

Research Paper

# 환경영향평가 자료를 이용한 용산미군기지 주변 토양·지하수 관리 필요성 분석

정승우

국립군산대학교 환경공학과

## Analysis of the Need for Soil and Groundwater Management around the Former U.S. Military Base in Yongsan Using Environmental Impact Assessment Documents

Seung-Woo Jeong

Department of Environmental Engineering

**요약:** 본 연구는 용산미군기지 주변지역의 토양·지하수 오염과 주민 노출 가능성을 검토하고, 반환부지 중심의 기존 환경관리에서 주변 생활권을 포함하는 관리체계로의 확대 필요성을 제시하고자 하였다. 이를 위해 이태원동 유엔사부지 복합개발사업의 환경영향평가 및 사후환경영향조사 자료와 서울시·용산구의 공개 지하수 조사자료를 분석하고, 토양오염의 조사·정화 경과, 녹사평역 일원의 장기 지하수 오염 변화, 환경영향평가의 지하수 오염물 거동모델결과와 지하수 Trichloroethylene (TCE) 검출 결과를 종합적으로 검토하였다. 유엔사부지에서는 과거 오염토양 정화 이후에도 추가적인 석유계혼탄화수소(TPH) 오염이 확인되었으며, 2023년 착공 후 공사 과정에서도 토양오염이 재확인되었다. 녹사평역 일원에서는 장기간 오염 지하수 회수가 이루어졌음에도 2025년까지 벤젠과 TPH가 검출되어 잔류 오염원의 존재 가능성을 배제하기 어려웠다. 또한 환경영향평가의 지하수 오염물 거동모델에서는 차수벽 조건에 따라 녹사평역 오염물질이 사업부지로 유입될 가능성이 달라지는 것으로 예측되었다. 사후환경영향조사에서는 사업부지 내 지하수 관측공 GW-1에서 TCE가 2024년 반복적으로 검출되었으며, 착공 후 발견된 오염토양에서 TCE와 perchloroethylene (PCE)가 새롭게 확인된 사실을 고려할 때 오염원 및 이동경로에 대한 추가 조사가 필요한 것으로 판단된다. 이러한 휘발성 오염물질은 토양가스를 통한 Vapor Intrusion, 증기침해로 이어져 건물 내부 사람에게 영향을 미칠 가능성이 있으므로, 오염부지 주변 주거지역에서는 토양·지하수와 soil gas 및 indoor air를 연계한 노출평가가 필요하다. 이상의 결과를 바탕으로 용산미군기지는 기지와 주변 생활권을 하나의 수리지질학적 시스템으로 고려하는 장기적인 토양·지하수 조사 및 관리체계의 구축 필요성을 제안하였다.

**주요어:** 용산미군기지, 유엔사부지, 녹사평역, 토양오염, 환경영향평가, 토양증기침해

**Abstract:** This study investigated soil and groundwater contamination and potential human exposure around the Yongsan U.S. military garrison in Seoul, focusing on the returned United Nations

Command (UNC) site. It examined the need to extend environmental management beyond the returned site to adjacent residential areas. Environmental impact assessment (EIA) documents and post-project environmental impact survey reports for the UNC Site Complex Development Project were reviewed alongside publicly available groundwater monitoring data from the Seoul Metropolitan Government and Yongsan-gu. The analysis covered soil contamination and remediation history, long-term groundwater contamination around Noksapyeong Station, contaminant transport modeling conducted as part of the EIA, and recent detections of trichloroethylene (TCE) in groundwater and soil. Additional total petroleum hydrocarbon (TPH) contamination was identified at the UNC site after previous remediation, and soil contamination was again reported during construction in 2023. Around Noksapyeong Station, benzene and TPH remained detectable through 2025 despite long-term groundwater extraction, suggesting the possible persistence of residual contamination sources. EIA modeling indicated that contaminant migration from the Noksapyeong Station area toward the project site could vary depending on the hydraulic conductivity of the cutoff wall. TCE was repeatedly detected in groundwater monitoring well GW-1 in 2024, while TCE and perchloroethylene (PCE) were also identified in soil during construction. These findings warrant further investigation into the sources and migration pathways of chlorinated solvents. Volatile contaminants may migrate from soil and groundwater through soil gas and enter buildings via vapor intrusion, potentially exposing occupants to contaminated indoor air. Therefore, integrated assessments of soil, groundwater, soil gas, sub-slab gas, and indoor air are warranted in potentially affected residential areas. These findings support a long-term soil and groundwater management framework that evaluates the Yongsan U.S. military garrison, the returned UNC site, and surrounding communities within a shared hydrogeological framework.

**Keywords:** *Yongsan U.S. Military Base, UN Command Site, Noksapyeong Station, soil contamination, environmental impact assessment, vapor intrusion*

## I. 서론

용산 일대의 군사적 이용은 장기간 지속되어 왔다. 미군은 1945년 해방 직후 일본군 시설을 인수하여 용산에 주둔하였으며, 1952년 용산기지가 미군에 공식 공여되고 1953년 미8군사령부가 이전하면서 용산미군기지 체계가 형성되었다(Raugh, 2018). 장기간의 군사 시설 운영 과정에서는 유류의 저장·취급, 차량 정비, 발전·난방시설 및 각종 화학물질의 사용 등으로 토양과 지하수에 다양한 오염이 발생할 가능성이 있었다.

그동안 미군기지 환경관리는 주로 기지 내부의 오염 조사와 반환을 위한 정화에 초점을 두어 왔다. 반면 기지 내부에서 발생한 오염물질이 지하수 흐름을 따라 기지 경계를 넘어 주변지역으로 이동할 가능성에 대해서는 상대적으로 관심이 부족하였다. 특히 기지 주변지역은 기지 외부라는 이유로 상대적으로 오염 가능성이

낮은 지역으로 인식되어 온 측면이 있다.

용산미군기지 주변 녹사평역 일원의 유류오염은 이미 널리 알려진 사례이다(Hwang et al., 2026; Lee & Lee, 2013). 그러나 녹사평역 경계부의 오염을 지속적으로 관찰하고 정화하는 것과, 오염물질이 지하수 흐름을 따라 하류지역으로 이동하였는지를 확인하는 것은 별개의 문제이다. 지금까지 녹사평역 일원의 오염에 대해서는 지속적인 모니터링과 양수처리 등이 이루어져 왔으나, 그 하류지역에 오염플룸이 존재하는지, 또는 과거 오염원이 주변지역의 토양·지하수에 지속적으로 영향을 미치고 있는지에 대한 공간적인 조사 및 연구는 충분히 이루어지지 않았다.

이러한 문제는 반환 미군기지가 주변의 주거·상업지역과 인접하고, 반환 이후 주거·상업시설 및 복합개발사업이 지속적으로 추진되고 있다는 점에서 더욱 중요하다. 개발사업에 대한 환경영향평가에서는 평가 대상

사업부지의 환경현황과 사업시행에 따른 영향을 조사하지만, 사업부지 외부에 존재할 수 있는 과거 오염원의 위치와 주변 생활권으로의 확산 여부까지 확인하는 데에는 한계가 있을 수 있다. 따라서 반환 미군기지 주변에서 개발이나 재개발이 이루어질 때는 사업규모나 법적 조사대상 여부와 관계없이, 과거 토지이용 이력과 지하수 흐름 등을 고려한 토양·지하수 조사를 적극적으로 검토할 필요가 있다.

이러한 관점에서 “이태원동 유엔사부지 복합개발사업 환경영향평가”는 반환 미군기지 주변의 토양·지하수 환경관리를 검토할 수 있는 중요한 사례이다. 유엔사부지 환경영향평가에서는 평가 대상 사업부지 내부의 토양·지하수 오염뿐만 아니라 주변 오염원의 존재와 지하수 흐름, 오염물질의 사업부지 유입 가능성까지 검토되었으며(Yongsan Eleven Co., Ltd., 2018, 2020a, 2020b), 개발 이후에도 사후환경영향조사를 통해 토양과 지하수에 대한 모니터링이 이루어졌다(Daehan Land Trust Co., Ltd., 2024, 2025). 따라서 유엔사부지의 환경영향평가 및 사후환경영향조사 자료는 반환 미군기지의 개발 전 조사뿐만 아니라 기지 주변지역의 환경관리를 어떻게 접근해야 하는지를 살펴볼 수 있는 사례를 제공한다.

본 연구에서는 유엔사부지 복합개발사업의 환경영향평가서와 사후환경영향조사 자료, 그리고 용산구 및 서울시에서 공개한 지하수 조사자료를 종합적으로 검토하여 반환 미군기지의 개발 전 주변지역 토양·지하수 및 토양공기 오염 등 환경조사의 필요성을 분석하고자 하였다. 구체적으로는 첫째, 유엔사부지에서 수행된 토양·지하수 조사 및 정화 과정의 경과를 분석하여 개발 전 토양조사의 한계와 시사점을 검토하였다. 둘째, 녹사평역 일원의 장기적인 지하수 오염자료를 분석하고, 잔류오염원 및 오염플룸이 주변지역으로 이동할 가능성을 검토하였다. 셋째, 환경영향평가서에 제시된 지하수 흐름과 오염물질 거동모델을 분석하여 주변 오염원의 사업부지 유입 가능성을 검토하였다. 넷째, 사후환경영향조사에서 확인된 Trichloroethylene (TCE)의 검출 특성과 가능한 오염경로를 분석하고, 이를 토대로 용산미군기지 주변 생활권의 토양·지하수 조사 및 장기적인 환경관리 방향을 제안하고자 하였다.

## II. 연구방법

본 연구는 현장에서 신규조사 및 모델링을 직접 수행한 것이 아니라 공개자료를 이용한 사례분석 연구이다. 분석자료는 (1) 이태원동 유엔사부지 복합개발사업 환경영향평가서 및 보완·협의자료(지하수 오염 모델링 자료 포함), (2) 사후환경영향조사 관련 자료, (3) 서울시 및 용산구에서 공개한 녹사평역 일원과 사업부지 주변 지하수 조사자료, (4) 국내의 토양·지하수 오염 및 Vapor Intrusion 관련 정부기관·학술문헌으로 구성하였다(Yongsan Eleven Co., Ltd. 2018, 2020a, 2020b; Daehan Land Trust Co., Ltd. 2024, 2025; Seoul Metropolitan Government 2025).

분석은 네 단계로 수행하였다. 첫째, 이태원동 유엔사부지의 연도별 토양오염 조사, 정화 및 개발 경과를 정리하였다. 둘째, 토양조사 지점수, 오염면적 및 오염 토양 부피의 변화를 비교하여 조사밀도와 토양 불균질성의 영향을 검토하였다. 셋째, 환경영향평가서에 제시된 지하수위와 지하수자료, 지하수 오염물 거동모델의 시나리오를 검토하여 녹사평역 오염지하수와 유엔사부지의 관계를 평가하였다. 넷째, 사후환경영향조사에서 검출된 TCE를 기존의 유류오염과 분리하여 오염원 추적의 필요성을 검토하였다.

## III. 유엔사 부지 토양조사와 정화의 한계

### 1. 환경영향평가 이전 토양오염 조사 및 정화 경과

용산미군기지의 미군 주둔은 1945년부터 시작되었고, 장기간의 시설 운영은 유류 저장 및 취급, 차량 정비, 발전·난방시설, 각종 용제의 사용 등 다양한 잠재오염원을 남길 수 있다. 따라서 수십 년간 군사시설로 이용된 부지의 환경상태를 반환이나 개발 직전에 실시한 조사 결과만으로 판단하기에는 한계가 있을 수 있다.

이러한 점은 유엔사부지의 토양조사 결과에서 잘 나타난다. 공개된 자료에 따르면 2005~2008년 조사에서는 유류오염 면적이 약 772m<sup>2</sup>, 오염토양 부피가 약 978m<sup>3</sup>로 조사되었다. 이후 유류오염 토양정화가 이루어졌으나 2011년 검증과정에서 추가오염이 발견되면서 유류

오염 면적은 7,660m<sup>2</sup>, 오염토양 부피는 8,450m<sup>3</sup>로 크게 증가하였다. 발견된 토양에 대해서 추가 토양정화가 이루어졌다. 유엔사 부지는 이후 민간에 양도되었고 환경영향평가의 토양조사 과정에서 2018년에 112개 지점, 560개 시료를 대상으로 조사한 결과 유류오염 면적 1,661m<sup>2</sup>, 오염토양 부피 1,823m<sup>3</sup>가 제시되었다(Yongsan Eleven Co., Ltd. 2018). 유류오염이 재확인되어 3차 정화가 이루어졌다.

이처럼 조사시기에 따라 오염면적과 오염토양량이 크게 달라진 것은 실제 오염량이 단순히 증가하거나 감소했다기보다는, 토양오염의 불균질한 특성으로 인해 조사 지점의 위치와 조사밀도, 조사심도에 따라 발견되는 오염범위가 달라질 수 있음을 보여준다.

## 2. 환경영향평가 과정에서의 토양조사와 추가오염 확인

이러한 토양오염의 특성은 환경영향평가 과정에서 확인되었다. 2018년 환경영향평가 초안의 현황조사는 5개 지점을 대상으로 이루어졌으며, 당시 유류오염은 확인되지 않았으나 불소가 우려기준을 초과하여 추가적인 정밀조사가 이루어졌다(Yongsan Eleven Co., Ltd. 2018).

이후 정밀조사 과정에서는 당초 조사에서 확인되지 않았던 TPH가 기준을 초과하는 것으로 나타났다. 53개

지점에 대한 개황조사에서는 1개 지점이 석유계총탄화수소(Total Petroleum Hydrocarbon: TPH) 기준을 초과하였고, 이어진 112개 지점의 상세조사에서는 4개 지점에서 TPH 기준초과가 확인되었다(Table 1 참조). 2020년 환경영향평가 본안에서는 이러한 오염토양에 대한 반출 및 정화가 진행 중인 것으로 제시되었다(Yongsan Eleven Co., Ltd. 2020a).

이러한 조사결과는 초기 5개 지점의 현황조사에서 확인되지 않았던 오염이 조사범위를 확대하면서 추가적으로 발견될 수 있음을 보여준다. 즉, 장기간 군사시설로 이용된 부지에서는 초기의 제한적인 조사결과만으로 토양오염의 존재 여부와 공간적 분포를 충분히 판단하기 어려울 가능성이 있다.

## 3. 환경영향평가 협의 완료 후 착공 과정에서 확인된 추가 토양오염

더욱 주목할 점은 환경영향평가 협의가 완료되고 2023년 2월 사업이 착공된 이후에도 토양오염이 다시 확인되었다는 사실이다(Daehan Land Trust Co., Ltd. 2024). 2023년 11월 공사 과정에서 토양오염이 신고되었고, 사업자는 11월 15일 토양정밀조사 보고서를 제출하였으며, 같은 달 30일 용산구청은 정화명령을 내렸다. 이후 토양정화가 이루어졌고, 유엔사 부지에서만 이루어진 4차 정화에 해당한다.

Table 1. Major Stages of the Environmental Impact Assessment for the UN Command Site Complex Development Project

| Year       | Progress/Key Developments                                                                                                                                                                                                              | Source                                        |
|------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| 2005~2008  | Environmental contamination investigations of the UN Command Site conducted by the Korea Environment Corporation, Korea Rural Community Corporation, and Ministry of National Defense: TPH exceeded the applicable standard by 49-fold | Draft EIA Report                              |
| 2007~2013  | Soil remediation of the UN Command Site by the Ministry of National Defense                                                                                                                                                            | Draft EIA Report                              |
| 2018       | Draft EIA identified fluoride and TPH concentrations exceeding the applicable standards                                                                                                                                                | Draft EIA Report                              |
| 2020       | Contaminated soil excavated, transported, and remediated                                                                                                                                                                               | Final EIA Report                              |
| 2021.02    | EIA consultation completed                                                                                                                                                                                                             |                                               |
| 2023.02    | Development project commenced                                                                                                                                                                                                          |                                               |
| 2023.11    | Soil contamination reported during construction and remediation ordered (TPH, Cd, Pb, and Zn exceeded the applicable soil contamination standards)                                                                                     | 2023 Post-EIA Environmental Monitoring Report |
| 2024.08~12 | TCE repeatedly detected in groundwater monitoring well GW-1* (0.001-0.012 mg/L)<br>* The location of GW-1 is shown in Figure 3                                                                                                         | 2024 Post-EIA Environmental Monitoring Report |

Source: Draft EIA Report (Yongsan Eleven Co., Ltd. 2018), Final EIA Report (Yongsan Eleven Co., Ltd. 2020a), 2023 Post-EIA Environmental Monitoring Report (Daehan Land Trust Co., Ltd. 2024), 2024 Post-EIA Environmental Monitoring Report (Daehan Land Trust Co., Ltd. 2025)

이는 과거의 조사와 정화가 이루어진 부지라 하더라도 실제 개발을 위한 굴착과정에서 기존 조사에서 확인되지 않았던 오염토양이 추가로 발견될 수 있음을 보여준다.

#### 4. 환경영향평가 토양조사의 한계와 시사점

이러한 결과는 장기간 군사시설로 이용된 부지의 토양오염을 제한적인 조사결과만으로 판단하는 데 한계가 있음을 보여준다. 토양오염은 공간적 불균질성이 크므로 과거 오염이력과 잠재오염원의 위치, 지층구조 및 오염물질의 특성을 고려한 조사 지점과 심도의 설정이 필요하다. 특히 환경영향평가 및 개발사업 부지에 대한 조사는 사업부지의 환경상태와 사업시행에 따른 영향을 평가하는 데 목적이 있으므로, 주변 생활권의 오염 분포와 확산 가능성을 확인하기 위한 별도의 조사체계가 필요하다.

### IV. 녹사평역 일원 지하수 유류오염의 장기 경과와 주변지역 확산 가능성

녹사평역 일원에서는 2001년 1월 맨홀에서 유류가 발견되면서 지하수 오염이 확인되었다. 공개된 환경영향평가 자료에 따르면 2003년 11월부터 지하수 조사와 정화가 지속되었으며, 2004년 벤젠 최대농도는 29.354 mg/L로 지하수 생활용수 기준인 0.015mg/L를 크게 초과하였다. 이후 오염농도는 전반적으로 감소하였으나, 장기간의 정화 이후에도 벤젠과 TPH가 지속적으로 검출되고 있어 잔류 오염원의 존재 가능성을 배제하기 어

렵다.

2004~2019년 동안 녹사평역 일원에서는 총 11,270ton의 지하수를 양수처리하고 부유유류 162L를 제거하였으며, 화학적 산화공법을 적용하여 BTEX (Benzene, Toluene, Ethyl benzene, Xylenes)를 저장하였다. 그러나 2020년에도 벤젠 최대 21.35mg/L, 평균 0.576mg/L, TPH 최대 59.2mg/L, 평균 1.5mg/L가 검출되었다(Seoul Metropolitan Government, 2025). Figure 1 및 Table 2의 녹사평역 일원 지하수 오염도변화에서 보면 장기간의 오염지하수 양수로 오염농도는 감소하였지만 오염 자체가 완전히 제거되었다고 보기 어려운 상태가 지속되고 있었다.

이러한 결과에서 중요한 질문은 ‘과거에 유출된 많은 양의 유류 중 제거되지 않은 오염물질은 어디에 존재하는가?’이다. 양수처리량은 오염된 지하수의 처리량을 의미할 뿐 과거 유출된 석유계 탄화수소의 총량을 의미하지 않는다. 특히 잔류 비수용상액체(Nonaqueous Phase Liquid: NAPL)이 지하에 존재한다면 이는 장기간에 걸쳐 지하수로 오염물질을 공급하는 2차 오염원으로 작용할 수 있다. NAPL 자체가 지하수 흐름에 따라 이동하는 것과 별개로, NAPL에 포함된 벤젠·톨루엔·에틸벤젠·크실렌 등의 성분이 지하수에 지속적으로 용출되면서 하류 방향으로 용해플룸을 형성할 수 있다. 따라서 녹사평역에서 관측되는 오염농도가 감소하고 있다는 사실만으로 오염원이 제거되었다거나 주변지역으로의 오염물질 이동이 종료되었다고 판단하기는 어렵다.

USGS의 Bemidji 원유 유출지역 장기 모니터링에서

Table 2. Temporal Changes in Groundwater Contamination Levels in the Noksapyeong Station Area

| Year | Maximum Benzene (mg/L) | Average Benzene (mg/L) | Maximum TPH (mg/L) | Average TPH (mg/L) |
|------|------------------------|------------------------|--------------------|--------------------|
| 2004 | 29.354                 | 1.88                   | 65.2               | 3.7                |
| 2006 | 29.229                 | 2.363                  | 133.2              | 4.4                |
| 2008 | 28.122                 | 2.106                  | 81.7               | 3.5                |
| 2010 | 15.556                 | 1.325                  | 228.1              | 5.6                |
| 2015 | 9.707                  | 0.579                  | 7.1                | 0.4                |
| 2020 | 21.351                 | 0.576                  | 59.2               | 1.5                |
| 2023 | 12.836                 | 0.433                  | 6.5                | 0.4                |
| 2025 | 1.392                  | 0.221                  | 3.1                | 0.3                |

Source: Data obtained through an information disclosure request to the Seoul Metropolitan Government (Seoul Metropolitan Government 2025)

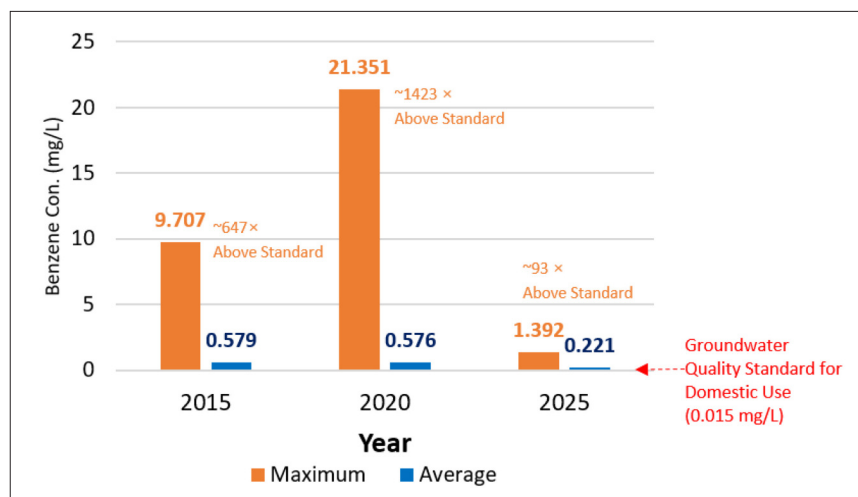


Figure 1. Benzene Concentrations in Groundwater Along the U.S. Military Base Perimeter near Noksapyeong Station

Table 3. 2019 Regular Groundwater Monitoring Data from the Hamilton Hotel Well

| Contaminants | Hamilton hotel well                   | Standard                    |
|--------------|---------------------------------------|-----------------------------|
| Benzene      | Not detected in all monitoring rounds | ≤0.015 mg/L                 |
| Toluene      | Not detected in all monitoring rounds | ≤0.7 mg/L                   |
| Ethylbenzene | Not detected in all monitoring rounds | ≤0.3 mg/L                   |
| Xylenes      | Not detected in all monitoring rounds | ≤0.5 mg/L                   |
| TPH          | Detected at 2.8 mg/L and 2.7 mg/L     | Remediation goal : 1.5 mg/L |

Source : Yongsan Eleven Co., Ltd. 2020a

도 자유상 NAPL의 이동범위와 용해 오염플룸의 확산 범위가 서로 다르게 나타난 바 있어(Strobel et al., 1998; Essaid et al., 2003), 지하수 오염농도의 감소만으로 오염원의 제거 또는 오염플룸의 소멸을 판단하기에는 한계가 있다.

특히 녹사평역 일원의 오염원이 현재도 잔존하고 있고 지하수 흐름을 따라 오염물질이 이동하고 있다면, 오염플룸이 기존에 확인된 오염지역의 범위를 넘어 용산미군기지 경계부 또는 주변 주거·상업지역까지 분포할 가능성을 배제할 수 없다. 그러나 현재 공개된 자료만으로는 이러한 주변지역의 오염분포를 확인하기 어렵다는 점에서, 녹사평역을 중심으로 기지 경계 및 주변 생활권까지 조사범위를 확대하여 토양·지하수 오염의 공간적 분포를 확인할 필요가 있다.

## V. 해밀턴호텔 지하수 관정 자료의 해석

유엔사부지 환경영향평가 과정에서는 사업부지 반경 500m 내 용산구청 맑은환경과의 해밀턴호텔 관정(GW-2, 본 논문에서 위치 표시는 생략함) 자료가 제시되었다. 평가서에 따르면 해밀턴호텔 관정은 용산구청이 정기적으로 분석하는 관정이며, 구청은 인근 오염부지에서 검출된 5개 항목을 조사하였다. Table 3와 같이 2019년 2분기와 4분기에 TPH가, 2분기 및 4분기에 2.8 및 2.7mg/L로 검출되었고 이는 오염지하수 정화기준 1.5mg/L를 초과하였다(Yongsan Eleven Co., Ltd. 2020a).

해밀턴호텔은 녹사평역 오염지구와 약 0.51 km 떨어져 있고 표고는 약 EL+51.8 m로, 평가서에서는 녹사평역 일원의 표고 EL+46.12~47.04m보다 높아 녹사평역 오염지하수의 직접적인 영향을 받는 것으로 판단하기 어렵다고 설명하였다. 그러나 지하수는 지표고도와 항

상 동일하게 흐르는 것이 아니며, 지층의 투수성, 매립층, 암반 균열, 지하구조물 및 국부 수리경사에 의해 흐름이 달라질 수 있다. 따라서 해밀턴호텔 관정의 TPH 검출은 녹사평역 오염이 해밀턴호텔로 이동했을 가능성도 있다.

## VI. 유엔사부지 지하수 흐름과 녹사평역 오염지하수 거동모델

환경영향평가 과정에서 사업부지 주변 지하수 흐름은 여러 차례 재검토되었다. 초기 도면에 대해서는 지하수 유동방향 표시가 부적절하다는 보완의견이 제시되었고, 이후 표고분석과 관측정 수위자료를 이용하여 흐름도를 재작성하였다. 2020년 5월 13일 조사에서 GW-1~GW-5의 지하수위는 EL+20.28~37.00 m였고, 국가보조지하수관측망 2개소의 자료도 모델보정에 활용되었다. 최종적으로 사업부지 주변의 주요 흐름은 북측·서측의 고지대에서 남측의 저지대로 향하는 형태로 제시되었다(Yongsan Eleven Co., Ltd. 2020b).

특히 환경영향평가서는 녹사평역 일원이 사업부지의 지하수 흐름 상류에 위치하고 있으며, 굴착기간 동안 주변 지하수가 사업부지로 유입될 가능성을 평가하였다. 지하수 오염물 거동모델에서는 녹사평역의 최근 벤젠 농도를 바탕으로 10mg/L를 오염원 농도로 설정하고, 분산지수 10m를 적용하였다. 모델은 총 16개월의 굴착기간을 대상으로 수행되었다.

차수벽이 없는 경우에는 사업구역 서측의 과거 미군기지 초기 유류사고 지점에서 직접 유입될 가능성은 낮았으나 북서측 녹사평역 오염원이 EIA Site로 유입되는 것으로 분석되었다(Figure 2 참조). 차수벽 투수계수를  $1.0 \times 10^{-5}$  cm/s로 설정한 경우에도 녹사평역 오염원이 차수벽을 통과하여 사업구역으로 유입되는 결과가 나타났다. 반면  $1.0 \times 10^{-6}$  cm/s 조건에서는 사업구역 내 유입이 차단되는 것으로 분석되어, 평가서는 현장 차수벽의 투수계수를  $1.0 \times 10^{-6}$  cm/s에 가깝게 시공할 것을 제안하였다(Table 4 참조).

이 결과는 환경영향평가에서 매우 중요한 의미를 갖는다. 즉, 평가 대상사업은 단순히 '기존 오염부지에 영

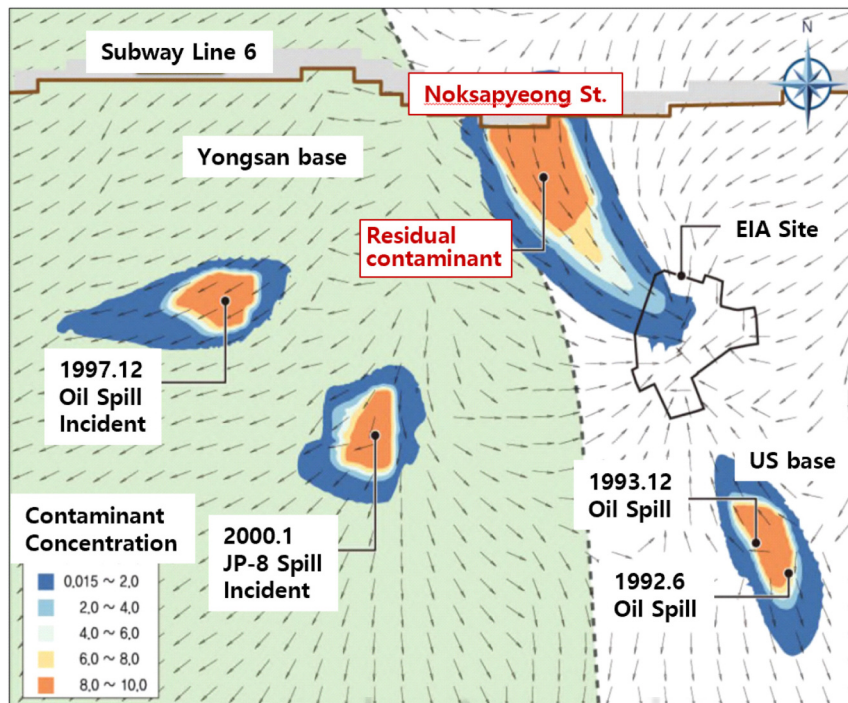


Figure 2. Predicted Migration of Oil Contamination from the Noksapyeong Station Area into the EIA Site Reported in the EIA Report (Yongsan Eleven Co., Ltd. 2020b)

Table 4. Comparison of Contaminant Inflow into the EIA Project Site under Different Noksapyeong Station Contaminant Transport Model Scenarios

| Model Scenario                  | Cutoff Wall Hydraulic Conductivity | Predicted Inflow of Contamination from Noksapyeong Station                              | Interpretation                              |
|---------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|
| Uncontrolled Groundwater Inflow | No cutoff wall                     | Inflow of contamination from the Noksapyeong Station source along the northwestern side | Potential for contaminant inflow            |
| Controlled Groundwater Inflow   | $1.0 \times 10^{-5}$ cm/s          | Contaminated groundwater enters the project site after passing through the cutoff wall  | Potentially insufficient cutoff performance |
| Controlled Groundwater Inflow   | $1.0 \times 10^{-6}$ cm/s          | No contaminant inflow into the project site                                             | High-performance cutoff wall required       |

Source : Yongsan Eleven Co., Ltd. 2020b, 2020c

향을 받는가'만을 검토한 것이 아니라, 굴착과 차수에 의해 지하수 수리경사가 변하고 그 결과 오염물질의 이동경로가 달라질 수 있다는 점을 모델링하였다. 협의·보완자료에서는 한 단계 더 나아가 차수벽 설치조건에 따라 주변지역으로 오염물질 이동이 가속될 가능성도 지적하였다.

다만 이 모델은 오염원 위치와 농도, 지반의 불균질성, 수리지질자료의 제한이라는 불확실성을 가진다. 실제 협의자료에서도 이러한 모델링의 한계를 인정하고 공사 중 지하수위 계측자료를 활용한 반기별 모델 검증과 격주 지하수 수질조사를 계획하였다. 따라서 모델

결과는 '녹사평역 오염이 실제 유엔사부지에 유입되었다'는 증거가 아니라, '유입될 수 있는 물리적 조건이 존재함을 정량적으로 보여준 사전예측'으로 해석해야 한다.

## VII. 사후환경영향조사에서 확인된 TCE와 오염원 추적의 필요성

2021년 2월 환경영향평가 협의가 완료된 후 2023년 2월 개발사업이 착공되었으며, 사후환경영향조사에서 는 사업부지 내 지하수 및 토양에 대한 조사가 이루어

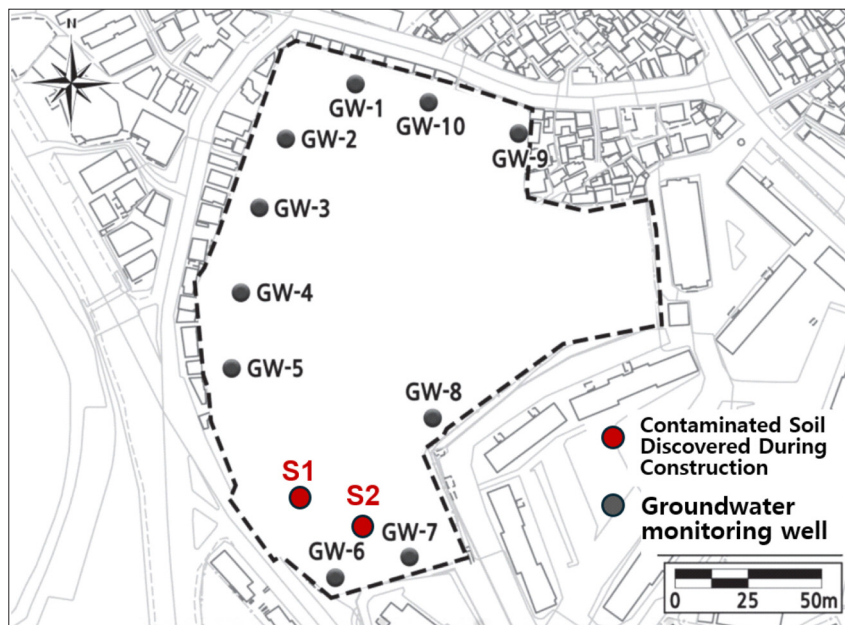


Figure 3. Locations of post-environmental impact assessment monitoring for the UN Command Site Complex Development Project

Table 5. Detection of TCE and PCE in Groundwater during Post-EIA Environmental Monitoring and in Soil during Construction

|             | Monitoring Round               | Monitoring Date | Detected Location and Contaminant(s)                   |
|-------------|--------------------------------|-----------------|--------------------------------------------------------|
| Groundwater | 28th                           | 2024.08.26      | GW-1 : TCE 0.001mg/L                                   |
|             | 29th                           | 2024.09.11      | GW-1 : TCE 0.002mg/L                                   |
|             | 32th                           | 2024.10.21      | GW-1 : TCE 0.003mg/L                                   |
|             | 35th                           | 2024.12.02      | GW-1 : TCE 0.012mg/L                                   |
| Soil        | Discovered during construction | 2023.07         | S1 : TCE 0.2 mg/kg<br>S2 : TCE 0.2 mg/kg PCE 0.2 mg/kg |

Source: Daehan Land Trust Co., Ltd. 2024, 2025

졌다. 기존 조사에서 확인되지 않았던 TCE가 개발공사 이후 토양과 지하수에서 확인되었다. 공사 이후 GW-1 관정에서 TCE가 반복적으로 검출되었다(Figure 3 및 Table 5 참조). 2024년 조사에서는 8월 0.001mg/L, 9월 0.002 mg/L, 10월 0.003mg/L, 12월 0.012mg/L가 검출되어 동일 관정에서 반복적인 검출과 농도 증가가 나타났다(Daehan Land Trust Co., Ltd. 2025). 또한 2023년 공사 과정에서 S1 지점에서 TCE 0.2 mg/kg, S2 지점에서 TCE 0.2mg/kg 및 Perchloroethylene (PCE) 0.2mg/kg 이 확인되었다(Daehan Land Trust Co., Ltd. 2024).

TCE와 PCE는 물보다 밀도가 높은 염소계 유기용제로서 지하에 유출될 경우 DNAPL(Dense Non-Aqueous Phase Liquid)을 형성하여 저투수층이나 지층의 균열을 따라 심부로 이동할 수 있으며, 잔류 DNAPL은 지하수에 장기간 오염물질을 공급하는 지속적인 오염원으로 작용할 수 있다(Jeong 2005). TCE와 PCE는 인체 건강 측면에서도 주의가 필요한 물질이다. 국제암연구소(IARC)는 TCE를 Group 1(인체 발암성 있음)으로 분류하고 있으며, PCE는 Group 2A(인체 발암 가능성이 높은 물질)로 분류하고 있다(IARC 2014).

GW-1에서의 TCE 반복검출은 단순한 기준 초과 여부보다는 오염원의 존재와 이동경로를 규명해야 할 필요성을 보여주는 결과로 볼 수 있다. 다만 현재 공개자료만으로 TCE가 사업부지 내부의 과거 오염에서 기원하였는지, 외부 상류지역의 오염원이 지하수 흐름을 따라 유입된 것인지는 판단할 수 없다.

따라서 향후에는 GW-1을 포함한 사업부지 북측 및 서측의 상·하류 관측정을 이용하여 TCE, PCE 및 주요 분해산물의 공간적 분포를 조사하고, 지하수위와 수리경사를 함께 분석하여 오염원의 위치와 이동경로를 규

명할 필요가 있다. 특히 필요시 심도별 지하수 및 토양 가스 조사를 병행함으로써 지표 부근의 조사만으로 확인하기 어려운 심부 잔류오염원의 존재 여부를 확인할 필요가 있다.

## VIII. Vapor Intrusion 관점에서 본 주변 주거지역의 잠재적 위해

Vapor Intrusion(VI, 증기침해)은 토양 또는 지하수에 존재하는 휘발성 유기오염물질이 토양가스 형태로 이동하여 건물의 균열, 바닥 슬래브, 지하실, 배관 및 하수도 등을 통해 실내공기로 유입되는 현상이다. 미국 EPA는 TCE와 벤젠을 대표적인 vapor-forming chemicals로 제시하고 있으며, 지하수 오염만 확인된 단계에서도 건물별 노출경로가 완성될 가능성을 검토하도록 권고하고 있다(EPA 2015).

VI는 토양의 공극률과 투수성, 지하수위, 오염원과 건물 기초의 거리, 지하실 존재 여부, 바닥 균열, 배관 관통부, 건물 내부와 외부의 압력차, 난방·환기조건 등에 따라 실내농도가 달라진다. 따라서 지하수에서 VOC가 검출되었다는 사실은 곧바로 실내 위해를 의미하지 않지만, VI 가능성을 배제할 수도 없다(Johnson & Ettinger, 1991).

용산과 같이 오래된 군사시설 주변에 주거·상업건물이 밀집한 지역에서는 이 경로를 별도의 관리대상으로 볼 필요가 있다. 특히 TCE와 벤젠은 휘발성이 높고 건강영향이 우려되는 물질이므로, 토양·지하수 조사와 함께 토양가스 및 건물 내부공기를 조사할 필요가 있다. 최근 국내에서도 산업단지 주변 지하수공의 휘발가스측정으로 인한 주거지 증기침해 위해도를 예측

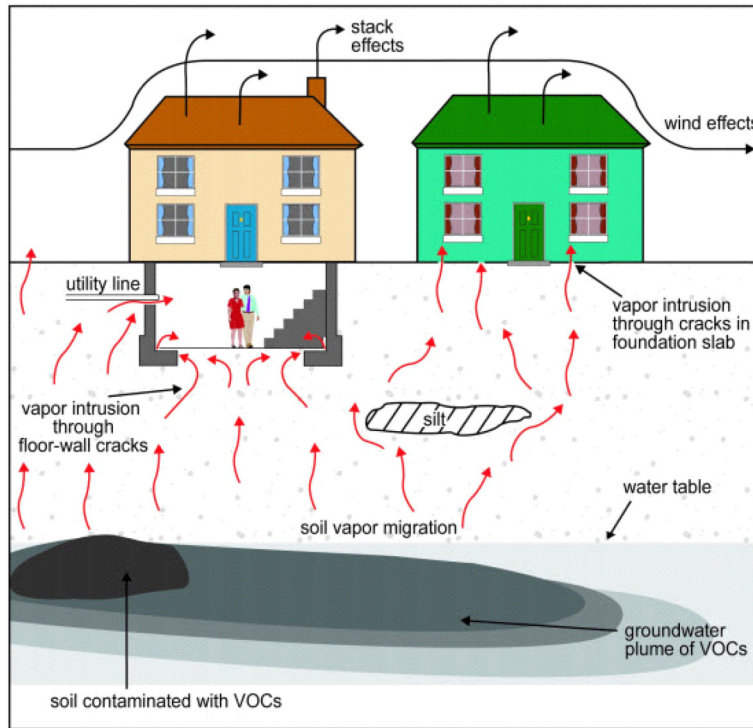


Figure 4. Vapor Intrusion Conceptual Model (U.S. EPA), 2015

한 연구도 보고되고 있다(Kim et al., 2026).

미국 Hill Air Force Base (Hill AFB)는 이 점에서 중요한 비교사례이다. Hill AFB는 1940년 설립 이후 대규모 항공기 정비시설을 운영하면서 부품 세척과 탈지에 용제를 사용하였고, 과거 폐기물 처리시설에서 유출된 염소계 용제가 지하수로 이동하여 기지 밖 주거지역까지 확산되었다. 미국 국방부·EPA 자료에 따르면 Hill AFB는 2003년부터 주택 실내공기 조사를 체계적으로 시작했고, 2024년까지 약 3,220개 주택에서 조사가 이루어졌다. 지역 보도에 따르면 조사 위치의 약 10%에서 오염성 증기가 검출되었다(Aston, 2024).

## IX. 용산미군기지 주변 토양·지하수·토양가스 관리 필요성 제고

앞선 분석에서 유엔사부지의 토양오염이 정화 이후에도 반복적으로 확인되었고, 녹사평역 일원에서는 장기간 정화에도 벤젠과 TPH가 검출되었으며, 유엔사부지에서는 TCE가 반복적으로 검출되었다. 또한 환경영

향평가의 오염물 거동모델은 주변 오염원이 사업부지로 이동할 수 있는 조건이 존재함을 보여주었다. 이러한 결과는 반환부지에 대한 제한적인 조사만으로 주변 지역의 오염 가능성을 판단하는 데 한계가 있음을 보여준다. 따라서 향후 조사는 기지 경계와 주변 생활권을 포함하는 상·하류 수리지질 조사와 잠재오염원 중심의 토양·지하수 조사로 확대될 필요가 있다.

따라서 향후에는 기지 경계와 주변지역을 대상으로 상·하류 지하수 및 잠재오염원에 대한 조사를 확대하고, 유류 및 TCE/PCE의 오염원과 이동경로를 지속적으로 추적할 필요가 있다. 또한 주거지역에서는 휘발성 오염물질에 대한 soil gas, sub-slab gas 및 indoor air 조사를 연계하여 Vapor Intrusion 가능성을 평가할 필요가 있다.

## X. 결론

본 연구는 유엔사부지 복합개발사업의 환경영향평가 및 사후환경영향조사 자료와 서울시·용산구의 공개

자료를 이용하여 용산미군기지 주변 토양·지하수 오염의 장기적 변화와 이동 가능성을 검토하였다. 유엔사 부지에서는 과거 정화 이후에도 2018년 추가 TPH 오염도가 확인되었고, 2023년 개발공사 과정에서도 토양 오염이 재확인되었다. 또한 녹사평역 일원에서는 장기간의 지하수 정화에도 불구하고 2025년까지 벤젠과 TPH가 검출되어 잔류 오염원의 존재 가능성을 배제하기 어려운 것으로 나타났다.

환경영향평가의 오염물 거동모델에서는 녹사평역 일원의 오염원이 지하수 흐름을 따라 유엔사부지로 유입될 가능성이 차수벽 조건에 따라 달라지는 것으로 예측되었다. 이는 녹사평역 오염이 실제로 사업부지에 유입되었다는 의미는 아니지만, 주변 오염원의 이동 가능성을 정량적으로 검토할 필요가 있음을 보여준다. 또한 사후환경영향조사에서는 사업부지 내 GW-1에서 2024년 TCE가 반복적으로 검출되었으며, 공사 과정에서 TCE와 PCE가 토양에서 확인된 사실을 함께 고려할 때 그 오염원과 이동경로에 대한 추가적인 규명이 필요하다.

유류 및 TCE와 같은 휘발성 오염물질은 토양과 지하수에서 토양가스로 이동하여 건물 내부로 유입되는 Vapor Intrusion 경로를 형성할 수 있다. 따라서 용산미군기지 주변지역의 환경관리는 지하수 기준 초과 여부에만 한정하기보다, 오염이 확인되거나 우려되는 지역에서 soil gas, sub-slab gas 및 indoor air를 연계하여 주민 노출 가능성을 평가할 필요가 있다.

이상의 결과를 종합하면, 용산미군기지 주변의 환경관리는 반환부지 또는 개별 오염지점 중심의 관리에서 벗어나 기지와 주변 생활권을 하나의 수리지질학적 시스템으로 고려하는 장기적 관리체계로 전환할 필요가 있다. 이를 위해 기지 주변지역의 상·하류 토양·지하수 조사, 잠재오염원 및 오염플룸 추적, 장기 수리지질 모니터링을 실시하고, 오염 확산이나 주민 노출 가능성이 확인될 경우 적절한 정화 및 Vapor Mitigation 대책을 병행해야 한다.

## References

Aston, R. (2024). Hill Air Force Base testing indoor air for contaminants from groundwater vapor. *Standard-*

*Examiner*. <https://www.standard.net/news/military/2024/sep/24/hill-air-force-base-testing-indoor-air-for-contaminants-from-groundwater-vapor/>

대한토지신탁(주). (2024). 이태원동 유엔사부지 복합 개발사업 사후환경영향조사결과 통보서(2023. 02.-2024. 01. 조사결과).

Daehan Land Trust Co., Ltd. (2024). *Post-environmental impact assessment monitoring report for the Itaewon-dong UN Command site complex development project* (monitoring results: Feb. 2023-Jan. 2024.)

대한토지신탁(주). (2025). 이태원동 유엔사부지 복합 개발사업 사후환경영향조사결과 통보서(2024. 02.-2025. 01. 조사결과).

Daehan Land Trust Co., Ltd. (2025). *Post-environmental impact assessment monitoring report for the Itaewon-dong UN Command site complex development project* (monitoring results: Feb. 2024-Jan. 2025.)

Essaid, H. I., Cozzarelli, I. M., Eganhouse, R. P., Herkelrath, W. N., Bekins, B. A., & Delin, G. N. (2003). Inverse modeling of BTEX dissolution and biodegradation at the Bemidji, MN crude-oil spill site. *Journal of Contaminant Hydrology*, 67(1-4), 269-299. [https://doi.org/10.1016/S0169-7722\(03\)00034-2](https://doi.org/10.1016/S0169-7722(03)00034-2)

Hwang, J.-W., Yun, S.-T., Yu, S., Lee, K.-J., Oh, J.-E., & Kim, J. H. (2026). Source differentiation of co-mingled petroleum derivatives in groundwater at a historically oil-contaminated urban aquifer in South Korea. *Groundwater for Sustainable Development*, 32, 101565. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2025.101565>

IARC. (2014). *Trichloroethylene, tetrachloroethylene, and some other chlorinated agents*. (IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, Vol. 106). <https://publications.iarc.who.int/download/mono106-2025.pdf>

Jeong, S.-W. (2005). Evaluation of the use of capillary numbers for quantifying the removal of DNAPL trapped in a porous medium by surfactant and surfactant foam floods. *Journal of Colloid and*

- Interface Science*, 282(1), 182-187. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2004.08.108>
- Johnson, P. C., & Ettinger, R. A. (1991). Heuristic model for predicting the intrusion rate of contaminant vapors into buildings. *Environmental Science & Technology*, 25(8), 1445-1452. <https://doi.org/10.1021/es00020a013>
- Kim, J.-H., Kim, J.-A., Kim, J., Bae, M. S., Kim, M., Oh, Y., Yun, S.-T., & Lee, S. (2026). Risk assessment of vapor intrusion and health hazards from chlorinated solvent-contaminated groundwater in residential area adjacent to an industrial complex. *Scientific Reports*. <https://doi.org/10.1038/s41598-026-67052-5>
- Lee, J.-Y., & Lee, K.-K. (2013). Remediation of contaminated groundwater: Change of paradigm for sustainable use. *Journal of Soil and Groundwater Environment*, 18(6), 1598-6438. <https://doi.org/10.7857/JSGE.2013.18.6.001>
- Raugh, H. E. Jr. (2018). Militarization of the landscape: The U.S. Army presence in the Yongsan Garrison in Seoul, 1945-2017. *서울과 역사*, 98, 331-368. <https://doi.org/10.22827/seoul.2018..98.010>
- 서울특별시. (2025). 용산미군기지 주변 지하수 오염도 분석결과(녹사평역 주변 유류오염 정화현장) (김용호의원 요구자료 제3026호).
- Seoul Metropolitan Government. (2025). *Analysis of groundwater contamination around the Yongsan U.S. military base (petroleum contamination remediation site near Noksapyeong Station)* (Requested data No. 3026 by Council Member Kim Yong-ho).
- Strobel, M. L., Delin, G. N., & Munson, C. J. (1998). *Spatial variation in saturated hydraulic conductivity of sediments at a crude-oil spill site near Bemidji, Minnesota* (Water-Resources Investigations Report No. 98-4503). U.S. Geological Survey. <https://doi.org/10.3133/wri984053>
- U.S. Environmental Protection Agency (EPA). (2015). *OSWER technical guide for assessing and mitigating the vapor intrusion pathway from subsurface vapor sources to indoor air* (OSWER Publication No. 9200.2-154). <https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-09/documents/oswer-vapor-intrusion-technical-guide-final.pdf>
- 용산일레븐주식회사. (2018). 이태원동 유엔사부지 복합개발사업 환경영향평가서(초안).
- Yongsan Eleven Co., Ltd. (2018). *Environmental impact assessment report (draft) for the Itaewon-dong UN Command site complex development project*.
- 용산일레븐주식회사. (2020a). 이태원동 유엔사부지 복합개발사업 환경영향평가서(본안).
- Yongsan Eleven Co., Ltd. (2020a). *Environmental impact assessment report (final) for the Itaewon-dong UN Command site complex development project*.
- 용산일레븐주식회사. (2020b). 이태원동 유엔사부지 복합개발사업 환경영향평가서(보완).
- Yongsan Eleven Co., Ltd. (2020b). *Supplementary environmental impact assessment report for the Itaewon-dong UN Command site complex development project*.
- 용산일레븐주식회사. (2020c). 이태원동 유엔사부지 복합개발사업 환경영향평가서(재보완).
- Yongsan Eleven Co., Ltd. (2020c). *Further supplementary environmental impact assessment report for the Itaewon-dong UN Command site complex development project*.