

# 광역교통 Brief

Metropolitan Transport Brief

www.koti.re.kr



SPECIAL ISSUE - 지하(고속)도로

지하도로 설계 지침 현황 및 시사점  
지하고속도로 스마트 교통안전체계 구축 방향  
서울시 중장거리 통행을 위한 인프라 구상  
(자율주행차량 전용 지하도로를 중심으로)



PART 1

## SPECIAL ISSUE

# 지하(고속)도로

### 지하도로 설계 지침 현황 및 시사점

양충헌 한국건설기술연구원 도로교통연구본부 연구위원

### 지하고속도로 스마트 교통안전체계 구축 방향

이승준 한국도로공사 도로교통연구원 선임연구위원

### 서울시 중장거리 통행을 위한 인프라 구상 (자율주행차량 전용 지하도로를 중심으로)

김승준 서울연구원 도시인프라계획센터 선임연구위원

## PART. 1

# 지하도로 설계 지침 현황 및 시사점



양충헌 \_ 한국건설기술연구원 도로교통연구본부 연구위원

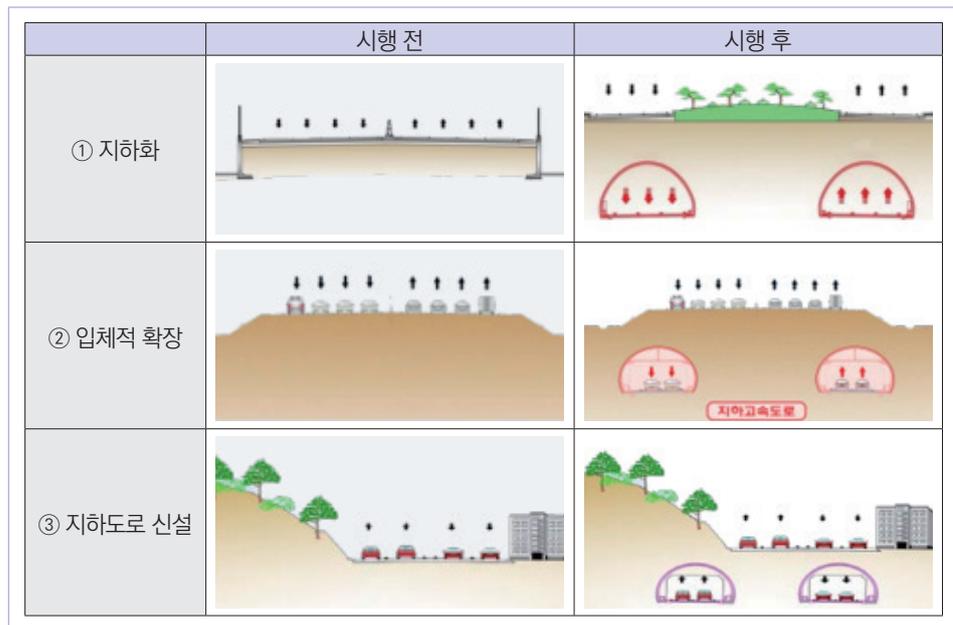
## 지하도로 개요

### 지하도로 정의 및 유형

일반적으로 지하도로는 지상부도로의 원활한 차량 소통을 위하여 지하공간에 설치하는 도로로서, 도시 내 주요지역 또는 도시와 도시 간 상호 연결, 도시와 인접 지역을 연결하는 역할을 수행한다. 지하도로에는 통행거리의 단축, 특정 지점 간 이동성 향상을 주목적으로 하는 터널과 단순 입체교차를 목적으로 하는 지하차도 등은 포함하지 않는다. 사업유형 관점에서 <그림 1>의 ①은 지상도로를 지하도로가 대체하고 지상도로는 다른 용도로 전용하여 활용하는 형태로 도시환경 개선이 주된 편익으로 고려될 수 있다. ②는 지상도로를 그대로 존치한 채 지하도로를 추가로 건설하는 형태이다. 이는 주로 지상에 더 이상의 공간 확장을 통한 도로용량 개선이 불가능할 때 적용될 수 있다. 따라서 ②의 주된 편익은 교통혼잡 개선이 될 수 있다. ③은 기존 도로의 하부를 따라가는 노선이 아닌, 도심지 공로, 산지 등 하부에 직접 연결되는 경로를 신설하는 형태이며, 오산-용인 고속도로가 이러한 형태에 해당한다. 마찬가지로 주된 편익은 교통혼잡의 개선이 될 수 있다.

그림 1

지하도로 사업  
유형 전·후 개념



자료 : 2023년 대한교통학회 학술발표회 자료 인용.

## 지하도로 설계지침

### 지침발간 개요

국토교통부는 지난 2016년 도심도 지하도로의 특성을 고려한 설계 지침을 제정하였다. 도시지역 지하도로 계획 및 설계 시에 고려해야 할 도로기하구조, 지하도로 구조물, 방재 및 안전시설 등에 대한 기준이 마련된 것이다. 도시지역 지하도로는 중·장거리 이상의 연장이 필요하고 경제성을 고려하여 한계심도(限界深度) 이하에서 건설될 수 있으므로 이동성과 더불어 안전성도 중요하게 고려된다. 또한, 도시 지하구역에 건설되기 때문에 기존의 철도, 전기, 가스, 전기 통신 등 지하구조물 또는 매설물 등에 대한 조사와 영향을 검토하는 것은 필수적이다. 무엇보다도 지하도로 출입구 구간은 지상도로와의 연계를 고려한 설계가 이루어져야 하며, 지하에서 분기·합류·교차 등 도로망 구조를 갖추게 되므로, 안전 확보가 필요하다. 지침의 적용범위는 「도로법」 제10조에 규정된 도로 중 도시지역 지하도로를 계획·설계하는 경우 최소한의 적용 지침을 규정한다. 본 지침은 계획, 조사, 도로기하구조, 터널 및 구조물, 환기, 방재, 조명, 포장, 도로의 안전시설, 부대시설 등의 장으로 구성하였다. 본 지침에서 규정하지 않은 사항은 관련 설계기준, 시방서, 지침 등을 발주처와 협의하여 적용하여야 하며 보다 구체적인 사항은 아래의 「도로의 구조·시설기준에 관한 규칙 (2021)」, 「터널설계기준 (2016)」 등 국토교통부 관련기준과 「지하 공간 침수방지를 위한 수방기준, 소방방재청, 2022」 등을 따르거나 참고하도록 기술되어 있다.

### 주요내용

#### ▣ 도로기하구조

이용자 안전, 주행 안정성 지하도로 특수성 및 경제성 등을 고려하여 설계속도, 시거 및 교차부 설치방안 등을 제시하고 있다. 지하도로의 원활한 교통흐름 확보를 위한 방안으로 지하도로 진입부와 출입구 설계 방법과 지하도로 내 진로변경 허용을 위한 공학적 기준을 제시하고 있다.

#### ▣ 조사, 터널 및 구조물

도시지역의 지역적 특성을 고려한 지반조사 방안 및 지반침하(함몰) 관련 조사내용 반영하고, 진입부와 출입구 구조물, 터널 특수부, 근접시공 등에 대한 기준제시로 지하도로의 위치적, 구조적 특성을 반영하고 있다. 또한, 구조적 특수성을 고려 이용자 안전을 위한 배수 및 수방재 기준을 제시(구조적 방안, 정보전달체계구축, 비상 대처계획 등)하고 있다.

#### ▣ 환기 및 방재

장시간 터널 내 체류하는 이용자 안전을 위해 연장 10km 초과 지하도로 내 오염물질 허용 농도기준 강화하고, 도시지역 환경오염 및 민원 최소화 등 위한 환기소 및 환기탑 설치 기준(높이, 형식 등)을 제시하고 있다. 또한, 방재등급 산정 인자를 개선하여 방재 기준 수정·강화를 제시하고 있다.

## ▣ 조명, 안전시설 및 부대시설 등

지하도로 내 주행 안전성 강화를 위해 특수 장소(분기부, 요금소, 진로변경 구간 등)의 조도 기준을 상향한다. 지하도로의 공간적 한계를 고려하여 적용 가능한 도로표지 설치 방안 및 VMS 활용방안을 제시하였다. 방향유도 안내표지 기준(오진입 사고 예방), 안전시설 안내표지, 운전자 주의 향상 시설 등도 반영하였다.

## ▶ 지침개정의 필요성

최초 제정된 지침에는 도시지역 내 도로를 대상으로 하였기 때문에 설계속도가 80kph에 머물고 있었다. 따라서 설계속도 100kph 이상의 지하고속도로를 대상으로 한 설계 기준이 없었다. 최근 들어, 지하고속도로 건설 계획이 증가할 것으로 예상되기 때문에 고속도로(100kph 이상)에 부합한 기준을 추가로 포함하는 것이 필요하였다. 공간적 범위를 도시부 도로에서 고속도로까지를 포함하기 때문에 지침명도 기존 「도시지역 지하도로 설계 지침(2016)」에서 「지하도로 설계 지침(2023)」으로 변경이 필요하였다. 당초 구성된 내용에 지하고속도로 기준을 신설하고 별도의 장으로 편성하였다.

## ▶ 지침개정 검토 방향

설계속도 100kph 이상의 지하고속도로 건설과 설계를 고려하여 기존 기준과 사례를 다시 한번 검토하여 주요 내용들을 반영하였고, 도로기하구조, 지하 출입시설, 환기·방재 등 여러 분야를 포괄하는 종합적인 설계기준의 도출을 목표로 하였다. 특히, 기존 기준 및 지침에서 고려하지 못했던 기준들, 예를 들어 소형차 전용 기준을 정립하여 환기 시설을 최적화 하고, 안전 부대시설 등을 보완하는 것과 터널의 표준단면(터널 형식, 차로 수 등 고려)을 제시 하였다. 국내 1등급 터널의 방재기준은 해외 주요 지하도로 사례와 비교해 최고 수준이나, 초장대 또는 대심도 여건을 고려하여 현재 기준 외 추가 방재시설 설치, 이상 폭우 등 대비 침수 방지 시설 설치, 그리고 다양한 화재상황을 가정한 이용자 대피, 구급차 출동 시나리오 구성 등을 추가적으로 검토하였다.

표 1 도로기하구조 부문 주요 개정 내용

구 분	현 기준	지침 개정
지원금 지급제한	터널 벽체 등에 의한 시거 제약조건 없음	연결로에서 본선 진입 시 필러 벽체에 의한 시거 제약 고려
		

자료 : 도로구조규칙 (2020), 지하도로 설계 지침 (2023).

표 2 조사, 터널 및 구조물 부문 주요 개정 내용

구분	현 기준	지침 개정
터널 내 슬래브 구조물	없음	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 터널 라이닝과 슬래브 접합부 설계 시 고려사항</li> <li>• 터널 라이닝과 슬래브 접합부 연결구조 및 특성 등</li> <li>• 터널 내 시공하는 슬래브 설계 시 고려사항</li> <li>• 슬래브 하중조건, 강도 및 처짐 기준, 브래킷 설계 등</li> </ul>
터널 시공 중 지하수 관리 및 유입수 제어	없음	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 지하수위 저하를 제어하기 위한 계측 필요성 고려</li> <li>• 유입량 제한 수단 도입 검토 필요성 및 고려사항</li> <li>• 방수형식, 지하수 제어 및 검토 방안 등</li> </ul>

자료 : 지하도로 설계 지침 (2023).

표 3 도로전광표지 부문 주요 개정 내용

구분	현 기준	지침 개정
도로전광표지	터널 내 도로전광표지 설치 기준 부재	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 한 화면당 표출정보단위는 4 이하 적용이 원칙</li> <li>• 문자높이 60cm 원칙</li> <li>• 문자는 한줄로 표시하고 10문자 넘지 않도록 하는 것이 원칙</li> <li>• 표준규격은 높이 60cm, 폭 750cm</li> <li>• 주변의 조도를 고려하여 운전자 판독이 가능한 적절한 휘도 확보, 주변의 조도변화에 따라 자동·수동으로 휘도가 변경되어야 함</li> </ul>

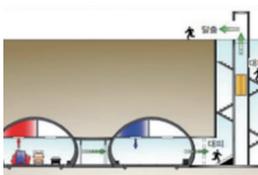
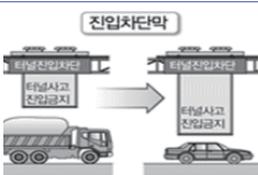
자료 : 지하도로 설계 지침 (2023), 도로안전시설 설치 및 관리지침 (2011).

환기 및 방재시설과 관련해서는 초장대·대심도, 그리고 지하 내 다수의 분류·합류부 존재 등의 여건을 고려하였다. 이러한 내용들은 지하고속도로 대상 권고시설로 반영하였는데, 총 9가지(①간이소방서, ②비상차로 및 비상차량, ③원격소화설비, ④비상탈출구, ⑤ 비상안전구역, ⑥포소화설비, ⑦터널 내 진입 차단시설, ⑧ 연기 확산 지연 시스템, ⑨ 과열차량 알람시스템)가 여기에 해당한다.

표 4 환기 및 방재 개정 중 9가지 권고시설

권고시설	개념	시설개요
간이소방서		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 지하고속도로 내에 간이소방서 설치</li> <li>• A86 및 몽블랑터널(프랑스)</li> </ul>
비상차로 및 차량		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 교통량 연산 등 고려 비상차로(길어깨 폭) 추가 확보</li> <li>• 유지관리 및 비상 시 화재 장소 접근성 향상을 고려한 비상차량 배치</li> <li>• 인제터널(한국), A86(프랑스)</li> </ul>

(계속)

권고시설	개념	시설개요
원격소화설비		<ul style="list-style-type: none"> <li>원격조정으로 자동 분사 헤드를 통해 소화용수 방출</li> </ul>
포소화설비		<ul style="list-style-type: none"> <li>유류화재 발생 시 소화성능 향상을 위하여 이동용 또는 고정식 포소화 설비 설치</li> </ul>
비상탈출구		<ul style="list-style-type: none"> <li>지하고속도로 이용자의 안전한 지상 대피 및 소방대 등 진입을 위한 외부대피통로</li> <li>인제터널, 서부간선도로, 만덕-센텀 지하도로(한국), A86(프랑스)</li> </ul>
비상안전구역		<ul style="list-style-type: none"> <li>교통약자를 고려한 안전구역 확보</li> <li>비상탈출구 등 외부 대피시설과 연결</li> </ul>
터널 내 진입 차단시설		<ul style="list-style-type: none"> <li>터널 내 화재구역 진입 차단시설 설치</li> </ul>
연기확산 지연시스템		<ul style="list-style-type: none"> <li>터널 화재의 연기 확산 지연</li> </ul>
과열차량 알람시스템		<ul style="list-style-type: none"> <li>진입차량온도를 열화상 카메라로 측정, 차량이 과열 상태일 경우, 전방 도로전광표지에 표출</li> <li>인제터널(한국), 고타르터널(스위스), 프레쥐터널(프랑스-이탈리아), 카라방켄터널(슬로베니아-오스트리아)</li> </ul>

자료 : 2023년 대한교통학회 학술발표회 자료 인용.

## 시사점

최근 개정된 지하도로 설계 지침(2023)은 도심 지하도로의 건설·설계뿐만 아니라, 지하고속도로를 고려한 설계 기준을 정립한 것이 가장 큰 특징이다. 이를 통해 지하도로의 이동성과 안전성을 고려한 기준들과, 지하도로와 지상도로가 연계되는 지점의 진·출입로 설계, 지하 내 분류·합류부, 교차 부근 등 취약구간에 대한 안전 확보 등을 고려할 수 있게 되었다. 더욱 강화된 수방재 및 배수체계를 구축하고 장시간 지하도로를 이용하는 운전자를 위한 조명, 환기 등의 시설 한계 등을 규정하였다. 특히, 공사 중·후 발생할 수 있는 다양한 환경 영향과 자연

피해 그리고 주변 주민들의 민원 등을 최소화할 수 있는 방안들이 포함되었다. 지하고속도로와 관련한 구체적인 내용은 다음과 같은 지하고속도로의 특수성을 고려하였다.

- 지하 구조물 형태로 교통류 전방의 유고상황에 대한 인지(認知)의 어려움
- 초장대 터널(10km~30km)로 지하 내부에서 분류·합류의 필연적 발생
- 지상도로 접속부에서 엇갈림, 병목현상 등을 방지하기 위한 원활한 교통처리 필요
- 지하 내에서 유고 상황 발생 시 이용자 안전 확보를 최우선 가치로 둘 필요
- 최근 소형차 전용 지하도로 개통 이후 대형차량 오진입에 따른 사고 발생 빈번
- 초장대, 대심도 지하고속도로 내 화재 발생 시 대규모 참사에 대한 우려 불식

## 참고문헌

1. 대한교통학회. 2023. 대한교통학회 제88회 학술발표회 (2023년 춘계학술대회) 발표자료.
2. 국토교통부. 2021. 도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙.
3. 국토교통부. 2016. 도시지역 지하도로 설계 지침.
4. 국토교통부. 2023. 지하도로 설계 지침.
5. 국토교통부. 2022. 도로안전시설 설치 및 관리지침.

## PART. 2

# 지하고속도로 스마트 교통안전체계 구축 방향



이승준 \_ 한국도로공사 도로교통연구원 선임연구위원

## 개요

최근 지하고속도로망 계획의 수립, 신설 터널의 증가 및 장대화 등에도 불구하고 지하고속도로나 터널에 대한 교통안전체계의 수립 및 시스템의 구축이 제대로 이루어지지 않고 있다. 지하고속도로 및 터널 교통안전성을 향상시키기 위한 체계적 교통안전대책의 수립과 시스템 구축이 극히 제한적으로 이루어지고 있으며, 교통안전 지침 및 규정 등 제도적 장치가 부족한 실정이다. 따라서 교통안전 취약구간인 터널내 교통사고 예방대책이 필요하며, 향후 도입될 지하고속도로망에 대해서도 이에 대한 사전 대비가 필요하다.

이에, 지하고속도로 및 터널 구간의 교통사고와 인명피해를 획기적으로 줄일 수 있는 스마트 교통안전체계의 도입이 요구되고 있다. 또한 시대적으로 포스트 코로나 대응전략 및 한국판 뉴딜 추진을 위한 디지털 SOC 도입 등 미래지향적 첨단 교통관리의 일환으로서 지하고속도로 스마트 교통안전체계의 도입은 시기적절한 교통안전 정책의 추진 방향이라고 할 수 있다.

## 스마트 교통안전체계 세부 구성요소 정의

스마트 교통안전체계 세부 구성요소는 기술적 구성요소, 물리적 구성요소, 제도적 구성요소의 3가지로 구성된다.

기술적 구성요소는 스마트 교통관리 전략, 기법, 운영시스템을 포함하며, 물리적 구성요소는 도로 기하구조 및 교통특성을 고려한 첨단 교통안전시설의 설치가 주를 이루는 현장시스템과 지하고속도로 스마트 교통관리시스템의 구축 및 운영이 이루어지는 센터시스템으로 구성된다. 그리고 제도적 구성요소는 교통안전과 관련한 법, 제도, 예산, 조직 등을 포함한다.

## 스마트 교통안전체계 표준모델, 시범시스템 개발

지하고속도로 스마트 교통안전체계 표준모델은 터널 입구부 LED면조명, 가변전광판(VMS), Pacemaker, 가변속도제어(VSL), 차로이용제어(LCS), 차량 네비게이션 안내 등을 이용한 교통안전 시스템으로 구성된다.

그림 1

스마트 교통안전체계 세부구성요소



스마트 교통안전체계 표준시스템은 적용 단계별 구현 시스템의 목표수준을 제시한 로드맵의 개발을 통해 구축될 예정이며, 이때 목표수준은 적용기술(AI, 빅데이터, 자율차 등)의 발전 단계를 고려하여 정의될 것이다.

스마트 교통안전체계 시범시스템은 운영시스템, 현장시스템, 센터시스템의 구축 및 운영을 포함한다. 스마트 교통안전체계 시범시스템은 지하고속도로 내의 교통상황에 대한 실시간모니터링, 돌발검지, 위험정보제공, 속도제어, 차로이용제어 등의 실시간 운영·제어의 수행을 통해 교통사고 예방 기능을 수행한다. 지하고속도로로 스마트 교통안전체계 시범시스템은 경부(용인~서울)지하고속도로를 대상으로 현장 및 센터 교통안전시스템, 진출입부 교통안전처리, 정보제공, 사고 대응, 대피계획, 방재대책 등 현장 특성을 반영한 시범시스템을 구축하여 운영될 예정이다.

## 지하고속도로 스마트 교통안 전체계 구상(안)

지하고속도로 스마트 교통안전체계는 기존 터널 교통안전체계와 연계되고 첨단 기술이 융합된 형태의 스마트 교통안전체계로 구축될 것이며, 이를 위해 스마트 교통안전체계 수립 전략을 정의하고 추진방안의 마련을 통해 구체화될 것이다.

### ▶ 스마트 교통안전체계 단기 구상안

스마트 교통안전체계 단기 구상안은 기존 터널 교통안전체계를 활용하여 현재 운영 중인 교통안전시설 중 효과분석을 통해 검증된 기술을 적용하여 최적의 스마트 교통안전체계로 구축될 예정이다.

### ▶ 스마트 교통안전체계 중장기 구상안

스마트 교통안전체계 중장기 구상안은 현장단위에서 실시간으로 정보수집, 가공 및 제공이 이루어지는 형태로 구축될 예정이다. 향후 C-ITS 통신과 연계하여 V2V, V2I 통신을 통한 정보제공 시스템의 구축과 연계하여 지하고속도로 운영시스템, 현장시스템 및 센터시스템을 아우르는 스마트 교통안전 표준시스템으로 구축될 것이다.

#### 그림 2

지하고속도로 스마트  
교통안전체계 구상(안)  
(단기)



그림 3

지하고속도로 스마트  
교통안전체계 구성(안)  
(중장기)



## 스마트 교통안전체계 확대 적용 방안

지하고속도로 스마트 교통안전체계 확대 적용 방안은 크게 세 가지로 구분될 수 있다.

첫째, 지하고속도로의 교통안전 관리를 위한 법·제도 신설 및 개정, 스마트 교통안전체계 구축을 위한 제도의 정비이다. 이에는 『지하안전관리에 대한 특별법』 시행에 따른 지하고속도로 안전관리조항 신설 및 개정, 지하고속도로 위험도지수 평가방안을 법제화하여 동행제한, 안전/방재시설 설치 기준 마련, 국내 고속도로 스마트 교통안전체계 도입·확대 적용을 위한 관련 지침과 매뉴얼 개발방향 제시가 포함된다.

둘째, 지하고속도로 맞춤형 스마트 교통안전체계 적용을 위한 가이드라인 제시이다. 가이드라인에는 지하고속도로의 특성을 고려한 교통안전체계 구축 방안, 관련 데이터의 실시간 수집과 가공을 통해 이용자에게 맞춤형 교통정보 제공 및 안전한 주행환경 제공 방안, 유관기관과의 유기적인 연결을 통해 정보공유 및 협업체계 구축 방안 등이 포함된다.

셋째, 지하고속도로 스마트 교통안전체계 전국 확대 운영 전략 및 연계체계 구축이다. 이에는 지하고속도로 스마트 교통안전체계 구축 및 운영 노하우를 일반국도와 지방도에 확대 적용하는 방안이 포함된다.

## 결론

경제성장과 인구의 집중을 통한 대도시 주변의 심각한 교통혼잡 문제를 해결하기 위해 광역교통 차원의 지하고속도로 사업이 활발하게 추진되고 있는 상황이다. 4차산업 시대의 도래와 함께 사회적으로 안전에 대한 관심과 요구가 크게 증대되어 교통안전은 국가정책의 중요한 부분을 차지하게 되었다. 이에, 안전한 지하고속도로 주행환경을 제공하기 위한 연구개발 및 정책적 노력이 이어지고 있다. 향후, 지하고속도로 스마트 교통안전체계 도입을 통해 예상되는 기대 효과는 다음과 같다.

첫째, 경제적 관점에서 볼 때, 미래 지하고속도로망 구축 지원 및 지속성장에 기여할 것으로 예상된다.

둘째, 기술적 관점에서, 지하고속도로망 도입·구축을 위한 보다 발전된 첨단교통안전시스템의 기술 개발을 견인할 것으로 예상된다.

셋째, 사회적으로 4차산업 기술에 기반한 스마트 교통안전시스템의 도입을 통한 교통사고 감소 및 국민 만족도 향상이 기대된다.

보다 안전한 지하고속도로 교통환경을 조성하기 위한 법·제도적, 기술적 노력이 지속되어야 할 것이며, 이를 위한 제언사항은 다음과 같다.

첫째, 안전한 지하고속도로 주행환경 조성을 위한 법/제도적, 기술적 기반 조성

둘째, 당면한 지하고속도로 건설계획의 추진에 발맞추어 예방적 재난관리를 위한 스마트 교통안전체계 기술개발 및 시스템 구축·운영

## 참고문헌

1. 이승준(2023.2), 대한교통학회 학술발표, 「지하고속도로 스마트 교통안전체계」
2. 이승준(2023.8), 한국ITS학회 정책토론회, 「터널 및 지하고속도로 예방적 재난관리를 위한 ITS기반 스마트 교통안전체계」
3. 한국도로공사(2023), 「지하고속도로 및 터널 스마트 교통안전체계 구축방안 수립 연구(II) (중간보고서)」

## PART. 3

# 서울시 중장거리 통행을 위한 인프라 구상 (자율주행차량 전용 지하도로를 중심으로)

김승준 \_ 서울연구원 도시인프라계획센터 선임연구위원

## 자율주행 차량으로 인해 도로 이용 큰 폭으로 늘어날 것으로 예상

### 향후 서울의 인구와 통행에 큰 변화가 예상돼

서울시는 1970년대 시작된 1기 지하철 건설, 1980년대의 올림픽대로, 강변북로, 서부간선도로 등 도시고속도로와 2기 지하철 건설, 2000년대 중앙버스전용차로와 무료환승 할인제도로 대표되는 준공영제 버스체계를 도입, 2010년 후 친환경·사람 중심의 교통정책을 추진해 왔다. 그러나 앞으로 다가올 미래에는 지금과는 다른 다양한 변화가 예상되며, 이에 대응할 수 있는 새로운 교통관리정책이 필요할 수 있다. 먼저 큰 변화는 인구 구조에서 찾아볼 수 있는데, 현재 서울시의 65세 이상 인구는 약 17%(154만 명)지만, 2040년에는 65세 이상 고령 인구가 대폭 증가해 273만 명에 이를 것으로 전망되고 있다. 또한, 가구 형태도 크게 바뀔 것이다. 2000년 1인 가구 수는 총가구 수의 약 16%에 불과하였으나, 2021년 2배 이상 증가한 약 37%로 바뀔 것이며 이러한 추세는 더욱 가속화될 것이다. 고령화 사회와 1인 가구 증가로 대변되는 인구 구조 변화는 미래 서울에 다양한 사회적 변화를 가져올 것이며, 이에 맞춰 교통관리정책도 전환이 필요할 것이다.

고령화와 1인 가구의 증가는 교통 분야에도 상당한 영향을 미칠 것이다. 예를 들어 노인인구의 통행을 지원하기 위한 교통약자 교통수단 및 시설 운영, 일상생활의 대부분을 혼자 처리할 수밖에 없는 1인 가구로 인해 늘어나는 통행량이 대표적이다. 그러나 미래 예측 방법론은 많은 불확실성을 가지고 있고, 생활행태가 변화된다면 미래를 읽어내기는 더욱 어렵다. 현재 알려진 바로는 서울시 관련 통행은 2019년 대비 2030년에는 감소할 것으로 예측된다. 그러나 감소한 통행량에도 불구하고 통행 거리가 길어진다면 교통체계에 미치는 영향은 커질 수밖에 없다. 최근 지속적인 광역화와 다핵화로 인하여 서울시와 수도권 간의 장거리 광역통행은 증가하고 있다. 통행거리별로 살펴보면 5km 미만의 단거리 근린 통행은 감소하는 반면, 5km 이상 중장거리 간선/광역통행은 증가할 것으로 예상된다.

표 1 서울시 관련통행량 변화

구분	2019	2030
내부	2,172.7	2,073.3 (99.5%)
유/출입	817.0	818.8 (101.8%)
소계	2,989.7	2,892.1 (97.6%)

표 2 서울시 통행거리 변화

구분	2019년	2030년	2030
단거리 (근린)	1km미만	20.6%	19.8%
	1~5km미만	40.0%	34.9%
중장거리 (간선/ 광역)	5~10km미만	20.2%	25.1%
	10~15km 미만	10.8%	11.3%
	15~20km 미만	5.4%	5.7%
	20km 이상	2.9%	2.3%

자료 : 국토교통부(2021), 「KTDB 국가교통데이터베이스」

## 도시교통관리의 패러다임 전환이 필요

친환경 전기차, 자율주행차량, 개인 마이크로 모빌리티 등의 기술 발전으로 친환경 개인통행이 증가하고 있어, 이에 대응할 수 있는 도시교통관리 패러다임의 전환이 필요한 상황이다. 주목할 것은 전기차, 수소차 등 친환경 연료를 사용하는 차량이 보급되면 과거부터 시행해 온 승용차 수요관리정책의 명분도 빠르게 사라질 수 있다는 점이다. 특히 친환경 연료를 사용하는 자율주행차량이 직접 운전의 부담을 줄여 이용수요가 증가하더라도, 도시의 대기 오염을 관리한다는 측면에서 이용을 억제하는 전통적인 수요관리정책의 당위성이 부족할 수 있다. 최근의 친환경 차량 보급정책을 살펴보면, 2030년까지 미국은 전기차를 50%로 확대해 나갈 계획이고, 2030년까지 유럽은 친환경 차량의 비중을 35%로 확대하면서 내연기관차의 판매를 줄여 2050년에는 완전히 퇴출하려는 계획을 발표하였다. 우리나라도 2025년까지 친환경 차량을 51%로, 2030년에는 83%까지 확대한다는 계획을 밝혔다.

한편 자율주행차량에 대해서 McKinsey(2018)는 2040년 전체 차량의 약 66%를 차지할 것으로 전망하였고, 이러한 추세에 보조를 맞춰 서울시도 상암, 청계천 등에서 자율주행차량 시범운행을 진행 중이다. 자율주행차량의 대중화는 운전 부담을 완화하고 이동공간에서 다양한 활동을 가능케 하여, 단순히 통행시간과 편의성만으로 교통수단 선택이 이루어지지 않는 환경이 도래할 것으로 전망된다.

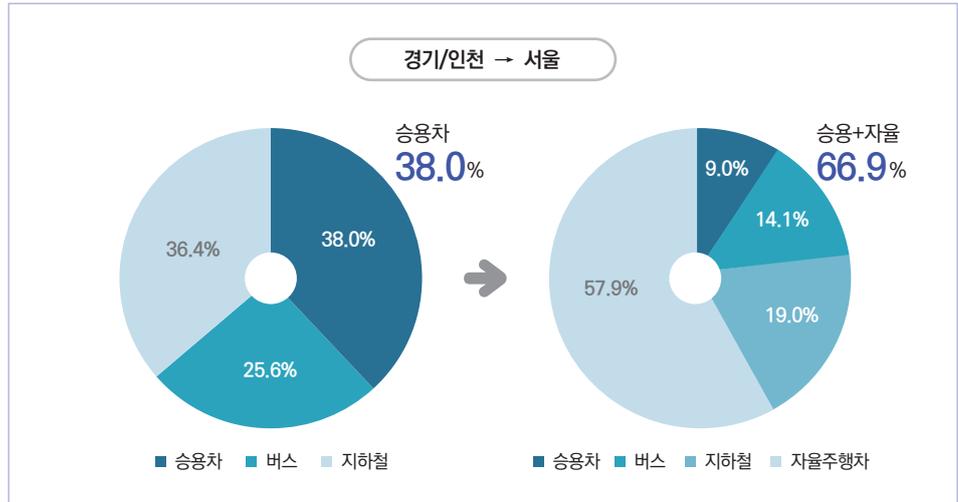
## 자율주행 차량에 맞춰 도로 인프라도 변화해야

### 자율주행차량이 상용화되면 이용 의사를 밝힌 사람이 다수

자율주행차량이 안전하게 운행할 수 있는 환경을 조성하는 것도 매우 중요하나, 자율주행차량에 대해 이용자가 어떻게 반응할 것인지에 대해서도 알아볼 필요가 있다. 짧은 차두간격으로 더 큰 용량을 처리할 수 있는 자율주행차량이라도 한계를 넘어서면 어쩔 수 없이 정체를 유발하게 될 것이다. 이러한 주제와 관련하여 다양한 연구 및 조사가 이루어지고 있는데, 자율주행차량 도입 시 이용자의 행태변화와 관련된 서울연구원의 시민의식 조사를 소개한다. 설문조사는 현재 서울에서 서울로 출근하는 시민과 서울에서 경기에서 서울로 장거리 통근하는 시민을 대상으로 진행하였다. 조사 내용은 출근 시 선택한 교통수단, 통행시간 및 비용과 자율주행차량이 도입되었을 때 이용 의향, 저렴한 요금의 자율주행 대중교통 서비스가 제공되었을 때 이용 의향 등이다.

### 그림 1

서울-경기 통근자의  
자율주행차량 이용  
의향



자료 : 서울연구원(2022), 「모빌리티 기술혁신에 대응한 중장기 도시교통관리 전략 수립 연구」

먼저, 서울에서 자율주행차량을 출퇴근 시 이용할 의향이 있다고 대답한 시민은 약 53.5%로, 현재의 승용차 이용 비율 22.6%를 크게 넘어서는 것으로 나타났다. 경기에서 서울로 출퇴근하는 시민도 미도입 시 승용차 이용 38%에서 자율주행차량 도입 시 57.9%로 크게 증가하는 것으로 나타났다. 두 경우 모두 자율주행차량을 이용하겠다는 응답이 절반을 넘어, 대중교통 수단분담률과 역전되어 주된 교통수단으로 시민들이 자율주행차량을 선호한다고 답하였다. 특히 상대적으로 긴 시간이 소요되는 경기/서울 통행에서 편리한 환경을 제공하는 자율주행차량에 대한 선호가 더 높았다. 이렇듯 현재와 달리, 자율주행차량 이용을 선호하게 된다면 현재의 도로 인프라와 시스템으로는 교통혼잡을 막을 수 없다. 여름 휴가철과 월요일 아침의 작은 통행량 변화에도 교통혼잡이 악화되고 개선되는 것을 보면 쉽게 알 수 있다. 만약 현재보다 2배 이상의 지상 도로 이용 수요가 발생한다면 엄청난 혼잡이 불가피하고, 기술 발전에도 불구하고 많은 시민이 자율주행차량을 혜택을 누리기는 어렵게 될 것이다.

### 포화된 지상도로, 지하공간 활용을 적극 고려할 시점

자율주행차량이 보급되면 운전 부담이 줄어들고 통행시간의 가치가 하락하여, 통행량이 증가가 예상된다. 더욱이 자율주행차량이 사람을 목적지에 내려 주고 주차장을 찾거나, 주차장에서 사람을 태우기 위해 출발지로 이동하는 공차 주행이 늘어나 도로의 총 주행거리(VKT)는 급격하게 늘어날 수 있다. 이러한 행태로 인하여 미래 도로 인프라에 대한 이용 수요가 큰 폭 증가할 것으로 전망된다. 도로 인프라를 추가로 공급하는 방법은 ① 지상부에 도로 공급, ② 지상 도로의 용량 증대 및 지하화, ③ 새로운 지하도로 건설 등을 생각해 볼 수 있을 것이다.

먼저 지상부에 신규로 도로를 공급하는 경우이다. 2021년 기준 서울의 도로 현황을 살펴보면 총 도로 연장은 8,328km, 도로 면적은 86.90km<sup>2</sup>, 도로율은 23.2%로 2010년 이후 큰 변화가 없다. 고밀 개발된 서울에서 지상부에 도로 공급이 더 이상 어려운 상황으로 기존 도로망 체계를 정비하고 도로 기능별 네트워크의 이용 효율을 강화하는 방향으로 통행량 증가에 대응해 왔다. 폭원 별로 도로 현황을 살펴보면 2021년 기준으로 자동차 통행을 원활히 처리할 수 있는 12m 이상의

중로는 전체 도로의 약 23.7%, 1,972km에 불과하고, 국지도로 기능 위주의 12m 미만 생활 소로가 대부분임을 알 수 있다. 따라서 자율주행 시대 환경 변화에 대응한 지상부 도로 인프라 공급은 현실적이지 않다.

다음으로 지상 도로의 용량을 증대하면서 기존 도로의 일부를 지하화하는 방법이다. 지상의 과도한 차량 통행량은 대기 오염, 소음 문제, 경관 훼손, 및 생활권 단절을 유발하여 생활환경에 저해를 초래하고 있다. 그러나 최근 추진되고 있는 지상부 도로의 지하화는 도로 용량 확충 목적보다는 도로 공간을 친환경/시민 중심으로 재조성하기 위함이 더 크다. 따라서 이러한 방법으로 기존 교통량에 더해지는 자율주행차량의 통행을 처리하는 데는 한계가 있을 것으로 판단된다.

마지막으로 신규로 지하도로를 건설하는 것이다. 과거 서울시는 유-스마트웨이(U-Smartway) 지하도로를 구축하여 도로를 공급하는 계획을 수립하였다. 다만 지하에서 지상으로 진출입을 위한 IC 건설, 지하도로 네트워크 연결을 위한 JC 건설, 및 재정 부족 등의 문제로 추진에 한계가 있었다. 이 사업 중 일부 구간인 서부간선도로, 제물포도로, 동부간선도로 지하화 사업이 추진되었고, 최근에는 경부고속도로 지하화 사업도 큰 관심을 받고 있다. 하지만 이들 사업도 주된 목적은 지상부 공간을 재조성을 위한 것으로 도로 용량 확충과는 거리가 있다. 최근 해외에서는 자율주행차량의 통행을 처리하기 위한 전용도로를 건설하거나 전용차로 운영을 검토하고 있다.

## 자율주행차량 전용 지하도로 네트워크 효율성은 높게 나타나

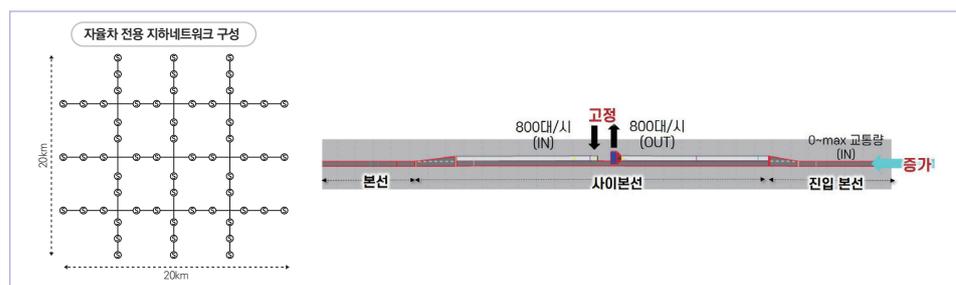
### 전용 자율주행차량 지하도로의 구성과 분석

현재 포화상태의 지상 도로에 지금보다 교통량이 큰 폭 증가하면 통행속도는 더 떨어져 도로가 제 기능을 발휘하지 못할 가능성이 크다. 따라서 완전 자율주행차량이 보급될 때를 대비하여 늘어날 교통량을 감당할 수 있는 인프라 공급방안 검토가 필요하다. 다만, 현실점에서 노선을 구체화하기는 어려워 서울시 내부에 가상의 자율주행차량 전용도로를 구성하고 구축효과를 예상해 보았다.

가상의 자율주행차량 전용 지하도로는 서울시의 U-스마트웨이 계획노선을 참고하여 동서 3축, 남북 3축으로 구성하였다. 이 네트워크는 서울시의 크기를 고려하여 한 축의 길이가 20km이고 네트워크를 구성하는 각각의 링크에 승객의 승하차를 위한 2개의 정류소가 동일 간격으로 위치하는 것을 가정하였다. 링크는 양방향 2차로로 구성되어 있으며, 완전 자율주행차량의 운행 특성을 고려하여 무신호 교차로로 운영하는 것을 전제로 하였다. 기본적인 운영 환경은 차로 폭은 3.5m, 설계속도는 80km/h, LVCC와 같이 각각의 정류장은 5대가 동시에 정차할 수 있는 공간을 가지고 있고, 승객의 승하차 시간을 고려하여 4.5초에 1대씩 진출입이 이루어지는 것을 전제로 하였다.

그림 2

가상의 자율주행차량  
전용도로 네트워크와  
승하차 정류장



자료 : 서울연구원(2022), 「모빌리티 기술혁신에 대응한 중장기 도시교통관리 전략 수립 연구」

## 전용 지하도로가 하루 최대 40만 대, 차량 공유로 200만 통행 처리도 가능

서울시 내부에서 상당한 규모의 가상 지하도로의 수송 용량과 효율성 분석은 단순한 과정을 통해서 얻기 어렵다. 미시적인 측면에서 도로의 기하구조와 차량 성능이, 거시적인 측면에서 출도착 통행분포가 모두 고려되어야 하기 때문이다. 따라서 미시적 시뮬레이션과 거시적 시뮬레이션을 적절히 함께 사용하여 서울시 지하공간에 자율주행차량 전용 지하도로 네트워크를 구성했을 때 수송 용량과 효율성을 분석하였다. 특히 서울시 차원의 구축효과를 현실적으로 파악하기 위해서는 실제 서울시 OD 분포를 적용하는 것도 필수적이다. 이를 위하여 국가 교통 DB의 서울시 교통존 424개를 60개 존으로 재구성하였다. 분석에서는 전용 지하도로 네트워크의 모든 링크 중 하나라도 V/C가 1을 초과하는 시점의 기종점 총 교통량을 수송 용량으로 정의하였다. 이는 전용 지하도로가 일정 수준 이상 원활한 통행 여건을 확보할 수 있도록 하기 위함이다. 즉 지상 도로와같이 극심한 교통혼잡이 발생하기 이전의 상태를 수송 용량으로 설정하였다.

분석 결과 전용 지하도로 네트워크에 일반차량이 운행할 경우, 기종점 총 교통량은 168,165대/일로 나타났다. 반면 자율주행차량을 운행할 경우, 기종점 총 교통량은 403,596대/일로 일반 자동차 대비 용량이 약 2.4배나 증가한 것으로 나타났다. 만약 자율주행차량이 공유형태로 운행될 수 있어 재차 인원을 5명으로 가정한다면, 전용 지하도로 네트워크를 통해 하루 약 200만 통행을 처리할 수 있을 것으로 예상된다. 그러나 전용 지하도로 네트워크를 통해 상당한 수준의 지상 교통량을 처리할 수 있더라도, 네트워크를 구축하는데 큰 비용이 수반된다면 현실화하기 어려울 수밖에 없다. 3×3 자율주행차량 전용 지하도로 네트워크에 대한 공사비는 제물포터널, 서부간선 도로 등 지하도로 사례를 고려할 때, 총 6~7조 원이 소요될 것으로 예상된다. 그럼에도 최소 40만 대, 공유 차량 운행 시 200만 통행을 처리하고 지상 도로의 혼잡 완화에도 가능하다면, 장래 서울의 미래 교통환경 변화를 대비하여 검토가 이루어져야 할 것이다.

### 참고문헌

1. 유경상 외, 2022, 「모빌리티 기술혁신에 대응한 중장기 도시교통관리 전략 수립 연구」, 서울연구원
2. Qiong Lu. et.al., 2020, "The impact of autonomous vehicles on urban traffic network capacity: an experimental analysis by microscopic traffic simulation", TRANSPORTATION LETTERS, VOL. 12, NO. 8, 540-549



## Metropolitan Transport Brief

[www.koti.re.kr](http://www.koti.re.kr)



한국교통연구원  
KOREA TRANSPORT INSTITUTE

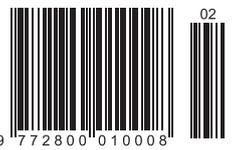


대도시권광역교통위원회  
Metropolitan Transport Commission

[30147] 세종특별자치시 시청대로 370 세종국책연구단지 과학인프라동

Tel 044)211-3114 Fax 044)211-3222

발행처 한국교통연구원 발행인 오재학 기획 광역교통정책연구센터



9 772800 010008  
ISSN 2800-0102

02