



지하도로 건설의 직·간접 효과 분석 방안

김혜란 | 국토연구원 도로정책연구센터장

1. 서론

지난 수 세기 동안 도시의 자동차 통행 수요는 꾸준히 증가하였으며, 이에 따른 교통 혼잡은 통행 비용 증가, 생산성 감소, 환경오염 등의 문제를 야기하였다. 도로의 신설과 확장 등을 통하여 증가하는 교통수요에 대응하는 방식은 결과적으로 도시 내 토지가격 상승, 개발 가능지 부족을 초래하였고, 대도시에서 도로의 수평적 확장은 한계에 다다르고 있다.

최근 국내·외 주요 도시에서는 지하도로, 철도지하화 등 지하공간을 교통시설로 활용하고자 하는 시도가 활발히 진행되고 있다. 해외에서는 2000년대 초반부터 대도시권(미국 보스턴, 프랑스 파리, 스페인 마드리드 등)을 중심으로 지하도로 건설이 활발히 추진 및 운영되고 있으며, 국내에서는 '제2차 고속도로 건설계획(2021~2025년)'을 통해 수도권 상습정체 도로 3개 구간을 지하화하는 계획이 발표되었다.

지하도로는 차량의 통행이 지하화되고, 상부 공간을 새로운 용도로 활용할 수 있다는 점에서 지상도로와는 차별화되는 특성을 가진다. 그런데 현행 도로 편익 산정

체계는 지하도로 사업에 적용하는데 한계가 있어 본고에서는 국내외 사례 및 연구 조사를 바탕으로 지하도로가 도시 전반에 가져올 실질적인 효과를 분석하는 방안을 제안하고자 한다.

2. 지하도로 건설의 효과

현행 도로사업의 효과분석은 지상도로의 신설과 확장에 국한되어 다루고 있다. 분석 대상이 되는 사업의 효과는 교통시설 사업 시행 시 시설의 이용자들에게 발생하는 효과인 직접효과와 시설이용에 관계없이 모든 사람에게 발생하는 간접효과로 구분된다.

국내외 지하도로 사례 및 문헌 조사를 바탕으로, 지하도로 건설의 효과는 크게 교통부문, 환경부문, 기타 도시부문으로 구분할 수 있다. 교통부문 효과로는 통행시간 및 운행비용 절감, 통행시간 신뢰성 향상, 사고비용 감소, 대중교통 활성화 효과가 있다. 환경부문 효과로는 온실가스 저감, 소음 저감, 열 환경 개선 효과가 있으며, 기타 도시 부문으로는 지역 단절 해소, 도시 경관 개선, 집적 및 고용 효과가 있다.

〈표 1〉 현행 도로 부문 편익 산정 항목

구분	편익 산정 항목	
	예비타당성평가지침	투자평가지침
직접 효과 (공동 편익)	<ul style="list-style-type: none"> 차량운행비용 절감 통행시간 절감 교통사고 감소 환경비용(공해 및 소음) 절감 	<ul style="list-style-type: none"> 통행시간 절감 차량운행비용 절감 교통사고비용 절감 통행시간 신뢰성 향상 환경비용(공해 및 소음) 절감
간접 효과 (특수 편익)	<ul style="list-style-type: none"> 주차비용 절감 공사 중 교통혼잡 발생 (-) 사업으로 인한 도로공간 축소 (-) 	<ul style="list-style-type: none"> 유휴부지 활용 지역산업 활성화 공사 중 교통혼잡 발생 (-)

자료: 이승헌 외(2021)과 국토교통부(2022a)를 바탕으로 저자 작성

〈표 2〉 지하도로의 주요 도시 부문별 효과

부문	세부 항목	주요 내용
교통 부문	통행 시간 절감	교통량 분산에 따른 교통 혼잡비용 감소
	운행 비용 절감	
	통행시간 신뢰성 향상	혼잡 완화를 통한 통행시간 신뢰성 확보
	사고 비용 감소	도로 직선화 및 흐름 개선에 따른 교통사고 절감
	대중교통 활성화	지상 도로 공간 활용을 통한 대중교통 인프라 확대
환경 부문	온실가스 저감	차량 지하화에 따른 지상부 배출가스 및 소음 저감
	소음 저감	
	열 환경 개선	도로 지하화, 상부 공간 녹지화 등에 따른 열 환경 개선
기타 도시 부문	지역 단절 해소	도로 지하화에 따른 도시 간 통행 접근성 증가
	도시 경관 개선	상부 공간 활용을 통한 도시 경관 개선
	집적 효과	접근성 증가로 인한 경제 활성화, 고용 및 세수 증가
	고용 효과	

자료: 김민준, 김혜란, 2023.

3. 지하도로 건설 효과 분석 방안

각 부문에 따라 지하도로 건설 효과를 계량적으로 분석할 수 있는 방법론을 최신 연구 자료들을 통하여 선정 및 정리하였다.

1) 교통 부문

지하도로 건설의 교통부문 효과는 교통 혼잡 완화, 교통사고 저감, 대중교통 활성화 효과로 구분하였다.

① 교통 혼잡 완화 효과

교통 혼잡 완화는 지하도로를 건설하는 주요 목표로 교통량 분산 또는 도로용량 증가로 인하여 가능하게 된다. 이를 분석하기 위하여 지하도로 건설 전후 OD 간 및 주변 도로의 교통 혼잡 비용을 비교 분석하여 지하도로의 교통 혼잡 완화 효과를 계량화할 수 있다.(조진환, 황기연, 2010)

교통혼잡비용 산정식

$$CC = \sum_i \sum_j (V_{ij} \times F_j + C_j \times T_i)$$

CC = 교통혼잡비용
 V_{ij} = 구간별 교통량 / F_j = 차량 연비
 C_j = 시간당 운행비 / T_i = 통행시간

② 교통사고 저감 효과

지하도로는 지상도로에 비해 직선 도로를 건설하는데 유리하며, 날씨의 영향을 받지 않고 차량을 보행자와 완전히 분리할 수 있다는 점에서 교통사고 저감에 기여할 수 있다.(조진환, 황기연, 2010) 이는 지하도로 건설 전·후 유형별 교통사고 자료를 수집·분석하여 교통사고의 인적·물적 비용을 추정하고 이를 바탕으로 지하도로의 교통사고 절감 효과를 정량화할 수 있다.(이승헌 외, 2017)

교통사고 저감 비용 산정식

$$VIC = \sum_{t=1}^3 \left[\sum_{s=1}^2 (A_{ts} \times P_s \times VL_t) + \sum_{a=1}^3 (M_{ts} \times P_a \times VL_t) \right]$$

VIC = 교통사고 저감 비용
 A_{ts} = 도로유형별·사고유형별 교통사고 사상자수
 M_{ts} = 도로유형별·사고유형별 교통사고 물적피해건수
 P_s = 인적사고유형별 사고비용 / P_a = 물적사고유형별 사고비용
 VL_t = 연간 도로유형별 사고 건수 / s = 인적사고유형(1: 사망, 2: 부상)
 a = 물적사고유형(1: 차량피해, 2: 대물피해)
 t = 도로유형(1: 고속도로, 2: 국도, 3: 지방도)



③ 대중교통 활성화 효과

지하도로 건설로 확보된 상부 공간을 대중교통 인프라로 활용하게 되면 도시 내 대중교통 이용이 활성화될 수 있다. 지하도로 건설 전후 해당 구간을 통행하는 대중교통 이용량 및 통행시간 자료를 바탕으로 타 교통수단 대비 통행시간 절감과 운행비용 절감 등을 고려하여 대중교통 활성화 효과를 정량화할 수 있다. (심재엽 외, 2021)

수단별 시간가치 산정식

$$VOT = \sum_{k=1}^n \sum_{l=1}^n (T_{kl} \times P_k \times Q_{kl} \times 365)$$

VOT = 시간가치

T_{kl} = 링크l의 차종별, 인별 통행시간 / P_k = 차종별, 인별 시간가치

Q_{kl} = 링크l의 차종별, 인별 통행량

k = 차종(1: 승용차, 2: 버스, 3: 화물차), 인(4: 철도)

2) 환경 부문

지하도로 건설의 환경 부문 효과로는 대기오염 저감, 소음 저감, 열 환경 개선 효과를 계량화할 수 있다.

① 대기오염 저감 효과

지하도로는 기존 지상 차량 통행 시 배출되는 대기오염 물질(NOx, SOx, 미세먼지 등)을 저감하여 도시 대기질을 개선할 수 있다. 이를 분석하기 위하여 지하도로 건설 전후 해당 구간 인근 대기오염 실측 자료를 통해 대기질 개선에 따른 건강증진 효과를 정량화할 수 있다. (간순영, 배현주, 2023)

대기오염 저감에 따른 건강증진편익 산정식

$$HB = Y_0(1 - e^{-\beta \Delta PM}) \times P$$

HB = 대기오염 저감에 따른 건강 편익

Y_0 = 사망률 또는 해당 질환에 대한 유병률

β = 대기오염물질 농도와 건강영향의 농도-반응함수

PM = 대기오염물질의 농도변화

P = 대기오염물질에 노출되는 인구 수

② 소음 저감 효과

지하도로는 지상 차량 통행 시 발생하는 소음을 저감하여 주민들의 삶의 질을 높이는데 기여할 수 있다. 지하도로 건설 전후 해당 구간 인근 소음 실측 자료를 통해 소음 저감 효과를 정량화할 수 있다. (이성모, 2016)

소음 비용 산정식

$$VONC = \sum_i \sum_j (P \times l_{ij} \times L_{ij})$$

VONC = 소음비용

P = 소음가치의 원단위 / l_{ij} = 대상노선의 연장

L_{ij} = 실측 소음 또는 예측소음도

i = 도로구분 (일반도로, 고속도로 등) / j = 영향권 내 개별링크

③ 열 환경 개선 효과

지하도로는 도로에서 발생하는 열을 지하화하여 도시 열 환경 개선을 바탕으로 건강증진효과를 가져올 수 있다. 지하도로 건설 전후 도로 인근 대기 또는 표면 온도 비교를 통해 열 환경 개선에 따른 건강증진편익 효과를 정량화할 수 있다. (이현경 외, 2020)

열 환경 개선에 따른 온열질환자 감소 건강증진편익

$$B_f = \lambda \times |\Delta T_f| \times H_{patient} \times H_{cost}$$

B_f = 사업 f의 건강증진편익 / λ = 기온 1℃ 변화에 따른 온열질환자 절감비용

ΔT_f = 사업 f에 따른 대상지 기온변화량

$H_{patient}$ = 대상지 연간 온열질환자 수

H_{cost} = 온열질환자 일인당 평균 의료비

3) 기타 도시 부문

지하도로 건설의 기타 도시 부문 효과로는 지역 단절 해소와 도시 경관 개선을 들 수 있다.

① 지역 단절 해소

지하도로는 기존 도로로 인해 단절되어 있던 지역 간 통행 접근성을 향상시킴으로써 지역 간 단절을 완화할 수 있다. 지하도로 건설 전후 보행량 및 보행 시간 자료를 활용해 보행 시간절감 효과를 정량화할 수 있다. (장수은 외, 2021)

지역 단절 해소 편익 산정식

$$B_s = \sum_o \sum_d \left[w_{od} \times 365 \times \left(\frac{b}{t_{od}} - \frac{a}{t_{od}} \right) \times VOT_w \right]$$

B_s = 지역 단절 해소 편익

VOT_w = 보행 시간가치

w_{od} = 기종점 (OD) 사이 보행량 (인/일)

t_{od} = 기종점(OD) 사이 보행 시간 (시/인)

② 도시 경관 개선

지하도로는 지상도로를 지하화하고 상부 공간을 활용함으로써 도시 경관을 개선할 수 있다. 지하도로 건설 전후 지역 주민들의 도시 경관에 대한 지불의사금액 (WTP, Willingness To Pay) 비교를 통해 정량화할 수 있다. (김종혁 외, 2013)

〈표 3〉 지불의사금액을 활용한 고가도로 철거의 경관 개선 편익(예시)

구분	경관가치(억 원)	구분	경관가치(억 원)
원남고가도로	81	해화고가도로	63
미아가가도로	114	회현고가도로	129
신설고가도로	121	노량진고가도로	109
광희고가도로	66	문래고가도로	70
화양고가도로	92	한강대교북단 고가도로	133

(자료: 〈김종혁 외, 2013〉을 바탕으로 저자 작성)

4. 정책 제언

지하도로 사업은 지상도로에 비해 건설 비용이 크고 위험 요인도 상대적으로 높은 편이지만, 토지보상비용이 절감되고 시설 내구성이 길다는 점에서 유용한 대안으로 고려되고 있다. 그러나 현행 도로 사업의 효과 분석 및 편익 산정 체계는 지상도로의 신설 및 확장에만 국한되어 있어, 지하도로 사업의 효과를 충분히 반영하여 계량화하지 못한다. 특히 지하도로 사업의 상부 공간 활용에 대한 효과에 있어서 그러하다. 계획되는 지하도로 사업의 경제적 타당성 확보와 원활한 추진을 위해서는 차량 지하화에 따른 환경개선 효과, 상부 공간 활용에 따른 도시 개발 효과 등을 편익화하여 분석하

는 것이 필요하다.

본고에서는 선행 연구들을 바탕으로 지하도로의 사업 특성을 고려하여 계량화가 가능한 도시 부문별 효과를 제안하였다. 그러나 이는 지하도로 사업의 효과를 충분히 계량화하여 평가할 수 있다고 하기 어려우며, 앞으로도 지속적이고 체계적인 사업 추진을 위한 지하도로 사업 효과 평가방법에 관한 연구를 통해 법·제도적 체계 정비가 필요하다.

이를 위하여 지하도로 건설의 도시 부문별 효과 분석 및 정량화에 필요한 데이터의 수집 및 관리 가이드라인 마련이 우선되어야 한다. 또한 사업 효과에 대한 지속적인 모니터링 체계 구축, 지하도로 건설 효과 항목들의 주기적인 원단위 갱신 등을 통해 신규 지하도로의 합리적인 편익 산정 및 타당성 분석을 지원하여야 한다.

※ 본 원고는 2023년도 국토연구원 워킹페이퍼 "김민준, 김혜란, 2023. 지하도로 건설에 따른 도시 부문별 효과 분석 방안"을 요약·정리한 것임.

참고문헌

간순영, 배현주, 2023. AirQ+와 BenMAP을 이용한 초미세먼지 개선의 건강편익 산정. 한국환경보건학회지 49권, 1호: 30-36.

국토교통부, 2022a. 교통시설 투자평가지침. 국토교통부 고시 제2022-500호(9월 2일 일부개정).

국토교통부, 2022b. 제2차 고속도로 건설계획(2021~2025). 세종: 국토교통부 김종혁, 김진태, 김홍길, 신복민, 2013. 서울시 고가도로 철거에 따른 경관개선 효과 편익분석 연구. 서울도시연구 14권, 4호: 171-184.

심재엽, 김익기, 유한솔, 한근수, 2021. 버스 통행시간 정교화 추정과 기종점 기반의 통행시간 절감편익 산정. 대한교통학회지 39권, 3호: 312-328.

이성모, 2016. 도로 건설사업의 편익분석 개선연구. 세종: 국토교통부.

이승현, 박용덕, 박보영, 2017. 교통부문사업 편익산정 방법론 연구. 세종: 한국개발연구원

이승현, 정우현, 최규진, 홍준의, 2021. 예비타당성조사 수행을 위한 세부지침 도로·철도부문 연구. 세종: 한국개발연구원.

이현경, 이민기, 주진호, 김홍배, 2020. 도시열섬현상 저감정책의 경제성 분석에 관한 연구: 서울시 쿨루프 사업과 옥상녹화 사업을 중심으로. 국토계획 55권, 5호: 97-108.

장수은, 엄기중, 김선화, 배윤경, 김상록, 2021. 도로 지하화 사업의 신규 편익 발굴. 교통연구 28권, 4호: 83-97.

조한선, 박인기, 이동민, 박준석, 2007. 교통혼잡비용 추정방법 개선. 고양: 한국교통연구원

조진환, 황기연, 2010. 교통혼잡비용 추정방법의 개선방안 연구. 대한교통학회지 28권, 1호: 63-74