

효율적인 입체적 도로 인프라 활용 정책 추진을 위한 문제점 및 개선방안 제언

이종훈 | 한국교통연구원 부연구위원
남호현 | 한국교통연구원 전문연구원

수도권을 중심으로 광역권 인구가 집중되면서 교통 혼잡 문제로 인해 사회적 비용이 꾸준히 증가하고 있다. 도심 도로의 혼잡으로 인한 출·퇴근 교통 문제는 매일 겪는 문제로, 시민들의 삶의 질과도 밀접하게 연관되어 있다. 이러한 대도시 중심의 교통 혼잡 문제는 더욱 심화할 것으로 예상되며, 이에 대한 획기적인 정책 개발이 필요한 시점이다. 도로 부문에서도 늘어나는 교통 수요로 인해 대도시권 내 이동과 대도시 권역 외 이동 시 용량 부족 문제가 산재해 있다. 특히, 수도권 및 부산·울산권을 중심으로 이러한 문제를 해결하기 위해 도로의 입체적 확장 계획이 수립되고 있다. 개발이 완료된 도심지에 추가 인프라를 건설하기 어려운 환경에서 도로 용량을 증가시키는 해결 방안으로 지하도로가 계획되고 있다. 하지만 미래 도로 인프라로 추진되고 있는 지하도로의 전반적인 계획을 점검하고, 계획 및 운영 단계에서 효율적인 정책 추진을 위해 준비해야 할 요소들이 많은 것으로 나타났다. 본고는 계획과 운영 단계의 문제를 세분화하여 진단하고, 이를 해소할 수 있는 정책 방안을 제시하고자 한다.

1. 지하도로 정의 및 개발유형

1.1 지하도로 정의 및 특성

지하도로는 도로교통이 지하공간을 활용하여 도로의 기능을 수행할 수 있도록 건설한 도로를 의미한다. 교통 혼잡이 다발적으로 발생하는 지점에서 고(高)밀도의 도시 개발이 지속됨에 따라, 해당 지역에 추가로 새로운 도로 인프라를 건설할 수 없는 상황에서 지하공간을 활용하여 도로를 연결해 건설하는 방식이다. 우리나라에서는 지하공간에 대한 소유권이 명확하게 보장되지 않기 때문에, 지하공간에 일정 깊이 이상 도로를 건설하면 보상비가 발생하지 않는다. 이를 통해, 고(高)밀도의 도시 개발 지역에서 높은 보상비 등 제약 사항을 효과적으로 보완할 수 있다. 지하도로는 터널, 지하차도와 유사하게 생각되지만, 명확히 다른 시설로 구분된다. 터널은 일반적으로 산, 언덕 또는 입체적 지형을 통과하기 위한 지하 또는 수중 통로로, 차량이나 기차가 통과하기 어려운 장애물을 극복하는 구조물이다. 터널 시설물 내에서는 다른 도로와의 연결 등 구조물 회피 외에 다른 기능을 수행

하지 않는다. 지하차도는 도로를 교차하는 구조물을 회피하거나, 도로를 거치지 않고 보행자에게 보행 공간을 제공하기 위해 도로나 보행 등의 교통체계가 지하로 내려가는 도로 시설 중 하나를 의미한다. 마지막으로, 지하도로는 터널과 지하차도와는 달리 타 시설과의 연계를 고려하여 건설된다. 터널과 지하차도가 도로의 장애물을 피하기 위한 입체적 시설이라면, 지하도로는 그 자체가 도로의 간선축을 형성하며, 타 시설과의 연계에 활용될 수 있다. 또한, 터널과 지하차도와는 달리 지하공간 내에서 합류와 분류, 다른 방향의 교통류와의 교차지점을 구성하여 실질적인 도로 기능을 지하공간으로 이관시키는 시설물을 의미한다.

[표 1] 터널, 지하차도, 지하도로 특성 비교

구분	터널	지하차도	지하도로
목적	- 도로의 장애물 회피 - 우회 불가능한 산악지형 통과 - 우회 불가능한 바다, 강 등 지형지물의 장애물을 통과하기 위해 지하공간에 건설	- 보행 등 다른 교통류와의 교차점 입체적 분리 - 도로의 장애물을 통과하기 위해 지하공간으로 입체적 분리	- 도로를 지하공간으로 이동 - 상부공간 타 수단 등 이용계획을 별도로 수립하는 경우 활용 - 혼잡 완화 등 용량 확장 전제
구조	- 산악지형 등 장애물 내 통과 구조 - 주로 일반적으로 좁은 도로 설계	- 교차지점을 회피하기 위한 교차로 크기 구조	- 넓은 도로와 다양한 차선을 포함 - 지하공간 내 타 공간 연계와 교통류 분리·합류 가능 - 지하공간 내 도로의 기능 수행 구조
위치	- 지상 공간 장애물 내(內)	- 타 교통류 이동 공간 지하	- 지하 40m 이하 지하 공간
설계 기준	- 도로의 구조물 설계 지침 기준	- 도로의 구조물 설계 지침 기준	- 별도의 지하도로 설계 지침 기준
기타 특징	-	-	- 입체적 도로구역에 의해 도로 개설 가능 ¹⁾

자료: 한국교통연구원(2024) 미래 도로 인프라의 입체적 공간 활용방안

1.2 지하도로 건설의 장점 및 개발 유형

지하도로 건설은 집약적 발전을 시행한 도시지역에서 추가 공간 확보가 어려운 경우나, 도로로 인해 도시가 단절되는 현상을 방지하기 위해 시행된다. 또한, 상승한 지가로 인해 대규모 보상비가 소요될 것으로 예상되는 경우, 지하공간을 활용하여 보상비로 인한 사업비 상승을 억제하기 위한 목적 등으로 시행된다.

일반적인 도로 사업과 달리 지하공간을 활용하기 때문에 구조적으로 일반도로와 차이를 보이며, 이로 인해 사업의 장점이 필연적으로 발생한다. 따라서 지하도로 건설의 장점은 공간 활용 최적화, 환경 및 경관 개선, 교통혼잡 감소, 안전성 향상, 악천후로부터 시설물 보호, 연결성 강화로 구분하여 제시할 수 있다. 지하도로는 교통혼잡 해소, 도시단절 해소, 도시 민원 해결 등 추진 목적에 따라 ① 고속국도, ② 도시부도로 정도로 구분하여 적용 가능하다. 도로의 구분 이후, 개발 유형에 따라 지역 여건을 고려하여 ㉠ 지하도로 신설, ㉡ 지하화로 다시 구분할 수 있다. 지하도로 신설은 지하공간에 도로를 건설하고 동시에 상부공간에 도로를 존치하거나, 도심지 등 도로 이외의 시설물이 존재하는 경우를 뜻한다. 반대로, 지하화는 지상 공간의 기존 도로를 지하로 건설하면서 상부 공간을 도로 이외의 목적으로 활용하는 것을 의미한다. 결과적으로, 지하도로의 유형은 도로의 구분과 개발 유형을 조합하여 ①-㉠, ①-㉡, ②-㉠, ②-㉡의 총 4가지로 구분할 수 있다.

[표 2] 지하도로 건설의 장점

구분	내용
공간 활용 최적화	- 토지가 부족한 밀집된 도시지역에 제한된 공간의 효율적 사용 가능 - 신규 인프라 건설이나 기존 도로의 확장이 어려운 도시 공간에서 확장적 개발이 가능 - 상부공간 및 지하공간 활용에 따라 신규 공간을 창출 가능
환경 및 경관 개선	- 지하공간을 활용함으로써 지상 공간 도로에서 발생하는 환경적 부작용 최소화 - 녹지 보존, 소음감소, 매연 저감, 미세먼지 감소 등 주변 주민에게 환경 개선 효과제공 - 지하화의 경우 지상 공간을 공원 등 친환경 공간 또는 녹지 보존 등으로 활용하여 경관 개선 가능
교통혼잡 감소	- 지하도로 건설을 통해 추가 경로 제공 가능 - 기존 도로에 추가 용량을 제공함으로써 교통혼잡 감소 가능
안전성 향상	- 간선 기능의 도로를 지하공간으로 배치함으로써 지상에서 타 교통류와의 상충 감소 - 보행자 등 잠재적 교통사고 요인과 공간적으로 완전 분리
악천후로부터 시설물 보호	- 강우, 강설 또는 극단적인 기온의 변화와 같은 악천후로부터 보호 가능 - 도로의 노면 관리나 도로 시설물 노후화 방지에 유리
연결성 강화	- (지하도로) 연속류 도로 건설이 가능하며, 진입, 진출 지역의 연결성 강화 - (지상 공간) 기존에 지상 도로로 단절된 공간의 연결성 강화 가능 (단, 도로의 입체적 확장 시 제한적)

자료: 한국교통연구원(2024) 미래 도로 인프라의 입체적 공간 활용방안

1) 「도로법」 제28조(입체적 도로구역)

2. 지하도로 정책의 한계

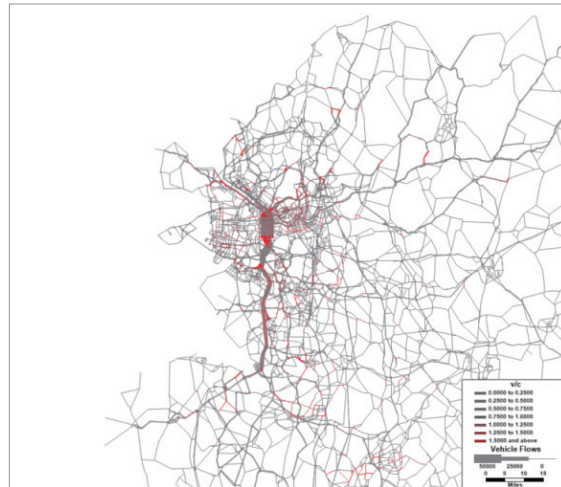
2.1 지하도로 계획 수립 절차의 부재

우리나라에서 도로를 개설하는 데 일반적으로는 계획 단계, 사업의 시행을 판단하는 타당성 단계, 설계 단계, 사업을 직접 추진하는 공사 단계, 완공된 사업을 개통하는 공용 단계로 구분할 수 있다. 도로의 계획은 도로의 종류에 따라 다른 단계를 거치지만, 국가기간망의 경우는 국가 법정계획에 근거하여 시행한다. 고속국도 및 국도·국지도는 국가도로망 종합계획, 국도·국지도 건설계획 등과 같이 전반적인 국가도로계획의 로드맵을 관리한다. 국가관리계획으로 체계적으로 관리하며, 사업 간 중복성, 상호작용, 타당성 등을 검토하여 전반적인 국가 관점에서 관리를 수행한다.

하지만, 지하도로의 경우 전국 각지에서 동시다발적으로 계획이 수립되는 반면, 국가 중심의 계획 관리 또는 로드맵 수립은 미미한 실정이다. 지하도로는 대부분 중·장거리(약 10km 이상) 규모로 개발되며, 연속류 형태로 개발을 시행하기 때문에 광역 교통수요를 수용하는 특성을 가진다.

현재 공용 중인 서울특별시의 서부간선지하도로를 대상으로 교통량 수용에 대한 영향권 분석을 수행한 결과, 이러한 도로의 간선 기능에 대한 근거를 확인할 수 있다. 도시 주요 지점을 연계하거나 도시 간 및 주요 교통물류 거점을 연결해 국가 경쟁력을 향상시키는 데 기여하는 도로 인프라는 국가 주도의 계획이 요구된다. 중복 투자 방지, 타 인프라와의 상호작용 등을 검토하여 체계적 계획을 수립하는 것은 사회 전체적 편익을 증가시키는 방안이 될 것이다. 이처럼 지하도로의 간선 기능 특성을 고려한 계획 수립이 현재는 부재한 상태이며, 이를 개선할 필요성이 대두되고 있다.

[그림 1] 서부간선지하도로 기능 평가 결과



자료: 한국교통연구원(2024) 미래 도로 인프라의 입체적 공간 활용방안

2.2 지하도로특성을 고려한 투자평가체계의 부재

도로 신설사업 시행으로 발생하는 편익은 도로 이용자에게 직접 발생하는 “직접편익”과 교통 개선으로 도로를 이용하지 않는 사회적 측면에서 발생하는 “간접편익”으로 구분할 수 있다. 도로 사업 시행 시 도로를 이용하는 과정에서 발생하는 직접편익은 차량 운행비용 절감 편익, 통행시간 절감 편익, 교통사고 비용 절감 편익, 쾌적성 증가, 정시성 향상, 안전성 향상 등 도로 이용으로 개선되는 부분에서 나타나는 편익이다.

지하도로는 혼잡이 발생하고 도로에 의한 대기오염, 소음 등의 문제가 심각해 환경 개선 및 도시재생 등을 목적으로 건설이 계획되고 있다. 이러한 지하도로는 수도권 위주로 추진되며, 비교적 큰 사업비가 소요된다. 또한, 지상 공간을 별도의 목적으로 개발하는 경우 도시재생 등 신규 활용성이 증가하여 부가가치가 창출될 수 있다.

하지만 지하도로 사업의 타당성을 판단할 때, 이러한 특성을 고려하지 못하고 기존 지상 구간의 일반 도로 신설·확장 사업의 타당성 평가 단계에서 검토하는 비용과 사회적 편익을 기준으로 검토하고 있다.

지하도로를 통해 교통 체증 문제 해소와 환경 개선에 대한 편익은 기존에 추정하는 사회적 편익 항목으로 대변할 수 있다. 그러나 도시재생 및 단절 구간 연결 등 지하도로의 특성을 고려한 편익 항목은 충분히 반영되지 않고 있다.

지하도로의 장점을 항목별로 구분해 잠재적 사회적 편익을 추정한다면, 지하도로 사업 타당성을 판단할 때 객관적 지표로 활용할 수 있다. 이러한 지하도로 특성을 고려한 교통계획 및 투자 평가체계 개선에 대한 기준을 마련하고, 재원을 고려한 재정 투자 평가의 개선이 요구된다.

3. 국내 지하도로 교통운영 단계의 문제점

3.1 교통류 상충 구간

교통류 상충 구간은 지하도로 구축 시 진출입부에서 필연적으로 발생하는 구간이다. 진입 시 지상 및 지하도로의 운영 방식이 다른 경우, 각 목적에 맞는 도로를 선택하여 이동하는 과정에서 엇갈림이 발생한다. 지하도로는 많은 건설비용이 소요되므로 유료로 운영될 수 있으며, 접속하는 연결 지점 또한 지상도로에 비해 제한될 수 있다.

따라서, 지하도로 진입지점 상류부에서 지상도로 및 지하도로로 이동하는 과정에서 차선 변경에 따른 엇갈림이 발생하며, 이에 따른 차량 정체가 야기된다. 2021년 개통된 신월여의지하도로의 경우, 시·중점부인 신월IC와 여의도 마포대교 남단 여의대로 부근에서 짧은 엇갈림 구간과 연속되는 합류 및 분류 지점들로 인해 잦은 정체가 발생한다. 해당 구간 진입 시 경인고속도로에서부터 총 4개의 합류 및 분류, 엇갈림 구간이 약 200m 간격으로 존재한다. 약 700m도 안 되는 도로상에 4개의 상충 지점이 있으며, 각 지점별 차로 변경 가능 구간이 짧아 용량 감소로 인한 정체가 상류부인 경인고속도로까지 전이된다.

[그림 2] 신월 IC 부근 신월여의지하도로 진입 시 문제점



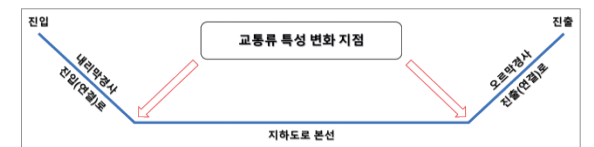
자료: 한국교통연구원(2024) 미래 도로 인프라의 입체적 공간 활용방안

3.2 진·출입 경사로

지하도로는 도로 본선이 지하에 위치하기 때문에 필연적으로 진입부에서 본선까지 내리막 경사가 존재하며, 진출 시에는 오르막 경사 연결로를 통해 지상으로 이동한다. 이처럼 지하도로 이용 시 내리막에서 평지, 그리고 다시 오르막으로 바뀌는 지점에서 교통류 특성이 변화한다. 일반적인 상황에서 교통류는 오르막 경사 이동 중 속도가 감소하며, 경사도가 높을수록 속도 감소율 또한 점차 높아진다. 반대로, 내리막 경사에서는 속도가 증가하고, 내리막 경사가 심할수록 속도 증가 폭도 함께 증가한다. 그러나 내리막 경사에서는 오르막 경사와 비교할 때 속도 변화 정도가 낮다.

국내에서 운영되거나 계획 중인 지하도로는 약 70m 안팎의 깊이를 가지며, 속도 80km/h(또는 70km/h)로 설계된다. 이 경우 최대 오르막 경사도와 산출된 경사길이는 아래 그림과 같다. 모든 설계기준 자동차에 대해 4%보다 높은 최대 경사도로 설계될 경우, 위의 예시보다 속도 감소 효과가 더 크게 나타날 수 있으며, 특히 대형자동차 이상의 자동차에서는 이 효과가 더욱 극명할 것으로 예상된다.

[그림 3] 지하도로 교통류 특성 변화



자료: 한국교통연구원(2024) 미래 도로 인프라의 입체적 공간 활용방안

3.3 공급 및 수요 조절

지하도로 계획은 주로 도심에서 추진되는데, 도시의 또 다른 문제인 녹지 공간 부족과 높은 건설 비용 등을 해결하기 위해 지상도로를 지하화한 후 상부 공간을 공원 또는 상업시설로 활용하고자 한다. 하지만, 이 경우 용량 부족이라는 문제를 해결하지 못한 채 오히려 더 극심한 정체를 유발할 수도 있다.

서울시는 현재 경부고속도로 중 서울 구간인 한남IC~양재IC 구간(경부간선도로)에 대해 지하화 사업을 추진 중이다.²⁾ 상부도로 활용 방안으로 녹지 및 일반도로화, 친환경 복합문화공간 등이 고려되고 있으며, 연장 약 7km의 선형공원 조성 방안도 검토되고 있다. 하지만 지하도로 추가로 인한 공급 확대가 반드시 확실한 통행시간 단축 효과를 가져온다고 단정할 수 없다. 따라서 수요 억제 방안을 고려하여 수요를 기존 수준으로 유지하거나, 증가량을 최소화해야 한다.

[그림 4] 경부간선도로 지하화 계획 중 상부공간 공원 조성방안



자료: 뉴시스(2023.04.02.), https://www.newsis.com/view/NISX20230331_0002249822 인용
자료: 한국교통연구원(2024) 미래 도로 인프라의 입체적 공간 활용방안

4. 효율적 도로의 입체적 공간 활용을 위한 제도 개선방안

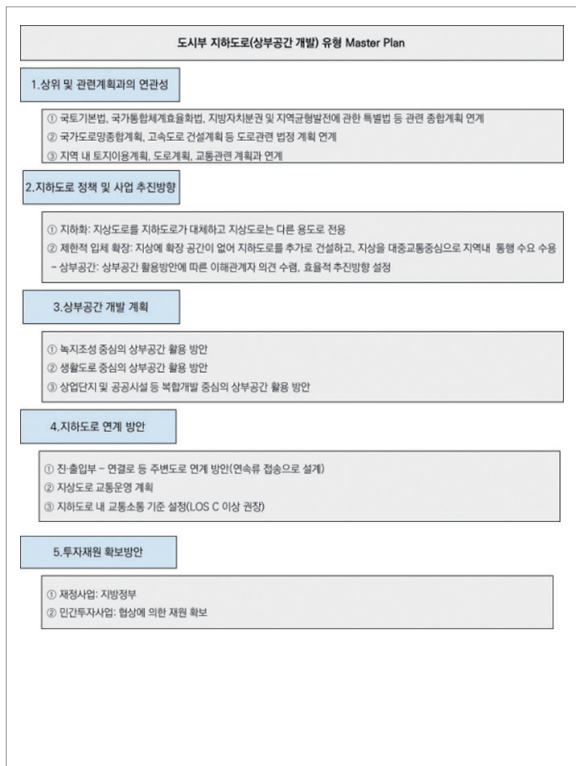
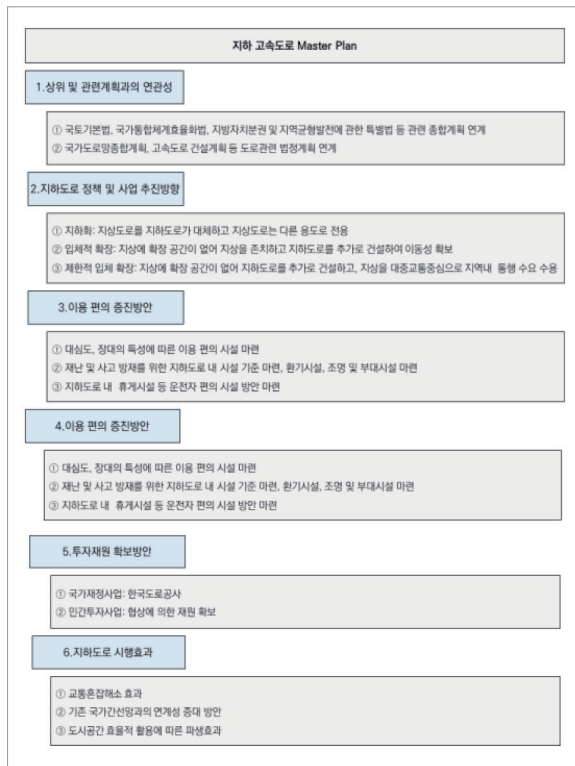
4.1 지하도로 관련 마스터플랜 수립 방안

앞서 논하였던 것과 같이, 지하도로의 유형은 대상 도로를 기준으로 크게 두 가지로 구분할 수 있다. 하나는 고속도로에 지하도로를 신설하여 지하 고속도로를 건설하는 것이며, 다른 하나는 도시부 내 도로를 대상으로 지하도로를 신설하는 형태이다. 두 사업은 목적이 달라 형태의 차이가 있다. 따라서, 유형별로 마스터플랜 수립에 대한 방향성이 달라질 수 있다.

현재 고속도로 지하화 또는 신규 지하 고속도로만의 특성을 고려하는 Master Plan은 없다. 현재 우리나라 국도 간선망은 도로법에 따른 법정계획인 「국가도로망 종합계획」, 「고속도로 건설계획」에 의존하고 있기 때문에 지하 고속도로의 특성을 반영하는 별도의 지하도로 계획, 건설, 운영, 투자 재원을 고려한 종합계획의 비전 제시가 필요하다. 따라서 도시부에 지하도로가 위치하여 계획·설계되는 경우, 도시 공간과 밀접한 연계를 고려하여 지하도로 정책을 수립해야 한다. 도시부 도로를 대상으로 지하도로를 개발하는 가장 큰 목적은 도시부에 신규 도로를 개설할 도시 공간이 부족하고 교통 혼잡을 해소하기 위한 추가 도로 용량 확보가 필요하기 때문이다.

이러한 문제를 해소하기 위한 도구로 도시부에 지하도로를 활용하는 경우, 전체적인 도시부 도로망과의 연계를 고민하고 이에 대한 정확한 진단을 통해 정책을 수립해야 한다. 따라서 지하도로 Master Plan의 주요 내용은 개발 유형에 따라 다음과 같이 구성할 수 있다.

[그림 5] 지하도로 마스터플랜(안)



자료: 한국교통연구원(2024) 미래 도로 인프라의 입체적 공간 활용방안

4.2 지하도로 특성을 고려한 투자평가체계 개선방안

지하도로 특성을 적용하기 위한 투자평가체계를 개선함에 있어, 기존에 계획한 대상 사업의 지하도로를 원활히 추진하기 위한 목적으로 개편하는 방향은 경계해야 한다. 사업 추진의 목적성보다는 지하도로 건설의 장점을 현실적으로 고려하여 투자평가체계 개선을 고민하는 것이 중요하다.

투자평가체계 개편은 현재 제도를 개선하여 지하도로의 특성을 반영하기 위한 단·중기적인 관점과, 도로의 입체적 확장에 따른 지하도로 및 상부 도시 공간 투자평가지침을 신설하는 장기적인 시각으로 접근해야 한다.

단기적으로는 기존 도로 투자평가체계의 비용 산출 근거 개선 및 편익 산출 근거 개선, AHP 제도를 개선해

야 한다. 지하도로 설계기준 및 기술 적용 요소에 대한 연구가 진행되고 있으나, 현재는 터널의 비용으로 산출하고 있으며, 유지관리비 또한 약천후로부터 내부 시설을 보호받는 지하도로의 특성을 반영하지 못하고 있으므로 이를 적용할 수 있는 방안을 마련해야 한다. 또한, 광역권 출·퇴근 통행이 집중되는 통행 패턴에 영향을 주는 지하도로의 특성을 통행시간 가치에 반영하여 편익 산출 근거를 개선해야 한다. 아울러 신규 국토공간 창출에 대한 가치를 고려하여 국토공간 기회비용, 도시환경 변화에 따른 사회적 기회 증대, 도시 공간 단절 해소 등의 가치 변화를 AHP에 적용하여 고려해야 한다. 이러한 부분은 독일 및 영국 등 유럽에서 적용하고 있는 사항이다.

중기적으로는 신규 국토공간 창출의 기회비용 및 사회

2) 리얼캐스트, “경부고속도로 한남~양재 지하화...지상에는 ‘서울 리니어 파크’ 조성”, 게시일: 2023.04.05, 접속일: 2023.10.06

적 기회 확대, 소음 및 미세먼지 관련 환경편익 확대에 따른 추가적인 신규 편익 항목을 도출해야 한다. 현재 다양한 연구에서 적용 가능한 추가 편익을 개발하고 있지만, 기존 편익과의 중복성 등으로 한국개발연구원에서 바로 적용하기 어려운 부분이 존재한다. 이러한 부분은 지하도로 정책을 추진하는 관계기관 간 협의를 통해 신규 편익의 적용 방법을 모색해야 한다.

최종적으로는 도로뿐만 아니라 철도 등 지하공간의 SOC 투자가 확대되고 있는 상황에서, 입체적 확장에 따른 지하도로 및 상부 도시 공간의 활용에 대한 별도의 투자평가지침을 신설하여 기존 투자평가지침에서 반영하지 못하는 요소를 고려해야 한다. 이를 통해 앞으로 진행될 도로 SOC 투자 사업에서 요구되는 일관된 기준을 마련할 필요가 있다.

5. 운영 관련 개선방안

지하도로의 역할을 충실히 이행하려면 지상 도로와 지하도로가 연계된 최적의 운영 전략이 필요하다. 지하도로 본선 내 정체 발생을 억제하기 위해, 주요 정체 발생 지점인 진출부에서의 정체를 최소화하고, 해당 정체가 오르막 경사인 진출 연결로를 통해 본선으로 전이되는 것을 제어하며, 동시에 지하도로로 진입하는 수요를 조절하여 본선의 적정 용량을 초과하지 않도록 해야 한다.

첫 번째로, 진출부 정체 관리를 위해 지상도로와 지하도로의 진출 비율에 따른 적절한 진출부 위치와 차로 변경 길이 또는 교통류 상충 구간 길이의 설정이 필요하다. 정체의 원인인 차로 변경으로 인한 상충을 최소화하기 위해, 지하도로 진출부 위치는 지상도로의 진출량과 비교하여, 진출량이 낮으면 도로 중앙에, 진출량이 높으면 도로 측면에 설치한다. 차로 변경 길이는 진출량(상충 수)에 비례하여 산정하되, 지나치게 긴 차로 변경 길이는 상충 분산 및 정체 완화에 미치는 영향이 미비하거나 오히려 역효과를 발생시킬 수 있다.

다만, 설계지침에서 제시하는 차로 변경 길이는 진출량이 크거나, 부적절한 진출부 위치에서는 부족할 수 있어, 향후 진출량을 고려한 진출부 위치 및 차로 변경 길이 산정 방법이 개발되어야 한다.

두 번째로, 지하도로의 구조적 한계로 인해 진출 시 오르막 경사를 가진 연결로를 주행해야 하는데, 이 경우 속도 감소로 인한 용량 저하와 진출부 정체 발생 시 전이 속도의 증가가 일어난다. 특히 이러한 현상은 중차량의 비율이 높을수록 더욱 크게 나타난다. 또한, 높은 경사도에서 정체 발생 이후 회복 단계에서는 중차량의 낮은 한계 속도로 인해 정체가 즉시 해소되지 못하고 상당 시간 유지될 수 있다. 따라서 진출부의 정체가 지하도로 본선으로 전이되는 것을 억제하기 위해 지하도로를 소형차 전용차로로 운영하는 것이 필요하다. 마지막으로, 지하도로 진입 수요 조절을 위해 다이내믹 톨링 기법 도입이 필요하다. 수요 조절을 위한 물리적 기법인 미터링은 대기 차량을 저장하기 위한 공간을 요구하나, 도시부에서는 이를 위한 본선부 내 공간이나 연결로의 길이를 여유롭게 구성하기 어렵다. 또한, 내리막 경사인 진입 연결로에서 미터링으로 인한 대기 차량의 가다서기(stop-and-go)를 반복할 경우 충돌 위험성이 발생한다. 따라서 다이내믹 톨링 기법을 활용한 수요 관리를 통해 효율적인 운영을 해야 한다. 이러한 세 가지 전략은 지하도로 진출부의 정체 발생을 억제하고, 발생한 정체가 지하도로 본선으로 전이되는 것을 최소화하며, 진출 시 오르막 경사로 인해 감소한 용량을 넘지 않도록 진입 수요를 다이내믹 톨링을 통해 제어할 수 있다.

6. 맺음말

수도권을 중심으로 교통 혼잡은 날로 증가하고 있으며, 간선 기능을 담당하는 대도시권의 고속국도 및 일반국도는 출·퇴근 광역 통행을 담당한다. 따라서 이용자들의 교통 혼잡은 날로 증가하고, 도로에서 발생

하는 사회적 비용뿐만 아니라 이용자들의 스트레스 또한 증가하고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 제한적으로 용량을 증가시켜야 하지만, 이미 도시화가 진행된 도시 공간 구조를 고려할 때 쉽지 않은 여건이다. 따라서 정부는 본격적으로 지하도로의 추진을 가속화하고 있다. 지하도로는 한정된 도시 공간을 활용하여 도로 용량 공급을 증가시키고, 단절된 도시의 소통을 보다 효율적으로 제공하기 위해 계획되고 있다. 하지만 지하도로의 특성을 고려한 거시적 관점의 계획이나 전략, 행정적 지원 체계 마련에 한계가 존재하며, 개별 사업 위주로 추진되어 효율을 저하할 수 있다. 또한, 지하도로 계획이 추진되고 있어 관련 정책이나 교통운영 전략 부분의 연구가 필요한 실정이다. 따라서 향후 진행되어야 할 지하도로 정책 방향을 본고에서 제시하였다.

첫 번째로, 지하도로 정책과 관련된 내용을 살펴보았다. 지하도로를 추진할 때, 관련 도로 계획 및 도시 계획과의 연계를 신중히 고려해야 한다. 지하 고속도로의 경우, 국가도로망 종합계획 및 고속도로 건설계획을 통해 세부 시행계획, 투자재원조달 방안 등을 별도로 관리하여 국가기간망으로서의 기능을 유지하도록 계획을 수립하는 것이 중요하다. 도시부 지하도로의 경우, 지방정부 주도의 지하도로는 대부분 PPP(Public Private Partnership) 형태로 사업이 진행되며, 사업계획에 따른 주변 지가 상승 등 외부 효과가 크다. 따라서 지방정부와 중앙정부의 역할 분담, 사업 전체 주기에 따른 세밀한 계획 수립 방안 마련이 필요하다. 또한, 지하도로 사업을 추진하는 데 있어 중요한 절차 중 하나가 사전에 타당성을 검토하는 단계이지만, 기존 제도가 충분히 지하도로의 특성을 반영하지 못하고 있다. 이를 대응하기 위해 상부공간 및 지하공간 부지를 효율적으로 이용하고, 도시 전체적인 측면에서 도로에 대한 정의를 재정립하여 사회·경제적 가치 창출 가능성을 고려해야 한다. 이와 같은 특성을 반영해

단기·중장기 방안으로 구분하여 투자평가체계를 개선하는 것을 제안하였다.

두 번째로, 지하도로 운영 시 혼잡을 해소하기 위한 전략을 모색하였다. 현재 운영 중인 지하도로의 주요 정체 원인은 시·종점부를 포함한 진출부에서 지상 및 지하도로와 인접 교차로 이동 간의 교통류 상충이 가장 크며, 해당 정체가 오르막 경사인 진출 연결로를 통해 전이되어 지하도로 본선까지 영향을 미친다. 또한, 지하도로 건설로 공급이 확대되었음에도 여전히 정체가 존재하는 또 다른 이유는 증가한 공급만큼 이용 수요 또한 늘어났기 때문이다. 이와 같은 혼잡을 해소하기 위한 전략으로, 먼저 상충 수를 최소화하고 분산시키기 위해 지상과 지하도로에서 인접 교차로로의 진출량을 고려한 진출부 위치를 결정하고, 차로 변경(또는 교통류 상충 구간) 길이를 전체 진출량을 반영하여 설정한다. 아울러 오르막 차로에서 발생하는 속도 저하, 용량 감소, 정체 전이 속도 증가라는 교통류 특성이 중차량 비율이 높을수록 크게 나타나므로, 지하도로를 소형차 전용도로로 운영하는 것이 적절하다.

마지막으로, 도로 신설로 인해 추가되는 수요를 조절하기 위해 교통 상황을 고려하여 통행료를 탄력적으로 조정하는 가격 차별화 검토를 제안하였다.

지금까지의 지하도로는 지하공간을 개설하는 데 초점이 맞춰 추진되었다. 하지만 지하공간을 운행하는 차량과 사람은 교통의 영역에 속한다. 이러한 이유로 지하도로 개설을 통해 도시공간을 보다 효율적으로 활용하는 전략 마련이 지속적으로 요구된다. 본고는 미래 도로 인프라로 추진되고 있는 지하도로와 관련해 전반적으로 우리가 고민해야 할 이슈를 점검하고, 개선 방안을 제안하였다. 본고의 제안이 앞으로 지하도로 계획을 효율적으로 추진하는 데 유용하게 활용되길 바란다. 

※ 본 원고는 한국교통연구원에서 2024년 수행한 “미래 도로 인프라의 입체적 공간 활용방안”의 연구결과를 활용하여 작성한 것입니다.