

환경기초시설 지하화 현황과 사회적 투자수익률 분석: 소각시설을 중심으로*

Analysis of the Status of Undergrounding Environmental facilities and Social Return on Investment Analysis

김다빈** · 김도완*** · 이종수**** · 배재근*****

Dabin Kim · Dowan Kim · Jongsoo Lee · Chaegun Phae

요약: 국내에서는 다양한 목적과 형태로 환경기초시설의 지하화가 추진되고 있으나, 타당성 평가 방법이 존재하지 않고, 그 실효성을 판단하기에 어려움이 있다. 사회적 투자수익률 분석법(SROI)은 사회적 가치를 측정하는 방법론으로 의사결정을 위한 주요수단으로 널리 활용되고 있다. 이에 본 연구에서는 지하화의 도입 특성을 파악하기 위해 관계자 인터뷰와 문헌조사를 통해 지하화 현황을 분석하고, 지하화 추진의 타당성을 분석하기 위해 사회적 투자수익률 분석법(SROI)을 활용하여 시나리오에 따른 타당성을 평가하여 지하화의 가능성을 판단하였다. 현황을 분석한 결과, 지하화 추진 주요 목적은 토지 효율성 극대화, 주민수용성 확보가 약 65% 정도인 것으로 나타났다. 또한 수도권은 소규모의 재활용처리시설, 음식물처리시설, 비수도권은 대규모 하수처리시설, 소각시설이 지하화된 것으로 나타났다. SROI 분석을 통해 기존 소각장 소각로 증설 안의 순 SROI 비율 0.66을 계산하였고, 이를 이용하여 신규 소각시설 지하화 설치안의 최대 지하화 공사비 99,963백만원을 도출하였다. 또한 기준 용량별 지하화 공사비를 계산하고 회귀분석을 통하여 지하화 판단을 위한 시설 설치용량과 지하화 공사비에 대한 회귀식을 제시하였다. 본 연구의 연구 방법과 결과는 향후 각종 환경기초시설을 신규 설치하거나 개보수하는 경우, 지하화 여부 판단에 응용할 수 있을 것이다.

핵심주제어: 환경기초시설, 남비현상, 지하화, 사회적투자수익률, 소각시설

Abstract: In Korea, the underground development of environmental infrastructure—public systems that provide water supply, waste disposal, or pollution control—is a concept that is currently promoted among municipalities. However, the lack of a comprehensive method to assess feasibility hampers the efficacy evaluation of underground infrastructure. For this study, we turn to social return on investment (SROI) analysis, a methodology that measures social, environmental, and economic value. SROI is a widely-used and important tool to evaluate the social and ecological impact of these projects. This study analyzes undergrounding projects through the use of stakeholder interviews and literature research in order to assess the implementation of these projects. SROI analysis is used to evaluate the

* 이 연구는 환경부 녹색융합기술인재양성특성화대학원사업의 지원으로 수행되었으며, 또한 한국환경공단과 폐자원에너지화 특성화대학원사업의 지원으로 수행되었습니다.

** 주저자, 서울과학기술대학교 환경공학과 석사과정

*** 공동저자, 서울과학기술대학교 환경기술연구소 연구원

**** 공동저자, 서울과학기술대학교 환경기술연구소 연구원

***** 교신저자, 서울과학기술대학교 환경공학과 교수

feasibility of installing underground infrastructure in various scenarios. The analysis reveals that the primary objectives of underground infrastructure, such as optimization of land use and community acceptance, are validated in approximately 65% of the cases. Additionally, the study observes that small-scale recycling and food-waste facilities are installed underground in metropolitan regions, while large-scale sewage treatment and incineration facilities are underground in non-metropolitan regions. In conducting the SROI analysis, a net SROI ratio of 0.66 is used to calculate the proposed expansion of an existing incineration facility. As a result, the cost is deemed efficient enough that a new underground incineration facility could be proposed, with a maximum construction cost estimated at 99,963 million KRW. The study calculates construction costs based on standard capacities, and presents a regression equation that shows a relation of installation capacities to underground construction expenses. This provides valuable insights for decisions to transition to underground infrastructure. The research methodology and findings of this study can apply to future environmental infrastructure projects, whether new installations or renovations, to assess the feasibility of implementation.

Key Words: Environmental facility, NIMBY, Undergrounding, SROI, Incineration facility

I. 서론

환경기초시설이란 국가나 지역의 발전을 위한 필수 시설을 말하며 물 공급, 하수처리, 폐기물처리, 에너지 공급, 대기질 등을 관리하는 필수 시설을 의미한다. 폐기물처리시설과 하수처리장은 대표적인 입지갈등 유발 시설로 (윤영채·전주상, 2000) 악취, 소음, 분진 등 생활의 문제와 그에 따른 땅값 하락 등 재산상의 문제를 일으켜 신규 설치 시 지역주민들과의 입지갈등을 유발한다.

한국환경공단에서 매년 발표하는 『전국 폐기물 발생 및 처리현황』과 김란희·박진규·이남훈(2021)에 따르면 폐기물의 전체 발생량은 2003년 이후 2022년까지 꾸준히 증가해왔으나, 폐기물 처리시설의 설치에 대상 지역 주민 반대 등의 님비현상이 심화되어(이해승, 2004; Wang and Gong, 2018) 증가량에 대응한 시설의 설치가 지연되고 있다. 특히 2026년부터 수도권지역, 30년부터 종량제봉투대상 폐기물의 직매립금지가 시행됨에 따라 쓰레기 처리에 대한 관심이 야기 될 것으로 예측되고 있다. 국내에서는 주변 지역주민들의 반대를 해결하고 악취 등의 2차 오염 피해를 예방하기 위하여 환경기초

시설 지하화에 관한 관심을 유도하였고(건설교통부, 2004), 중구 자원재활용 처리장, 도봉구 음식물중간처리장 등의 지하화 시설 설치를 시작으로 환경기초시설의 신규 설치 시 시설의 지하화를 고려(최성원·이재영, 2021; Sun, Lin, Lin, Quan, Zhang and Ma, 2019)하는 사례가 증가하고 있다. 최근 설치된 하남 U타워는 신규 설치 시점부터 시설 지하화를 고려하여 다양한 폐기물 처리시설과 하수처리시설을 집약하고, 동시에 지상에는 주민 편의시설을 제공함으로써 시설의 집약화와 사회적 비용, 낭비현상을 해결한 모범사례로 알려져 있다.

하지만 국내의 지하화 설치 환경기초시설은 지하화 목적, 효과 등이 모두 상이하고, 이에 따라 효과적으로 신규 환경기초시설의 지하화를 검토하기 위해서는 사전에 지하화를 진행한 환경기초시설들의 현황 파악이 요구된다.

현재 소각시설의 신규 설치, 증설, 개보수에 대한 논의가 꾸준히 진행(안준영·이상운, 2020)되고 있으나, 소각시설의 지하화와 관련된 표준화된 평가 방법과 비용에 관한 표준단가 등이 존재하지 않는 상태(환경부, 2023)로 시설 신규 설치 및 개보수를 진행하는 경우 지하화 타당성 여부를 판단할 수 있는 근거를 마련하기 어렵고, 지하화 시설공사 단가를 산정하는 것에 어려움이 있는 상태이다.

따라서 본 연구에서는 국내에서 주로 지하화가 진행된 환경기초시설 중 하수처리시설과 폐기물처리시설을 중심으로 지하화 현황, 지하화 방법과 목적, 지하화로 얻은 효과 등의 사례를 분석하였으며, 이를 바탕으로 사회적 편익을 계산하여 A시의 소각시설 지하화를 전제로 소각시설의 지하화 타당성을 검토하였다.

지하화 타당성에 대한 의사 결정 모델로 A시의 기존 소각시설 증설 및 지하화 신규 설치 두가지 안을 바탕으로 소모 비용과 사회적 편익, 사회적 투자수익률(Social Return on Investment(SROI))를 계산하여 지하화 공사비의 적정 구간을 제시하였으며, 각 기준 용량별 지상과 지하에 신규 소각시설을 설치하는 경우의 사회적 투자수익률을 비교하여 이에 따른 적정 지하화 공사비를 바탕으로 회귀식을 도출하여 기준용량-지하화 공사비 회귀식을 소각

시설 신규 설치시 지하화 공사비에 대한 타당성 평가 방법으로 제시하였다.

II. 연구방법

1. 지하화 현황조사

환경기초시설의 지하화 현황은 폐기물처리시설과 하수처리시설로 국한하여 설정하였다. 폐기물 처리시설은 한국환경공단(2022b)의 『2022년도 폐기물처리사업 및 처리시설 설치·운영 실태평가 결과 보고서』에 집계되어 있는 시설 중 소각시설, 생활자원회수센터, 음식물류폐기물 자원화시설을 대상으로 하였다. 하수처리시설은 한국환경공단(2020a)의 『공공하수처리시설 현황』에 등록된 공공하수처리시설(시설용량 30,000m³ 이상)을 대상으로 하였다.

관계자 인터뷰를 통해 각 시설의 지하화 여부를 조사하였고, 파악된 지하화 시설을 중심으로 문헌조사를 통해 시설유형, 부지면적, 공사비, 지하화 목적 및 효과를 분석하였다.

2. 사회적 투자수익률(SROI) 분석

환경기초시설의 지하화는 사업성의 타당성을 검토하는 단계에서 경제적인 측면만 고려한다면 경제성이 낮아 시행이 어렵다. 지하화를 통하여 상부부지에 공원, 문화센터 등을 설치하여 얻어지는 사회적 가치에 대해서 경제적 가치를 측정하기 어려운 문제가 존재하기 때문이다. 따라서 사업 추진의 타당성 확보를 위해서는 사회적 가치를 측정하는 방법을 사용하였으며, 대안별 비교가 가능한 SROI 분석법(Nicholls, Lawlor, Neitzert and Goodspeed, 2009)을 활용하였다. SROI 분석법은 주로 사회적기업의 성과분석에서 주로 사용하는 분석법으로, 환경 분야에서는 물환경 인프라시설의 투자방향을 결정할 때 사용한 연구(류재나·강형식, 2016)가 존재한다.

SROI 분석법은 사회적 가치를 정량화하여 투자의 사회적 영향을 평가하는 방법론으로 사회적·환경적·경제적 영향을 모두 고려하여 투자의 총체적 가치를 평가한다. 이를 위해 프로젝트 또는 정책으로 인해 발생하는 긍정적 및 부정적 결과를 정량화하고, 이를 통해 투자의 가치와 효과를 측정한다. SROI는 <식 1>, <식 2>와 같은 방법으로 계산하며(Nicholls et al, 2009), 현재 가치와 투입물의 가치는 미래 예측, 순편익의 현재 가치 산출, 민감도 분석, 편익발생 기간 등을 검토하여 계산할 수 있다.

$$SROI = \frac{\text{현재가치}}{\text{투입물의 가치}} \quad \langle \text{식 1} \rangle$$

$$\text{순 } SROI = \frac{\text{순현재가치}}{\text{투입물의 가치}} \quad \langle \text{식 2} \rangle$$

미래 예측은 미래에 달성할 수 있는 모든 결과물의 가치를 예측하는 것을 의미하며, 얻을 수 있는 모든 사회적/실질적 이득을 합한 것을 의미한다. 순편익의 현재 가치는 편익의 현재가치에서 투자량을 제하여 산출한다. 민감도 분석은 여러 요인의 가치를 포함하여 시간에 따른 투입물의 가치 변화를 검토하는 것을 의미하며, 회수기간은 투자금액을 회수하는 데 소요되는 시간을 의미한다. 본 연구에서는 소각시설의 설치를 중점 사안으로 두고 SROI 분석을 진행하였기 때문에 편익발생기간은 소각시설의 평균 내구연한인 15년으로 고려하였다.

SROI 분석의 대상인 A시의 자원회수시설은 2000년부터 가동 중이며, 내구연한 15년을 초과하였고, 내부에 기계장치 및 조작용 부식 등으로 노후하여 시설개선이 필요하다. 또한, 인근 주변이 대규모 신도시로 지정되어 기존의 시설로 인해 민원 등이 야기 될 것으로 예상된다. 즉, 시설의 노후화, 민원 발생 등과 같은 문제점을 해결하기 위한 대책이 요구된다.

A시는 기존 처리시설 부지에 시설을 확장, 다른 지역으로 이전하여 시설을 설치하는 두 가지 방안을 고려하고 있으며, 이에 따라 각 방안별 비용-편익 항목을 분석하여 <표 1>에 나타냈다.

기존 소각장 부지에 환경기초시설을 확장하는 방안 1은 다른 방안들에 비해 처리시설 건설비가 적을 것이다. 하지만 다른 방안에 비해 민원이 발생할 확률이 높고, 상부 부지를 활용하지 못한다는 단점이 존재한다. 새로운 부지에 지하화 설치하는 방안 2의 경우, 토지 매입 비용과 지하화 공사비가 발생하나, 공사 완료 후 토지 판매수익을 기대할 수 있다. 본 연구에서는 상부 부지를 지역주민들을 위한 생태체육공원의 형태로 활용한다고 가정하였으며, 방안 1과 2을 비교하여 SROI를 계산하였다.

〈표 1〉 A시 환경기초시설 재투자 문제 비용·편익 항목

구분		방안 1	방안 2
내용		기존 소각장 부지에 환경기초시설 확장	새로운 부지에 환경기초시설 지하화·설치
비용	경제적	처리시설 건설비 처리시설 운영비 처리시설 대보수비	처리시설 건설비 처리시설 운영비 지하화 공사비 토지 매입
	환경·사회적	갈등비	갈등비 공원 조성비
편익	경제적		토지 매출
	환경·사회적	시설용량 증가	시설용량 증가 지하화 편익 악취개선 편익

SROI 분석을 위해 필요한 여러 비용-편익 항목들과 계산 방법은 〈표 2〉에 나타냈고, 각 계산 방법별로 사용되는 인자는 다음과 같다. 투자 비용은 크게 시설공사비, 운영비, 대보수비, 지하화 공사비와 공원 조성비로 나뉜다. 공사비의 경우 환경부(2023)의 『2023 폐기물처리시설 국고보조금 업무처리지침』에 따라 소각시설 설치비용 표준단가 4.98억원/톤을 적용하여 계산하였다. 운영비는 평균 소각시설 내구연한 15년간 시설을 가동률 102.6%(한국환경공단, 2023)로 가동하면서 전력 이용유무 관련 더미변수 D가 0이라고 가정하여 계산(최성원·김지훈, 2018)하였다. 지하화 공사비는 SROI 분석을 통해 계산하였고, 계산을 위해 'x'라고 가정하였다. 대보수비는 소각시설 대보수비용 표준단가 3.63억원/톤을 적용하여 계산하였고(환경부, 2023) 환경·사

회적 비용의 갈등비용은 운영비에 포함된다고 가정하였다. 공원 조성비의 경우 대구광역시 수성구(2019)의 『폐기물처리시설 부지 소요 면적 산정 기준』에서 제시하는 폐기물처리시설 시설부지 면적(15m²/톤)과 국토교통부(2022)의 『기반시설 표준시설비용 단위당 표준조성비 고시』에서 제시하는 공원 조성비 93,000원/m² 을 이용하여 계산하였다. 경제적 비용의 토지 매입 비용과 경제적 편익의 토지 매출 편익은 변동되는 토지 시세와 실제 거래 가격의 파악이 어려워 본 연구에서는 고려하지 않았다.

〈표 2〉 SROI 분석을 위한 주요 인자 계산 방법

구분	주요 인자	인자 계산 방법
투자비용 (백만원) [A]	시설 공사 예산	시설용량(톤/일) × 3.96억원/톤 × 365일/년 × 15년(내구연한)
	기존 시설 대보수 예산	대보수용량(톤/일) × 2.87억원/톤 × 365일/년 × 15년
	지하화 공사비	'x' 라 가정
	운영비	15년 × e ^{3-349+0.656ln(시설용량)+0.416ln(가동률)+D_{운영비}} (백만원/년)
	공원 조성비	시설용량(톤/일) × 소요면적(m ² /톤) × 93,000원/m ²
발생편익 (백만원) [B]	소각장 운영 발생 편익	시설용량(톤/일) × 230,000원/톤 × 365일/년 × 15년
	상부 부지 활용 편익 (생태체육공원)	지불의사액(원/월 · 가구) × 세대수(가구) × 12월/년 × 15년
	악취저감 편익	지불의사액(원/월 · 가구) × 세대수(가구) × 12월/년 × 15년
	순편익의 현재 가치a) [B-A]	총 발생편익 - 총 투자비용
순 SROI 비율b)	순현재가치 총 투자비용	

a) 순편익의 현재 가치(NPV) = [발생 편익] - [투자 비용]

b) (순) SROI 비율 = 순편익의 현재 가치/투자비용

환경·사회적 편익의 경우 시설용량 증가로 인한 편익과 지하화 편익, 악취 저감 편익으로 분류하였다. 시설용량 증가로 인한 편익은 평균 위탁소각단가 230,000톤/원을 적용하여 평균 소각시설 내구연한 15년간 부하율 100%로 365일 위탁소각을 진행하였을 때 소모되는 비용으로 가정하였다. 지하화 편익은 지하화 현황조사에서 주로 사용되는 상부 활용방법인 생태체육공원으로 상부 공간을 활용한다 가정하고, 이에 대한 지불의사액¹⁾을 활용하여 계

1) 생태체육공원이 건설되었을 때 월간 지불할 의사가 있는 금액

산하였다. 지불의사액은 가구당 연평균 2,949원/월로 나타났고(곽소윤·이주석·유승훈, 2008), 지하화 편익을 계산하기 위해 2008년부터 2022년까지의 소비자물가지수²⁾을 고려하여 2022년의 생태체육공원에 대한 지불의사액은 3,887원/월로 가정하였고, 지불의사액과 A시의 현재 소각시설 위치 인접 지역의 인구 현황(행정안전부, 2022)을 활용하여 지하화 편익을 계산하였다. 악취저감 편익은 소각시설의 악취저감에 대한 지불의사액과 관련된 연구가 존재하지 않아, 산업단지의 악취 저감에 따른 지불의사액 3,700원/월(이나영·김광익·이세림·유소라·조용성, 2017)과 2017년-2022년의 소비자물가지수 변화³⁾를 고려하여 산정된 4,083원/월을 활용하여 계산하였다.

산출한 비용-편익 항목과 <표 2>의 인자들을 활용하여 SROI 분석을 통해 각 방안 별 순 SROI 비율을 계산하여 비교하였고, 지하화 방안이 기존 시설 보수 및 증설 방안보다 타당한 최대 지하화 공사비를 산출하여 제시하였다.

3. 소각시설 설치 시 지하화 의사 결정 모델 제시

환경부(2023)의 『2023 폐기물처리시설 국고보조금 예산지원 및 통합업무 처리지침』에 따르면, 소각시설 설치 시 설치비용 표준단가는 시설 규모별로 상이하다. 또한 공원 조성비 또한 소각시설 용량에 따라 변화하는 부지 소요 면적 산정 기준의 영향에 따라 상이하다. 따라서 SROI 분석에 사용되는 인자들이 시설용량에 따라 변화하기 때문에 <표 2>의 계산식을 모든 용량의 소각 시설에 일괄적으로 적용할 수 없다. 따라서 회귀식을 제시하기 위해 통합업무지침 기준용량 구간의 중간값인 15, 40, 75, 150, 250톤/일 시설의 설치를 가정하고, SROI 분석을 통해 최대 지하화 공사비 'x'를 계산하였고, 시설용량과 'x'를 기준으로 선형 회귀 분석법을 활용하였다. 시설공사 예산, 운영비, 공원 조성비는 <표 2>과 같은 방법으로 계산하였고, 시설공사 예산은 통합업무처리지침의 기준용량에 따라 변화하는 표준단가를 적용하여 계산하였다. 지상 설치 시 편익은 소각장 운영으로 인하여 발생하는 편익만 고려하

2) 2008-2022년 소비자물가지수 기반 물가상승률 31.82%, 통계청

3) 2017-2022년 소비자물가지수 기반 물가상승률 10.35%, 통계청

였고, 지하 설치 시 발생하는 편익은 소각장 운영 편익과 상부 부지를 생태체육공원으로 활용하였을 때 기준으로 지불의사액과 가정한 인구수를 바탕으로 계산하였다. 지하화 편익을 구하기 위한 가구 수는 기존 시설 인접 지역 가구 수(163,514)와 560톤/일 시설을 기준으로 비례를 통해 가정하였다.

III. 연구결과

1. 지하화 현황 분석

문헌조사 및 관계자 인터뷰를 통하여 국내의 주요 환경기초시설 중 지하화가 진행된 시설들의 사례를 조사하였으며, 시설의 종류, 지하화 방법, 지하화 효과를 정리하여 <표 3>과 <표 4>에 나타냈다.

<표 3> 국내 환경기초시설 지하화 사례

<p>하남 유니온파크</p>	<p>동대문 환경자원센터</p>
<p>안양 새물공원</p>	<p>도봉 음식물자원화시설</p>

주: (출처) 하남도시공사, 서희건설, 안양시청, 도봉구청

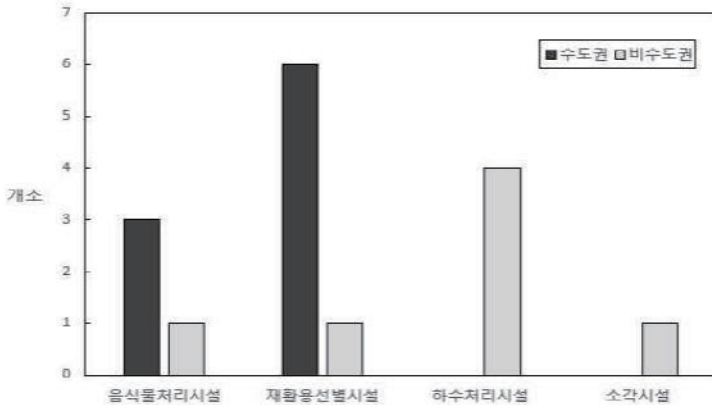
〈표 4〉 국내 주요 지하화 시설 현황

시설명	시설유형	시설용량	인구밀도	부지면적	공사비 ^{a)}	지하화 목적	지하화 기대 효과
도봉 음식물 자원화시설	음식물 처리시설	150톤/일	15,332 명 /km ²	18,166 m ²		도심지에 위치하여 악취 민원 발생	악취 민원 해소 지상을 운동시설로 하여 주민에게 개방
강북재활용품 선별처리시설	재활용 선별시설	100톤/일	13,583 명 /km ²	8,126 m ²	2,455억	부지난 극복 상부층을 공원화	민원 해소차원 상부는 공원화하여 주민에게 개방 지하 4층 규모
동대문 환경 자원센터	음식물 처리시설 재활용 선별시설	음식물 98톤/일 재활용 20톤/일	23,756 명 /km ²	9,298 m ²	619억	부지활용의 효율화 구청 앞의 유휴 부지 활용	악취문제 해소 부지난 해소 구청 앞에 설치하여 의자표명 지상을 공원으로 조성
중구 자원 재활용처리장	재활용 선별시설	20톤/일	13,231 명 /km ²	4,189 m ²		부지 활용의 효율화	기존 공원 부지의 지하 공간을 활용 도시 부지 활용 극대화 상부 층은 공원으로써 개방
강남 환경 자원센터	재활용 선별시설	50톤/일	13,778 명 /km ²	9,112 m ²	321억	도심지 내의 부지난을 극복	보금자리주택건설 등으로 주변 환경 정비 자치구의 재활용기반 시설 확충
강동구 자원 순환센터 (예정)	음식물처리 시설 재활용선별 시설	음식물 360톤/일 재활용 70톤/일	18,795 명 /km ²	42,553 m ²	2,327억	NH공사에서 개발부담금 지원 현재 시설의 노후화	지상 공원 조성 하남시를 모델로 진행
경기도 인양 새물공원	하수처리 시설	250,000m ³ /일	9,519 명/km ²	103,353 m ²	3,297억	도시개발 계획의 일환 NH공사 비용 부담	음식물류 폐기물 하수 병합처리 악취 민원 해소 및 지 상 체육공원 수익창출
경기도 하남 유니온파크	하수처리 시설 소각시설 음식물 처리시설 재활용 선별시설	하수 32,000톤/일 소각 48톤/일 음식물 80톤/일 재활용 50톤/일	3,091 명/km ²	79,057 m ²	2,730억	악취 문제 부지 활용의 효율화	악취문제 해소 상부 주민편의시설 설치 소각 폐열 주민공급 공원조성 및 굴뚝 조형 물을 지역 랜드마크로 활용, 수익창출
경기도 용인 수지레스피아	하수처리 시설	150,000m ³ /일	1,824 명/km ²	123,267 m ²		설립 반대 민원 해소	지상 공간 지역주민 공원 제공을 통한 민원해결
경기도 김포 통진레코파크	하수처리 시설	40,000m ³ /일	983 명/km ²	53,889 m ²		주민 친화 시설로 전환	테마정원 조성 레포츠시설 개방을 통 한 주민친화 및 홍보시 설로 전환, 수익창출

a) 공사비의 경우 1990년대 설치하여 실시설계서가 없는 경우, 민간투자 BTO 사업으로 설치된 시설의 경우는 제외

시설유형에 대한 현황을 파악하기 위해 수도권과 비수도권을 중심으로 주로 지하화가 진행된 환경기초시설 유형을 <그림 1>에 나타냈다. 수도권에 위치한 시설 중 지하화가 진행된 시설들은 시설부지가 비교적 좁고, 설비가 적게 요구되는 음식물처리시설, 재활용처리시설들이 주로 지하화되는 것으로 나타났다. 수도권에 위치한 시설의 경우 인구밀도와 부지 가격이 높은 수도권의 특징으로 인해 부지 활용을 극대화하고, 민원 억제를 위해 지하화를 진행하는 것으로 보인다. 비수도권은 시설부지가 넓은 하수처리시설이 주로 지하화되는 것으로 나타났으며, 공간을 많이 확보할 수 있는 시설을 중심으로 지하화를 진행하고 있는 것으로 보인다. 이는 시설 광역화를 통해 평균적으로 부지면적과 시설용량이 크고, 환경기초시설 상부 부지 가격이 상대적으로 낮은 비수도권의 특징으로 주민들의 인식개선 및 수익 창출을 주요 사안으로 고려하여 지하화를 진행하기 위함으로 보인다.

<그림 1> 지역에 따른 시설 지하화 유형 분석



수도권과 비수도권의 부지면적 및 공사비의 특성을 분석하기 위해 <표 4>의 부지면적과 시설공사비를 기준으로 수도권과 비수도권의 평균 부지면적당 공사비를 계산하여 <표 5>에 나타냈다. 계산 결과 수도권에 위치한 시설이 비수도권에 위치한 시설에 비해 지하화가 실제로 진행되는 부지 면적이 좁으나, 부지 가격 및 시설 종류 등의 요인으로 인하여 수도권의 부지면적당 지하

화 시설 평균 공사비용이 비수도권에 비해 큰 것으로 나타났다.

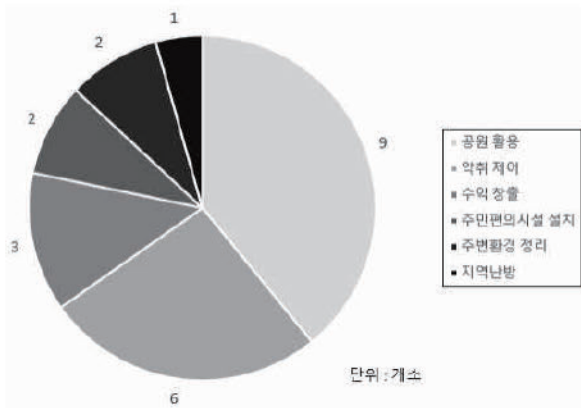
〈표 5〉 지하화 시설 평균 부지면적 당 공사비

구분	수도권	비수도권
총 공사비(백만원)	572,200	602,700
총 부지면적(m ²)	69,083	182,410
부지면적 당 공사비(백만원/m ²)	8.28	3.30

주: 공사비 자료를 찾을 수 없는 경우 부지면적 합계에서 제외(총 10개중 4개 제외)

지하화 진행 주요 목적 및 기대효과의 현황을 분석하기 위해, 각 지하화가 진행된 시설별 주요 목적과 기대효과를 분석하여 〈그림 2〉에 나타냈다. 지하화 목적 및 기대효과는 크게 ‘부지 활용도를 높이기 위함’과 ‘악취 발생을 억제하기 위함’의 두 가지로 나뉘며 그 이외에도 상부 부지 활용으로 수익 창출, 주민편의시설 설치, 주변 환경 정리, 지역난방 활용 등의 목적과 기대효과가 있는 것으로 나타났다.

〈그림 2〉 지하화 주요 목적 및 기대효과 분석(복수응답)



〈그림 1〉, 〈표 4〉와 연계하여 분석하였을 때, 수도권 지역의 환경기초시설은 주로 악취제어와 지역주민 반발 억제 목적으로 상부 부지를 공원으로 활용하여 지하화를 진행하는 것으로 나타났고, 비수도권 지역의 환경기초시설은

레포트 시설, 주민편의시설 등을 설치하여 환경기초시설을 지역 랜드마크로 활용하는 방안을 이용하여 주로 상부 부지를 활용하는 것으로 나타났다.

2. A시 소각시설의 SROI 분석결과

A시는 현재 가동중인 소각동에 소각로를 증설하는 방안과 신도시 사업으로 마련된 새로운 부지에 지하화를 하면서 이전하는 방안을 검토하고 있다. 기존 소각동 300톤/일의 용량을 대보수하고, 소각동 내 260톤/일 규모의 소각로를 증설하는 경우에는 시설 공사 예산 129,480백만원과 더불어 기존 시설 대보수 예산 108,900백만원이 추가로 소모된다. 이에 비해 시설 지하화 이전은 시설공사 예산과 함께 토지 매매비와 지반 공사 등 지하화 관련 예산이 소모된다. 따라서 560톤/일 규모의 소각시설을 신규 설치하게 된다면 시설공사 예산은 278,880백만원이 소모되고, 토지 구매, 지반공사, 추가시설 설비 등을 모두 포함한 지하화 공사비(x)가 소모된다. 이와 같이 각 방안 별 비용 및 편익과 SROI 분석결과를 <표 6>에 나타냈다.

지하화 및 시설 이전을 위해서는 SROI 비율이 기존 소각장의 소각로를 증설하는 방안보다 높아야 지하화의 타당성이 존재하므로 <식 3>, <식 4>와 같은 식이 성립하여야 한다.

$$0.66 < \frac{473,901.5 - x}{465,866.5 + x} \quad \text{〈식 3〉}$$

$$x(\text{백만원}) < 99,963.1 \quad \text{〈식 4〉}$$

따라서 지하화 공사비(x)가 99,963백만원 이하일 때 기존 소각장 소각로를 증설하는 방안보다 지하화를 진행하는 방안이 타당하다고 판단된다. 비용-편익 분석 결과 운영비와 악취저감 편익을 제외하고 SROI에 가장 큰 영향을 미치는 인자는 시설공사비이고, 두 번째는 상부 부지 운용으로 얻는 편익이었다. 따라서 지하화의 타당성을 높이기 위해서 생태체육공원보다 상부 부지 활용의 가치를 높이고, 소각시설 시설 공사에 들어가는 예산을 줄인다

면 지하화 타당성을 높일 수 있을 것이다.

〈표 6〉 SROI 분석 주요 인자 계산 결과

(단위: 백만원)

구분	주요인자	방안	
		기존 소각장 소각로 증설	신규 지하화 시설 설치
투자비용 (백만원) [A]	시설 공사 예산	129,480	278,880
	기존 시설 대보수 예산	108,900	0
	지하화 공사비	0	x
	운영비	186,205	186,205
	공원 조성비	0	781.2
	총 비용	424,585.3	465,866.5 + x
발생편익 (백만원) [B]	소각장 운영 경제적 편익	705,180	705,180
	상부 부지 활용 (생태체육공원) 편익	0	114,418.4
	악취저감 편익	0	120,169.7
	총 편익	705,180	939,768.1
순편익의 현재 가치 [B-A]		280,594.6	473,901.5 - x
순 SROI 비율		0.66	$\frac{473,901.5 - x}{465,866.5 + x}$

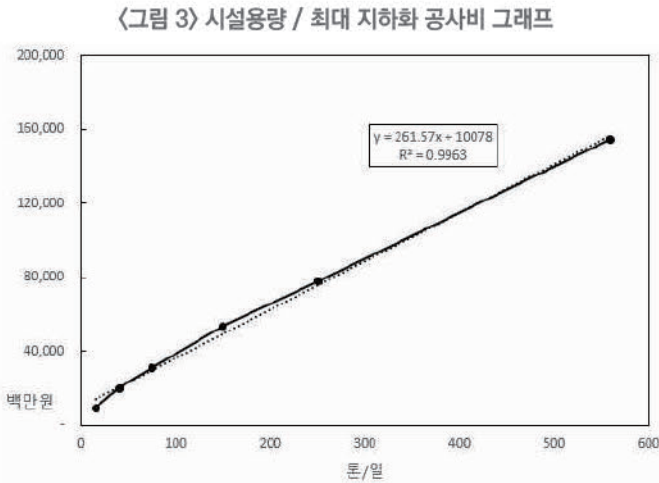
3. 소각시설 설치 시 지하화 의사 결정 모델 제시

새로운 소각시설을 설치할 때 지하화 공사비에 따른 지하화 시행 여부를 판단하기 위한 회귀식을 도출하기 위해 각 기준이 되는 시설용량들의 최대 지하화 공사비(x) 값을 계산하였고, 그 결과를 〈표 7〉에 나타냈다.

〈표 7〉 선형회귀분석을 위한 최대 지하화 공사비 x 계산 결과

시설용량 (a) (톤/일)	세대수 (가구)	지상 설치 발생 편익 (백만원)	지하 설치 발생 편익 (백만원)	지상 설치시 SROI	최대 지하화 공사비(x) (백만원)
15	4,380	18,888.75	25,172.36	-0.311	9,066.16
40	11,680	50,370.00	67,126.29	-0.155	19,857.74
75	21,899	94,443.75	125,861.80	0.011	31,084.21
150	43,798	188,887.50	251,723.60	0.176	53,386.21
250	72,997	314,812.50	419,539.34	0.344	77,733.27
560	163,514	705,180.00	939,768.12	0.516	154,451.25

계산 결과 신규 설치하는 소각시설의 용량이 적을수록 지상 설치 시 순 SROI가 낮은 것으로 나타났다. 또한 시설용량에 따라 최대 지하화 공사비(x) 값이 비례하는 것으로 나타났으며, 이를 그래프를 활용하여 <그림 3>에 나타냈다.



선형회귀분석법을 활용하여 회귀식을 도출하였을 때, 도출된 회귀식은 <식 5>와 같다. 시설용량이 1톤/일 증가하면, 261.57백만원이 변동되는 것을 확인할 수 있고, 신규 설치 시설용량(a)=0일 경우, 지하화 공사는 진행되지 않음으로 a>0이 성립하여야 한다. 이때 결정계수 R2 값이 0.9963, 수정결정계수 값이 0.9954, 유의한 F값이 5.15E-06로 0.05보다 작으므로, 신규 설치 시설용량(a)과 지하화 공사비(x) 간의 상관관계는 매우 높고, 선형 회귀분석 결과가 통계적 유의성을 가진다고 할 수 있다. 따라서 어떠한 소각시설을 신규 설치할 때 지하화를 고려하는 경우, 최대 지하화 공사비(x)를 계산하기 위해서 신규 설치시설의 용량(a)과 <식 5>를 활용한다면 소각시설 신규 설치 시의 지하화 여부 판단이 가능할 것이다.

$$x(\text{백만원}) = 261.57a(\text{톤/일}) + 10078 \quad (\text{단, } a > 0) \quad \langle \text{식 5} \rangle$$

회귀식 도출 이후, 도출된 회귀식을 국내 지하화 소각시설의 사례를 바탕으로 검증해보고자 하였으나, 국내에서 지하화가 진행된 소각시설의 경우 모두 종합처리시설로 단순히 소각시설 설치에만 사용된 예산 데이터를 얻을 수 없어 검증할 수 없었다.

IV. 결론

최근 증가하는 폐기물의 발생량에 대응하여 처리시설의 증설 및 신설이 요구되고 있으나, 지역주민의 반발로 인한 납비현상의 심화로 부지 선정에 어려움을 겪고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 상부 부지를 생태공원, 여가 활용공간 등으로 조성하여 지역주민들에게 이익을 줄 수 있는 공간으로 활용하려는 방안이 검토되고 있으며, 그 수단으로서 시설의 지하화가 검토되고 있다. 그러나 현재 우리나라에서 신규 환경기초시설을 설치할 때 시설 지하화가 필수 고려 대상이 아니고, 이에 대한 타당성을 평가하는 표준화된 방법도 부재한 실정이다. 본 연구에서는 국내 지하화 환경기초시설의 현황을 분석하고, 소각시설에 한정하여 SROI 분석을 통해 지하화의 여부 판단 방법론을 제시하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

1. 지하화 환경기초시설의 현황 분석

지하화 현황에 대해 분석한 결과 현재 국내의 환경기초시설 중 폐기물처리시설과 하수처리시설은 규모가 크고, 여러 가지 폐기물을 처리하는 복합처리시설들이 주로 지하화되었고, 수도권과 비수도권에 따라 주로 지하화가 진행되는 시설 종류가 상이한 것으로 나타났다. 수도권의 경우 총 부지면적 5만m² 이하의 재활용처리시설, 음식물처리시설 등이 주로 지하화되었으며, 비수도권의 경우 부지면적 5만m² 이상의 하수처리시설들이 주로 지하화가 진행된 것으로 나타났다. 지하화를 진행하는 주요 목적은 '상부 부지 활용'과 '약취 제어' 두 가지로 나타났다.

2. A시 환경기초시설 재투자 문제 SROI 분석

560톤/일 규모의 소각시설에 대해 기존 시설 보수 및 증설과 새로운 부지에 신규 지하화 설치 두 가지의 방안의 SROI 분석을 진행하였고, 그 결과 지하화 공사비(x)가 99,963백만원 이하일 경우, 지하화가 타당하다는 결론이 도출되었다.

3. 신규 소각시설 설치 지하화 판단 방법론 제시

신규 소각시설 설치 시 지하화 공사비에 따른 지하화 여부를 판단할 수 있는 식을 도출하기 위해 기준용량 구간별 시설용량의 시설을 지상과 지하에 설치한다고 가정하여 SROI 분석을 진행하였고, 그 결과 도출되는 최대 지하화 공사비(x) 값 결과를 바탕으로 선형회귀분석을 통하여 회귀식 <식 5>을 도출하였고 시설 지하화 판단시 활용할 수 있는 방법론으로 제시하였다.

본 연구는 국내 지하화 진행 환경기초시설의 각종 특징을 정리하였고, 신규 소각시설을 설치하는 데 있어서 지하화 여부를 판단하기 위한 회귀식을 도출하였다는 점에서 의의를 지닌다. 각 지방자치단체와 민간기업들이 신규 소각시설을 설치할 때 정리된 지하화 시설들의 특징과 회귀식을 통해 지하화 여부를 판단하는 데 기초자료로 참고할 수 있으며, A시의 사례를 통해 내구 연한이 종료해가는 소각시설을 운영하는 사업자들이 보수 및 증축과 신규 설치 간의 판단을 결정하는 때도 참고할 수 있을 것이다. 그러나 A시 사례를 분석하면서, 현재 소각시설 부지와 신규 시설 부지의 토지 시세를 고려하지 못한 부분과 회귀식을 제시하기 위해 여러 용량의 소각시설의 SROI를 분석할 때, 가구 수를 단순하게 560톤/일의 비례로 계산하였다는 부분, 그리고 국내 단일 지하화 소각장이 존재하지 않아 회귀식을 검증할 수 없었다는 점에서 한계성을 가진다. 본 연구의 연구 결과와 방법은 향후 유사한 방법을 사용하여 각종 환경기초시설을 신규 설치하는 경우 지하화 여부 판단에 응용할 수 있을 것이다.

■ 참고문헌 ■

- 곽소윤·이주석·유승훈, 2008 “조건부 가치측정법을 이용한 생태체육공원 조성의 경제적 편익 추정,” 『한국문헌정보학회지』, 10(1), pp.257-276, <https://www.kci.go.kr/kciportal/ci/sereArticleSearch/ciSereArtiView.kci?sereArticleSearchBean.artiId=ART001261624>.
- 국토교통부장관, 2022, 『기반시설 표준시설비용 및 단위당 표준조성비 고시』, 서울: 국토교통부.
- 김란희·박진규·이남훈, 2021, “자원순환기본계획에 따른 폐기물 발생량 현황 및 전망,” 『한국폐기물자원순환학회 추계학술발표논문집』, 2021, pp.422-422, <http://www.riss.kr/link?id=A107943261>.
- 대구광역시 수성구 폐기물처리시설 설치비용 산정 및 징수 등에 관한 조례 별표 2(폐기물처리시설 부지 소요 면적 산정기준), 2016, 대구광역시수성구조례 제1081호.
- 류재나·강형식, 2016, 『사회적 투자수익률(SROI)을 고려한 물환경 인프라시설 투자방향 연구』, 세종: 한국환경정책·평가연구원.
- 안준영·이상윤, 2020, 『폐기물처리시설의 안정성 확보를 위한 중장기 발전방안』, 세종: 한국환경정책·평가연구원.
- 윤영채·전주상, 2000, “환경기초시설 입지갈등에 관한 정책추진자와 정책수용자간 인식 차이 연구,” 『한국정책분석평가학회보』, 10(2), pp.91-115, <https://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE07516469>.
- 이나영·김광익·이세림·유소라·조용성, 2017, “악취저감에 대한 소비자 지불의사액 추정 및 악취저감 방안 연구,” 『한국환경정책학회 학술대회논문집』, 2017, pp.79-80, <https://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE07277209>.
- 이태원·김태형·김정엽·김용기·박세진, 2004, 『지하공간을 이용한 혐오시설의 복합플랜트화 연구보고서』, 서울: 건설교통부.
- 이해승, 2004, “폐기물처리시설 입지선정에 따른 사례연구,” 『대한환경위생공학회지』, 19(1) pp.24-36, <https://www.dbpia.co.kr/Journal/articleDetail?nodeId=NODE00558914>.
- 최성원·김지훈, 2018, “다중회귀분석을 이용한 소각시설, 매립시설의 운영비용 예측 연구,” 『한국폐기물자원순환학회지』, 35(4), pp.341-347, DOI:10.9786/kswm.2018.35.4.341.
- 최성원·이재영, 2021, “해도나가격접근법을 활용한 폐기물처리시설 지하화사업의 경제적 가치 추정 연구,” 『한국도시환경학회지』, 21(4), pp.267-275, DOI:10.33768/ksue.2021.21.4.267.
- 통계청, 2023, “소비자물가지수”, https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tblId=DT_1J20003&conn_path=i3.

- 한국환경공단, 2003, 『전국 폐기물 발생 및 처리현황(2003년)』, 인천: 한국환경공단.
- _____, 2004, 『전국 폐기물 발생 및 처리현황(2004년)』, 인천: 한국환경공단.
- _____, 2005, 『전국 폐기물 발생 및 처리현황(2005년)』, 인천: 한국환경공단.
- _____, 2006, 『전국 폐기물 발생 및 처리현황(2006년)』, 인천: 한국환경공단.
- _____, 2007, 『전국 폐기물 발생 및 처리현황(2007년)』, 인천: 한국환경공단.
- _____, 2008, 『전국 폐기물 발생 및 처리현황(2008년)』, 인천: 한국환경공단.
- _____, 2009, 『전국 폐기물 발생 및 처리현황(2009년)』, 인천: 한국환경공단.
- _____, 2010, 『전국 폐기물 발생 및 처리현황(2010년)』, 인천: 한국환경공단.
- _____, 2011, 『전국 폐기물 발생 및 처리현황(2011년)』, 인천: 한국환경공단.
- _____, 2012, 『전국 폐기물 발생 및 처리현황(2012년)』, 인천: 한국환경공단.
- _____, 2013, 『전국 폐기물 발생 및 처리현황(2013년)』, 인천: 한국환경공단.
- _____, 2014, 『전국 폐기물 발생 및 처리현황(2014년)』, 인천: 한국환경공단.
- _____, 2015, 『전국 폐기물 발생 및 처리현황(2015년)』, 인천: 한국환경공단.
- _____, 2016, 『전국 폐기물 발생 및 처리현황(2016년)』, 인천: 한국환경공단.
- _____, 2017, 『전국 폐기물 발생 및 처리현황(2017년)』, 인천: 한국환경공단.
- _____, 2018, 『전국 폐기물 발생 및 처리현황(2018년)』, 인천: 한국환경공단.
- _____, 2019, 『전국 폐기물 발생 및 처리현황(2019년)』, 인천: 한국환경공단.
- _____, 2020a, 『공공하수처리시설 현황(2020)』, 인천: 한국환경공단.
- _____, 2020b, 『전국 폐기물 발생 및 처리현황(2020년)』, 인천: 한국환경공단.
- _____, 2021, 『전국 폐기물 발생 및 처리현황(2021년)』, 인천: 한국환경공단.
- _____, 2022a, 『전국 폐기물 발생 및 처리현황(2022년)』, 인천: 한국환경공단.
- _____, 2022b, 『2022년 폐기물처리사업 및 폐기물처리시설 설치·운영실태 평가』, 인천: 한국환경공단.
- 환경부, 2023, 『폐기물처리시설 국고보조금 업무처리지침』, 세종: 환경부.
- 행정안전부, 2022, “주민등록 인구 및 세대현황(2022년 9월)”, <https://jumin.mois.go.kr>. [2022.10.15.]
- Jeremy Nicholls, Eilis Lawlor, Eva Neitzert and Tim Goodspeed, 2009, A Guide to Social Return on Investment, London: SROI Network
- Sun Shichang, Lin Huihua, Lin Junhao, Quan Zonggang, Zhang Peixin and Ma Rui, 2019, “Underground sewage treatment plant: a summary and discussion on the current status and development prospect,” *Water Science and Technology*, 80(9), pp.1601-1611, DOI:10.2166/wst.2019.429.
- Wang, Meishu and Hui Gong, 2018, “Not-in-My-Backyard: Legislation Requirements and Economic Analysis for Developing Underground Wastewater Treatment Plant in China,” *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(11), pp.2339-2339, DOI:10.3390/ijerph15112339.

김다빈: 서울과학기술대학교 환경공학과에서 학사학위 취득 후, 석사과정으로 재학 중이다. 환경 통계, 빅데이터 처리, 폐기물 정책 등이 주요 관심 분야이다(rlaekqls34@naver.com).

김도완: 서울과학기술대학교 에너지환경공학과에서 박사학위를 취득하고 현재 서울과학기술대학교 환경기술연구소에서 재직 중에 있다. 폐기물 관련 제도 및 기술 분야의 연구를 수행하고 있다(dowan2050@nate.com).

이종수: 서울과학기술대학교에서 환경공학과 학사 및 석사, 박사학위를 취득하고 현재 서울과학기술대학교 환경기술연구소에서 재직 중이다. 주요 연구 분야는 폐기물 관련 정책 및 통계 분석 등이다(jjong1324@seoultech.ac.kr).

배재근: 서울과학기술대학교 환경공학과 교수로 전공 분야는 폐기물처리 및 자원화이다. 음식물류 폐기물, SRF 및 바이오가스 등 여러 분야에 대한 연구를 수행하고 있다. “과채류 부산물의 발생 및 처리 현황 조사를 통한 재활용량 산출”, “음식물류 폐기물 자원화 시설 개선 및 자원화 제품 건전성 확보 방안 마련에 대한 연구”, “전국 폐기물 통계조사 연구의 사업장 폐기물 조사 및 분석방법 비교와 개선사항 도출에 관한 연구” 등 여러 논문을 발표한 바 있다(phae@seoultech.ac.kr).

투 고 일: 2022년 12월 19일
심 사 일: 2023년 01월 19일
게재확정일: 2023년 06월 15일