

숫자와 그림으로 보는 터널이야기

- 제7강 지하도로 -

김영근 | ㈜건화 지반터널부 부사장, 한국터널지하공간학회 부회장, 공학박사, 기술사



지하도로(Underground Road)는 지하에 도로기능으로 만들어진 지하차도나 지하터널을 말한다. 최근 기존의 도로나 건물의 하부를 통과하는 지하도로 건설에 관심이 많아지면서 도심지 개발에서의 새로운 지하 인프라로서 주요 이슈가 되고 있다. [표 1]에는 도심지 구간에서 지하도로의 주요 특성과 기술 트렌드를 핵심 키워드로 정리하였다. 본고에서는 10가지 핵심 키워드를 중심으로 지하도로의 국내외 지하도로 사례와 지하도로의 과제와 향후 전망에 대하여 기술하였다.

[표 1] 지하도로의 핵심 키워드

	Key Word	As-is	To-be
1	지하도로의 주요 특성	지하차도 (개착)	지하터널 (TBM+NATM)
2	지하도로의 기술 트렌드	천부/일반/단터널/단일	대심도/대단면/장대/복합
3	지하도로의 기술 이슈	시공성/경제성	안전/민원/환경
4	해외 지하도로 사례-일본	사례 적음 (대심도법)	증가 (대심도/TBM)
5	해외 지하도로 사례-미국	사례 적음 (도심재생)	증가 (대심도/TBM)
6	해외 지하도로 사례-호주	사례 적음 (교통혼잡)	증가 (대심도/기계굴착)
7	해외 지하도로 사례-싱가포르	사례 적음 (도심외곽)	증가 (대심도/개착)
8	해외 지하도로 사례-유럽	사례 적음 (외곽순환)	증가 (대심도/개착)
9	국내 지하도로 사례	사례 적음 (개착/단거리)	증가 (대심도/TBM)
10	지하도로의 과제와 전망	해결과제 많음	도심지 미래 新공간

1. 지하도로의 특성

1.1 지하도로의 특성

지하도로는 지상의 교통 체증을 완화하고, 환경오염을 줄이며, 안전한 대중교통 시스템을 제공하기 위해 지표면 아래에 건설되는 도로이다. 지하도로는 다양한 형태와 크기로 건설될 수 있으며, 도시 지역, 교통량이 많은 도로, 위험한 교차로 등 다양한 위치에 건설될 수 있다.

[그림 1] 대심도 지하도로



1.2 지하도로의 건설공법

지하도로를 건설하는 방법은 개착공법을 이용한 지하차도와 NATM 및 TBM과 같은 터널공법을 이용한 지하터널로 구분할 수 있다. 일반적으로 지하차도는 천부에 건설되고, 지하터널은 터널링이 가능한 깊은 심도에 건설되며, 최근에는 기존 지하시설물 등과의 간섭을 최소화하기 위해 안전하고 환경영향이 적은 대심도 지하(Deep Underground)에 건설하고 있다.

[그림 2] 지하도로의 건설공법



1.3 지하도로의 특성과 장점

도심지 구간에서 지하에 건설되는 지하도로의 장점을 정리하면 다음과 같다.

- 공간 활용: 지하도로는 지상의 토지를 절약하고, 주차장, 상

점, 기타 시설을 위한 공간을 제공할 수 있다.

- 환경 보호: 지하도로는 자동차 배기가스와 소음 공해를 줄여 도시의 공기 질을 개선하는 데 도움이 될 수 있다.
- 안전성 확보: 지하도로는 악천후로부터 보호되고 단단한 암반에 만들어지기 때문에 지상보다 위험을 줄일 수 있다.
- 도심지 미관향상: 지하도로는 도시의 미관을 향상시키고, 지상 공간을 보다 아름답고 친환경 공간으로 만들 수 있다.

[그림 3] 도심지 지하도로의 장점



지하도로는 도로 용량을 늘리고 교통 체증을 줄여 통행 시간을 단축시킬 수 있으며, 대중교통 시스템을 위한 안전하고 편리한 통로를 제공하여 대중교통 이용을 촉진할 수 있다. 또한 지하도로는 새로운 개발을 위한 토지를 창출하고, 일자리 창출 및 지역 경제 활성화에 기여할 수 있으며, 주변 부동산의 가치를 높일 수 있기 때문에 새로운 지하공간으로 주목받고 있다.

2. 지하도로의 기술 트렌드 변화

2.1 지하도로의 대심도화

대심도 터널은 대심도 지하(Deep Underground)에 만들어진 터널을 말한다. 일반적으로 대심도는 지하 40m 이하를 의미한다. 지상개발이 상당히 진행되어 개발공간이 부족하고, 지하에 다양한 지하시설물이 설치되어 있어 보다 깊은 심도에서의 지하도로의 건설이 요구되는 도심지 구간에서 지하도로

는 지하 40m 이하로 점차 대심도화 되고 있다.

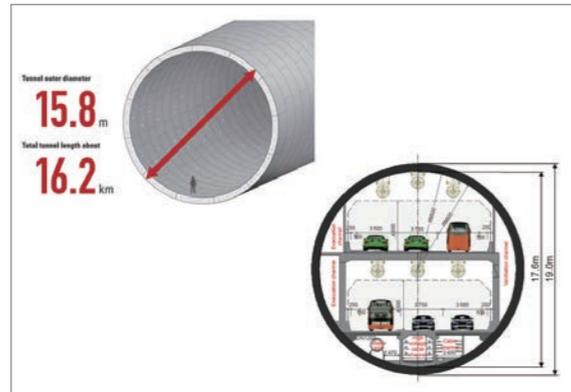
[그림 4] 지하터널의 대심도화



2.2 지하도로의 대단면화

지하도로의 폭은 도로의 종류나 지형상황 및 교통량 등에 달라지며, 일반적으로 2차선 도로로 계획하는 경우 11~13m 이상의 폭을 가지게 된다. 최근 증가하는 교통량 등을 고려하고, 터널기술이 발전함에 따라 보다 직경 15m 이상의 대단면의 터널인 지하도로를 계획하는 사례가 많아지고 있다.

[그림 5] 지하터널의 대단면화



2.3 지하도로의 장대화

공학적으로 터널 연장이 1km 이상일 경우에 별도의 환기설비가 필요한 장대터널로 정의하고 있지만, 통상적으로 4km 이상을 장대터널이라고 한다. 최근 도심지 구간을 통과하는 지하도로가 4km 이상의 장대터널로 계획하는 사례가 많아지고 있지만, 장대터널은 터널 내 사고 시 안전대책으로서 환기 방재시스템과 안전하게 대피하고 구조할 수 있는 안전설계의 면밀한 검토가 요구된다.

[그림 6] 지하터널의 장대화



2.4 지하도로의 복합화

도심지 구간을 통과하는 지하도로는 여러 가지 기능을 가진 다기능 복합터널로 계획하는 경향이 증가하고 있다. 말레이시아 SMART 터널과 같이 평상시에는 도로터널로 운영하고, 폭우 시에 빗물을 저류할 수 있는 터널로 활용하는 복합터널로 운영되고 있다. 또한 복층터널로 계획하여 상층에는 도로터널로, 하층에는 철도터널로 운영할 수 있는 복합터널(Combined Tunnel)도 건설되고 있다.

[그림 7] 지하터널의 복합화



3. 지하도로의 핵심 이슈

3.1 도심지 지하공사의 민원 및 환경 문제

도심지 지하공사에서의 가장 뜨거운 이슈는 민원 및 환경문제이다. 특히 아파트 하부를 통과하는 지하도로는 가장 큰 민원 요소이며, 이미 GTX-A와 같은 수도권 급행철도사업의 착공 지연의 주요 원인이 되기도 하였다. 따라서 지하도로의 계획단계에서부터 주민들의 의견을 적극 수렴하고, 충분한 정보 공개를 통해 소통해야 하며, 공사과정에서도 주민들의 불편을 최소화하기 위한 노력이 보다 적극적으로 필요하다.

[그림 8] 도심지 지하공사의 민원 및 환경 문제



3.2 대심도 터널의 안전 문제

지하도로의 중심인 대심도 터널은 도심 교통 혼잡완화를 위한 중요한 지하 인프라이지만, 동시에 안전 문제에 대한 우려도 많이 제기되고 있다. 지하터널 굴착과정에서 발생하는 지반 침하, 주변 건물 균열, 지하수 오염 등 다양한 문제가 지적되고 있으며, 이에 대한 철저한 기술 대책이 설계단계에서 반영되어야 한다.

[그림 9] 대심도 터널의 안전 문제



3.3 메가 프로젝트의 사업비 문제

지하도로와 같은 메가 프로젝트는 사회, 경제, 환경에 영향을 미치는 대규모 사업이지만, 동시에 높은 사업비와 예산 초과 문제로 어려움을 겪고 있는 실정이다. 또한 사업비 부족으로 인해 프로젝트가 지연되거나, 최악의 경우 실패로 이어질 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 민간투자를 적극적으로 유치하고, 계획 단계에서 충분한 조사와 분석, 전문가 의견 수렴 등을 통해 실현가능한 계획을 수립해야 한다.

[그림 10] 메가 프로젝트의 사업비 문제



3.4 지하터널 복합화의 기술 문제

지하터널로 구성된 지하도로는 분기 및 합류 등으로 인하여 복잡한 기하구조(대단면 터널)를 가지게 된다. 또한 단일터널에서 상하행선이 운행 가능하도록 복층터널구조도 개발되어 실용화되고 있다. 이러한 복합적인 지하터널 구조를 해결하기 위해 다양한 기술이 요구되고 있으며, 이는 지하터널의 장기적인 안전 문제와 연결되기 때문에 기술적으로 문제를 해결하여야 한다.

[그림 11] 지하터널 복합화의 기술 문제

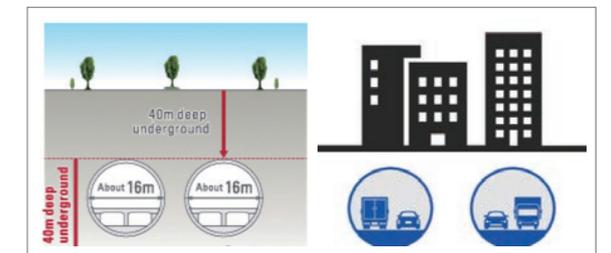


4. 해외 지하도로 사례 - 일본

4.1 지하도로 추진 현황 - 다단계 도로시스템

일본의 다단계 도로 시스템은 도로로 사용할 영역을 입체적으로 정의하여 도로 부지의 상하 공간에 건물을 건설할 수 있다. 지하 프로젝트에서는 입체 도로 시스템을 활용하여 도로 터널 상부에 건물을 건설할 수 있도록 하여 부지를 효율적으로 활용하고 있다.

[그림 12] 대심도 지하이용과 다단계 도로시스템

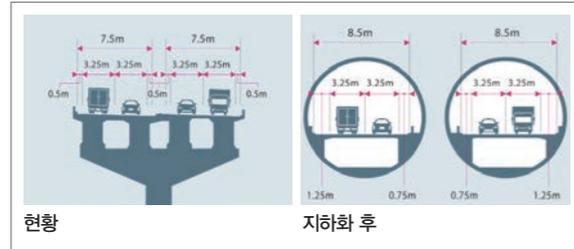


4.2 수도권 고속도로 리뉴얼 사업 - 일본대교구간 지하화

일본대교 주변의 도시 정비사업은 국가 전략 특구의 도시 활성화 사업으로 자리 매김하고 있으며, 새로운 도시 개발을 진행하고 있다. 일본대교 지하화 사업은 '입체 도로시스템'을 활

용하여 건물 하부에 터널을 건설하고, 도시 정비와 함께 지하 프로젝트를 진행하여 지역의 매력을 한층 더 높이는 데 기여할 것이다. 그 결과, 경관과 환경이 개선되어 재팬 브릿지의 새로운 거리로 다시 태어나고 있다.

[그림 13] 일본대교 지하화사업의 현재와 지하터널공사 이후



4.3 도쿄 환상2호선 지하도로 터널프로젝트

환상 2호선은 도쿄 도심과 해안가를 연결하는 도로로 인해 부도심과 도쿄 구도심인 미나토구의 신바시, 도라노몬을 직접 연결하며 지요다구의 간다사쿠마초우에 이르는 연장 14km의 도시계획 도로이다. 특히 츠키지 도라노몬 구간은 약 1.84km의 지하 터널로 건설되었다. 개통은 여러 가지 사정으로 지연되었지만, 2022년 12월 18일에 츠키지 도라노몬 터널 개통을 계기로 전 노선이 운영 중이다.

[그림 14] 도쿄 환상2호선 지하터널 프로젝트

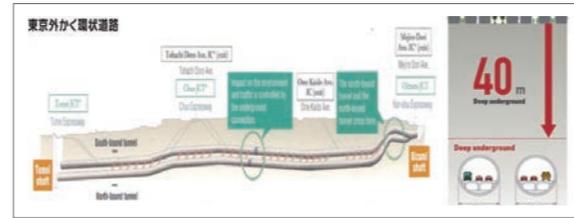


4.4 도쿄 외관순환도로 지하도로 터널프로젝트

도쿄 외관순환도로는 도심에서 약 15km의 권역을 환상태에 연결하는 연장 약 85km의 도로이며, 수도권의 정체완화, 환

경 개선 및 원활한 교통 네트워크 실현을 위한 중요한 도로이다. 현재까지 자동차 전용부 북쪽 구간 약 34km가 공용 중이고, 동쪽 구간 약 16km가 공사 중이다. 당초 약 16km 구간에 대해서는 1966년 고가 방식으로 도시 계획이 결정되어 사용됐지만, 대심도 지하를 이용한 지하 방식으로 변경했다. 직경 약 16m, 3차선의 터널 2개소, 출입구 3개소, 환기소 5개소로 구성되며, 일본 최대 직경의 쉴드 TBM 터널이 현재 시공 중이다.

[그림 15] 도쿄 외관순환도로 지하도로터널 프로젝트



5. 해외 지하도로 사례 - 미국

5.1 지하도로 추진 현황

20세기 미국은 자동차의 발달로 지상 교통이 증가하면서 지하도로 건설도 활발했다. 대표적인 프로젝트로는 1930년대 뉴욕에서 진행된 웨스트사이드 하이웨이 건설과 보스턴의 'Big Dig' 프로젝트가 있다. 웨스트사이드 하이웨이는 맨해튼 해안가를 따라 지하고속도로를 건설하는 프로젝트였으며, Big Dig은 도심부 고가도로를 지하화하고 그 자리에 공원을 조성하는 프로젝트였다.

[그림 16] 미국의 지하도로



5.2 도심 재생사업 지하도로 터널프로젝트

연방정부는 지하도로 인프라 개선을 위한 투자를 늘리고 있으며, 각 도시에서도 노후된 지하철 노선을 현대화하고 새로

운 노선을 건설하는 프로젝트를 추진하고 있다. 시애틀시는 고가 구간인 Alaskan Way Viaduct를 고속도로가 개방된 상태에서 3.2km의 터널로 교체했다. 또한 뉴욕에서는 Kensington Expressway 6차선 고속도로를 지하에 건설할 계획이다.

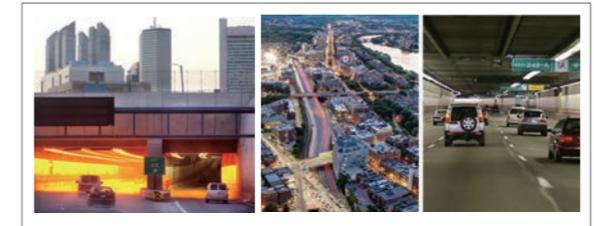
[그림 17] 도심 재생을 위한 Alaskan Way Viaduct Replacement 프로젝트



5.3 보스턴 BIG DIG 지하도로 터널프로젝트

보스턴 Big Dig 프로젝트는 미국 보스턴 시내를 가로지르는 주요 고속도로였던 중앙 간선(Central Artery)을 지하화하는 거대한 도시 재개발 사업으로 1982년부터 2003년까지 20년이 넘는 기간 동안 진행되었으며, 미국 역사상 가장 복잡하고 비용이 많이 드는 건설 프로젝트 중 하나로 기록되었다.

[그림 18] Boston Big Dig 지하도로 프로젝트



Big Dig 프로젝트는 기존 고가도로를 철거하고 지하 터널을 건설하는 방식으로 진행되었으며, 주요 내용은 다음과 같다.

- 지하 터널 : 총 길이 약 2.4km의 지하 터널 건설
- 새로운 도로 : 터널 내에 6개의 차선 도로 및 보행자 통로 설치
- 공원 조성 : 터널 위에 17에이커 규모의 공원 및 녹지 공간 조성
- 기존 건축물 보존 : 역사적 건축물들을 이전하거나 보호 조치를 취함

Big Dig 프로젝트는 교통 체증 완화, 대기 오염 감소, 도시 경관 개선 등 긍정적인 성과를 거두었지만, 막대한 비용, 공사 지연 등의 문제점도 존재했다. 도시 재개발 사업의 대표적인 성공 사례로 평가받고 있다.

[그림 19] Boston Big Dig 지하도로 프로젝트 (Before Vs. After)

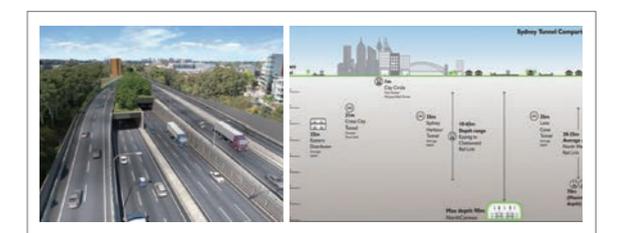


6. 해외 지하도로 사례 - 호주

6.1 지하도로 추진 현황

호주 여러 도시에서는 도심 교통 체증 완화를 위해 지하도로 건설에 적극적으로 투자하고 있다. 대표적인 예로는 시드니의 WestConnex와 NorthConnex, 멜버른의 Melbourne Tunnel 등이 있다.

[그림 20] 호주의 지하도로



6.2 West Connex 지하도로 프로젝트

WestConnex 지하도로는 호주 시드니에 위치한 총 길이 33km의 지하 고속도로이다. 본 프로젝트는 2014년부터 2024년 현재까지 진행 중인 지상 및 지하도로 건설 사업으로, 약 14.5조 원의 예산이 투입된 호주 역사상 가장 규모가 큰 교통 인프라 사업 중 하나이다. 사업 구간 내 도로의 연장은 총 33km로, 이 중 약 26km는 시드니의 서부와 남서부 지역, 공항을 잇는 지하터널로 계획되었다.

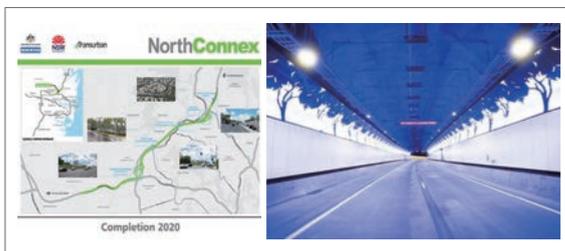
[그림 21] West Connex 지하도로 프로젝트



6.3 North Connex 지하도로 프로젝트

North Connex 지하도로는 호주 시드니에 위치한 길이 9km의 지하도로로 2019년 12월에 개통되었다. North Connex는 Wahroonga의 M1 Pacific Motorway와 시드니 북부의 West Pennant Hills에 있는 Hills M2 Motorway를 연결하는 9km 길이의 트윈 터널이다. North Connex는 NSW에서 가장 혼잡한 경로 중 하나인 Pennant Hills Road를 우회하기 위한 솔루션으로 최고 수준의 안전 표준에 따라 설계되었다.

[그림 22] North Connex 지하도로 프로젝트



North Connex 프로젝트의 주요 특징은 다음과 같다.

- 3개의 차선 : 각 방향으로 3개의 차선을 갖추고 있어 원활한 차량 통행을 가능
- 환경 친화 : 환경오염을 최소화하고 주변 자연 환경을 보호
- 지능형교통시스템을 도입하여 교통 흐름을 최적화하고 안전을 확보
- 굴착 : 로드헤더(Roadheader) 기계굴착을 적용하여 발파 진동 및 소음 저감
- 대심도 터널 : 지하 30m 이상에 계획하고 최대심도 90m

[그림 23] North Connex 지하터널의 로드헤더 기계굴착



7. 해외 지하도로 사례 - 싱가포르

7.1 지하도로 추진 현황

싱가포르는 더 많은 땅을 확보하기 위해 철도망, 도로, 유틸리티, 창고 등을 지하로 재배치하여 지하 미래를 개척하고 있다. 싱가포르 지하도로는 좁은 국토 속에서 효율적인 도시 공간 활용을 위한 중요한 전략으로, 지속적인 기술 개발과 투자를 통해 지하도로 네트워크를 확장하고 안전하고 지속 가능한 지하공간을 조성해 나가고 있다. 또한 싱가포르 지하도로 네트워크 300km 확장 계획을 수립하였다.

[그림 24] 싱가포르 도로와 지하개발



2013년 싱가포르 육상교통국(LTA)은 가장 복잡하고 비용이 많이 드는 지하 고속도로 MCE(Marina Coastal Expressway) 공사를 완료했다. MCE는 ECP와 AYE를 연결하는 5km 길이의 지하고속도로로 싱가포르 최초의 해저도로(Undersea road)이다. KPE(Kallang-Paya Lebar Expressway)는 남쪽의 ECP와 북동쪽의 TPE를 연결하는 12km 길이의 지하도로로 시공 당시 동남아시아에서 가장 긴 지하터널로 2008년 개통되었다.

[그림 25] MCE와 KPE 지하고속도로



7.2 NSC 지하고속도로 프로젝트

NSC는 North-South Corridor의 약자로, 싱가포르 북부와 남부를 연결하는 새로운 고속도로이다. 총 길이는 약 21.5km이며, 터널과 교량으로 이루어져 있다. NSC는 싱가포르의 교통 체증을 완화하고, 북부 지역의 접근성을 향상시키는 것을 목표로 하고 있으며, NSC는 2029년에 완공될 예정이다.

[그림 26] 싱가포르 NSC 지하도로



싱가포르 최초의 지하 고속도로인 NSC는 싱가포르 최초의 지하 고속도로로 도심 지역의 교통 체증을 줄이고, 주변 환경에 미치는 영향을 최소화하는 데 도움이 될 것으로 기대된다. 또한, NSC에는 자율주행 자동차를 위한 차선이 마련될 예정으로, 이는 싱가포르가 미래의 모빌리티 이동 시스템을 준비하고 있다. 아울러 지속 가능한 디자인을 채택하여 건설되고 있다. 터널 내부에는 태양광 패널이 설치되고, 우수를 재활용하는 시스템도 도입하였다.

[그림 27] NSC 지하고속도로 설계 - 개착공법



8. 해외 지하도로 사례 - 유럽

8.1 스페인 마드리드 M30 순환도로 프로젝트

M30 도로는 스페인 수도 마드리드를 순환하는 총 길이 22.2km의 고속도로이다. 유럽에서 가장 긴 도시 지하 고속도로로, 터널 구간은 총 4개, 이 중 3개는 상행선과 하행선을 위한 2개의 터널로 구성되어 있다. 이 프로젝트는 2007년에 완공되었다.

[그림 28] 스페인 마드리드 M30 순환도로 프로젝트



스페인 마드리드 M30 순환도로 프로젝트의 주요 특징은 다음과 같다.

- 지하화 : M30 도로의 대부분은 지하로 건설되어 시내 경관을 보호하고 소음과 대기 오염저감
 - 터널 : 가장 긴 만사나레스 강변 터널 길이 12.5km, 터널 총 길이 25km
 - 차로 : 각 터널은 상행선과 하행선 3차로씩 총 6차로로 구성
 - 환경 : 대기 오염과 소음을 대폭 줄였으며, 녹지 공간 조성에도 기여
 - 교통 : 도심 교통 체증을 완화하고, 도로망 연결성을 개선
- M30 도로 프로젝트는 도시 환경 개선과 교통 문제 해결에 성공적인 사례로 평가받고 있다.

[그림 29] 스페인 마드리드 M30 순환도로 프로젝트(Before Vs. After)

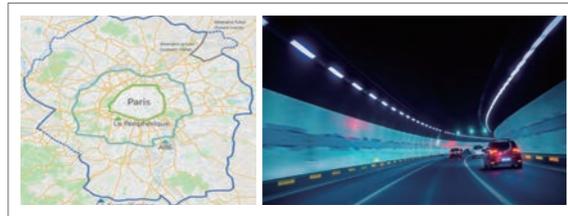


8.2 프랑스 A86 지하도로 프로젝트

A86 지하도로는 프랑스 파리 주변의 두 번째 순환 도로이다.

파리 주변의 불규칙한 경로를 따라 도심(노트르담)과의 거리가 8~16km 범위로 다양하다. A86의 남서쪽 구간에는 2009년과 2011년에 두 부분으로 개통된 세계에서 가장 긴 도시 고속도로 터널(10.1km의 연속 터널) 중 하나이다. 터널의 높이는 2.0m로 제한되어 있어 상업용 차량의 진입이 금지되었다.

[그림 30] 프랑스 A86 지하도로 프로젝트



파리는 이 구간을 지하화하기 위해 30년간 논의를 거쳤다. 당초 지상에 도로를 놓자는 의견도 많았지만 대규모 녹지와 베르사유공원 인근 역사 유적지를 보호해야 한다는 의견이 많아 최종적으로 지하화하기로 했다. 듀플렉스(Duplex) 2층 구조로 위층은 상행선, 아래층은 하행선이 달린다. 물론 2m 이하 차량만 진입이 가능한 사실상 승용차 전용도로라는 한계가 있지만 만성적인 교통 정체를 해소하는 데 큰 역할을 하고 있다. A86 도로 프로젝트는 지하화를 통하여 도시 환경 개선과 도심지 교통 문제 해결에 성공적인 사례로 평가받고 있다.

[그림 31] 프랑스 A86 지하도로 프로젝트



9. 국내 지하도로 사례

9.1 서울시 지하도로 U-SMARTWAY (계획)

U-Smartway는 서울시가 추진하는 지하 자동차 전용 도로망 구축 사업으로 총 6개 축으로 구성되며, 연장 149km, 사업비 11조 2607억 원의 대규모 사업으로 15인승 이하 소형차 전용, 지하 30~40m 깊이에 건설될 예정이다. U-Smartway는 서울의 미래 교통을 변화시킬 대규모 사업으로 지하공간 활용

을 통한 교통혼잡 완화, 환경 개선, 국제경쟁력 강화 등 다양한 효과를 기대할 수 있다.

[그림 32] 서울시 지하도로 U-SMART WAY



9.2 신월 여의지하도로 및 서부간선 지하도로 (운영중)

신월여의 지하도로는 서울 서남권(신월IC)과 도심(여의대로, 올림픽대로)을 직접 연결하는 왕복 4차로의 지하터널로 총 연장 7.53km의 국내 최초의 대심도 지하터널이다. 서부간선 지하도로는 서부간선도로 지하 80m에 건설된 대심도 지하터널이다. 총연장 10.33km로 서울 영등포구 양평동 성산대교 남단과 금천구 독산동 서해안고속도로 금천나들목을 직통으로 연결한다.

[그림 33] 운영중인 대심도 지하도로



9.3 진행 중인 지하도로사업

현재 진행 중인 부산에 만덕~센텀 지하고속도로, 사상해운대 지하고속도로 및 서울시의 동부간선지하화 사업 등이 있다. 현재 대부분의 도심지 지하도로로는 BTO 방식의 민자사업으로 진행되고 있다. 남양주 왕숙 국도47호선 지하화 공사는 총연장 6.41km 구간의 지상국도를 지하화하는 사업으로, 4.3km의 지하차도 1개소와 5.2km 터널 1개소 등을 건설하게 된다.

[표 2] 진행 중인 지하도로 사업

사업명	연장	사업 방식	특징	비고
만덕~센텀 지하고속도로	9.6km	민자/BTO방식	대심도 터널	시공중
사상해운대 지하고속도로	22.8km	민자/BTO방식	대심도 터널	설계중
동부간선 지하화사업	10.4km	민자/BTO방식	대심도 터널	시공중
남양주왕숙 국도 47호선 지하화	6.4km	T/K 방식	지하차도 (4.85km)	시공중

지하고속도로의 추진 방법은 지하화, 입체적 확장, 지하도로 신설의 세 가지의 개념이 있으며, 상승정체가 발생하나 확장 불가능한 구간의 입체적 용량 증대, 신도시 개발, 도로 신설 등으로 인한 교통량 증가에 선제적 대응, 도심 통과구간 지하화 및 지상으로 공원을 통한 도시재생 및 환경개선, 수도권 제1·2순환망 간 연계 및 횡단축 개발 등 수도권 고속도로망 보완 및 완성이 있다. 현재 추진 중인 지하고속도로 사업은 총 4개 노선으로, 「제2차 고속도로 건설계획」에 최초로 경인, 경부, 수도권 제1순환, 영동선 하부에 지하고속도로 사업이 반영되었고, 이 중 경인, 경부 2개의 사업은 타당성 평가 중이다.

[그림 34] 추진 중인 지하고속도로 사업



10. 지하도로의 과제와 전망

10.1 지하도로의 기술 과제

지하도로는 대단면화, 대심도화, 장대화 및 복합화 됨에 따라 다양한 기술적 과제가 해결되어야만 한다. 현재 개발 중인 스마트 건설기술과 디지털 기술 등을 종합적으로 반영하여 안전하고 쾌적한 지하도로를 구축해야 할 것이다. 지하도로의 주요 해결 기술과제를 정리하면 다음과 같다.

[그림 35] 지하도로의 기술 과제 - 스마트/디지털/안전/공간



• Smart 건설기술

스마트 건설기술은 지하도로의 안전 시공과 효율적인 건설관리를 위한 핵심 기술이다. 센서, 데이터 분석, 통신 기술을 활용하여 터널 내 환경을 실시간으로 모니터링하고, 낙반, 붕괴, 출수 등의 위험 요소를 감지하며 신속하게 대응할 수 있다.

• Digital 운영기술

디지털 운영기술은 지하도로 교통 시스템을 최적화하고 안전을 확보하는 데 활용될 것이다. AI 등과 같은 디지털 기반 교통 제어시스템은 실시간 교통 상황을 분석하여 신호 조절, 차선 변경, 우회 경로 제시 등을 자동으로 수행하여 교통 체증을 완화하고 이동 시간을 단축할 수 있다.

• Safety 운행기술

안전 운행기술은 장대화되는 지하도로의 특성을 반영하여 화재 등과 같은 비상상황 발생 시 신속하게 대응하도록

한다. 또한 궁극적으로 자율주행시스템과 통합하여 다양한 위험 요소를 감지하고 안전하게 대처할 수 있도록 하여야 하며, 교통 관리시스템과 효율적으로 연계되어야 한다.

• Space 공간기술

공간 활용기술은 지하도로를 단순한 통과 공간에서 다양한 기능을 수행하는 공간으로 입체적으로 변화하는 것이다. 3D 프린팅, 가상현실(VR), 증강현실(AR) 등의 기술을 활용하여 지하도로를 지상의 문화 공간, 상업 공간, 휴식 공간 등으로 통합하여 활용해야 한다.

10.2 지하도로의 향후 전망

지하도로는 교통 체증 완화, 지상 공간 활용 증대, 환경오염 감소 등 다양한 장점으로 인해 미래 도시의 중요한 교통 인프라로 자리매김할 것으로 예상된다. 과거 단순히 통행을 위한 공간을 넘어, 미래 도시의 중요한 지하인프라 시설로 발전할 전망이다. 기술 발전과 사회적 요구 변화에 따라 지하도로는 더욱 안전하고, 효율적이며, 지속 가능한 공간으로 발전할 것이다. 미래 지하도로 구축에 있어 요구되는 주요 사항을 정리하면 다음과 같다.

[그림 36] 지하도로의 향후 전망 - 통합화/연결화/복합화/플랫폼화



• Integrated 지상과 지하의 통합화

지하도로는 복잡하고 혼잡한 지상의 도로를 대체하기 위하여 지하에 구축되는 것으로, 지상공간은 녹지 및 편의공간, 지하도로는 안전하고 빠른 도심지 지하인프라로서 기능을 하여 지상과 지하가 유기적이고 입체적으로 통합 구현 되어야 한다.

• Connect 기존과 신설의 연결화

지하도로가 교통 효율성을 높이기 위해 기존 도로와 신설 도로를 연결하는 것은 중요한 과제이다. 지하에 교차로, 합류도로, 분기도로, 전충교차로 등의 연결방법이 효율적으로 구현되어야 하며, 특히 입출구부에서의 기존 인프라와의 간섭 문제 등을 해결해야 한다.

• Complex 지하터널의 복합화

지하도로는 도심지에 구축되는 새로운 인프라로서 도심지의 교통문제 뿐만 아니라 침수 등과 같은 안전 및 재난 문제 등에 대한 솔루션을 제공할 수 있어야 한다. 특히 막대한 공사비를 투자하여 만들어진 지하인프라로서 복합적인 기능과 성능을 최대한 활용해야 한다.

• Platform 지하도로의 플랫폼화

지하도로 플랫폼화는 기존의 교통 중심적인 기능에서 벗어나 상업, 문화, 휴식 등 다양한 기능을 수행하는 공간으로 지하도로를 재활용하는 개념이다. 특히 도심지 재생 공간으로서의 지하도로는 친환경 공간으로서 주민들이 적극적으로 활용할 수 있는 미래공간이 되어야 한다.

■ 제강을 마치면서 - 지하도로

도심지 새로운 미래공간 솔루션

지하도로는 미래 도시교통의 중요한 맥락이며, 미래 도시의 모습을 결정하는 핵심 요소 중 하나이다. 지속가능한 발전과 기술 발전을 통해 지하도로는 더욱 안전하고 효율적이며 친환경적인 교통 시스템으로 발전할 것이다.

지하도로가 새로운 도심지 미래공간으로 자리매김하기 위해서는 먼저 미래 지하도로 시스템 구축을 위한 기술 개발 및 투자 확대가 필요하며, 정부, 기업, 시민 사회의 협력 체계 구축이 요구된다. 또한 대심도 지하와 같은 도심지 지하공간 활용 관련 법규 및 제도를 개선하고 안전 및 환경 관련 규제가 조속히 마련되어야 한다. 그리고 도심지 지하공간 활용에 대한 사회적 합의가 형성될 수 있도록 전문 학회와 시민들의 참여 속에 다양한 의견을 수렴할 필요가 있다.

지하도로는 단순한 교통수단을 넘어, 지속가능한 도시 발전을 위한 중요한 지하 인프라로 발전할 것이다. 지하도로는 지상 및 지하의 통합화, 기존과 신설의 연결화, 지하터널의 복합화 및 지하도로의 플랫폼화를 통하여 도심지 미래 신공간의 핵심 솔루션이 될 것이다. 🇰🇷

