거장의 접근성 문제를 분석하기 위해 주요 역들의 기존 대중교통 서비스 수준을 평가하고 이에 따른 개선 전략을 도출하였다. 본 연구의 전체적인 프레임워크는 <그림 4>와 같다.



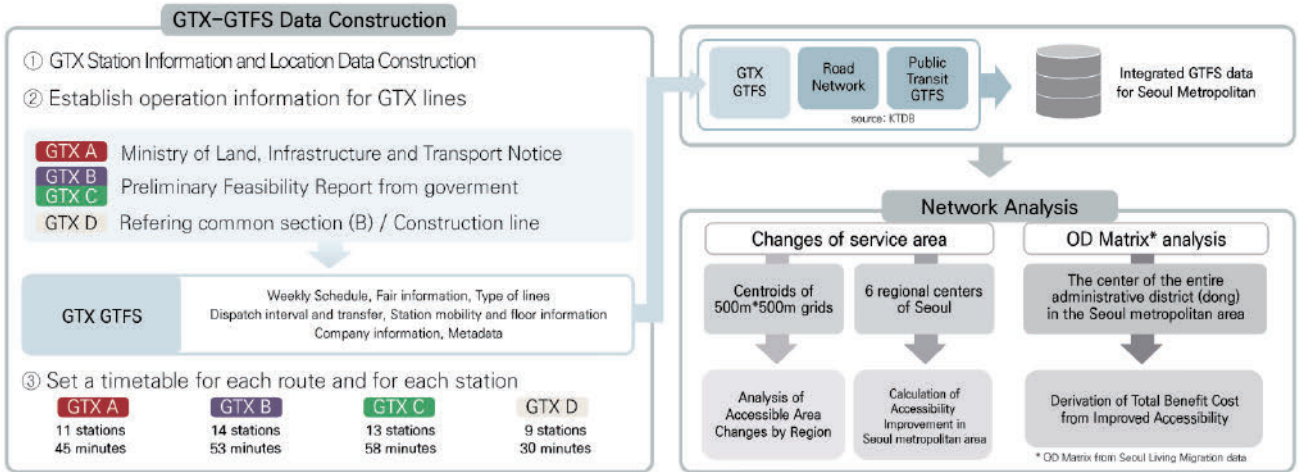


그림 4. 연구의 프레임워크  
Figure 4. Research framework

## VI. 분석 결과

### 1. GTX 노선 도입에 따른 접근성 변화

#### 1) GTX 노선 도입에 따른 서울로의 접근성 변화

본 연구는 GTX를 도입할 경우, 수도권 지역에서 서울로의 접근성 향상 효과를 확인하였다. 분석 결과, 서울시 내 500×500m 격자 중심 기준, GTX 노선 도입에 따른 수도권에서 서울로의 접근성 변화는 유의미하게 나타났다. 구체적으로 GTX 도입에 따른 접근성 향상 지역의 면적 변화는 <표 6>과 같으며, GTX 도입에 따른 수도권 주요 지역에서 서울시로의 접근성 변화는 <그림 5>를 통해 확인할 수 있다.

우선, 첨두시간 GTX 노선 도입에 따른 접근성 변화량의 경우 수도권에서 서울시 내 각 격자에 30분 이내에 도달 가능 면적 차이의 총합은 11.16km<sup>2</sup>(+9.0%), 60분 기준 481.32km<sup>2</sup>(+40.0%),

90분 기준 974.06km<sup>2</sup> (+24.8%)로 나타났다. 비첨두시간 GTX 노선 도입에 따른 접근성 변화량의 경우 30분 범위 기준 6.04km<sup>2</sup>(+5.2%), 60분 범위 기준 315.34km<sup>2</sup>(+26.0%), 90분 범위 기준 659.14km<sup>2</sup>(+16.7%)로 나타났다. 모든 시간대에 대해 첨두시간의 접근성 향상 효과가 비첨두시간의 접근성 향상 효과보다 크게 나타났으며, 첨두시간과 비첨두시간 모두 60분 내 접근 가능 면적의 향상 효과가 가장 크게 나타났다. 이는 GTX 도입으로 인한 접근성 향상은 1시간 이상의 통행에서의 그 효과가 더 크게 나타날 수 있음을 의미하며, GTX의 도입을 통해 장거리 통근자의 출퇴근 통근 시간 감소에 기여할 수 있음을 시사한다.

또한, 서울시 중심 지역 및 노선 분포 지역뿐 아니라 인근 지역도 전반적인 접근성 향상 효과가 나타났다. 이는 GTX가 기존 대중교통 시스템과의 연계로 다양한 지역에서의 접근성 향상에 기여할 수 있음을 시사한다. 반면 30분 내의 단거리 통행에 대해서는 그 효과가 크지 않은 것으로 나타났다.

표 6. GTX 도입에 따른 서울로의 접근성 향상

Table 6. Improvement in accessibility to Seoul with the introduction of GTX

Time	Peak hour	Area (km <sup>2</sup> ) <sup>1)</sup>		Δ Area <sup>2)</sup>	Δ Acc <sup>3)</sup>
		No GTX	GTX		
30 min.	Yes	124.22	135.38	11.16	9.0%
	No	116.52	122.56	6.04	5.2%
60 min.	Yes	1203.83	1685.15	481.32	40.0%
	No	1212.37	1527.71	315.34	26.0%
90 min.	Yes	4904.47	4904.47	974.06	24.8%
	No	4602.62	4602.62	659.14	16.7%

1) It means accessible area from metropolitan area to Seoul.

2) Δ Area = Area with GTX - Area without GTX

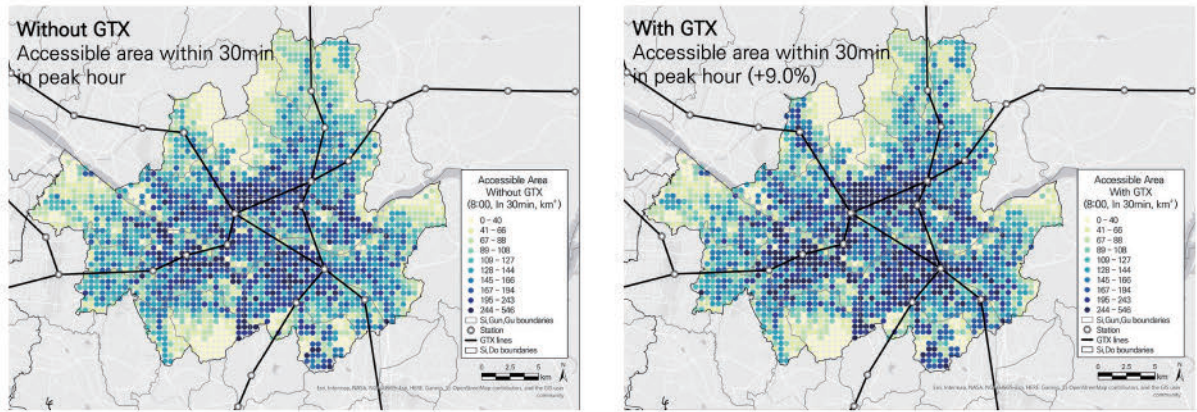
3) Δ Acc = Percentage changes in area, which are improvement in accessibility

#### 2) 주요 도심지역 GTX 접근성 변화 분석

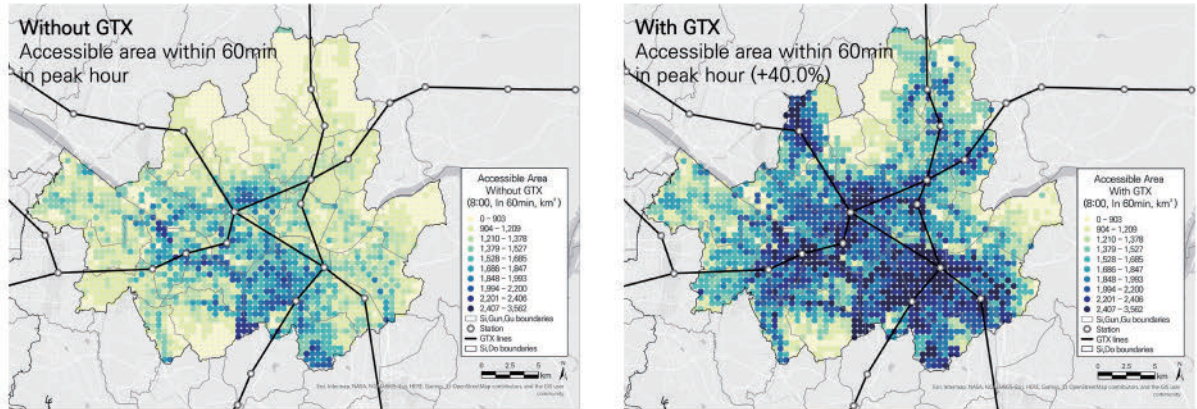
본 연구에서는 서울시 내 6개의 주요 도심지역 중심지를 설정하고, 각 지역에서 GTX 도입에 따른 실제 서비스 영역이 어떻게 변하는지 도출하였다. 6개 지점은 기존 중심상업지구인 시청, 여의도, 강남을 포함하여, GTX 도입으로 인한 접근성 향상이 크게 나타날 것으로 예측되는 연신내, 삼성, 창동으로 설정하였다. 분석 결과는 <그림 5>, <그림 6> 및 <표 7>과 같으며, 실제로 연신내, 삼성 및 창동이 기존 주요 도심보다 더 큰 접근성 향상이 나타났다. 이는 기존 3개 도심의 경우 기존에 구축된 대중교통 인프라가 이미 해당 지역의 교통 수요를 충족시키기 때문에, 새로운 수단의 도입 효과가 상대적으로 적은 것으로 판단된다.

연신내의 경우 GTX 도입으로 인한 접근성이 2배 이상 증가하는 것으로 나타났다. 삼성동의 경우 30분 거리 내 접근성 향상이 60분 내 접근성 향상보다 크게 나타났다. 이는 연신내, 창동에 비해 삼

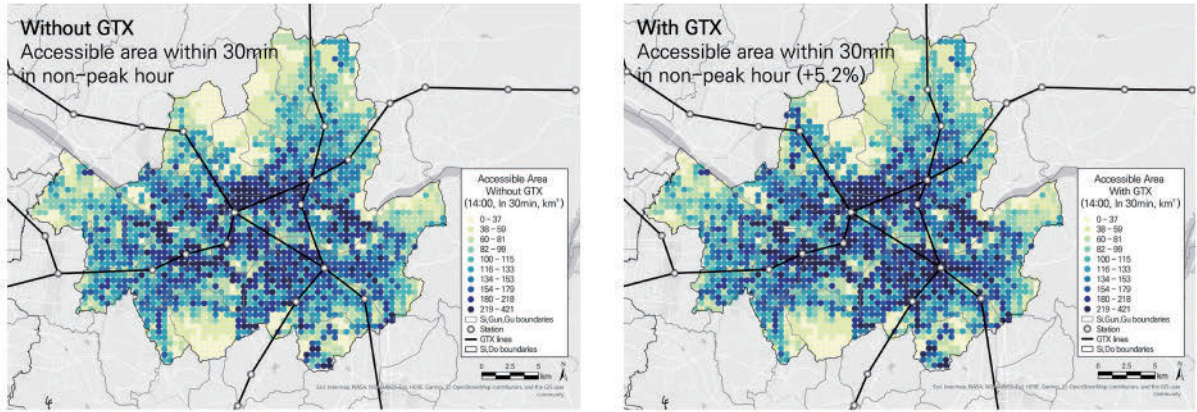




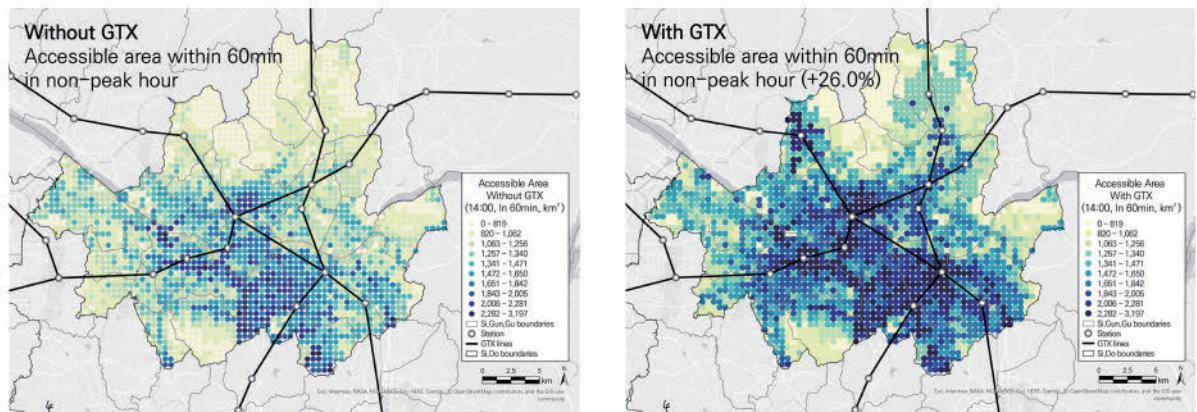
(a) 30 minutes accessibility in peak hour without GTX (left), with GTX (right)



(b) 60 minutes accessibility in peak hour without GTX (left), with GTX (right)



(c) 30 minutes accessibility in non-peak hour without GTX (left), with GTX (right)



(d) 60 minutes accessibility in non-peak hour without GTX (left), with GTX (right)

그림 5. GTX 도입 여부에 따른 서울로의 접근성 변화

Figure 5. Changes in accessibility to Seoul without and with GTX introduction



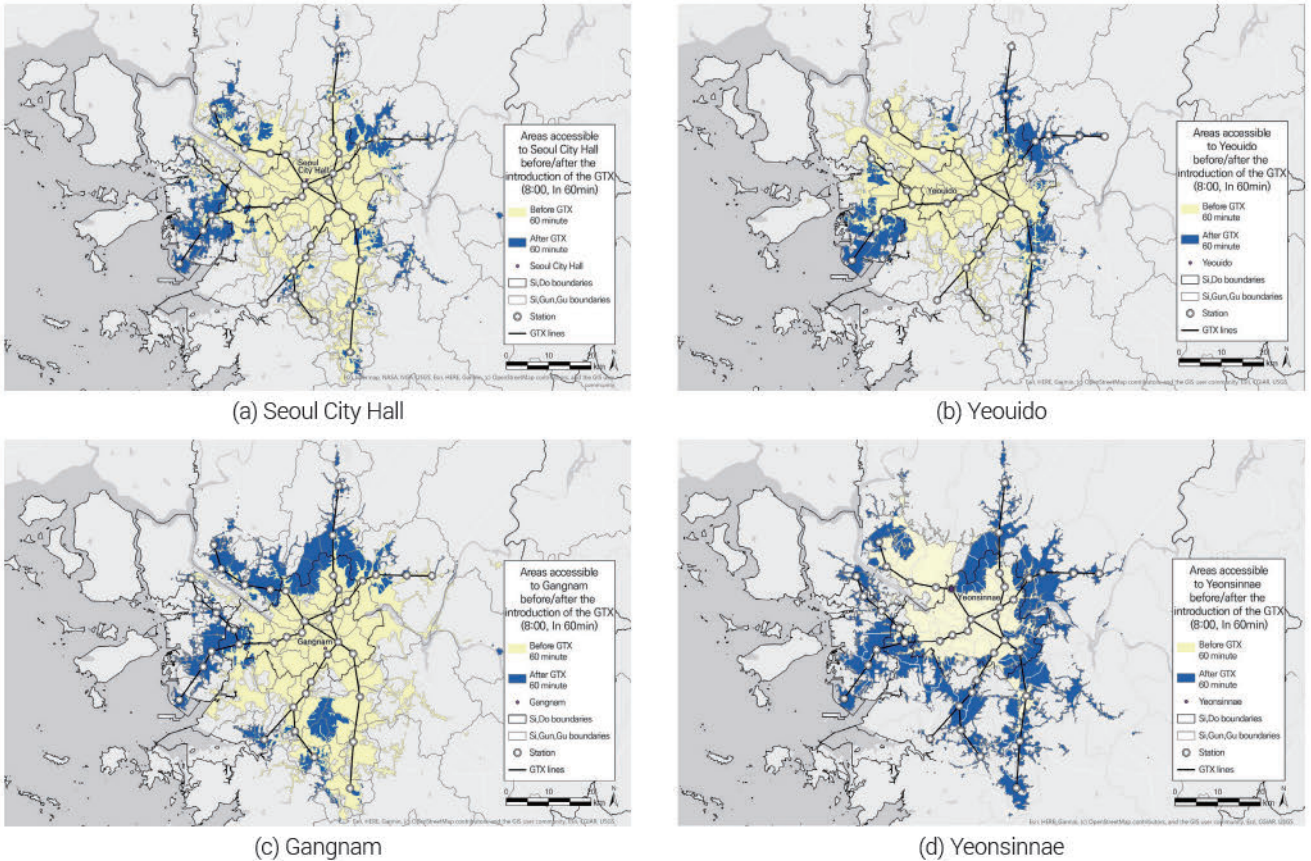


그림 6. 4개 중심업무지구(시청, 여의도, 강남, 연신내) 기준 GTX 도입 여부에 따른 60분 접근성 변화  
 Figure 6. 60 mins accessibility changes before and after GTX introduction for four major business districts

표 7. 주요 도심 서비스 영역 변화

Table 7. Changes in service areas of major downtowns

Location	Time (min)	Area (km <sup>2</sup> )		Δ Area (km <sup>2</sup> )
		Without GTX	With GTX	
Seoul City Hall	30	261.99	320.32	58.33 (+22.3%)
	60	1815.38	2411.49	596.11 (+32.8%)
Yeouido	30	213.70	230.01	16.30 (+7.6%)
	60	1591.73	2143.01	551.28 (+34.6%)
Gangnam	30	276.50	363.73	87.22(+31.6%)
	60	2007.66	2933.15	925.50 (+46.1%)
Samsong	30	240.34	474.95	234.60 (+97.6%)
	60	1758.67	3117.07	1358.40 (+77.2%)
Yeonsinnae	30	156.33	336.11	179.78 (+115.0%)
	60	1166.67	2694.37	1527.68 (+130.9%)
Chang-dong	30	99.41	117.72	18.31 (+18.4%)
	60	824.88	1733.09	908.20 (+110.1%)

성의 대중교통 인프라가 기존 도심지역과 가장 비슷한 수준으로 구축되어 있기 때문에 판단된다. 이에 대해 창동의 경우 30분

내 접근성 향상은 6개 도심 중 가장 적은 것으로 나타났으나, 60분 내 접근성 향상은 연신내에 이어 두 번째로 큰 것으로 나타났다.

이는 GTX 도입을 통해 기존 대중교통 인프라가 부족한 지역에서의 접근성을 향상할 수 있으며, 최종적으로 GTX 노선의 도입으로 인해 새로운 교통중심지가 형성될 수 있음을 시사한다.

### 3) GTX 사업을 통한 접근성 향상

종합적인 GTX 도입 효과를 분석하기 위해 행정동별 서울시 주요 중심부 6개소(시청, 강남, 여의도, 연신내, 삼성, 창동)까지의 접근성을 바탕으로 접근성 향상 지표를 산출하였다. 시간에 따른 지표 가중치는 30분, 60분, 120분에 대해 각각 4점, 2점, 1점으로 계산하였다. 수도권 지역의 GTX 도입 효과는 <그림 7>과 같다.

분석 결과, 일반적으로 마포구, 인천, 양주군과 같이 GTX 정착역과의 연결성이 높은 지역에서는 효과가 크게 나타났다. 반면, 종로구, 강남구, 강동구, 경기 외곽 지역은 효과가 낮은 것으로 나타났다. 종로구와 강남구는 기존 인프라 시설이 충분히 있음에 따라 GTX 도입에 따른 효과가 낮게 나타났고, 강동구와 경기 외곽 지역은 GTX가 도입되지 않는 지역으로 GTX 도입의 효과가 낮게 나타나는 것으로 판단된다.



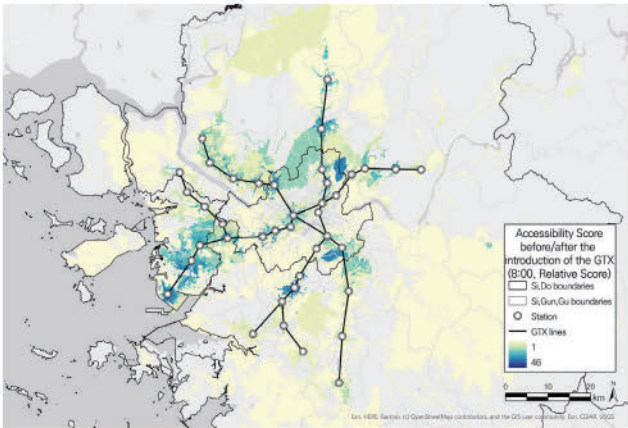


그림 7. GTX 도입에 따른 접근성 향상 점수

Figure 7. Accessibility improvement score with GTX introduction

4) 행정동 기준 GTX 사업 전후 접근성 향상 비교

GTX 도입의 구체적인 효과 범위를 파악하기 위해 행정동 단위에서 GTX 도입 전후의 접근성을 비교하였다. 이를 위해 평균 시간가치와 시간 절감 효과의 곱으로 산출된 시간 절감 편익을 계산하여 분석하였다. 이때, 시간 절감 편익은 시간적 가치(시간)로 환산하여 계산하였다.

시간 절감 효과는 행정동 중심지 간 이동 소요 시간과 행정동 간 이동 인구수를 가중치로 곱해 계산하였다. 이 과정에서 네트워크 분석을 활용하여 1,152개의 행정동 간 Origin-Destination(OD) 매트릭스를 구축하였고, 2023년 7월의 생활 이동 데이터를 평일과 휴일로 구분한 뒤 오전 8시 기준 통행 수 데이터를 추출하였다. 그리고 추출된 데이터를 각 행정동 OD 쌍에 대해 가중치로 반영하였으며, 산간 및 오지 등이 포함된 비현실적 OD 쌍을 제외한 총 35,947,497회(전체 통행의 99.94%)의 통행 데이터를 활용하여 통행 편익 비용을 최종적으로 산출하였다.

분석 결과, 오전 8시 기준, 시간 절감 편익의 가장 큰 효과는 서울특별시 은평구, 경기도 남양주시, 김포시 등에서 나타났다. 해당 지역들은 GTX 정차역 인근에 위치하고 있으며, 서울 중심지의 이동 수요가 높은 지역이라는 공통된 특징을 가지고 있음을 확인할 수 있다. 이들 지역의 GTX 도입을 통한 시간 절감 효과는 오전 8시 기준 최소 8.30천 시간에서 최대 1.92만 시간으로 나타났으며, 시간 절감 편익 상위 혜택 행정동 정보는 <표 8> 및 <그림 8>과 같다.

또한, 단일 통행에 대한 행정동 간 통행 절감 시간은 최대 40분으로 나타났으며, 평균적으로 약 2.36분의 절감 편익이 나타났다. 이에 따른 일간 총통행 편익은 약 4.71만 시간가치를 가진다. 특히, 연간 기준으로 환산할 경우, GTX를 통한 시간 절감 효과는 1.70천만 시간으로 나타났다.

이는 GTX 예비타당성 조사보고서에서 제시된 연간 편익과 비교할 때(한국개발연구원, 2014), 본 연구의 결과가 낮게 나타나는 것으로 보일 수 있다. 그러나 본 연구에서 계산한 연간 총통행 편

표 8. 출발 기준, 시간절감 편익 상위 10개 행정동(오전 8시 기준)

Table 8. Top 10 administrative districts based on time-saving benefits (Based on 8AM departures)

No	Administrative Dong	Time benefits (hour)
1	Jingwan-dong, Eunpyeong-gu, Seoul	19,192.80
2	Hwado-eup, Namyangju-si, Gyeonggi-do	18,699.84
3	Daejo-dong, Eunpyeong-gu, Seoul	12,319.44
4	Hopyeong-dong, Namyangju-si, Gyeonggi-do	11,843.76
5	Heungdo-dong, Goyang-si, Gyeonggi-do	10,781.52
6	Janggi-dong, Gimpo-si, Gyeonggi-do	10,397.28
7	Byeollae-dong, Namyangju-si, Gyeonggi-do	9,184.56
8	Jung1-dong, Bucheon-si, Gyeonggi-do	9,042.00
9	Segok-dong, Gangnam-gu, Seoul	8,328.96
10	Sanggye6-7-dong, Nowon-gu, Seoul	8,299.44

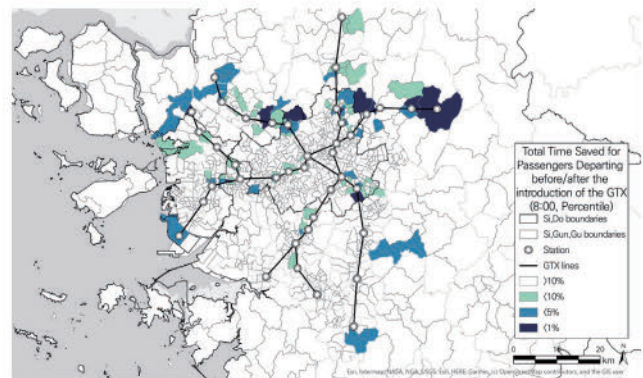


그림 8. 출발 기준, 시간절감 편익 상위 혜택 행정동(오전 8시)

Figure 8. Top administrative districts with highest time-saving benefits for 8AM departures

익 비용은 오전 첨두시간인 8시의 통행자료만을 활용하여 계산되었으며, 오후 첨두시간이나 기타 시간대의 통행 데이터를 포함하지 않았다. 따라서 이를 고려하여 모든 시간대에 대해 분석을 진행할 경우, 실제 편익은 훨씬 더 클 것으로 판단된다.

또한, 단순히 SOC 사업의 분석 기간인 25년간의 편익으로 이루어 본 2017년 개정 사회적 할인율(4.5%)을 고려할 때, 더 큰 편익이 발생할 것으로 기대되며, 종합적으로, GTX 도입에 따른 시간 편익의 효과는 단일 통행에서 연간 총통행까지 명확한 절감 효과를 보여줌을 확인할 수 있다. GTX 도입에 따른 시간 편익에 대한 구체적인 수치는 <표 9>와 같다.

2. GTX-A 부분 개통 효과 분석

1) GTX-A 부분 개통의 효과

GTX-A 노선 중 수서-동탄 부분 개통으로 인한 삼성역 접근성(1시간 이내 도착 가능성) 변화를 분석하였다. 분석 결과 <그림 9>



**표 9.** GTX 도입에 따른 시간 편익(오전 8시 기준)  
**Table 9.** Time-saving benefits with GTX introduction (Based on 8AM departures)

Criterion	Estimated benefits	
Per trip	Benefit	2.36 min.
	Cost	679 won
Total trips per day	Benefit	47,131 hours
	Cost	823 million won
Total trips per month	Benefit	1,413,935 hours
	Cost	24.4 billion won
Total trips per year	Benefit	16,967,219 hours
	Cost	292.9 billion won

와 같이 GTX의 도입 효과가 거의 나타나지 않음이 확인되었다. 경기도 광주시 일대에서만 약간의 접근성이 증가하였을 뿐, 대부분의 지역에서 유의미한 효과가 나타나지 않았다. 특히, GTX-A의 수혜지역으로 여겨지는 동탄, 성남 등의 지역은 효과가 미미했다. 즉, GTX 부분 개통만으로는 주변지역의 접근성 개선에 한계가 있음을 보여준다.

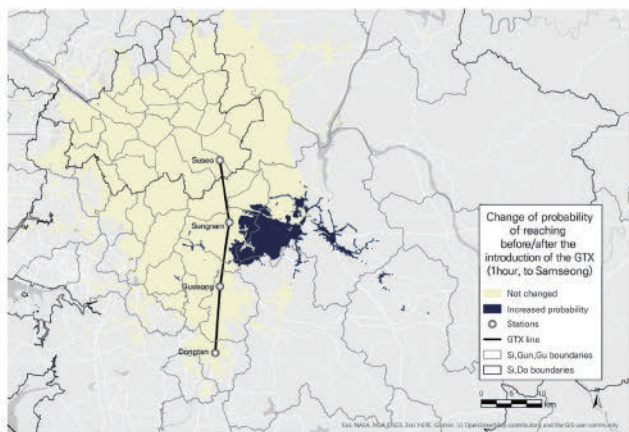
이러한 낮은 편익이 나타난 원인은 크게 두 가지로 나타난다. 먼저 GTX 부분개통 구간의 종점인 수서역의 접근성이 떨어지기 때문이다. GTX-A 노선은 현재 수서-동탄 구간만 부분 개통되어 운행 중에 있다. 이로 인해 강남의 주요 중심지인 강남대로, 테헤란로 등으로 직접적인 연결이 이루어져있지 않는다. 수서역을 지나는 수인분당선, 3호선은 각각 선릉, 교대 등의 지역으로 이동할 수 있지만, 최대 중심지로의 이동을 위해 1회 이상의 환승이 강제된다. 이에 따라, 결과에서 볼 수 있듯, 동탄, 성남 지역에서는 GTX를 이용하는 것보다, 기존 광역버스를 이용하는 것이 더 좋은 대안으로 작용한다. 이러한 연결성의 문제는 GTX-A 노선의 부분 개통 구간(수서-동탄)과 GTX-A 노선의 전체 구간(운정

중앙-동탄)을 기준으로 1시간 이내에 삼성역에 도달 가능한 지역을 비교함으로써 확인이 가능하다. 분석 결과 노선 전체 구간이 개통될 경우 접근 가능 지역이 더욱 넓어지는 것으로 확인되었다. <그림 10>에서는 수서-동탄 구간 부분 개통의 효과가 경기도 광주시 일부 지역에만 나타난 것에 비해, 전체 구간 개통 시, 동탄, 성남 등 더욱 넓은 지역에서 개통 효과가 나타남을 확인할 수 있다. 따라서, 노선이 주요 목적지로 현재 직접적으로 연결되어있지 않음으로 인해 이용 수요가 낮게 나타나는 것임을 확인할 수 있다.

또 다른 원인은 부분 개통에 따른 긴 배차간격 문제가 존재한다. GTX-A 노선의 계획에 따르면, 총 20대의 차량을 운행해 전용구간에서 8분 간격, 공용구간에서 10분 간격으로 왕복 141회, 100회 운영하는 것을 목표로 하고 있다(국토교통부, 2019). 하지만 GTX-A 노선 1단계 개통 구간의 경우 1대의 차량을 이용하여 일일 왕복 51회로 당초 계획과 비교해 절반 수준의 운행이 이루어지고 있다(GTX-A, 2024). 또한, 기존 고속철도의 수도권 구간을 공용하고 있어, SRT가 운행하지 않는 시간에 투입되어 일정하지 않은 간격으로 운행하고 있어 배차간격이 40분 이상인 시간대가 존재하였다. 이로 인해, 일부 시간대에서는 GTX의 도입에 따라 접근성이 향상되는 지역도 있었으나, 이를 빈도(배차간격)를 고려한 서비스 분석을 한 결과, 대기시간 증가로 이용 수요가 낮아지면서 GTX를 이용하기 전과 후의 차이가 없게 된 것을 확인할 수 있다.

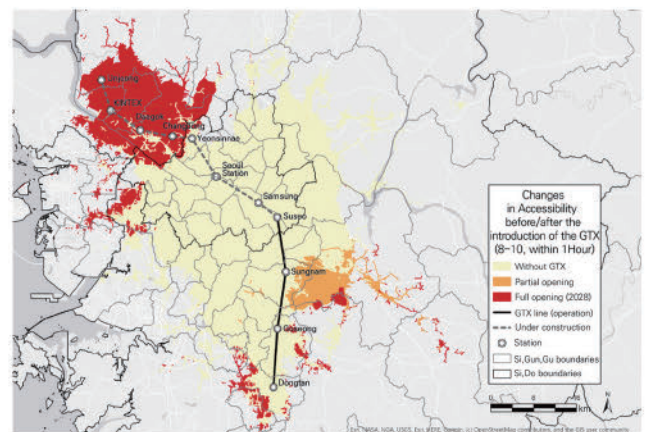
**2) GTX역과 주변지역의 연결성 문제**

GTX는 광역 급행 철도로 각 지역의 교통중심지 사이를 이동하므로 최종 목적지까지의 추가적인 이동이 매우 중요해 환승 체계와 역 접근성이 매우 중요한 요소로 작용한다. 이에, 개통한 GTX 정거장 및 개통 예정인 노선의 정거장의 접근성을 평가하기 위해 각 정거장을 기준으로 접근성 서비스 수준을 분석하였다. 구체적으로, 8~10시를 기준으로, 각 정거장으로부터 15분 이내에 접근 가능한 지역을 5분 간격의 접근성 수준을 분석한 결과



**그림 9.** GTX-A 부분 개통에 따른 접근성 변화

**Figure 9.** Changes in accessibility with partial opening of GTX-A



**그림 10.** 개통 전, 부분개통, 전체개통의 접근성 변화

**Figure 10.** Accessibility changes before, during partial opening, and after full opening



실제로 수준의 차이가 크게 나는 것을 확인할 수 있다. 각 정거장 별 15분 이내 접근 가능 지역의 면적은 <그림 11>과 같다.

분석 결과, 대부분의 GTX 정거장은 접근 가능 면적이 매우 작은 것으로 나타났다. 특히, 운행 중인 GTX-A 수서~동탄 구간의 경우, 대부분의 정거장이 주변 지역과의 연결성이 낮은 것으로 확인되었다. 이들 정거장을 세부적으로 분석한 결과, 정거장이 설치되는 지역이 개발이 되지 않았거나, 연계 수단의 서비스 빈도가 낮거나, 정거장이 특정 방향으로만 환승 연계가 이루어진 경우로 파악되었다. 예를 들어, GTX-B 노선의 별내역의 경우, <그림 12>와 같이 접근성이 높은 지역이 매우 제한적인 것으로 나타났다. 이에 대한 원인으로 먼저 연계 교통수단의 긴 배차간격이 있다. 별내역을 지나는 버스노선의 대부분은 20~30분의 배차간격을 가진 노선들이다. 이로 인해 출발시간대에 관계없이 항상 높은 접근성을 보이는 지역의 면적이 낮게 나타나는 것으로 볼 수 있다. 또한, 역사의 남쪽 지역에는 연계 노선이 빈약하여 접근성이 매우 떨어지는 것으로 나타났다.

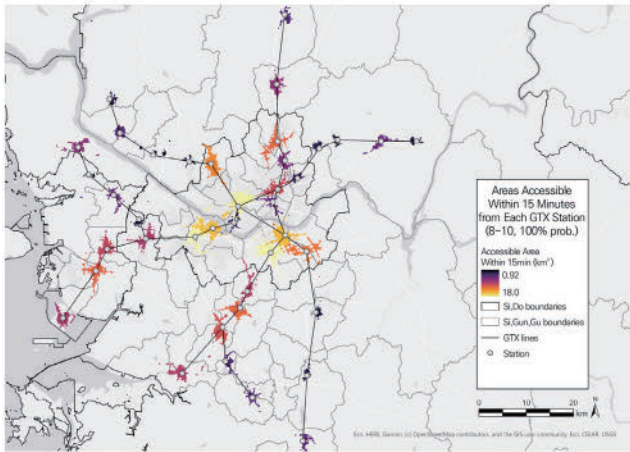


그림 11. 각 정거장별 15분 이내 접근 가능 지역 면적

Figure 11. Area of regions accessible within 15 minutes to each station

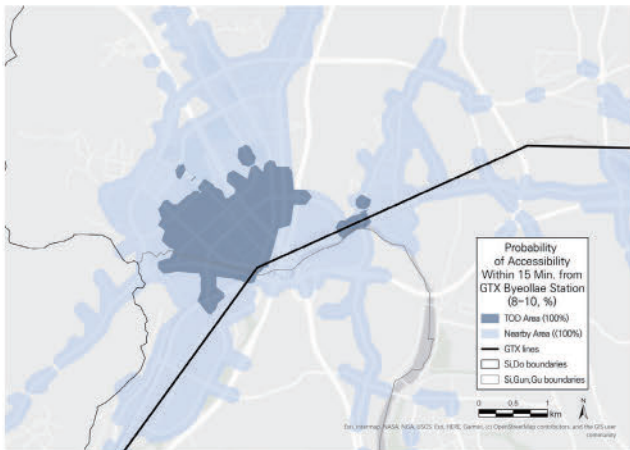


그림 12. GTX-B 별내역 접근성 평가

Figure 12. Accessibility assessment for GTX-B Byeollae station

## V. 결론

### 1. 결론 및 시사점

본 연구는 GTFS를 활용하여 GTX의 도입 효과를 분석하였다. 분석 결과 GTX는 높은 시간 절감 편의 효과를 가져오나, 지역마다 편의의 정도가 상이하다는 것을 확인하였다. 서울 외곽 지역 및 경기도에서 큰 시간 절감이 편의가 나타났으며, 주변 연계 교통시설이 잘 갖추어졌을수록 편의는 더욱 커지는 것을 확인되었다. 또한, GTFS를 활용한 네트워크 분석이 고전적인 방법과 비교해 신속하게 합리적인 결과를 도출하는 것을 확인하였다. 이러한 결과는 본 연구의 GTFS 기반 접근 방식이 실제 교통 수요 예측에서 실용적이고 효율적인 도구로 활용될 수 있음을 시사하며, 연구의 신뢰성을 높이는 데 기여할 수 있음을 시사한다.

또한, 현재 부분 개통하여 운행 중인 GTX-A 노선 수서~동탄 구간의 수요가 기존 연구들의 예측과 비교하여 낮은 수요를 가지는 문제에 대한 원인을 분석하였다. 해당 구간만을 반영하여 GTFS를 통해 분석한 결과, 실제로 GTX 노선 도입의 효과가 거의 없는 것으로 나타났다. 삼성역 등 주요 목적지로의 낮은 연결성, 긴 배차 간격, 그리고 연계 교통시설과의 낮은 연계성으로 인한 GTX 역의 낮은 접근성이 문제의 원인임이 확인되었다.

이 중, 연계 교통시설과의 낮은 연계성은 GTX 노선 전체에 대한 문제점으로 나타난다. 이천시와 여주시의 경우, 경강선 광역 전철을 통해 GTX-A 노선의 성남역에 쉽게 접근할 수 있어, 주변 지역보다 높은 편의가 나타났다. 반면, 파주시의 경우, GTX-A 노선의 운정역의 현재 연계 교통편이 부족한 상황이며, 이에 따라 상대적으로 편의가 낮게 나타났다. 이처럼, GTX와 같은 교통수단이 도입될 경우, 기존 대중교통수단과의 연계성에 따라 편의의 차이가 크며, 이는 기존 대중교통 시스템 또한 신규 대중교통 노선의 편의에 큰 영향을 미친다는 것을 확인할 수 있다. 실제로 GTX-A 초기 개통 시 인근 노선들이 GTX와의 연계성이 부족해 서비스 빈도가 낮아지는 문제가 있었으나, 이후 연계 노선 조정 등의 조치를 통해 이러한 낮은 연계성을 개선하였고, 현재는 GTX-A의 일평균 이용객이 점진적으로 증가하고 있는 추세이다.

향후 GTX 노선 도입의 효과를 극대화하기 위해 기존 대중교통 네트워크의 개선이 필요하다. 특히, 운정역과 같이 기존 대중교통 인프라가 부족한 지역에 추가노선을 고려하여 직접적인 대중교통 연계성 및 접근성을 강화할 수 있을 것이다. 이를 통해 향후 GTX 노선 정착역의 역할을 강화하고 총편익의 향상을 기대할 수 있다. 지하철뿐 아니라 버스 복합환승센터 설치를 통한 접근성 향상 방안도 기대할 수 있다. 특히, 한국도로공사에서 추진하는 EX 허브는 고속도로를 통과하는 버스의 정류장을 고속도로 상에 설치하는 사업으로, GTX 노선과의 연계성이 주목받고 있



다. 실제 GTX-A 노선의 용인역 인근 경부고속도로에 EX 허브가 설치될 예정이다(용인특례시, 2024). 이같이 복합환승센터 혹은 새로운 대중교통 시스템 도입을 통해 기존 대중교통과의 연계성 및 GTX 노선과의 연계성을 확보할 수 있을 것이다. 최종적으로 이러한 사업을 통해 GTX 노선의 도입으로 인한 편의 혜택이 적은 지역에서의 접근성 향상을 도모하여, 수도권 모든 지역에서의 접근 형평성을 확보할 수 있을 것이다.

또한, 본 연구에서 활용된 GTFS 데이터 기반 접근 방식은 BRT 등 신규 대중교통 수단 시스템 분석에 쉽게 적용할 수 있을 것이며, 단계적 노선 개통 시의 효과도 효율적으로 분석할 수 있을 것이다. 이는 교통 정책 수립 및 장기적 대책 마련에 있어 큰 기여를 할 수 있으며, 다양한 교통 인프라 개발에 있어서도 중요한 참고자료로 활용될 수 있을 것이다.

## 2. 연구의 의의 및 한계점

본 연구는 GTFS 데이터를 구축하고 기존의 데이터와 결합하여 네트워크 분석을 진행, 대중교통 신규노선 도입이 접근성 변화에 미치는 영향을 분석하였다. 이는 향후 신규노선의 도입 및 노선 정보의 변화에 유연하며, 다양한 차원에서의 대중교통 네트워크를 고려하여 공간 단위별 접근성을 상세하게 분석할 수 있다는 점에서 의의가 있다. 하지만 본 연구는 다음과 같은 한계점을 가진다.

첫째, 대중교통 이용 및 통행 특성은 이용자의 연령, 소득 등 개인 특성에 따라 다르며, 이에 따른 통행시간의 차이를 고려하지 못했다. 이는 추후 통계청에서 제공하는 격자 내 연령대별 인구수, 평균 소득 등 다양한 지표와 보행 속도 가중치 등을 고려하여 고도화된 분석을 진행할 수 있을 것이다.

둘째, 대중교통 시간 절감 편익의 총량은 인구 밀도 및 토지이용 특성에 따라 다르게 나타날 수 있다. 향후 연구에서는 아파트 단지와 상권 중심지 등 인구 밀도 및 토지이용 특성에 따라 대중교통 시스템의 접근성을 상세하게 설정하여 분석할 수 있을 것이다.

마지막으로, 본 연구에서는 격자와 행정동의 중심점을 분석 기준으로 사용하였다. 이는 사람들이 실제 출발하고 도착하는 지점을 고려하지 않으며, 이에 따라 출·도착지 간 발생하는 실제 거리 차이를 무시한다. 따라서 접근성이 과소 혹은 과대 추정될 수 있다. 이는 더욱 미시적인 분석 단위인 교통폴리곤이나 집계구 등의 미세한 공간 단위를 활용하거나, 에이전트 기반 모형 등을 활용하여 분석의 구체성을 확보할 수 있을 것이다.

## 인용문헌 References

- 고승영, 2017. "GTX건설과 통행패턴 재편", 대한국토·도시계획학회-대한교통학회 합동정책토론회, 서울: 한국과학기술회관.
- Go, S., 2017. "GTX Construction and Traffic Pattern Reorganization", Joint Policy Debate between the Korea Planning Association and the Korean Society of Transportation, Seoul: ST Center.
- 구미경·양우현, 2016. "도시 저층주거지의 생활권 중심 분석", 「한국주거학회논문집」, 27(6): 19-29.
- Ku, M. and Yang, W., 2016. "The Analysis of a Neighborhood Center in the Urban Low-rise Residential Areas", *Journal of the Korean Housing Association*, 27(6): 19-29.
- 국토교통부, 2019. "수도권광역급행철도 A노선은 운정~동탄 구간 1일 100회 이상 운행될 예정입니다.", 세종.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2019. "GTX-A is planned to operate more than 100 times per day on the entire Unjeong-Dongtan section", Sejong.
- 국토교통부, 2024. "[장관동정] 박상우 장관, "GTX 첫 열차와 함께 출퇴근 30분 시대 출발"", 세종.
- Ministry of Land Infrastructure and Transport, 2024. "[Ministerial Sympathy] Minister Park Sang-woo Said, "Starting from the 30-minute Commute Era with the First GTX Train"", Sejong.
- 김호정·배운경·김정화, 2020. "수도권 고속교통체계 구축에 따른 통행행태 변화와 향후 정책과제", 「국토정책 Brief」, 762: 1-8.
- Kim, H., Bae, Y., and Kim, J., 2020. "Changes in Traffic Behavior and Future Policy Tasks due to the Establishment of Rapid Transportation System in the Seoul Metropolitan Area", *KRIHS Policy Brief*, 762: 1-8.
- 김현·김연규·정경훈·안상용, 2009. 「대심도 철도 건설 정책의 실행방안 연구」, 세종: 한국교통연구원.
- Kim, H., Kim, Y., Jeong K., and Ahn, S., 2009. *Policy Measures for the Construction of Deep Subterranean Railways*, Sejong: Korea Transport Institute.
- 대한교통학회, 2009. 「수도권 신개념 광역교통수단 도입방안」, 서울.
- Korean Society of Transportation, 2009. *The Introduction of New Metropolitan Transportation in the Seoul Metropolitan Area*, Seoul.
- 오연선·황순연, 2017. "통행시간가치에 대해", 「KTDB Newsletter」, 35: 6-7.
- Oh, Y. and Hwang, S., 2017. "About the Value of Travel Time", *KTDB Newsletter*, 35: 6-7.
- 위정수·김현성·박민주·박정수, 2010. "GTX의 효율적인 운영을 위한 국외사례를 통한 국내 적용성 검토", 한국철도학회 2010년도 춘계학술대회, 창원: 창원컨벤션센터.
- Wee, J., Kim, H., Park, M., and Park, S., 2010. "The Study on Domestic Applicability through Overseas Cases for Efficient Operation of GTX", Paper presented at The 2010 Spring Conference of the Korean Society for Railway, Changwon: CECO.



10. 이재연·박승규, 2017. 「공간정보를 활용한 주민생활서비스 접근성 연구」, 원주: 한국지방행정연구원.  
Lee, J. and Park, S., 2017. *A Study on the Accessibility of Life Support Service Delivery System Using Spatial Information*, Wonju: Korea Research Institute for Local Administration.
11. 장성훈·김효승·이청원·김동규, 2013. “승객 수요 패턴과 역세권의 토지이용 특성을 반영한 도시철도역 침투시간 집중률 산정-서울시를 중심으로-”, 『대한토목학회논문집』, 33(4): 1581-1589.  
Jang, S., Kim, H., Lee C., and Kim, D., 2013. “Calculation of the Peak-hour Ratio at Urban Railway Stations Reflecting Passenger Demand Pattern and Land Use Inventory -A Case of Seoul-”, *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, 33(4): 1581-1589.
12. 조응래·박경철·김점산, 2008. “광역철도 개통에 따른 대중교통 수요변화의 실증적 연구”, 『대한교통학회지』, 26(1): 25-35.  
Jo, E., Park, K., and Kim, J., 2008. “Empirical Study on Public Transportation Demand Change by Providing Metro-rail Service”, *Journal of Korean Society of Transportation*, 26(1): 25-35.
13. 한국개발연구원, 2014. 「수도권 광역급행철도(GTX) 건설사업, 세종.  
Korea Development Institute, 2014. *Great Train eXpress (GTX) Construction Project*, Sejong.
14. 한국교통연구원, 2013. “[보도자료] 수도권 통근시간 1시간인 직장인 통근행복상실 월94만원”, 세종.  
The Korea Transport Institute. “[Press Release] Workers in the Seoul Metropolitan Area Have Lost Their Commuting Happiness for an Hour, Which Is 940,000 won per Month”, Sejong.
15. 한국교통연구원, 2022. 「2020년 기준 교통접근성 지표」, 세종.  
The Korea Transport Institute. 2022. *Traffic Accessibility Indicators as of 2020*, Sejong.
16. 한국지역학회, 2018. 「지역·도시정책의이해」, 서울: 홍문사.  
Korea Regional Science Association, 2018. *Regional & Urban Policies*, Seoul: Hongmoonsa.
17. Boisjoly, G. and El-Geneidy, A.M., 2017. “How to Get There? A Critical Assessment of Accessibility Objectives and Indicators in Metropolitan Transportation Plans”, *Transport Policy*, 55: 38-50.
18. Bruzzone, F., Cavallaro, F., and Nocera, S., 2023. “The Effects of High-speed Rail on Accessibility and Equity: Evidence from the Turin-Lyon Case-study”, *Socio-Economic Planning Sciences*, 85: 101379.
19. Buliung, R. and Mitra, R., 2016. “Introduction: Transport and Land Use in Childhood”, *Journal of Transport and Land Use*, 9(2): 1-4.
20. Cascetta, E., Cartenì, A., Henke, I., and Pagliara, F., 2020. “Economic Growth, Transport Accessibility and Regional Equity Impacts of High-speed Railways in Italy: Ten Years Ex Post Evaluation and Future Perspectives”, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 139: 412-428.
21. Caset, F., Vale, D.S., and Viana, C.M., 2018. “Measuring the Accessibility of Railway Stations in the Brussels Regional Express Network: A Node-place Modeling Approach”, *Networks and Spatial Economics*, 18: 495-530.
22. Chandra, S. and Vadali, S., 2014. “Evaluating Accessibility Impacts of the Proposed America 2050 High-speed Rail Corridor for the Appalachian Region”, *Journal of Transport Geography*, 37: 28-46.
23. Dirx, S., 2012. “Towards a Gis Based Method for Ridership Forecasting for Newly Planned Train Stations in the Netherlands”, Master's Thesis, Utrecht University.
24. Fan, Y., Guthrie, A., and Levinson, D., 2012. “Impact of Light-rail Implementation on Labor Market Accessibility: A Transportation Equity Perspective”, *Journal of Transport and Land Use*, 5(3): 28-39.
25. Gutiérrez, J., González, R., and Gómez, G., 1996. “The European High-speed Train Network: Predicted Effects on Accessibility Patterns”. *Journal of Transport Geography*, 4(4): 227-238.
26. Ho, S., 2021. “General Transit Feed Specification (GTFS) Data in Transportation Research: A Review of Applications and Methods”, *WesternUSRI2021 Conference: Research Output Showcase*.
27. Kim, J., Rapuri, S., Chuluunbaatar, E., Sumiyasuren, E., Lkhagvasuren, B., Budhathoki, N.R., and Laituri, M., 2023. “Developing and Evaluating Transit-based Healthcare Accessibility in a Low-and Middle-income Country: A Case Study in Ulaanbaatar, Mongolia”, *Habitat International*, 131: 102729.
28. Legrain, A., Buliung, R., and El-Geneidy, A.M., 2015. “Who, What, When, and Where: Revisiting the Influences of Transit Mode Share”, *Transportation Research Record*, 2537(1): 42-51.
29. Litman, T., 2024. *Evaluating Public Transit Benefits and Costs: Best Practices Guidebook*, Canada: Victoria Transport Policy Institute.
30. Nar, M. and Arslankaya, S., 2022. “Passenger Demand Forecasting for Railway Systems”, *Open Chemistry*, 20(1): 105-119.
31. Paez, A., Mercado, R.G., Farber, S., Morency, C., and Roorda, M., 2010. “Accessibility to Health Care Facilities in Montreal Island: An Application of Relative Accessibility Indicators from the Perspective of Senior and Non-senior Residents”, *International Journal of Health Geographics*, 9: 52.
32. Painter, G., Boarnet, M., Swayne, M., Miller, M., and Center, M.T., 2018. *Innovation on Job Accessibility with General Transit Feed Specification (GTFS) Data*, USA: METRANS Transportation Center.
33. Pooler, J.A., 1995. “The Use of Spatial Separation in the Measurement of Transportation Accessibility”, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 29(6), 421-427.
34. Sánchez-Mateos, H.S.M. and Givoni, M., 2012. “The Accessibility Impact of a New High-Speed Rail Line in the UK-A Preliminary Analysis of Winners and Losers”, *Journal of Transport Geography*, 25: 105-114.
35. Shaw, S.L., Fang, Z., Lu, S., and Tao, R., 2014. “Impacts of High Speed Rail on Railroad Network Accessibility in China”, *Journal of Transport Geography*, 40: 112-122.
36. Tsumita, N., Kikuchi, H., Vichiensan, V., Fillone, A., Tuan,



- V.A., Linh, H.T., Pawar, D.S., and Fukuda, A., 2023. "Urban Railway Network Expansion on Transit Oriented Development: Improvement in Accessibility in Four Asian Developing Cities", *Asian Transport Studies*, 9: 100097.
37. Verachtert, E., Mayeres, I., Vermeiren, K., Van der Meulen, M., Vanhulsel, M., Vanderstraeten, G., Loris, I., Mertens, G., Engelen, G., and Poelmans, L., 2023. "Mapping Regional Accessibility of Public Transport and Services in Support of Spatial Planning: A Case Study in Flanders", *Land Use Policy*, 133: 106873.
38. Wang, L., Liu, Y., Sun, C., and Liu, Y., 2016. "Accessibility Impact of the Present and Future High-speed Rail Network: A Case Study of Jiangsu Province, China", *Journal of Transport Geography*, 54: 161-172.
39. Zhang, W., Nian, P., and Lyu, G., 2016. "A Multimodal Approach to Assessing Accessibility of a High-Speed Railway Station", *Journal of Transport Geography*, 54: 91-101.
40. 국토교통부, 2022. "GTX 주요 거점역사 환승센터", 국토교통부 대도시권광역교통위원회. [https://www.molit.go.kr/mtc/USR/WPGE0201/m\\_37020/DTL.jsp](https://www.molit.go.kr/mtc/USR/WPGE0201/m_37020/DTL.jsp)  
Ministry of Land Infrastructure and Transport, 2022. "GTX Main Base Station Transfer Center", MOLIT Metropolitan Transportation Commission, [https://www.molit.go.kr/mtc/USR/WPGE0201/m\\_37020/DTL.jsp](https://www.molit.go.kr/mtc/USR/WPGE0201/m_37020/DTL.jsp)
41. 국토교통부, 2023. "2022년 대도시권 광역교통조사", 국토교통부 대도시권광역교통위원회, [https://www.molit.go.kr/mtc/USR/WPGE0201/m\\_37123/DTL.jsp](https://www.molit.go.kr/mtc/USR/WPGE0201/m_37123/DTL.jsp)  
Ministry of Land Infrastructure and Transport, 2023. "2022 Metropolitan Area Transportation Survey", MOLIT Metropolitan Transportation Commission, [https://www.molit.go.kr/mtc/USR/WPGE0201/m\\_37123/DTL.jsp](https://www.molit.go.kr/mtc/USR/WPGE0201/m_37123/DTL.jsp)
42. 국가교통DB센터, 2023.03.14. "(알림) 2021년 3월 기준 전국 대중교통 운행시간표 구축결과 DB(파일럿 DB) 공개", 국가교통DB, <https://www.ktdb.go.kr/www/selectBbsNttView.do?key=45&bbsNo=2&nttNo=3704&searchCtgry=&searchCnd=all&searchKrwrd=&pageIndex=1&integrDeptCode=>  
Korea Transport DataBase, 2023, April 14. "(Notification) As of March 2021, the Results of the Establishment of the National Public Transportation Operation Schedule (DB) Were Disclosed", Korea Transport DataBase, <https://www.ktdb.go.kr/www/selectBbsNttView.do?key=45&bbsNo=2&nttNo=3704&searchCtgry=&searchCnd=all&searchKrwrd=&pageIndex=1&integrDeptCode=>
43. 서울특별시, 2023.04.12. "도시교통정비 증기계획", 서울특별시, <https://news.seoul.go.kr/traffic/archives/509428Seoul>.  
Seoul Metropolitan Government, 2023, April 12. "Mid-term Plan for Urban Transportation Improvement", Seoul Metropolitan Government, <https://news.seoul.go.kr/traffic/archives/509428Seoul>.
44. 서울특별시, 2024.11.17. "교통수단분담률", 서울특별시, <https://news.seoul.go.kr/traffic/archives/2891>.  
Seoul Metropolitan Government, 2024, November 17. "Modal share of transportation", Seoul Metropolitan Government, <https://news.seoul.go.kr/traffic/archives/2891>
45. 용인특례시, 2024.01.05. "GTX 용인역 복합환승센터", 용인도시공사, [https://www.yuc.co.kr/www/wpge/m\\_414/contents.do](https://www.yuc.co.kr/www/wpge/m_414/contents.do)  
Yongin Special City. 2024, January 5. "GTX Yongin Station Complex Transfer Center", Yongin Urban Corporation, [https://www.yuc.co.kr/www/wpge/m\\_414/contents.do](https://www.yuc.co.kr/www/wpge/m_414/contents.do)
46. 정중훈, 2024. "GTX 개통 100일, 향후 추진 일정과 주요 이슈는?", KB경영연구소, <https://www.kbfg.com/kbresearch/report/reportView.do?reportId=2000459>  
Jeong, J.H., 2024. "100 Days of GTX Opening, What Are the Future Driving Schedules and Key Issues?", KB Financial Group, <https://www.kbfg.com/kbresearch/report/reportView.do?reportId=2000459>.
47. 통계청, 2021. "2020 인구주택총조사", [https://kostat.go.kr/board.es?mid=a10301020200&bid=203&act=view&list\\_no=415955](https://kostat.go.kr/board.es?mid=a10301020200&bid=203&act=view&list_no=415955)  
Statistics Korea, 2021. "2020 Population and Housing Census", [https://kostat.go.kr/board.es?mid=a10301020200&bid=203&act=view&list\\_no=415955](https://kostat.go.kr/board.es?mid=a10301020200&bid=203&act=view&list_no=415955)
48. Google, "GTFS Static Overview", Accessed December 1, 2022. <https://developers.google.com/transit/gtfs?hl=en>
49. GTX-A, "열차시간표", 2024년 5월 20일 읽음. <https://www.gtx-a.com/ptl/info/timetable/viewTimeTable.do>  
GTX-A, "Train schedule", Accessed May 20, 2024. <https://www.gtx-a.com/ptl/info/timetable/viewTimeTable.do>

Date Received	2024-05-21
Reviewed(1 <sup>st</sup> )	2024-09-13
Date Revised	2024-11-07
Reviewed(2 <sup>nd</sup> )	2024-11-18
Date Accepted	2024-11-18
Final Received	2025-02-05