

숫자와 그림으로 보는 터널 이야기

- 제8강 도심지 지하철도 - Trends and Changes of Urban Underground Railway

김영근 | ㈜건화 부사장, 한국터널지하공간학회 감사, 공학박사, 기술사



도심지 지하철도(Urban Underground Railway)는 도심지 구간에서 철도 기능을 수행하는 지하철을 의미한다. 최근 도심지 구간을 통과하는 새로운 철도를 건설하거나 기존의 지상철도를 지하화하면서 도심지 지하철도에 대한 관심이 높아지고 있으며, 이는 도심지 개발에서 새로운 지하 인프라로서 주요 이슈로 부상하고 있다. 표 1에서는 도심지 지하철도의 주요 특성과 기술 트렌드를 핵심 키워드로 정리하였다. 본 고에서는 10가지 핵심 키워드를 중심으로 국내외 도심지 지하철도 사례와 도심지 지하철도의 과제 및 향후 전망에 대해 기술하였다.

[표 1] 도심지 지하철도 핵심 키워드

	Key Word	As-is	To-be
1	도심지 지하철도의 주요 특성	지하 + 지상	지하 중심
2	도심지 지하철도의 기술 트렌드	천부/단구간/소규모	대심도/고속화/메가
3	도심지 지하철도의 기술 이슈	공사비/공기	지하화/복합/통합개발
4	해외 지하철도 사례-일본	사례 적음	증가(신설+개량+지하화)
5	해외 지하철도 사례-영국	사례 적음	증가(신설+개량)
6	해외 지하철도 사례-독일	사례 적음	증가(신설+연장)
7	해외 지하철도 사례-호주/뉴질랜드	사례 적음	증가(신설+연장)
8	해외 지하철도 사례-싱가포르	사례 적음	증가(신설+연장)
9	국내 도심지 지하철도 사례	사례 적음	증가(신설+연장+지하화)
10	도심지 지하철도 과제와 전망	해결과제 많음	도심지 미래 新공간

1. 도심지 지하철도의 특성

1.1 도시철도의 특성

도시철도란 대도시에서 교통의 혼잡을 완화하고 빠른 속도로 운행하기 위하여 부설한 철도 대중교통을 말한다. 흔히 '지하철'이라고 부르지만 실제로는 지하뿐만 아니라 지상구간을 달리는 경우도 많다. 따라서 공식명칭으로 지하철이라는 표현 대신 도시철도라는 표현으로 대체하여 사용하고 있다.

[그림 1] 도시철도



1.2 도시철도의 건설공법

도시철도 건설은 지상철도와 지하철도로 구분할 수 있다. 지상철도는 지상이나 교량에 직접 설치하며, 지하철도는 지중 또는 지하에 설치되며 개착식과 터널식으로 나뉜다. 개착식은 지상을 굴착하여 터널을 만드는 공법으로, 일반적으로 많이 사용된다. 터널식은 지하에 터널을 만드는 공법으로, 지상 교통에 영향을 주지 않고 주변 건물에 피해를 줄 가능성이 적다는 장점이 있다. 최근 도시철도는 대심도 지하(Deep Underground)에 건설되는 추세이다.

[그림 2] 도시철도의 건설공법



1.3 도심지 지하철도의 특징과 장점

도심 지하철은 도시의 핵심 지역을 빠르고 편리하게 연결하는 대중교통 시스템으로, 다음과 같은 특징과 장점을 가지고 있다.

- 빠른 속도와 정시성: 지하로 운행되므로 지상 교통의 영향을 받지 않고 안정적인 속도를 유지할 수 있으며, 원하는 목적지에 빠르게 도착할 수 있다.
- 편리한 접근성: 주요 중요 시설과 가까운 곳에 역이 위치해 이동이 용이하며, 환승 시스템이 잘 구축되어 있어 타 교통 수단과 편리하게 연결된다.
- 환경친화성: 대기 오염 물질 및 소음을 발생시키지 않으며, 지하 공간 활용을 통해 토지 이용 효율성을 높일 수 있는 환경친화적인 교통수단이다.
- 경제적 효과: 도심지 지하철은 도시 경제 활성화에 중요한 역할을 하며, 비즈니스 및 상업 활동을 촉진시킨다.
- 안전성: 도심지 지하철은 철저한 안전관리시스템을 운영하고 있어 다른 교통수단에 비해 사고 발생률이 낮다.

[그림 3] 도심지 지하철도의 장점



도심지 지하철은 빠르고 편리하며, 안전하면서도 환경친화적이고 경제적인 교통수단이다. 또한, 도시의 문화적 가치를 높이고 시민들의 삶의 질을 향상시키는 데 기여하는 중요한 역할을 한다.

2. 지하철도의 기술 트렌드 변화

2.1 지상철도의 지하화

지상철도 지하화는 단순히 철도를 지하로 옮기는 것에 그치

지 않고, 도시 공간을 혁신하며 지역 주민들의 삶의 질을 향상시키는 종합적인 도시개발 사업이다. 지상철도가 사라지면서 도로 확장과 버스전용차로 신설 등이 가능해져 교통 혼잡이 완화되고, 도로와 철도로 인해 단절되었던 지역들이 연결되어 도시 전체의 통행성이 향상된다. 또한 지하역을 통해 다양한 대중교통과의 연계성이 강화되어 시민들의 이동이 더욱 편리해진다.

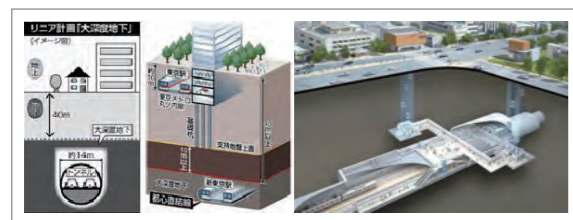
[그림 4] 지상철도의 지하화



2.2 지하철도의 대심도화

지하철도의 대심도화는 기존 지하철보다 더 깊은 지하에 새로운 철도 노선을 건설하는 것을 의미한다. 대심도화는 도시의 지속 가능한 발전과 대중교통 시스템의 효율성을 높이기 위한 중요한 전략으로 떠오르고 있다. 그러나 기술적 어려움, 막대한 비용, 안전 문제 등 해결해야 할 과제도 함께 제기되고 있어 활발한 논의가 진행되고 있다.

[그림 5] 지하터널의 대심도화



2.3 지하역사의 통합개발

과거 단순히 철도를 지하로 옮기는 사업에서 벗어나, 지하화된 철도 부지와 주변 지역을 복합적으로 개발하여 새로운 도시 공간을 창출하는 방식으로 진행되고 있다. 지하철역을 단순한 교통 거점에서 벗어나 주변 지역과 유기적으로 연계된 복합 공간으로 개발하는 통합 개발은 최근 도시 개발의 주요

트렌드로 자리 잡고 있다. 이는 지하철역 주변 토지의 가치를 높이고, 지역 경제를 활성화하며, 시민들의 삶의 질을 향상시키는 데 기여하는 효과적인 전략으로 평가받고 있다.

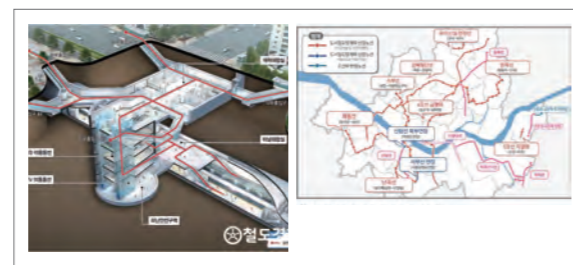
[그림 6] 지하역사의 통합개발



2.4 지하철도의 연결화 및 연장화

지하철도 연결화는 서로 다른 노선의 지하철역을 연결하여 새로운 이동 경로를 확보하는 것을 의미한다. 환승역 건설은 기존 지하철역을 연결하여 환승할 수 있도록 새로운 역을 건설하는 방식이다. 노선 연장은 기존 지하철 노선을 연장하여 새로운 지역을 연결하는 방식이다. 신규 노선 건설은 두 개 이상의 지하철 노선을 직접 연결하는 새로운 지하철 노선을 건설하는 방식이다. 가장 효과적인 연결화 방식이지만, 막대한 비용과 오랜 공사 기간이 소요된다.

[그림 7] 지하철도의 연결화 및 연장화



3. 철도의 지하화의 핵심 이슈

3.1 막대한 사업비 문제

철도 지하화는 교통 혼잡 완화, 대중교통 이용률 증대, 도시미관 개선 등 여러 가지 기대 효과가 크지만, 막대한 사업비라는 현실적인 걸림돌에 직면해 있다. 국철과 도시철도 지상 구간을 지하화하는 사업비는 약 45조 원으로 추정된다. 따라

서 다양한 자원 마련 방안을 검토하고, 민간투자, 정부지원, 사용자 부담 등을 합리적으로 조율할 필요가 있다. 또한, 장기적인 수익성을 확보할 수 있는 사업 모델 개발과 투명한 재정 운영 방식 마련도 중요하다.

[그림 8] 철도 지하화의 사업비 문제



3.2 다양한 관원 및 민원 문제

철도 지하화 사업은 다양한 관리 주체가 참여하는 종합공사로, 관계기관과의 협의가 매우 중요하다. 이를 위해 정부는 [철도 지하화 통합개발 추진 협의체]를 설립하여 새로운 정책이 성공적으로 추진될 수 있도록 다양한 전문가의 의견을 교류하며 합의를 도출하고 있다. 또한, 도심지 공사의 특성상 노선 문제, 하부 통과 문제, 소음 및 진동 문제, 안전 문제 등이 민원으로 가장 뜨거운 이슈가 된다.

[그림 9] 철도 지하화의 관원 및 민원문제



3.3 복잡한 지하화 공사의 기술 문제

철도 지하화 공사의 핵심은 기존선을 운행하면서 지하철도를 건설해야 하며, 기존선을 중단하고 지하구간으로의 전환을 최대한 빨리하는 것이다. 특히 지하철도 시공 중 기존 운행선 및 주변 건물에 대한 안전성을 확보하는 것이 필수적이다. 예를 들어 일본 도요코선 지하화 공사에서는 가설 노선을 설치하지 않고 지상 영업선(도요코선) 바로 아래에 지하 노선을 준비하고, 지상선에서 지하선으로 단기간에 단번에 전환

하는 공사가 성공적으로 수행한 바 있다.

[그림 10] 철도 지하화의 기술 문제 (운행 중 지하화 공사 및 지상-지하 전환공사)



3.4 도심지 지하개발 활성화를 위한 법적 제도적 문제

철도 지하화 사업을 체계적으로 추진하고, 관련 이해관계자들의 권익을 보호하기 위한 법적·제도적 기반이 마련되어야 한다. 2024년에는 철도를 지하화하고 이를 통해 확보된 철도 부지와 철도 주변 지역을 효과적으로 개발하기 위한 [철도 지하화 및 철도 부지 통합 개발에 관한 특별법]이 제정되었다. 일본의 경우, 2001년에 도심지 대심도 지하 개발을 활성화하기 위해 [대심도 지하의 공공적 사용에 관한 특별조치법, 통칭 대심도법]을 시행하고 있다.

[그림 11] 철도 지하화를 위한 법적 제도적 개선



4. 해외 지하철도 사례 - 일본

4.1 편리성 향상을 위한 철도 네트워크 구축과 지하화

제2차 세계대전 이전부터 교외 주택가와 도심을 고속철도로 연결하고, 지역 주민과 철도 이용의 편의를 위해 철도망을 더욱 확장하는 것을 목표로 하였다. 또한 량이 많은 노선에서는 혼잡도를 높이는 동시에 선로를 따라 일대를 활성화하기 위해 인접 선과 결합에 의한 복선의 실시를 시작했다. 이는 철도망 확장에 대한 독특한 관점이며, 철도 이용자의 편의성 향상에 중점을 둔 개념에 기반을 두고 있다.

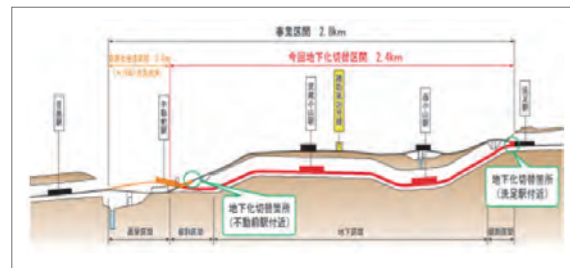
[그림 12] 편리성이 높은 철도 네트워크 형성과 철도 지하화



4.2 메구로선 개량사업의 지하화 공사

메구로선의 개량사업은 도쿄도의 도로 정비와 함께 주변 지역의 구획 해소 및 메구로선 정비의 일환으로 실시되었다. 새롭게 18곳의 건물목을 해소하는 것 외에도, 무사시코야마와 니시코야마의 2개 역의 흙을 지하로 전환하며, 약 2.4km에 지하 선로를 부설하여 전환 공사를 실시했다. 시종점에서의 지하 전환으로 가설 선로의 토지 확보가 어려웠기 때문에 STRUM 공법을 채택하였다. 지하 선로를 건설하여 일시적으로 종래 선로를 수용하고, 전환 당일 하룻밤에 작업을 완료했다.

[그림 13] 메구로선 지하화 공사

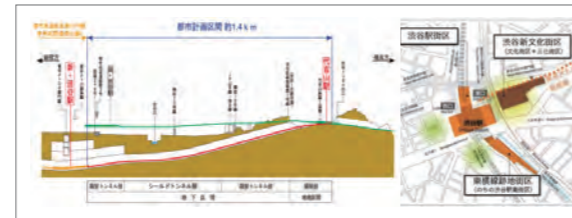


4.3 도요코선 철도 지하화 공사와 시부야역 재개발

도요코선 지하화 공사는 도쿄 메트로 부도심선 시부야역에서 국도 246호선, 민유지, 메이지 도리와 현재선 사이를 지나 시부야강 및 JR선과 교차한 후, 현재선 직하부를 통과하여 다이칸야마역에서 현재선에 접속하는 공사이다. 공사의 총연장은 약 1.4km로, 311m의 시부야역 공사와 1.2km의 역간 지하화 공사로 나눌 수 있다. 공사 완료 후에는 구 도큐 문화회관 부지의 토지 이용을 병행하여 시부야 신문화지구 프로젝트로서 종합개발하는 프로젝트의 일환으로 계획되었다.

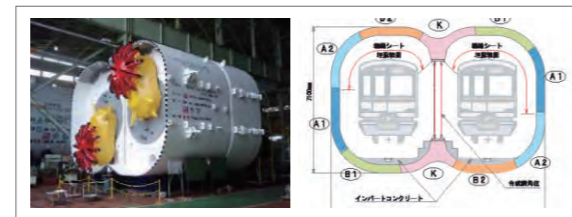
본 공사는 기존 철도의 지하화를 통한 편리성 향상의 대표적인 프로젝트이다.

[그림 14] 도요코선 지하화 공사와 시부야 신문화지구 재개발



본 지하화 공사는 시부야역 공사 단부의 쉴드 발진 수직구에서 JR선 교차부 앞의 쉴드 도달 수직구까지 약 500m의 쉴드 공사, 쉴드 도달과 JR선 교차부 공사 시공을 위한 수직갱 80m, JR선 교차부 공사 약 30m, 현 도요코선 직하부 개착 공사 600m로 구성된다. 현 도요코선과 접속하는 다이칸야마역 부근에서는 지하화 전환을 위한 설비를 사전에 설치해 하룻밤에 선로를 지하로 전환하였으며, 2013년 3월에 개통되었다. 지상부 도요코선은 지하화 공사가 완료됨에 따라 철거되었다.

[그림 15] 도요코선 지하화 공사에 적용된 쉴드 터널공사



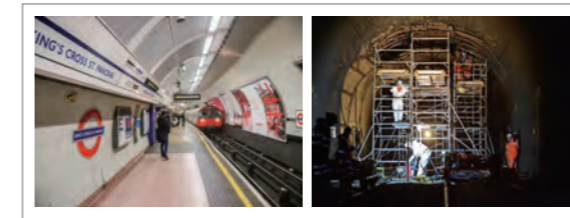
5. 해외 지하철도 사례 - 영국

5.1 노후 인프라의 개량 이슈

런던의 철도 네트워크는 노후화된 인프라와 성장하는 도시라는 문제에 직면해 있으며, 기존 터널을 개량하는 것이 새로운 터널을 건설하는 것만큼 중요하다. 100년 이상 된 런던의 터널은 노후화된 인프라로 현재의 안전 기준을 충족하지 못한다. 따라서 노후 터널을 개량하려면 제한된 공간에서 기존 서비스의 중단을 최소화하고, 주변 환경의 구조적 무결성을 보장해야 한다. 기존 인프라 시설 개량을 위한

혁신적인 솔루션이 필요한 이슈이다.

[그림 16] 새로운 철도 네트워크 신설과 노후 인프라의 업그레이드



5.2 Bakerloo Line 개량 및 연장프로젝트

런던 교통국은 Bakerloo 노선을 연장하기 위한 제안을 내놓았다. 이 계획에는 종점의 남쪽 노선을 Old Kent Road와 New Cross Gate를 경유하여 Lewisham까지 연장하는 것이 포함된다. 제안된 Bakerloo 노선 확장은 7.5km의 트윈 터널로 구성되며, 4개의 새로운 역(Burgess Park, Old Kent Road, New Cross Gate 및 Lewisham), 1개의 환기용 수직구 및 차량기지가 있다.

[그림 17] 런던 Bakerloo Line Upgrade and Extension



5.3 Crossrail 지하철도 프로젝트

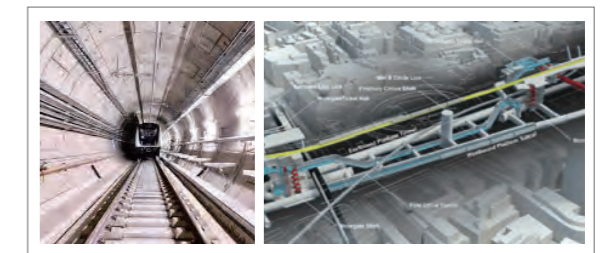
Crossrail 프로젝트는 런던을 동서로 관통하는 새로운 광역급행철도 노선을 건설하는 대규모 도시철도 사업이다. 런던 서쪽의 Maidenhead에서 출발하여 Heathrow Airport를 거쳐 런던 시내 중심부 6개 역을 관통하고, 런던 외곽의 Shenfield과 Abbey Wood까지 이어진다. 총연장은 118km이며, 40개 역(신설 10개)이 포함된다. 본 프로젝트는 런던의 교통체증 완화, 통근시간 단축, 도시 경쟁력 강화를 목표로 한 유럽 최대 규모의 도시철도 사업이다. 총사업비는 약 24조 원에 달하며, 2009년에 착공하여 2022년 5월 부분 개통되었고, 2023년 말에 전체 개통되었다.

[그림 18] 런던 Crossrail 지하철도 프로젝트



본 프로젝트는 21km 이상의 터널이 런던 중심부 하부에 지하터널로 건설되었으며, 본선 구간에는 TBM 공법이, 환풍 구간과 정거장 구간에는 NATM 공법이 적용되었다. 본 프로젝트는 런던의 교통 인프라에 큰 변화를 가져왔으며, 성공적인 운영을 통해 도시의 지속 가능한 발전과 경제 활성화에 기여할 것이다.

[그림 19] 본선 터널(TBM)과 지하정거장

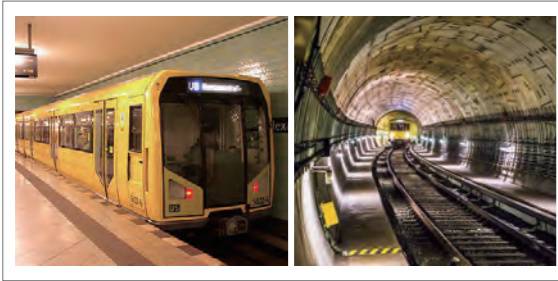


6. 해외 지하철도 사례 - 독일

6.1 지하철도 추진 현황

독일의 대도시들은 잘 발달된 대중교통 시스템을 갖추고 있으며, 그 중심축 역할을 하는 것이 바로 지하철(U-Bahn)과 광역전철(S-Bahn)이다. 베를린의 U-Bahn은 도시 내 주요 지하철 시스템으로, 10개의 노선과 약 175개의 역을 갖추고 있으며, 현재 총길이는 약 146km에 이른다. 베를린 S-Bahn은 도시와 주변 지역을 연결하는 고속철도로, 15개의 노선과 약 166개의 역이 있다. 주로 지상에서 운행되며, 도시 외곽까지 연결된다.

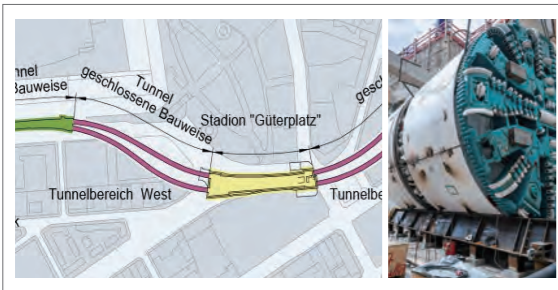
[그림 20] 독일의 지하철도



6.2 프랑크푸르트 - U5 Stadtbahn

프랑크푸르트의 새로운 도시 지구에 대중교통을 제공하는 것을 목표로 하는 지하철 노선 확장 프로젝트는 도심 지하철도 확장 공사와 기존 지하 철도망에 대한 지하 연결로 구성된다. 터널 공사는 일부 구간에서 개착공법을 적용하며, 약 2×830m 구간에 대해 80m 길이의 TBM 장비를 이용하여 시공 중에 있다.

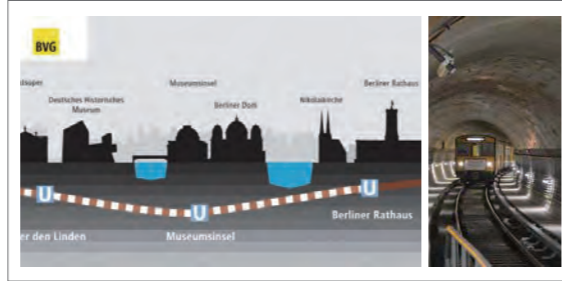
[그림 21] 프랑크푸르트 U5 도심지 지하철도 프로젝트



6.3 베를린 - new U5 Line

베를린의 새로운 U5 노선은 정부 청사 한가운데를 관통하며, 약 10년간의 공사 끝에 베를린에서 지하철 5호선이 연장되어 운영을 시작했다. 2.2km 길이의 신설 노선은 Alexanderplatz 과 Brandenburg Gate 사이의 수도의 지하 네트워크를 연결하는 역할을 한다. 총공사비는 약 5억 유로 이상으로, 본 노선이 U55의 기존 1.5km 구간 및 18.3km 길이의 현재 U5와 연결되면, 새로운 U5는 Hönow에서 주요 기차역까지 총 22km의 연장을 갖게 된다.

[그림 22] 베를린 U5 도심지 지하철도 프로젝트



2013년 6월 20일 출발한 길이 74m, 무게 700톤의 TB-M(Bartinde)이 마르크스-엔겔스 포럼의 발진구에서 Brandenburg Gate까지 터널을 굴진했다. 지하 5~20m 깊이에 서 직경 6.67m의 쉴드 TBM 장비는 두 개의 미래 역인 Museumsinsel과 Unter den Linden을 통과하여 슈프레 강, 슈프레 운하 및 Schlossplatz 하부로 굴진하였다. 베를린 중심부를 관통하는 쉴드 드라이브에서 이질적인 토질과 높은 수압을 위해 특별히 설계된 슬러리 TBM은 지표 아래 2~3m 깊이의 지하수, 모래 및 슈프레 지역의 슬러지로 뒤덮인 지반과 화강암 같은 복잡한 지질 문제를 해결했다.

[그림 23] 베를린 U5 프로젝트에서의 터널 굴착(TBM)



7. 해외 지하철도 사례 - 호주/뉴질랜드

7.1 시드니 메트로 - 지하중심의 운행

시드니 메트로호는 호주에서 가장 큰 대중교통 프로젝트이다. 4개의 지하철 노선, 46개의 역, 113km의 새로운 지하철 철도 네트워크를 구축, 운영 및 유지 관리하고 있다. 시드니 메트로호는 시드니의 북서부, 서부, 남서부 및 남부 지역을 완전히 접근 가능한 역과 함께 빠르고 안정적인 환승 지하철 서비스로 연결하며 호주에서 가장 큰 도시의 교통 방식을 혁신하고 있다.

[그림 24] 시드니 메트로



시드니 메트로호는 현재 3개 공사가 진행 중이다.

- 시드니 메트로 웨스트 : 시드니 CBD의 Westmead와 Hunter Street 사이의 TBM 터널링이 2023년에 시작되었으며, 현재 6대의 TBM가 운영 중이다.
- 시드니 메트로 웨스턴 시드니 공항 : TBM 터널링은 2023년에 시작되었으며, 현재 4대의 TBM 장비가 운영 중이다.
- 시드니 메트로 시티 & 사우스웨스트 : 5대의 TBM 장비가 사용, 터널링은 2020년 3월 완료되었으며, 통합스테이션(Integrated Station)이 시공 중이다.

[그림 25] 시드니 터널 심도(depth)와 TBM 터널링



7.2 멜버른 - Metro Tunnel Project

METRO Tunnel(멜버른 메트로 레일, MMR)은 호주 빅토리아주 멜버른에서 건설 중인 지하철 프로젝트이다. 이 프로젝트에는 사우스 캔싱턴과 사우스 야라 사이에 9km 길이의 트윈 터널을 건설하고, 5개의 새로운 지하철역을 건설하는 작업이 포함된다. 이 터널은 Pakenham과 Cranbourne 노선을 Sunbury 노선과 연결하여 Flinders Street 역과 City Loop를 우회하는 새로운 고속 도시 횡단 노선을 만들 것이다. 본 프로젝트는 2015년에 계획되어 2017년에 공사가 시작되었으며, 2025년에 완공될 예정이다.

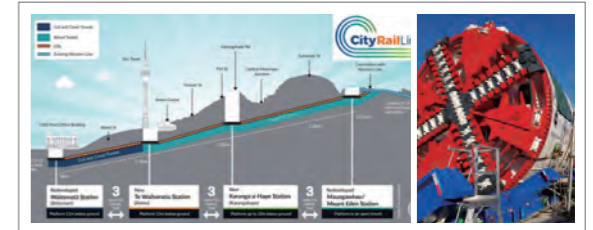
[그림 26] 멜버른 - METRO TUNNEL



7.3 오克兰드 - City Rail Link(CRL)

CRL은 세계적 수준의 철도 시스템으로 오克兰드의 전체 철도망을 보다 효율적으로 연결하는 지하 인프라이다. 약 55억 달러 규모의 프로젝트는 뉴질랜드가 건설한 가장 큰 교통 인프라 프로젝트이다. 오克兰드 도심 지하 42m에 건설된 3.45km 길이의 트윈 터널은 Waitemata 역과 Maungawhau를 연결한다. 두 개의 새로운 지하철역이 도심 접근을 가능하게 할 것이다.

[그림 27] 뉴질랜드 - The City Rail Link



8. 해외 지하철도 사례 - 싱가포르

8.1 싱가포르 MRT(Mass Rapid Train)

MRT로 알려진 Mass Rapid Transit 시스템은 싱가포르의 고속 교통 시스템이자 주요 철도 운송 수단이다. 이 시스템은 1987년 11월에 5개의 역으로 구성되어 초기 6km 구간으로 운영을 시작했다. 이후 이 네트워크는 싱가포르 대중교통 시스템의 중추로서 포괄적인 철도망을 개발하려는 싱가포르의 목표에 따라 본섬의 길이와 너비로 확장되었으며, 현재 6개의 MRT 노선에 걸쳐 140개 이상의 역이 싱가포르 전역에 걸쳐 있다.

[그림 28] 싱가포르 MRT와 Rail network in 2030



MRT의 목표는 2030년대 초반까지 철도망을 약 360km로 확장하는 것으로, 이는 10가구 중 8가구를 기차역에서 10분 이내로 연결하는 것을 의미한다. 360km의 철도망을 갖춘 싱가포르는 현재 도쿄나 홍콩과 같은 주요 도시보다 긴 총 철도 길이를 갖게 될 것이며 런던과 뉴욕시와 대등할 것으로 예상되며, 시민들이 역을 더 가깝게 이용할 수 있도록 하는 철도 확장프로젝트이다. 현재 대부분의 MRT 공사는 싱가포르의 대심도 지하개발계획에 따라 지하에 건설되고 있다.

[그림 29] 싱가포르 MRT 확장 계획



8.2 Downtown Line(DTL)

다운타운 라인(DTL)은 싱가포르의 다섯 번째 MRT 노선이자 싱가포르 대중교통의 판도를 바꾸는 노선이다. DTL은 이전에 MRT가 운행하지 않았던 부킷 판장(Bukit Panjang), 부킷 티마(Bukit Timah), 맥퍼슨(MacPherson) 및 베독 저수지(Bedok Reservoir)와 같은 주거 지역에 도달한다. 증가하는 교통 수요와 함께 성장하는 도시에 부응하기 위해 DTL의 기존 34개 역은 대체 통근 경로를 제공하여 사람들을 도시와 연결하고 도심 내 여행을 쉽게 만든다.

[그림 30] 싱가포르 Downtown Line(DTL)



8.3 Thomson-East Coast Line(TEL)

총연장 43km의 톰슨-이스트 코스트 라인(TEL)은 싱가포르의 여섯 번째 MRT 노선으로, 기존 철도 네트워크에 32개의 새로운 역을 추가했으며, TEL을 기존 5개 MRT 노선 모두에 연결하는 7개의 환승역이 있다. TEL은 2024년 완전 개통 예정이며, 싱가포르의 북부, 중부 및 동부 지역 간의 연결성을 강화하는 것 외에도 다른 노선의 통근자를 위한 대체 여행 경로를 제공함으로써 철도 네트워크의 탄력성을 강화할 것이다.

[그림 31] 싱가포르 Thomson-East Coast Line(TEL)



9. 국내 도심지 지하철도 사례

9.1 수도권 광역급행철도 GTX 사업

수도권 광역급행철도 GTX 사업은 지하 40~50m 깊이의 대심도에서 최대 시속 180km로 달리는 수도권 광역급행철도이다. 수도권 교통난 해소와 장거리 이동 인구의 교통복지 개선을 위해 수도권 외곽에서 서울 도심의 주요 거점역인 서울역, 삼성역, 청량리역을 연결한다. 또한, 기존 GTX 노선의 연장과 신설 노선을 포함하는 2기 GTX 사업 추진도 본격화하고 있다.

[그림 32] 수도권 광역급행철도 GTX 사업

구분	사업구간	추진현황
GTX-A	운정~삼성 42.6km 삼성~동탄 39.5km	시공 중 일부개통
GTX-B	송도~마석 80.1km	설계/착공
GTX-C	덕정~수원 74.8km	설계 중
GTX-D	김포~부천	기본 구상 중
GTX-E	인천~포천	기본 구상 중
GTX-F	파주~여주	기본 구상 중

수도권 광역급행철도 GTX-A는 운정역과 동탄역을 이어주는 광역급행철도 노선이다. 2024년 3월 30일 수서역~동탄역 구간이 개통되었으며, 운정역~서울역 구간은 2024년 12월 개통 예정이다(일부구간 제외). 주요 터널공법은 NATM 공법이 적용되었으며, 도심지 통과구간 및 한강하저구간에 TBM 공법이 적용되었다. 또한 정거장은 모두 지하터널 정거장으로 계획되었으며, 현재 시공 중에 있다. 본 공사는 도심지를 통과하는 대심도 지하터널의 대표적인 사업이다.

[그림 33] GTX-A 시공(본선 터널 및 터널 정거장)



9.2 도심지 지상철도의 지하화 사업

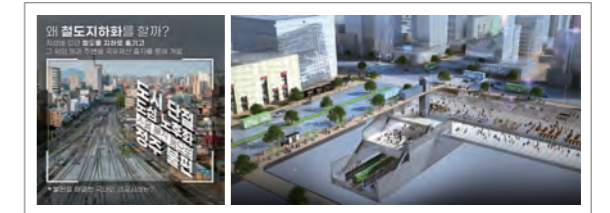
철도 지하화는 도시 공간을 혁신하고 미래를 위한 새로운 가치를 창출하는 중요한 사업이다. 이 사업은 지상 공간의 확보, 교통혼잡 완화, 주민 생활환경 개선, 도시 경관 미화, 토지 개발 및 활용 등 다양한 측면에서 긍정적인 효과를 기대할 수 있다. 국토교통부는 철도 지하화 및 철도 부지 통합 개발에 관한 특별법을 제정하고, 국토철도 지하화 추진단을 운영하여 사업을 추진하고 있다. 주요 사업으로는 서울 경부선 지하화, 수도권 전철 4호선 연장, 광명선 지하화 등이 있으며, 다양한 지역에서 지하화 사업이 활발히 진행되고 있다.

[표 2] 국내 검토 중인 철도 지하화 사업

사업명	구간	사업 방식	도심지상철도
경부선	서울-군포 당정역	32.0km	도심지상철도
경원선	구로-인천역	27.0km	도심지상철도
경원선	청량리-도봉산역	13.5km	도심지상철도
중앙선	용산-청량리역	12.8km	도심지상철도
경의선	서울-수색역	5.4km	도심지상철도

국토교통부는 지자체가 원활하게 사업을 제안할 수 있도록 가이드라인(안)을 마련하였으며, [철도 지하화 및 철도부지 통합개발에 관한 특별법] 제정안이 만들어지면서 본격적으로 추진될 것으로 보인다. 철도 지하화는 신규 지하 노선을 건설하는 것뿐만 아니라 기존 철도 부지와 그 주변 지역을 공원화하거나 복합 개발하는 것을 포함한다. 여러 노선이 중복되는 환승역과 GTX 등의 신규 철도 건설을 고려해 철도 지하화 시 지하형과 데크형 구간으로 구분하여 사업을 추진할 필요가 있으며, 철도 지하화 추진 시 법적·제도적 개선도 시급히 요구되고 있다.

[그림 34] 도심지 지상철도의 지하화 사업



10. 도심지 지하철도의 과제와 전망

10.1 도심지 지하철도의 과제

도심지 지하철도는 대심도화, 고속화 및 복합화됨에 따라 다양한 기술적 과제가 해결되어야 한다. 현재 개발 중인 스마트 지하터널링 기술과 신기술을 종합적으로 반영해, 안전하고 쾌적한 도심지 지하철도를 구축해야 한다. 도심지 지하철도의 주요 해결 기술과제를 정리하면 다음과 같다.

• Smart(스마트 터널링)

지하터널의 스마트 터널링 기술은 도심지 지하철도의 안

전 시공과 효율적인 시공 관리를 위한 핵심 기술이다. 지하 공사 중 기존 지하 인프라 및 주변 환경에 미치는 영향을 최소화하고, 최신 스마트 기술을 적용하여 안전하고 효율적인 도심지 지하 공사를 진행한다.

• Sustainable(지속가능한 개발)

도심지 지하철도는 대중교통의 핵심 축으로 도시 발전과 밀접하게 연관되어 있다. 지속 가능한 도시 개발을 추진하기 위해서는 노후화된 기존 철도의 개량사업과 함께 지하 중심의 신설 지하철도 구축을 지속적으로 추진해야 한다.

• Strategic(전략적 접근)

도심지 지하철도 개발은 단순히 기술적인 문제가 아니라, 사회, 경제, 환경 등 다양한 요소를 고려한 종합적이고 전략적인 접근이 필요하다. 이는 기존 철도의 개량과 신설을 통해 지역 주민의 요구를 충족시키고, 국가적 교통 시스템과 효율적으로 연계되며 장기적으로 추진되어야 한다.

• Spacial(공간적 계획)

도심지 지하철도는 단순한 교통 거점을 넘어 주변 지역의 개발을 촉진하고, 다양한 기능을 수행하는 중요한 공간이다. 대중교통 중심의 지역사회 개발 원칙에 따라 상업, 주거, 문화, 교육, 사무 공간 등 다양한 기능을 혼합하여 개발함으로써 공간 활용도를 높이고 시너지 효과를 창출해야 한다.

[그림 35] 도심지 지하철도의 과제 - 4S



10.2 도심지 지하철도의 향후 전망

도심지 지하철도는 미래 도시교통시스템의 핵심 요소로 자리매김할 것이며, 끊임없는 기술 발전과 사회적 요구 변화에 발맞춰 더욱 안전하고 편리하며 지속 가능한 방향으로 발전할 전망이다. 특히 노후화된 도시 인프라의 재생 및 개선 사업을 통해 도심지 지하 공간을 효율적으로 활용하고, 도시 문제를 해결하며 시민들의 삶의 질을 향상시키는 것을 목표로 한다. 향후 도심지 지하철도의 발전에 있어 요구되는 주요 사항을 정리하면 다음과 같다.

• Undergrounding(지상철도의 지하화)

지하철도는 복잡하고 혼잡한 지상의 철도를 대체하기 위해 지하에 구축되며, 지상 공간은 녹지 및 편의 공간으로, 지하철도는 안전하고 빠른 도심지 지하 인프라로 기능해야 한다. 지상과 지하가 입체적으로 통합되어 도시 공간 활용도를 극대화하는 것이 중요하다.

• Networking(기존선 개량과 신설철도의 연결)

기존 도시철도의 개량과 급행철도의 신설은 도시와 지역 간 이동을 더 빠르고 편리하게 만들어 교통 체증을 완화하고, 지역 경제를 활성화하는 중요한 사업이다. 특히 지역 간 연결을 강화하고, 지역 특화형 철도를 구축하여 균형 발전에도 기여할 수 있다.

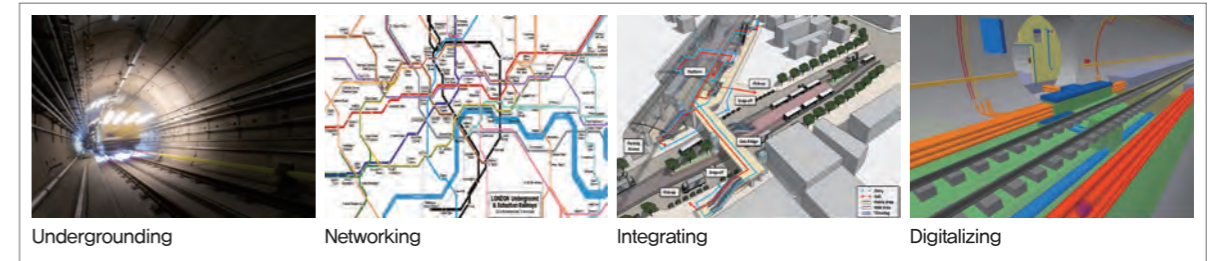
• Integrating(지하역사의 통합개발)

지하역사의 통합 개발은 단순히 공간을 확장하는 것을 넘어 도시 공간을 혁신하고 시민들의 삶의 질을 향상시키는 전략적 사업이다. 주변 상권과 연계한 복합 공간 조성, 대중교통 접근성 개선, 경제 활성화를 통해 도시의 매력을 높이고 지역 경제를 활성화하는 데 기여할 수 있다.

• Digitalizing(지하 인프라의 디지털화)

지하 인프라의 디지털화는 스마트 시대를 위한 필수 전략으로, BIM, 데이터 분석, AI 등 첨단 기술을 활용해 지하 공간을 보다 효율적이고 안전하게 관리하는 것이다. 이는 능동적인 지하 공간 관리, 쾌적하고 안전한 지하 환경 조성, 지속 가능한 지하 공간 발전에 기여할 수 있다.

[그림 36] 도심지 지하철도의 전망 - UNID(지하/연결/통합/디지털)



[표 3] 도심지 지하철도 관련 용어 정리

용어	정의	비고
도시철도	대도시에서 운행되는 철도 대중교통, 흔히 [지하철] 이라고 부르지만, 실제로는 지하뿐만 아니라 지상 구간을 달리는 경우도 많다. 따라서 공식명칭으로 지하철이라는 표현 대신 [도시철도]라는 표현으로 대체하여 사용하고 있다.	지자체 (서울시, 인천시 등)
국유철도 (국영철도)	정부에서 시설을 보유하거나 직접 운영하는 철도를 이르는 말이다. 간단히 [국철]이라고 부르기도 한다.	국가 (국가철도공단)
광역철도	광역철도는 두 개 이상의 광역자치단체를 연결하는 도시철도 또는 국가철도로서 광역교통 문제를 해결하기 위해 특별히 지정된 도시철도나 국가철도를 말한다.	별내선 진접선
광역급행철도	근교와 도심의 주요 거점을 고속으로 연결하는 광역철도로, 기존에 존재하던 도심지 철도의 속도가 낮아 통근 불편이 심화되자 등장하게 된 개념이다.	수도권 광역급행철도 (GTX-A 등) Great Train eXpress
도심지 지하철도	지하구간을 통과하는 도시철도 또는 국철	지하터널
도심지 지상철도	지상구간을 통과하는 도시철도 또는 국철	고가
지하철	도시내 대중교통의 한 종류로, 일반적으로 도시의 지하에 설치된 철도를 의미한다. 하지만 지상 또는 고가 구간도 포함될 수 있으며, 광역철도망을 일컫는 경우도 있다.	서울 지하철 부산 지하철 인천 지하철
Subway	일반적으로 지하에 위치하지만, 일부 구간은 지상이나 고가를 주행하기도 한다. 주로 미국에서 사용된다.	New York Subway
Metro	[Metropolitan Railway]의 약자로, 일반적으로 대규모 도시에서 운행되는 광범위하고 현대적인 지하철 시스템을 의미한다.	Metro de Paris Sydney Metro Riyadh Metro
MRT	[Mass Rapid Transit]의 약자로 고속대중교통이라는 뜻이다. 보통 지하철이나 도시철도체계를 가리키는 말로 동남아 지역에서 사용된다.	Singapore MRT Hong Kong MRT
TUBE	영국 런던과 그 주변 지역을 운행하는 지하철 시스템으로, 1863년 개통된 세계 최초의 지하철이다.	London TUBE
Underground	영국에서 지하철을 지칭하는 또 다른 비공식적인 용어이지만, Tube보다 더 일반적으로 사용된다.	London Underground
U-bahn	독일과 오스트리아에서 운영되는 광범위한 지하철 시스템으로, U-bahn은 [Underground Railway] 뜻	Berlin U-bahn (U1, U2, U3, ...)

제8강을 마치면서

- 도심지 지하철도

필수 지하 인프라
미래공간

철도는 오랫동안 대중교통의 핵심으로서 역사와 함께 발전해 왔다. 특히 도심지에서의 도시철도는 대도시의 성장과 함께 지역 간을 연결하며 시민들의 중요한 교통수단으로 자리매김해 왔다. 이제 도심지 지하철도는 새로운 전환기를 맞고 있다. 도심지를 통과하는 새로운 노선을 건설함과 동시에 노후화된 기존 철도를 개량하고, 기존선을 더욱 확장하는 등 도심지 철도는 지하 중심으로 더욱 발전하고 성장하고 있다. 특히 오래전에 도심지 지상 구간에 만들어진 지상철도는 지역 주민들의 다양한 민원과 개발 요구가 급증함에 따라, 지상철도의 지하화가 뜨거운 이슈로 떠오르고 있는 상황이다.

그러나 과연 도심지를 통과하는 지하철도를 실현할 수 있을까? 그 막대한 비용은 어떻게 조달할 것인가? 철도 지하화에 따른 기술적 문제들은 해결 가능한 수준인가? 어느 지역과 구간을 우선적으로 시행할 것인가? 등에 대한 수많은 과제들이 산적해 있다.

하지만 보다 편리하고 안전한 지하 교통 시스템을 건설하고, 다양한 공간 활용을 통해 지역 경제를 활성화하며, 다양한 목적으로 지하와 지상 공간을 활용할 수 있다는 점에서 철도의 지하화는 우리가 풀어가야 할 중요한 과제다. 이를 위해 지역 주민과 엔지니어뿐만 아니라 정책 입안자 및 관계 당국과의 지속적인 소통과 협력이 필요하며, 법적, 제도적, 기술적 지원이 뒷받침되어야 한다. 또한 지속적이고 장기적인 관점에서 마스터플랜이 수립되어야 한다.

도심지 지하철도는 미래 도시 교통의 핵심이자, 미래 도시의 모습을 결정하는 중대한 요소다. 향후 지속 가능한 기술 발전을 통해 지하철도는 더욱 안전하고 효율적이며 친환경적인 교통시스템으로 발전할 것이다. 지하철도가 새로운 도심지 미래 공간으로 자리매김하기 위해서는 기술 개발 및 투자 확대가 필요하며, 정부, 기업, 사회 간의 협력이 요구된다. 또한 대심도 지하와 같은 도심지 지하공간 활용 관련 법규 및 제도를 개선하고, 안전 및 환경 관련 규제를 조속히 마련해야 한다.

도심지 지하철도는 지상철도의 지하화, 기존선의 개량과 새로운 노선의 신설, 지하역사의 통합개발 및 지하 인프라의 디지털화를 통해 도심지 미래 신공간의 핵심 솔루션이 될 것이다. 🇰🇷

