

공동구 설치가 도로 굴착 밀도에 미치는 정량적 영향 분석에 관한 연구*

A Study on the Quantitative Impact Analysis of Utility Tunnel Installation on Road Excavation Density

오원준** · 도현철*** · 이혁재**** · 조중연***** · 도명식*****

Wonjoon Oh** · Hyuncheol Do*** · Hyeokjae Lee**** · Choongyeun Cho***** · Myungsik Do*****

Abstract

This study aims to quantitatively examine the physical impact of utility tunnel installation on road excavation density. Existing evaluations of utility tunnel efficacy have largely focused on economic assessments centred around Life-Cycle Cost (LCC), limiting their ability to intuitively demonstrate the physical reduction of road space excavations. To address this, this study proposes a methodology that compares road excavation density between areas with utility tunnels and adjacent non-installed areas. Based on a review of prior literature and theories, 'excavation density relative to road area' was selected as the key indicator. A Road Area Index was applied to adjust for scale differences in roads across administrative districts (dong), enabling the calculation and quantitative comparison of excavation density and excavation indices. An analysis of five-year excavation data (2020-2024) across two representative cases (Magok and Sanggye) among Seoul's eight utility tunnels showed that excavation density in utility tunnel areas was significantly lower than in non-installed areas. Specifically, the excavation index in the Magok utility tunnel zone was reduced to approximately one-third of that in adjacent areas, while the Sanggye utility tunnel zone demonstrated a significant reduction to about two-thirds. This study is meaningful in that it proves the efficacy of utility tunnels using physical indicators, providing empirical evidence to establish institutional evaluation standards for future utility tunnel feasibility studies and to improve urban infrastructure maintenance policies. Future research is required to examine derivative effects, such as facility-specific excavation frequency characteristics and ground subsidence prevention.

Keywords: Utility Tunnel, Road Excavation, Excavation Density, Road Area Index, Urban Infrastructure Management

*본 연구는 국토교통부·국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음(과제번호 RS-2023-00245334).

**유니콘스(주) 이사(주저자: wonjoon_oh@hanmail.net)

***국립한밭대학교 도시공학과 박사수료

****유니콘스(주) 과장

*****유니콘스(주) 대표이사

*****국립한밭대학교 도시공학과 교수(교신저자: msdo@hanbat.ac.kr)

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 필요성

급속한 도시화와 고밀도 개발이 진행되면서, 전력·통신·상수도 등 도시를 지탱하는 지하 기반시설의 중요성이 날로 증대되고 있다. 이에 따라 이들 시설물의 신설·증설·교체·보수를 위한 공사 수요가 지속적으로 증가하면서, 반복적인 도로 굴착이 불가피하게 발생하고 있다(오원준 외, 2019, 2020a, 2020b). 도로 굴착은 단순한 공사 행위를 넘어 도시 전반에 걸쳐 심각한 사회적 비용을 초래한다. 잦은 공사는 교통 혼잡을 유발하여 막대한 경제적 손실을 발생시키며(한국교통연구원, 2024), 반복적인 굴착과 복구는 도로포장의 구조적 성능을 저하시켜 포장 수명을 단축하는 주된 원인이 된다(박성완·황규영, 2006). 또한 굴착으로 인한 지반 이완은 도심지 지반 함몰이나 싱크홀과 같은 안전사고의 위험을 높이며(이석민·윤형미, 2017), 공사 현장의 소음·분진·통행 불편 등은 시민의 삶의 질을 직접적으로 저하시키는 요인으로 작용한다.

이러한 문제를 근본적으로 해결하기 위해 도입된 것이 공동구이다. 공동구는 주요 도시 기반시설을 하나의 지하 터널 구조물 내에 집합 수용하여, 이후 시설의 유지관리를 도로 굴착 없이 내부 통로를 통해 수행할 수 있게 하는 통합 관리 시설이다. 국내에서는 1978년부터 도입되어 현재 전국적으로 운영 중이며, 초기 투자 비용에도 불구하고 장기적인 도시 관리 효율성 개선을 위해 지속적으로 확대되고 있다(김동휘 외, 2024, 2025; 오원준 외, 2025; Oh et al., 2026). 그러나 공동구 도입의 타당성을 입증하기 위해서는 실제 운영 성과에 대한 실증적 검증이 필수적이다. 기존 연구들은 주로 생애주기비용 분석을 통한 경제성 평가에 집중됐으나, 화폐 가치 중심의 접근은 외부 변수에 민감하고 실제 도로 공간에서 발생하는 물리적 굴착 저감 효과를 직관적으로 설명

하는 데 한계가 있다. 특히 공동구 설치 지역과 미설치 지역 간의 굴착 빈도를 실증적으로 비교한 연구는 매우 제한적이며, 지역 간 도로 규모 차이를 보정하는 정규화 방법론이나 공동구와 무관한 굴착 요인을 체계적으로 통제하여 연구된 바가 드물다.

따라서 공동구의 실질적 효용성을 입증하기 위해서는 기존의 경제성 평가를 넘어, 실제 도로 공간에서 발생하는 물리적 굴착 저감 효과를 객관적으로 측정하고 비교할 수 있는 실증적 연구방법론의 개발이 필요하다.

1.2 연구의 목적

본 연구는 공동구 설치가 도로 굴착 빈도에 미치는 물리적 영향을 정량적으로 규명하는 것을 목적으로 한다.

기존의 생애주기비용 중심 경제성 평가가 지닌 한계를 보완하여, 실제 도로 공간에서 발생하는 굴착 저감 효과를 객관적으로 비교할 수 있는 물리적 평가 기준을 마련하고자 한다. 이를 바탕으로 공동구 설치 지역과 미설치 인접 지역의 굴착 현황을 실증적으로 비교하고, 나아가 도시 형성 시기 및 공간 구조가 다른 도시 유형별 굴착 저감 효과의 차이를 확인하고자 한다.

최종적으로 본 연구는 이러한 정량적 분석 결과를 통해 향후 신도시 개발 및 기존 시가지 재정비 사업에서 공동구 도입 타당성을 검토할 때 활용 가능한 실증적 기초 자료를 제시하는 것을 목표로 한다.

1.3 연구방법론

본 연구는 공동구 도입이 도시 기반시설 관리의 효율성에 미치는 영향을 정량적으로 검증하기 위해 다음과 같은 단계적 절차를 따랐다(Fig. 1).

첫째, 공동구 효과를 측정할 수 있는 잠재 지표를 폭넓게 탐색하였고, 선행 연구와 관련 이론을 검토하면서 경제적, 사회·환경적, 물리·시설적 측면에서

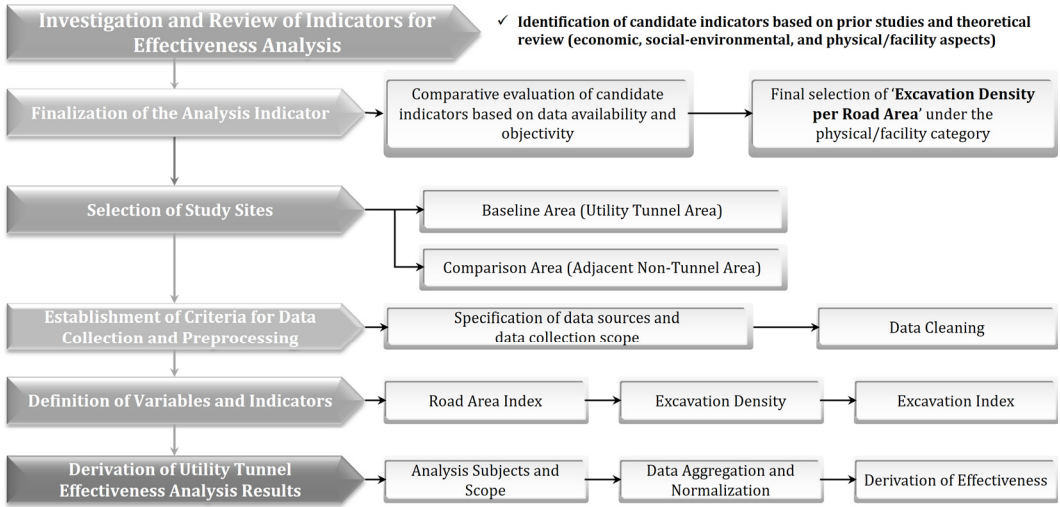


Fig. 1. Research Methodology for Effectiveness Evaluation

공동구 설치에 도시 환경과 인프라 관리에 미치는 영향을 다각도로 살펴보았다.

둘째, 세 범주의 후보 지표들을 데이터 확보 가능성과 측정의 객관성을 기준으로 비교·평가하여, 물리·시설적 범주 내에서 ‘도로 면적 대비 굴착 밀도’를 최종 분석 지표로 확정하였다.

셋째, 공동구 설치 효과를 객관적으로 검증하기 위한 대상지 선정 기준을 마련하였고, 공동구가 설치된 지역을 실험군으로, 이와 지리적으로 인접하면서 도로 규모와 도시 기능이 유사한 행정동을 대조군으로 설정하여 공간적 동질성을 최대한 확보하고자 했다.

넷째, 통계적 안정성과 분석의 신뢰성을 확보하기 위해 데이터 수집과 전처리 과정을 거쳤으며, 분석 기간을 최근 5개년(2020~2024)으로 설정하여 단기적 변동성을 완화하고, 이 가운데 공동구 수용 가능 설비(전력·통신·상수 등)와 직접 관련된 굴착만을 선별하여 하수도·조경·가로등 등 공동구와 무관한 공사는 체계적으로 제외하였다. 다섯째, 수집된 데이터의 특성을 바탕으로 행정동 간 물리적 여건 차이를 보정하기 위한 분석 변수와 지표를 정립하였고, 도로 규모의 차이로 인한 통계적 편향을 줄이기

위해 도로면적지수를 도입하는 한편, 이를 토대로 단위 면적당 굴착 빈도를 나타내는 굴착 밀도와 상대적 굴착 수준을 보여주는 굴착지수의 산출 방법을 구체화하였다. 마지막으로, 이렇게 구축한 분석 체계를 실제 사례에 적용하여 실증 분석을 수행하였으며, 서울시 내 운영 중인 공동구 가운데 도시 개발 시기와 공간 구조를 달리하는 유형별 대표 사례를 선정해 공동구 설치 지역과 미설치 지역 간 굴착 밀도를 비교함으로써 공동구의 물리적 굴착 저감 효과를 정량적으로 확인하였다.

이와 같은 단계적 접근을 통해 본 연구는 기존의 경제성 평가 중심 연구가 지니는 한계를 보완하고, 도로면적지수에 기반한 객관적 정규화와 체계적인 데이터 필터링을 결합한 물리적 지표 중심의 실증 분석 체계를 마련하였다.

2. 공동구 현황 및 선행 연구 고찰

2.1 공동구 현황

공동구는 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」 및 「공동구 설치 및 관리 지침」에 따라 전력, 통신, 상하

수도, 지역난방 등 공익시설을 지하 공동구조물에 집합 수용하는 도시 기반시설이다. 이러한 공동구는 지상 도로를 반복적으로 굴착하지 않고도 지하 매설 물의 유지관리와 증설을 가능하게 함으로써, 도로

굴착으로 인한 도시 관리 부담을 경감하기 위해 도입된 통합 관리체계이다. Table 1에 제시된 바와 같이, 국내에서는 1978년 여의도 공동구를 시작으로 도입되었으며, 2024년 12월 31일 기준 전국 33개소

Table 1. Current Status of Utility Tunnels (As of December 31, 2024)

	Region	Length (km)	Year of Completion	Accommodation Facility
Seoul (8)	Yeouido	6.13	1978	WP, EPC, CL, HP
	Mok-dong	11.70	1987	WP, EPC, CL, HP
	Gaepo	4.25	1987	WP, EPC, CL
	Garak	7.36	1987	WP, EPC, CL
	Sanggye	1.10	1989	EPC, CL
	Sangam	2.30	2004	WP, EPC, CL, HP
	Eunpyeong	0.99	2013	WP, EPC, CL, HP, WTP
	Magok	3.81	2018	WP, EPC, CL, HP, WRP
Incheon (5)	Busan Haeundae	7.27	1996	WP, EPC, CL
	Yeonsu	3.6	1992	WP, EPC, CL
	Songdo (3)	21.36	2017	WP, EPC, CL, HP, WRP, WTP
	Namdong	1.16	2013	WP, EPC, CL, HP
Gyeonggi (8)	Daejeon Dunsan	7.16	1994	WP, EPC, CL
	Gwangju Sangmu	1.8	1998	WP, EPC, CL
	Bucheon Jung-Dong	5.77	1993	WP, EPC, CL
	Bundang	14.73	1994	WP, EPC, CL
	Anyang PyeongChon	4.39	1993	WP, EPC, CL
	Ilsan	10.48	1994	WP, EPC, CL
	Sanbon	3.03	1994	WP, CL
	Suwon	0.65	1985	CL(WP removed)
Gyeongbuk	Ansan	2.96	2001	WP, EPC, CL
	Paju	10.29	2014	WP, EPC, CL
	Gumi	1.53	1979	WP, EPC, CL
	Andong	3.32	2016	WP, EPC, CL
Chungnam	Gyeongnam Changwon	5.42	1983	WP, EPC, CL
	Sejong (3)	22.29	2014	WP, WRP, EPC, CL, HP
	Chungbuk Ochang	2.43	2001	WP, EPC, CL
	Chungnam Hongseong Naepo	2.99	2014	WP, EPC, CL, HP
	Jeonnam Yeosu	0.47	1980	WP, CL
Total (33 Sites)		170.7	-	-

Note: Electric power cable, EPC; Communication line, CL; Water pipe, WP; Heating pipe, HP; Wastewater reclamation reusing system pipe, WRP; Waste transport pipe, WTP.

(총연장 170.7km)가 운영 중이다(국토안전관리원, 2025). 이들 시설은 「시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법」에 따라 제2종 시설물로 분류되어 체계적인 안전 관리 대상이 되고 있다.

서울시의 경우 8개소가 운영 중이며, 설치 시기가 약 40년에 걸쳐 분포하고 있어 시대별 특성을 반영한다.

설치 시기를 기준으로 보면, 1980~90년대에는 목동, 개포, 가락, 상계 등이 대규모 택지개발사업과 연계하여 집중적으로 건설되었다. 이 시기 공동구들은 전력과 통신 등 당시 필수로 인식되던 핵심 시설 중심의 구성이 일반적이었다. 이후 2000년대에 들어서면서 상암, 은평, 마곡 등 계획도시와 대규모 개발사업을 중심으로 공동구가 확충되었으며, 이들은 상수도, 난방, 중수도, 쓰레기 수송관 등을 포함하는 보다 포괄적인 수용 체계를 갖추는 경향을 보인다(기반시설관리시스템, 2025.10.05.; 시설물통합정보관리시스템, 2025.10.28). 수용시설 구성 측면에서 국내 공동구는 전력·통신만을 수용하는 2종 구성부터 상·중수도, 난방, 쓰레기 수송관까지 포괄하는 6종 구성까지 다양한 범위를 보인다. 이러한 설치 시기와 수용시설 범위의 다양성은 각 공동구가 위치한 도시의 개발 단계 및 기반시설 정책 환경과 밀접한 관련이 있으며, 공동구의 운영 특성에도 영향을 미치는 요인으로 작용하고 있다.

2.2 선행 연구 고찰 및 본 연구의 차별성

2.2.1 공동구 효과 분석에 관한 선행 연구

공동구의 효과를 평가하는 기존 연구들은 주로 생애주기비용 분석을 통한 경제성 평가에 집중되어 왔다. 강영구·최익창(2015)은 비용편익 분석에 기초하여 공동구의 경제적 타당성을 평가하였으며, 공동구 건설비용과 개별 매설 방식의 반복적인 유지보수 비용을 비교하여 장기적인 경제적 이익을 산출하였다. 이필윤(2018)은 LCC 분석 방법론을

체계화하여 공동구 설치의 비용편익 분석 프레임워크를 제시하였다. 국외에서는 Canto-Perello and Curiel-Esparza(2013)가 공동구 도입의 거버넌스 측면을 분석하였고, Gilchrist and Allouche(2005), Matthews et al.(2015) 등은 도로 굴착으로 인한 교통 혼잡, 소음, 환경 부담 등의 사회적 비용을 계량화하여 지하 인프라 사업의 경제적 타당성을 평가하는 방법론을 제안하였다. 최근에는 Jin et al.(2025)은 도로 공사로 인한 통행 속도 감소와 교통 지연을 구체적인 사회적 비용으로 계량화하는 연구를 수행하였다. 또한, 단순 비용 분석을 넘어 안전성 및 재난 복원력 평가로 시각이 확장되고 있으며, 대표적으로 Xue et al. (2024)은 덩리닝을 활용해 공동구 내 위험 요인 간의 상호작용을 분석하는 위험성 평가 체계를 제안하였다. 또한, Gu et al.(2025)은 온톨로지(Ontology) 기반의 다중재해 시뮬레이션을 통해 지진 등 외부 충격으로 유발되는 연쇄 복합 사고에 대한 공동구의 회복탄력성을 평가하였다.

2.2.2 도로 굴착과 도시 관리 효율성의 관계

도로 굴착은 도시 기반시설 관리에 있어 다층적인 영향을 미치는 핵심 요인이다. 물리적 측면에서 도로 굴착은 포장체의 구조적 연속성을 단절시켜 성능 저하를 초래한다. 박성완·황규영(2006)은 서울시 도로의 포장 공용성 평가에서 잦은 굴착이 평탄성 저하의 주요 원인임을 지적하였으며, Shahin(2005)과 ARA(2021)는 굴착 복구 구간이 주변 포장과 비교해 현저히 낮은 성능을 보인다고 분석하였다. 안전 측면에서는 반복적인 도로 굴착이 지반 이완을 초래하여 도심지 지반함몰의 주요 원인으로 작용한다. 이석민·윤형미(2017), 국토교통과학기술진흥원(2016), 조영석·장연수(2017) 등은 지하 매설물 공사 시 되메우기 불량과 다짐 부족이 지반 침하와 안전사고의 주된 원인임을 실증하였다. 사회경제적 측면에서는 한국교통연구원(2024)이 2022년 기준

전국 교통혼잡비용이 약 74조 원에 달하며, 이 중 상당 부분이 도로 공사로 인한 차로 차단과 연관되어 있다고 분석하였다.

그러나 이러한 경제성 중심의 접근은 다음과 같은 구조적 한계를 갖는다. 첫째, 비용 데이터는 물가상승률, 공사 시점, 지역별 단가 차이, 계약 방식 등 외부 변수에 민감하게 반응하여 시공간적 비교의 일관성을 확보하기 어렵다. 둘째, 경제성 분석은 장기적인 편익을 화폐 단위로 환산하는 과정에서 할인율 설정이나 미래 수요 예측 등 다양한 가정에 의존하게 되어, 분석자의 전제에 따라 결과가 크게 달라질 수 있다는 한계를 갖는다. 셋째, 가장 중요한 문제는 실제 도시 공간에서 도로점용이 얼마나 빈번하게 발생하며, 이것이 물리적인 도로 환경에 미치는 ‘공간적 부하’를 직관적으로 설명하기 어렵다는 점이다. 특히 공동구 설치 지역과 미설치 지역 간의 도로 굴착 발생 현황을 실증적으로 비교한 연구는 국내외적으로 매우 제한적이다. 기존 연구들이 주로 이론적 모델링이나 개별 사례 연구에 그쳤지만, 실제 도로점용 허가 데이터를 활용하여 공동구의 굴착 저감 효과를 정량적으로 입증한 연구는 찾아보기 어렵다. 이는 데이터 접근의 어려움, 지역 간 비교 방법론의 부재, 그리고 적절한 정규화 지표의 미확립 등에 기인한다. 또한 단순한 굴착 건수의 비교는 행정구역별 도로 면적이나 도시 규모의 차이로 인한 통계적 왜곡을 일으킬 수 있으며, 공동구와 무관한 굴착 요인들이 분석 결과를 희석할 우려가 있다.

2.2.3 본 연구의 차별성

본 연구는 기존 연구가 생애주기비용 분석에 치중해 온 한계를 보완하기 위해, 비용이 아닌 물리적 지표를 통해 공동구의 효과를 실증하고자 한다. 이를 위해 분석의 객관성과 정밀도를 높이는 방법론적 장치를 마련하였다. 우선 행정동별 도로 규모 차이로 인한 통계적 편향을 제거하기 위해 ‘도로면적지수’

를 도입하였다. 단순한 굴착 건수 비교는 도로 면적이 넓은 지역일수록 굴착 빈도가 높게 나타나는 구조적 한계를 갖는다. 김기중 외(2023)는 도시 공간 분석에서 단순한 위치 정보만을 활용하는 분석보다는 객체에 내재된 물리적 특성과 공간적 범위를 함께 고려한 밀도 분석이 결과의 객관성을 확보하는데 필수적임을 강조한 바 있다. 본 연구는 이러한 방법론적 관점을 적용하여, 단위 면적당 굴착 밀도를 산출함으로써 서로 다른 규모의 지역 간에도 등가적인 비교가 가능하게 하였다.

또한 분석 대상 데이터의 정제 과정에서 공동구 수용 가능 설비(전력·통신·상수 등)와 직접 관련된 굴착만을 선별하고, 하수도·조경·가로등 등 공동구와 무관한 공사는 체계적으로 배제하여 공동구 설치 효과를 순수하게 분리해내고자 하였다. 공동구 설치 지역과 지리적으로 인접하면서 도시 기능과 도로 규모가 유사한 행정동을 대조군으로 설정하여 지역 특성에서 기인하는 외부 변수를 최소화하였다. 아울러 단년도 분석의 한계를 보완하기 위해 5개년(2020~2024) 장기 데이터를 활용함으로써 일시적 변동을 통제하고 통계적 안정성을 확보하였다. 이러한 접근을 통해 도출되는 굴착 빈도와 밀도 지표는 공동구의 물리적 효과를 직접적으로 보여줄 뿐 아니라, 향후 교통 혼잡비용이나 환경비용 등 사회적 비용을 산정하는 데 활용 가능한 기초 변수로서의 의미를 갖는다.

3. 공동구 효과 분석을 위한 지표 선정

3.1 분석 대상의 범주별 검토 및 설정

본 연구는 최종 분석 지표를 확정하기에 앞서, 선행 연구 및 관련 이론을 바탕으로 경제적, 사회·환경적, 물리·시설적 측면의 잠재적 지표를 폭넓게 검토하였다(Table 2).

우선 경제적 지표는 외부 변수에 민감하여 객관적

비교에 한계가 있다. 복구 비용은 공사 시점의 물가나 지역별 단가, 계약 방식에 따라 크게 달라지며, 생애주기비용 또한 할인율 설정이나 분석 기간 등 전제 조건에 따라 결과가 상이하게 나타날 수 있다. 동일한 물리적 조건이라도 시점과 지역이 다르면 비용 기준이 달라지므로, 시공간적 비교의 일관성을 확보하기 어렵다. 다음으로 사회·환경적 지표는 정량화의 객관성을 담보하기 어렵다. 교통 혼잡도는 공동

구 외에도 교통정책 변화나 주변 개발사업 등 다양한 요인이 동시에 영향을 미쳐 순수한 공동구 효과를 분리하기 어렵다. 도시 안전(재난) 지표인 싱크홀이나 관로 파손 발생률은 지반 조건, 시공 품질 등 공동구 설치 외의 변수가 크게 작용한다. 또한, 시민 민원 발생률 역시 측정 기준이 기관마다 다르고 개인의 주관적 성향에 따른 편차가 커서, 신뢰할 수 있는 통계를 얻기 힘들다.

Table 2. Candidate Indicators for Effectiveness Analysis

Category	Candidate Indicator	Definition and Review Notes	References
Economic Indicators	Restoration Cost	Direct expenditure allocated to road resurfacing after excavation	• Seoul Road Excavation Restoration System (2025.10.31) (in Korean)
	Life Cycle Cost (LCC)	A life cycle cost assessment covering all costs from construction through end-of-life (disposal)	• Canto-Perello and Curiel-Esparza (2013) • Kang and Choi (2015) (in Korean) • Lee (2018) (in Korean)
	Traffic Congestion	Decrease in average travel speed due to construction and associated social costs	• Korea Transport Institute (2024) (in Korean) • Jin et al. (2025)
Social & Environmental Indicators	Urban Safety (Disasters)	Incident rates of safety accidents such as sinkholes and pipeline failures	• Korea Agency for Infrastructure Technology Advancement (2016) (in Korean) • Lee and Yoon (2017) (in Korean) • Jo and Jang (2017) (in Korean)
	Civil Complaints	Number of complaints filed due to excavation works (noise, fugitive dust, traffic inconvenience, etc.)	• Gilchrist and Allouche(2005) • National Noise Information System (2025.10.15) (in Korean) • Matthews et al. (2015)
	Road Service life	Pavement Condition Index(e.g., PCI) and shortening of resurfacing cycle	• Shahin (2005) • ARA (2021) • Rahmani et al. (2020)
Physical & Facility Indicators	Underground Space Efficiency	Volume of underground utilities and their space-occupancy ratio	• Broere (2024) • Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2019) (in Korean)
	Road Excavation Frequency	Number of excavation permits and/or construction executions within a given period	• Korean Law Information Center (2025.10.18) (in Korean) • Seoul Institute (2016) (in Korean)

반면 물리·시설적 지표는 공동구의 기능과 직접 연결된다. 다만 이 범주 내에서도 세부 지표별로 측정의 타당성에는 차이가 있다. 도로 수명은 교통량, 기후 조건, 포장 품질 등 공동구 외의 복합적 요인이 작용하여 순수한 공동구 효과만을 분리하기 어렵다. 지하 공간 효율은 매설물의 체적과 점유 공간 비율로 측정할 수 있으나, 상세 설계 도면과 시설별 단면 정보 등 고도의 기술 자료가 필요해 실제 운영 데이터 확보에 제약이 있다. 도로 굴착 빈도는 공동구가 지하 매설물 관리를 도로 굴착에서 공동구 내부 작업으로 전환하는 시설이라는 점에서, 그 효과를 가장 직접적으로 관찰할 수 있다.

또한 도로점용 허가 이력이 체계적으로 관리되어 시계열 및 공간 비교에 적합하며, 향후 경제성 분석의 기초 자료로도 활용할 수 있다.

상기 검토 결과를 바탕으로 본 연구는 물리·시설적 지표 범주 내에서 도로 굴착 빈도를 핵심 측정 대

상으로 설정하고, 행정동 간 객관적 비교를 위한 정규화 방법을 다음 절에서 검토하였다.

3.2 분석 방법의 비교 및 최종 지표 선정

앞 절에서 물리·시설적 지표 범주 내 도로 굴착 빈도를 핵심 측정 대상으로 설정하였으나, 행정동별 도로 규모나 도시 특성이 상이하므로 단순 굴착 건수만으로는 객관적 비교가 어렵다. 이에 본 연구는 행정통계(도로점용 허가), 법정 관리기준(도로법 시행령), 사회경제적 평가(교통·경제성 분석), 지하시설물 관리, 재무적 부담, 공간 밀도 분석 등 도시 인프라 연구와 실무에서 활용되는 정규화 기준들을 검토하여 6가지 후보 지표를 도출하였다. 각 지표의 적정성을 비교한 결과는 다음과 같다(Table 3). 이들은 굴착의 절대적 발생량, 도로·인구·시설물 규모 대비 상대적 발생률, 복구 비용 등 서로 다른 관점에서 굴착 부하를 정량화하는 지표들이다.

Table 3. Alternative Indicator Types and Suitability Assessment for the Analysis

Candidate	Definition / Calculation	Limitations and Suitability Assessment
① Simple Count	$\sum (\text{Number of excavation permits})$	• Does not account for inter-district differences in road infrastructure scale, resulting in scale bias
② Excavation Rate per Road Length	$\frac{\text{Number of excavations}}{\text{Total road length (km)}}$	• Because road width is not accounted for, the excavation burden relative to the actual managed road area may be distorted
③ Excavation Rate per Capita	$\frac{\text{Number of excavation}}{\text{Resident population}}$	• May induce statistical distortion in commercial/business districts due to low resident population
④ Excavation Rate per Pipeline Length	$\frac{\text{Number of excavation}}{\text{Total length* (km)}}$	• Building a consistent dataset is difficult due to data asymmetry across agencies and restricted access/security constraint
⑤ Reinstatement Cost	$\sum (\text{Excavation reinstatement costs})$	• Excessive variability by time and contract conditions limits objective inter-district comparison
⑥ Excavation Density per Road Area	$\frac{\text{Number of excavation}}{\text{Road area (m}^2\text{)}}$	• Incorporates both road length and width, enabling the most objective measurement of spatial burden

Note: Total length of underground utilities

단순 굴착 건수(①)는 가장 직관적이나 한계를 내포하고 있다. 행정동별 도로 인프라 규모 차이를 전혀 고려하지 못해, 면적이 넓은 지역일수록 굴착 빈도가 자연적으로 증가하는 ‘규모의 편향’을 일으키기 때문이다. 예컨대 도로 면적이 2배 넓은 지역에서 굴착 건수도 2배 많다면, 이는 공동구 효과가 아니라 단순히 관리 대상 규모가 크기 때문일 가능성이 높다. 도로 연장 대비 굴착률(②)은 선행 지표의 근본적 제약을 드러낸다. 동일한 1km 도로라도 왕복 8차선(폭 40m)과 왕복 2차선(폭 10m)은 관리해야 할 면적이 4배 차이가 나므로, 연장만으로는 실제 굴착 부하를 정확히 포착하기 어렵다. 도로 굴착이 특정 ‘선’ 위에서만 이루어지지 않고 횡단 굴착 등 ‘면’적 범위에서 발생한다는 점을 고려하면, 도로 폭을 포함한 면적 기반 접근이 필요하다.

인구 대비 굴착률(③)은 도시 기능적 특성을 제대로 반영하는 데 한계가 있다. 마곡이나 여의도 같은 상업·업무 지구는 낮은 상주인구로 인해 굴착률이 과대 산정되는 통계적 왜곡이 발생할 소지가 크다. 실제 굴착 수요는 인구 규모보다 지하 시설물의 용량 및 노후도와 더 밀접한 관계를 맺고 있어, 분석 지표로서의 타당성이 떨어진다. 지중 매설물 연장 대비(④) 지표는 이론적으로 가장 직접적이나 현실적 제약이 있다. 기관별(한전, 통신사, 가스공사 등) 상세 매설 데이터의 비대칭성과 보안상 접근 문제로 인해 일관된 데이터셋 구축이 사실상 불가능하기 때문이다. 복구 비용 대비(⑤) 지표 또한 물가상승률, 공사 시점, 계약 조건에 따라 변동성이 커서 지역 간 객관적 비교에 한계가 있으며, 본 연구가 지향하는 ‘물리적 도로 관리 효율성’ 측정보다는 경제성 평가에 더 적합하다.

반면, 도로 면적 대비 굴착 밀도(⑥)는 이러한 문제들을 효과적으로 해결할 수 있다. 도로의 길이와 폭을 함께 반영하는 유효 관리 면적을 분모로 설정함으로써 매설물이 분포할 수 있는 잠재 공간 전체를

포함할 수 있다. 이는 행정동 간의 물리적 기반 규모 차이를 통계적으로 보정하여 등가 비교를 가능하게 하며, 실질적인 공간 부하를 가장 객관적으로 정량화할 수 있다. 또한 행정동별 도로 면적은 서울시 공식 통계를 통해 안정적으로 확보할 수 있으며, 단기간에 큰 변동이 발생하지 않는 특성이 있어 시계열 분석에도 적합하다. 이러한 비교 검토를 거쳐 본 연구는 도로 면적 대비 굴착 밀도를 최종 분석 지표로 확정하였다.

도로포장 분야에서는 굴착 복구로 인한 손상 평가 시 면적 기반 밀도 지표가 보편적으로 활용되고 있으며(Shahin, 2005; ARA, 2021), 공간 분석 분야에서도 단순한 횡수나 위치 정보가 아닌 객체의 공간적 규모와 범위를 고려한 밀도분석이 결과의 객관성을 확보하는 방법론으로 활용된다(김기중 외, 2023). 본 연구는 이러한 밀도 분석 방법론을 공동구 효과 분석에 적용한 것으로, 공동구 분야에서 ‘도로 면적 대비 굴착 밀도’를 핵심 지표로 활용한 선행연구가 매우 희소하여 방법론적 기여를 갖는다고 판단된다.

4. 분석 방법

본 연구는 공동구 설치가 도로 굴착 빈도에 미치는 영향을 비교하기 위해 분석 대상지 선정, 자료 수집 및 데이터 전처리 기준 정립, 변수 및 지표의 정의 순서로 진행하였다. 각 단계에서는 지역 간 도로 규모 차이를 보정하고, 공동구와 무관한 굴착 요인을 배제하여 비교 분석의 객관성을 확보하고자 하였다.

4.1 분석 대상지 선정

본 연구는 공동구 설치 효과를 비교하기 위해 공동구가 설치된 지역을 실험군으로, 인접한 미설치 지역을 대조군으로 설정하였다. 선정 과정에서는 공동구의 운영 여부, 지리적 인접성, 도로 규모와 도시 기능의 유사성, 그리고 시설의 보안성을 고려하였다.

기준 지역은 현재 공동구가 운영 중인 행정동 가운데 신도시 개발 단계에서 설치된 지역과 기존 시가지에 도입된 지역을 각각 선정하였다. 이는 도시 형성 시기에 따른 공동구의 설치 환경과 운영 특성이 다를 수 있기 때문이다.

비교 지역은 기준 지역과 지리적으로 인접하면서 도로 면적과 폭원, 주거·상업 기능의 혼재 정도가 유사한 행정동으로 선정하였다. 이는 자치구별 개발 밀도나 도시 성격 차이에서 비롯되는 영향을 줄이고, 공동구 설치 여부에 따른 굴착 차이를 분리해 보기 위함이다. 아울러 공동구는 「시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법」에 따른 제2종 시설물이자 국가 중요시설로서 보안 관리 대상이다. 이에 따라 상세 위치나 운영 정보의 포괄적 공개에는 제약이 따르므로, 서울시 전체 공동구를 대상으로 하기보다는 공개 가능한 범위 내에서 대표성을 갖춘 일부 권역을 선정하여 분석을 수행하였다.

4.2 자료 수집 및 데이터 전처리 기준 정립

분석 데이터는 서울시 도로굴착복구시스템의 「도로점용(굴착) 허가공고」 자료를 활용하였으며, 분석 기간은 5개년(2020.01.~2024.12.)으로 설정하였다. 이는 특정 연도의 대규모 재개발이나 긴급 복구공사와 같은 일시적 요인이 결과에 미치는 영향을 완화하기 위함이다. 본 연구에서 데이터 전처리는 분석 신뢰도를 결정하는 핵심 과정이다. 원자료에는 공동구 설치 여부와 무관한 다양한 굴착 공사가 포함되어 있어, 이를 그대로 사용하면 공동구의 실제 효과를 왜곡할 우려가 있다.

이에 따라 본 연구는 공동구 수용 가능 시설과 직접 관련된 굴착만을 선별하기 위해 키워드 기반 필터링을 수행하였다. 우선 분석 대상 행정동의 데이터를 추출한 후, 공사명 또는 공사 내용에 포함된 키워드를 기준으로 단계적 제거를 진행하였다. 공동구 미수용 기반시설(하수·오수·우오수·가스), 도시 부

대시설 정비(교통신호기·지반·보행환경, 소화전·버스정류장·수목·가로등), 건축 및 개발 관련 공사(신축·신설·연결·신규·전립, 부대 토목·임시시설) 등을 제외하였다. 공사명이 모호한 경우에도 실질적 내용을 검토하였으며, 하수 간 공사는 하수 관련 공사로 판단하여 제외하였다. 지번 정보가 누락되어 정확한 위치 파악이 어려운 데이터 역시 제거하였다. 반면 전력·통신·상수도·난방·중수 등 공동구 수용 가능 시설의 유지보수나 교체 공사는 분석 대상에 포함하였다. 공사명이 다소 모호한 경우에도 실질적 내용을 검토하였으며, IP 전주 공사는 통신 케이블 설치용 철제 전주 시공으로 판단하여 포함하였다. 이처럼 공사목적이 불분명하거나 해석이 엇갈릴 수 있는 사례는 공동구 효과를 과대평가하지 않도록 개별 검토를 거쳐 보수적으로 판단하는 기준을 적용하였다.

4.3 변수 및 지표의 정의

행정동별 도로 규모가 상이한 상황에서 공동구 설치 효과를 객관적으로 비교하기 위해서는 단순 굴착 건수가 아닌 정규화된 지표가 필요하다. 본 연구는 이를 위해 도로면적지수, 굴착 밀도, 굴착지수를 분석 변수로 정의하였다.

도로면적지수(Road Area Index, A)는 각 행정동의 도로 인프라 규모 차이를 정규화하기 위한 지표이다. 기준 지역의 도로 면적을 1.0으로 설정하고, 비교 지역의 도로 면적을 이에 대한 상대 비율로 환산하여 산출한다. 단순 굴착 건수만을 비교할 경우 도로 면적이 넓은 지역일수록 굴착 빈도가 자연적으로 증가하는 규모 편향을 보정하기 위함이다. 굴착 밀도(Excavation Density)는 단위 면적당 굴착 빈도를 나타내는 지표로, 연평균 굴착 횟수(B)를 도로면적지수(A)로 나누어 산출하며, 이를 통해 행정동 간 도로 규모 차이를 통제한 상태에서 실질적인 굴착 부하수준을 비교할 수 있다(식 (1)).

굴착지수(Excavation Index)는 공동구 설치 지역

과 미설치 지역 간의 상대적 굴착 수준을 비교하기 위한 지표이다. 공동구 설치 지역의 굴착 밀도를 기준값(1.0)으로 두고, 비교 지역의 굴착 밀도를 이에 대한 비율로 산출한다(식 (2)). 굴착지수가 1보다 클 수록 비교 지역의 단위 면적당 굴착 빈도가 높음을 의미하며, 공동구 설치에 따른 굴착 저감 효과를 나타내는 척도가 된다.

Excavation Density

$$= \frac{\text{Annual average number of excavation(B)}}{\text{Road area index(A)}} \quad (1)$$

Excavation Index

$$= \frac{\text{Excavation density in the comparison area}}{\text{Excavation density in the utility tunnel area}} \quad (2)$$

5. 공동구 효과 분석 결과

본 장에서는 4장에서 제시한 분석 방법을 마곡과 상계 공동구 권역에 적용하여 굴착 저감 효과를 확인하였다. 도로 굴착 허가 데이터를 전처리 기준에 따라 정제하고, 권역별 굴착 밀도와 굴착지수를 산출하여 공동구 설치 지역과 인접 미설치 지역을 비교하였다.

5.1 분석 대상 및 범위

서울시 운영 중인 8개 공동구(여의도, 목동, 개포, 가락, 상계, 상암, 은평, 마곡) 중 서남권의 마곡 공동구와 동북권의 상계 공동구를 분석 대상으로 선정하였다. 서울시에서 지리적으로 떨어진 두 권역을 선택하여 특정 지역에 국한되지 않는 분석을 수행하고자 하였다. 여의도, 상암, 은평 등은 강이나 산과 같은 지형적 장벽으로 인해 인접 행정동과 물리적 환경이 단절되어 있어 비교 대상 설정이 어렵다. 반면 마곡과 상계는 인접 행정동과 도로망이 연속적으로 이어져 있어 권역 단위 비교에 적합하다. 또한 공동구는

국가 중요시설로서 보안 관리 대상이므로, 전체 현황을 포괄적으로 다루기보다는 유형별 대표성을 갖춘 표본 권역을 중심으로 분석을 수행하였다.

서남권의 마곡 공동구는 2018년 설치된 신도시형 공동구(연장 3.81km)로, 상수·전력·통신·난방·중수 등 5개 시설을 수용한다. 분석에서는 강서구 마곡동을 공동구 설치 지역으로, 인접한 방화동·발산동·등촌동을 미설치 비교 지역으로 설정하였다. 동북권의 상계 공동구는 1989년 설치된 구도심형 공동구(연장 1.10km)로, 전력·통신 시설을 중심으로 수용한다. 분석에서는 노원구 상계동을 공동구 설치 지역으로, 인접한 중계동·창동(도봉구)·방학동(도봉구)을 미설치 비교 지역으로 설정하였다. 두 권역은 도시 개발 시기(신도시형/구도심형)와 공동구 수용 시설 범위(완전/부분 수용형)가 서로 달라, 공동구 유형에 따른 굴착 저감 효과 차이를 살펴보는 데 적합하다.

5.2 권역별 굴착 밀도 분석 결과

4.2절에서 제시한 전처리 기준을 적용하여 마곡과 상계 권역의 데이터를 집계하였다. 서울시 도로굴착 복구시스템의 「도로점용(굴착) 허가공고」에서 초기 수집된 데이터는 총 11,972건(강서구 7,379건, 노원구 2,057건, 도봉구 2,536건)이었으며, 분석 대상 행정동을 추출하고 전처리를 거친 결과 최종 1,541건으로 정제되었다.

마곡 권역은 1,018건, 상계 권역은 523건이 최종 분석에 활용되었으며, 권역별 데이터 집계 및 전처리 현황은 Table 4와 같다. 정제된 데이터를 바탕으로 4.3절에서 정의한 도로면적지수, 굴착 밀도, 굴착지수를 산출하여 권역별로 분석하였다.

5.2.1 서남권: 마곡 공동구 권역 분석

마곡 공동구 권역의 분석 결과는 Table 5와 같다. 공동구가 위치하고 있는 마곡동을 기준으로 도로면

Table 4. Regional Data Aggregation and Preprocessing Summary

Region			Total DB (Gu-level)		Total DB (Selected Dongs)		Final DB (After Preprocessing)	
Southwest (Magok Utility Tunnel)	Gangseo-gu	7,379			Mok-dong	729	150	
					Banghwa-dong	957	332	
					Balsan-dong	430	196	
					Deungchon-dong	1,520	340	
					Others (remaining areas)	3,743		
Northeast (Sanggye Utility Tunnel)	Nowon-gu Dobong-gu	2,057 2,536			Sanggye-dong	610	163	
					Junggye-dong	189	55	
					Chang-dong	658	189	
					Banghak-dong	485	116	
					Others (remaining areas)	2,651		

Table 5. Normalized Analysis Results for the Southwestern Region: Magok Utility Tunnel

Region	Road Area(m ²)	Road Area Index(A)	Annual number of road excavations attributable to occupying utilities							Excavation Density (B/A)	Excavation Index (Relative)
			'20	'21	'22	'23	'24	Total	Annual Average(B)		
Magok Utility Tunnel	721,030	1.0	33	53	24	15	25	150	30.0	30.0	1.0
Banghwa- dong	513,330	0.7	81	85	83	54	29	332	66.4	93.3	3.1
Balsan-dong	393,898	0.5	44	58	37	27	30	196	39.2	71.8	2.4
Deungchon- dong	499,235	0.7	62	95	91	61	31	340	68.0	98.2	3.3

적지수는 1.0으로 설정하였으며, 5년간 연평균 30건의 굴착이 발생하여 굴착 밀도는 30.0으로 산출되었다. 인접한 방화동·발산동·등촌동은 도로면적지수가 각각 0.7, 0.5, 0.7로 마곡동보다 작지만, 연평균 굴착 횟수는 66.4건, 39.2건, 68.0건으로 나타났다. 이를 도로면적지수로 보정한 굴착 밀도는 각각 93.3, 71.8, 98.2로 산출되어 마곡동보다 높게 나타났다.

굴착지수로 환산하면 마곡동을 1.0으로 할 때 방화동은 3.1배, 발산동은 2.4배, 등촌동은 3.3배 수준이다. 마곡 공동구는 상수·전력·통신·난방·중수 등 5개 시설을 수용하는 신도시형 구조로, 굴착 지수가 인접 지역의 약 1/3 수준(30~41%)으로 낮게 나타났다.

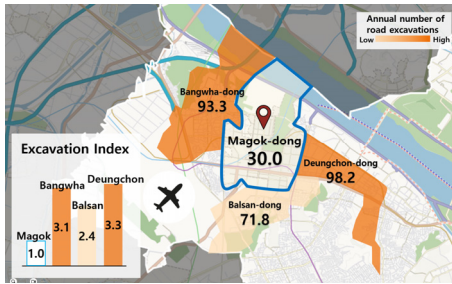
5.2.2 동북권: 상계 공동구 권역 분석

상계 공동구 권역의 분석 결과는 Table 6과 같다. 공동구가 위치하고 있는 상계동을 기준으로 도로면적지수는 1.0으로 설정하였으며, 연평균 32.6건의 굴착이 발생하여 굴착 밀도는 32.6으로 산출되어 마곡동(30.0)과 유사한 수준을 보였다. 인접한 중계동·창동·방학동은 도로면적지수가 각각 0.40, 0.60, 0.41로 상계동보다 작지만, 연평균 굴착 횟수는 16.5건, 37.8건, 23.2건으로 나타났다. 이를 도로면적지수로 보정한 굴착 밀도는 각각 40.8, 62.7, 57.1로 산출되어 상계동보다 높게 나타났다.

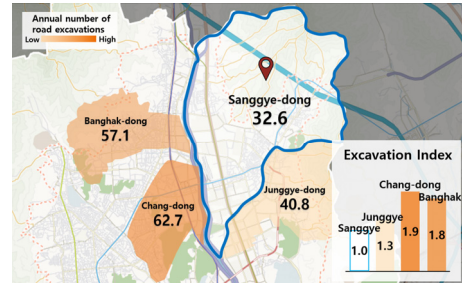
굴착지수로 환산하면 상계동을 1.0으로 할 때 중

Table 6. Normalized Analysis Results for the Northeastern Region: Sanggye Utility Tunnel

Region	Road Area (m ²)	Road Area Index (A)	Annual Number of Road Excavations Attributable to Occupying Utilities							Excavation Density (B/A)	Excavation Index (Relative)
			'20	'21	'22	'23	'24	Total	Annual Average(B)		
Sanggye Utility Tunnel	1,191,151	1.0	57	27	32	29	18	163	32.6	32.6	1.0
Junggye-dong	481,954	0.40	15	8	7	11	14	55	16.5	40.8	1.3
Chang-dong	718,668	0.60	60	45	37	19	28	189	37.8	62.7	1.9
Banghak-dong	484,075	0.41	35	24	26	19	12	116	23.2	57.1	1.8



(a) Road Excavation Analysis near the Magok Utility Tunnel



(b) Road Excavation Analysis near the Sanggye Utility Tunnel

Fig. 2. Results of the Utility Tunnel Effectiveness Analysis

계동은 1.3배, 창동은 1.9배, 방학동은 1.8배 수준이다. 상계 공동구는 전력·통신 시설을 중심으로 하는 구도심형 구조로, 수용시설 범위가 제한적임에도 굴착 지수가 인접 지역이 약 절반에서 3/4 수준(52%~76%)으로 낮게 나타났다.

5.3 도시 유형별 효과 비교 및 고찰

분석 결과, 마곡 권역의 굴착 지수는 인접 지역의 약 1/3 수준, 상계 권역은 약 2/3 수준으로 낮게 나타났다. 두 권역 모두 공동구 설치 지역에서 굴착 저감 효과가 확인되었으며, 마곡 권역의 굴착 저감 폭이 상계 권역보다 더 크게 나타났다(Fig. 2). 이러한 효과 크기 차이는 여러 요인이 복합적으로 작용한 결과로 판단된다.

분석 과정에서 주목할 만한 점은 공동구의 물리적 연장 규모가 효과 크기에 가장 결정적인 영향을 미

쳤을 가능성이다. 마곡 공동구는 연장 3.81km로 해당 지역의 주요 도로망을 면적으로 광범위하게 커버하는 반면, 상계 공동구는 연장 1.10km로 넓은 상계동 권역 중 특정 구간만을 선형으로 통과한다. 실제로 마곡동과 상계동의 굴착 밀도는 30.0과 32.6으로 유사한 수준을 보였으나, 비교 지역과의 차이는 마곡 권역(인접 지역의 30% 수준)이 상계 권역(인접 지역의 76% 수준)보다 굴착 저감 폭이 훨씬 크게 나타났다. 이는 전체 도로망 대비 공동구가 차지하는 연장 비율에 따라 효과가 달라질 수 있음을 시사한다. 또한, 도시 형성 시점과 계획적 연계성도 중요한 영향을 미쳤을 것으로 보인다. 마곡 공동구는 신도시 계획 단계부터 도로망과 일체화되어 설계되어 체계적인 연결 구조를 갖추었으나, 상계 공동구는 이미 형성된 시가지에 후속적으로 도입된 성격이 강하다. 이로 인해 상계 권역에서는 공동구와 연결되지

않은 지선 도로나 개별 구간에서의 굴착 수요가 상대적으로 컸을 가능성이 있다.

수용시설 범위의 차이도 함께 고려할 필요가 있다. 마곡 공동구는 상수·전력·통신·난방·중수 등 5개 시설을 수용하는 완전형 구조로, 해당 시설들의 유지보수나 교체 수요가 발생하더라도 도로 굴착 없이 공동구 내부에서 처리할 수 있다. 반면 상계 공동구는 전력·통신 시설을 중심으로 수용한다. 다만 본 연구에서는 공동구 수용 가능 시설 관련 굴착만을 분석 대상으로 선별하였으므로, 이 요인만으로 효과 크기 차이를 설명하기에는 제한적이다. 그럼에도 상계 공동구에서 최소 1.3배 이상의 굴착 저감 효과가 확인된 점은 의미가 있다. 이는 기존 시가지에서 예 산이나 공간 제약으로 인해 완전형 공동구 도입이 어려운 경우에도, 주요 시설을 우선 수용하는 부분형 공동구를 통해 일정 수준의 효과를 기대할 수 있음을 보여준다.

한편, 마곡 권역의 경우 신도시형 공동구와 인접 기성 시가지 간 관로 매설 시기 차이로 인해 관로 노후도 격차가 굴착 빈도에 영향을 미쳤을 가능성이 제기될 수 있다. 그러나 공동구의 본질적 기능은 관로의 유지보수나 교체 수요가 발생하더라도 이를 도로 굴착이 아닌 공동구 내부 작업으로 전환하는 데 있다. 이에 대한 교차 검증으로서, 관로 매설 시기가 유사한 구도심 권역인 상계 공동구와 인접 지역 간의 분석 결과를 살펴보면, 관로 내구연한 차이가 통제된 조건에서도 공동구 설치 지역의 굴착 밀도가 미설치 지역 대비 유의미하게 낮게 나타났다(굴착 지수 1.3~1.9배). 이는 굴착 빈도 차이가 관로 노후도가 아닌 공동구 설치 자체의 물리적 효과에 기인함을 뒷받침한다.

종합하면, 공동구의 굴착 저감 효과는 도시 유형과 무관하게 나타나지만, 전체 도로망 대비 공동구 연장 비율이 높고 수용시설 범위가 넓을수록 효과가 크게 나타나는 것으로 판단된다. 신도시 개발에서는

주요 기간시설을 포괄적으로 수용하고 계획 단계에서 도로망과 연계하여 설치하는 것이 효과 극대화에 유리하며, 기존 시가지에서는 주요 간선도로를 중심으로 단계적으로 확장하는 전략도 유효할 것으로 보인다.

6. 결론 및 향후 연구

6.1 연구의 요약 및 결론

본 연구는 공동구 설치가 도로 굴착 밀도에 미치는 영향을 단계적으로 분석하였으며, 연구를 통해 얻은 주요 성과는 다음과 같다.

첫째, 공동구 효과 분석을 위한 지표를 선정하였다. 선행 연구 검토를 통해 경제적·사회환경적·물리 시설적 측면의 잠재 지표를 조사하고, 최종적으로 도로 면적 대비 굴착 밀도를 핵심 지표로 확정하였다. 이를 통해 기존 생애주기비용 중심 평가의 한계를 보완하고 지역 간 객관적 비교가 가능한 분석 틀을 마련하였다. 둘째, 실증 분석을 위한 방법론을 수립하였다. 서남권과 동북권의 대표 권역을 선정하고, 최근 5개년 데이터를 수집하여 공동구 수용 가능 시설 관련 굴착만을 선별하는 키워드 기반 전처리를 수행하였다. 또한 도로면적지수, 굴착 밀도, 굴착지수를 정의하여 행정동 간 도로 규모 차이를 보정하는 분석 체계를 구축하였다.

셋째, 공동구 도입에 따른 굴착 저감 효과를 정량적으로 입증하였다. 실증 분석 결과, 마곡 권역의 굴착 지수는 인접 지역의 약 1/3 수준, 상계 권역은 약 2/3 수준으로 낮게 나타났다. 두 권역 모두 공동구 설치 지역의 굴착 밀도가 미설치 지역보다 낮게 나타나, 도시 유형과 무관하게 공동구가 도로 굴착 빈도를 낮추는 데 기여함을 확인하였다. 넷째, 공동구 효과 크기의 결정 요인을 규명하였다. 도시 유형별 효과 비교를 통해 전체 도로망 대비 공동구 연장 비율이 효과 크기에 가장 결정적인 영향을 미치는 것

으로 나타났다. 마곡 공동구(3.81km)가 상계 공동구(1.10km)보다 인접 지역 대비 굴착 저감 폭이 더 크게 나타난 것은 물리적 연장이 길수록 해당 지역에서 공동구가 도로 굴착을 대체하는 구간이 늘어나기 때문으로 분석되었다. 또한 전력·통신 시설만 수용하는 상계 공동구에서도 굴착 지수가 유의미하게 낮은 수준으로 확인되어, 부분형 공동구의 실효성을 확인하였다.

마지막으로, 사회적 비용 절감의 실증적 근거를 제시하였다. 본 연구에서 입증한 물리적 굴착 빈도의 감소는 도로포장 수명 연장, 교통 혼잡 비용 절감, 안전사고 위험 저하로 직결된다. 굴착 밀도와 굴착지수는 향후 공동구 사업의 경제성 분석 및 사회적 편익 산정 시 핵심 입력값으로 활용될 수 있다. 또한, 신도시 개발뿐 아니라 기존 시가지의 도시 재생 사업에서도 공동구 도입 타당성을 뒷받침하는 실증적 근거를 제공하며, 해당 지표는 향후 공동구 관련 제도적 평가 기준으로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

6.2 연구의 한계 및 향후 연구 과제

본 연구는 서울시 실제 데이터를 기반으로 공동구의 굴착 저감 효과를 실증했다는 점에서 의의가 있다. 다만 국가 중요시설의 보안성을 고려하여 분석 범위가 일부 권역에 한정되었으므로, 향후 타 지자체 확대 적용과 장기 시계열 검증을 통해 결과의 일반성을 높일 필요가 있다. 또한 본 연구에서 도출된 공동구 연장 비율과 효과 크기의 관계를 보다 정밀하게 규명하고, 시설별 굴착 특성을 반영한 세분화 분석과 지반침하 예방, 유지관리 효율성 등 파생 효과 검토와 같은 후속 연구가 필요하다고 판단된다.

참고문헌

- 강영구·최익창(2015), “비용편익 분석에 기초한 공동구의 경제적 타당성 평가”, 『한국안전학회지』, 30(5): 29~36.
- Kang, Y. K. and I. C. Choi (2015), “Economic Feasibility of Common Utility Tunnel based on Cost-Benefit Analysis”, *Journal of the Korean Society of Safety*, 30(5): 29~36 (in Korean).
- 국토교통과학기술진흥원(2016), 「도심지 지반함몰 저감을 위한 지하매설물 설치기술 개발 최종보고서」, 안양.
Korea Agency for Infrastructure Technology Advancement (2016), *Final Report on Development of Underground Utility Installation Technology for Reducing Ground Subsidence in Urban Areas*, Anyang (in Korean).
- 국토교통부(2019), 「공동구 관리계획」, 세종.
Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2019), *Utility Tunnel Management Plan*, Sejong (in Korean).
- 국토안전관리원(2025), 「2024년 국토안전 통계연보」, 진주.
- 김기중·고승욱·성진욱(2023), “공간 밀도분석을 이용한 재정비 대상지 탐색에 관한 연구”, 『LHI Journal』, 14(2): 35~50.
- 김동휘·조중연·송창근·오원준(2024), “공동구 리빌딩 및 성능개선 공사 중 확폭공사에 대한 사고 저감 및 제거 방안 연구”, 『한국안전학회 논문집』, 39(6): 34~43.
- _____ (2025), “공동구 다중 재해 위험인자 분석을 통한 Bow-Tie 선도 개발”, 『한국안전학회 논문집』, 40(6): 29~38.
- 박성완·황규영(2006) “서울시 도로의 포장 공용성 상태 평가”, 『서울도시연구』, 7(2): 25~39.
- 서울연구원(2016), 『서울시 도로함몰의 실태와 안전관리 개선방안』, 서울.
Seoul Institute (2016), *The Road Subsidence Conditions and Safety Improvement Plans in Seoul*, Seoul (in Korean).
- 오원준·나귀태·조중연·이민재(2019), “기존시가지의 규모(면적)에 따른 공동구 설치 타당성에 관한 연구”, 『대한토목학회논문집』, 39(6): 903~911.
- 오원준·조중연·이민재(2020a), “공동구 기본계획 기준수립을 위한 절차 및 적용사례에 대한 연구”, 『한국건설관리학회 논문집』, 21(4): 100~107.
- _____ (2020b), “지하공동구 활성화를 위한 관련규정 체계 개선에 관한 연구”, 『한국산학

- 기술학회 논문집」, 21(8): 563~571.
13. 오원준·조중연·이용준(2025), “공동구 확률적 성능 등급 예측을 위한 베이지안 네트워크 모델”, 「토지주택연구」, 16(4): 147~162.
14. 이석민·윤형미(2017), “도심지 지반함몰에 관한 예방정책 개선안 연구”, 「서울도시연구」, 18(1): 27~42.
Lee, S. M. and H. M. Yoon (2017), “A Study for Improvement of Policy on Ground Subsidence Prevention in Urban Areas”, *Seoul Studies*, 18(1): 27~42 (in Korean).
15. 이필윤(2018), “LCC 분석에 기초한 공동구 설치의 비용편익 분석 방법론”, 석사학위논문, 충남대학교.
Lee, P. Y. (2018), *A Methodology for Cost-Benefit Analysis of Utility Tunnel Installation Based on LCC Analysis*, Master's Thesis, Chungnam National University (in Korean).
16. 조영석·장연수(2017), “도심지 지반함몰의 초기발생현상에 대한 흐름해석적 접근”, 「LHI Journal」, 8(1): 13~22.
Jo, Y. S. and Y. S. Jang (2017), “Flow Analysis Approach to Triggering Phenomenon of Ground Sinking in a Metropolitan Area”, *LHI Journal of Land, Housing, and Urban Affairs*, 8(1): 13~22 (in Korean).
17. 한국교통연구원(2024), 「[2024 교통정책 평가지표] 제3권 교통혼잡비용」, 세종.
Korea Transport Institute (2024), *[2024 Transport Policy Evaluation Indicators] Vol. 3, Traffic Congestion Costs*, Sejong (in Korean).
18. ARA (2021), *Comparison of Utility Cut Impacts on Pavement Performance*, Albuquerque: Applied Research Associates Inc.
19. Broere, W. (2024), “Urban Underground Space for Resilient Cities”, *Proceedings of the 18th Conference of the Associated Research Centers for the Urban Underground Space: ACUUS 2023*, Singapore, 471: 611~616.
20. Canto-Perello, J. and J. Curiel-Esparza (2013), “Assessing governance issues of urban utility tunnels”, *Tunnelling and Underground Space Technology*, 33: 82~87.
21. Gilchrist, A. and E. N. Allouche (2005), “Quantification of Social Costs Associated with Construction Projects: State-Of-The-Art Review”, *Tunnelling and Underground Space Technology*, 20(1): 89~104.
22. Gu, Y., C. Wang, Y. Liu and R. Zhou (2025), “An Ontology-Based Multi-Hazard Coupling Accidents Simulation and Deduction System for Underground Utility Tunnel: A Case Study of Earthquake-Induced Disaster Chain”, *Reliability Engineering & System Safety*, 253: 110559.
23. Jin, K., W. Jin, B. Liu, K. Wu and Z. Wang (2025), “Cost Calculation Model for Engineering Structures Based on a Life Cycle Perspective” *Buildings*, 15 (16): 2923.
24. Matthews, J. C., E. N. Allouche and R. L. Sterling (2015), “Social Cost Impact Assessment of Pipeline Infrastructure Projects”, *Environmental Impact Assessment Review*, 50: 196~202
25. Oh, W. J., C. Y. Cho and M. J. Lee (2026), “Optimized Route Selection for Urban Utility Tunnels Based on Prioritization Analysis”, *KSCE Journal of Civil Engineering*, 30(2): 1~16.
26. Rahmani, M., Y. R. Kim, Y. B. Park and J. S. Jung (2020), “Mechanistic Analysis of Pavement Damage and Performance Prediction Based on Finite Element Modeling with Viscoelasticity and Fracture of Mixtures”, *LHI Journal of Land, Housing, and Urban Affairs*, 11(2): 95~104.
27. Shahin, M. Y. (2005), *Pavement Management for Airports, Roads, and Parking Lots*, New York: Springer Science & Business Media
28. Xue, G., S. Liu, L. Ren and D. Gong (2024), “Risk Assessment of Utility Tunnels through Risk Interaction-Based Deep Learning”, *Reliability Engineering & System Safety*, 241: 109626.
29. 국가법령정보센터(KLIC), “도로법 시행령”, 2025.10.18. 읽음. <https://www.law.go.kr>.
Korean Law Information Center, “Enforcement Decree of the Road Act”, Accessed October 18, 2025. <https://www.law.go.kr> (in Korean)
30. 국가소음정보시스템(NNIS), “소음 관련 통계 데이터”, 2025.10.15. 읽음. <https://www.noiseinfo.or.kr>.
National Noise Information System (NNIS), “Noise Statistics Database”, Accessed October 15, 2025. <https://www.noiseinfo.or.kr> (in Korean).

31. 기반시설관리시스템(Inframanage), “도시기반시설 15종 통합관리체계 구축 보도자료”, 2025.10.5. 읽음. <https://www.inframanage.go.kr>.
32. 서울시 도로굴착복구시스템, “연간 굴착 복구비용 통계 데이터”, 2025.10.31. 읽음. 도로굴착복구복구시스템. <https://roaddig.seoul.go.kr/>.
Seoul Road Excavation Restoration System, “Annual Statistics on Excavation Reinstatement Costs”, accessed October 31, 2025. <https://roaddig.seoul.go.kr> (in Korean).
33. 시설물통합정보관리시스템(FMS), “시설물통합정보 관리시스템 소개”, 2025.10.28 읽음. <https://www.fms.or.kr>.

요 약

본 연구는 공동구 설치에 도로 굴착 밀도에 미치는 물리적 영향을 정량적으로 규명하는 것을 목적으로 한다. 기존의 공동구 효과 분석은 주로 생애주기비용 중심의 경제성 평가에 치중되어, 실제 도로 공간에서 발생하는 물리적 굴착 저감 효과를 직관적으로 설명하는 데 한계가 있었다. 이에 본 연구는 공동구 설치 지역과 인접한 미설치 지역 간의 도로 굴착 밀도를 비교 분석하는 방법론을 제안하였다. 효과 분석을 위해 선행 연구와 이론 검토를 바탕으로 ‘도로 면적 대비 굴착 밀도’를 핵심 지표로 선정하였다. 이후 행정동 간 도로 규모 차이를 보정하기 위해 도로면적지수를 적용하고, 이를 바탕으로 굴착 밀도와 굴착지수를 산출하여 정량적으로 비교하였다. 서울시 8개 공동구 중 대표 사례 2개 권역(마곡, 상계)을 대상으로 5개년(2020~2024) 굴착 데이터를 분석한 결과, 공동구 설치 지역의 굴착 밀도가 미설치 지역 대비 현저히 낮게 나타났다. 구체적으로 마곡 공동구 권역의 굴착지수는 인접 지역의 약 1/3 수준으로 낮게 나타났으며, 상계 공동구 권역에서도 약 2/3 수준으로 유의미하게 감소한 것이 확인되었다. 본 연구는 공동구의 효용성을 물리적 지표로 입증함으로써, 향후 공동구 타당성 분석의 제도적 평가 기준 마련 및 도시 기반시설 유지관리 정책 개선에 실증적 근거를 제시하였다는 데 의의가 있다. 향후 시설물별 굴착 빈도 특성이나 지반침하 예방 등 파생효과에 대한 추가적인 연구가 요구된다.

주제어: 공동구, 도로 굴착, 굴착 밀도, 도로면적지수, 도시 기반시설 관리