J. Soil Groundwater Environ. Vol. 25(2), p. 70~85, 2020 https://doi.org/10.7857/JSGE.2020.25.s1.070
ISSN 1598-6438 (Print), ISSN 2287-8831 (Online)

≪ **Special Paper** ≫

국내 오염부지 조사 개선을 위한 US EPA 스마트 스코핑 기술 소개

김보민[1] · 김한석[1] · 권만재[1] · 조호영[1]*
[1]고려대학교 지구환경과학과

Introduction to US EPA Smart Scoping Technical Guide for Improving Pollution Site Investigation

Bomin Kim[1] · Han-Suk Kim[1] · Man Jae Kwon[1] · Ho Young Jo[1]*
[1]Department of Earth and Environmental Sciences, Korea University, Seoul 02845, Korea

ABSTRACT

This paper introduces the 'Smart Scoping for Environmental Investigations Technical Guide' issued by the US Environmental Protection Agency in 2018, which describes the use of smart scoping during lifecycle of remedial investigation projects. This paper also briefly summarizes the guidelines of soil and groundwater contamination investigation of South Korea. The smart scoping practices can support the development of a robust and realistic conceptual site model that is very useful for investigations and evaluations of the contaminated site. The application of evaluation tools relevant for the site-specific characteristics is important for the development of a conceptual site model. The smart scoping recommends the use of previous investigation data and implementation of best proven strategies for successful remedial investigation project. The use of smart scoping in contaminated site investigation will provide better management of contaminated sites.

Key words : Subsurface environment, Conceptual site model, Smart scoping, Contaminated site investigation

1. 서 론

지하 공간의 개발과 이용이 증가함에 따라 토양, 지하수 등 지중환경에서 발생하는 오염 또한 급증하고 있다. 지중환경에서 발생하는 오염은 복합적이고 복잡한 형태로 나타나며, 오염물질의 종류는 더 다양해지고 있다. 지중환경의 성공적인 관리를 위해서는 다양하고 복잡하며 이질적인 지중환경의 매체 특성들과 매체 및 오염물질 간의 반응 특성들을 이해해야 한다. 오염부지 내 지중환경의 복합적이고 복잡한 오염 양상을 정확하게 파악하고 종합적으로 관리하기 위해서는 효율적이고 효과적인 조사를 통해 현장 특성을 정확히 반영하는 부지개념 모델(Conceptual Site Model, CSM)의 개발이 필수적이다. 이후 시행되는 오염부지 정화 설계와 처리 방법의 효율성은 통합적인 부지개념 모델 개발을 통해 개선될 수 있다.

현재까지 국내에서 실시된 오염부지 정밀조사는 토양과 지하수의 매체별 토양오염 정밀조사 지침과 지하수 오염 평가보고서 작성지침에 따라 진행되어왔다. 해당 오염조사와 평가들은 개별 매체별로 진행되었으며, 따라서 종합적인 오염부지 진단과 평가를 위한 현장개념 모델의 적용은 그동안 조사 단계에서 충분히 고려되지 않았다. 이에 반해 국외에서는 오염부지 조사 시 토양, 지하수 등 지중환경 매체별 조사·평가와 함께, 오염부지의 특성을 종합적으로 이해하기 위한 통합적인 정밀조사를 함께 진행하고 있다. 최근 미국 환경보호청[United States Environmental Protection Agency (US EPA), 이하 미 환경청]에서는 오염부지에 대한 정확하고 현실적인 부지개념모델 개발을 위해 '스마트 스코핑(Smart scoping)에 대한 기술지침서'를 발행하였다(US EPA, 2018a). 미 환경청 기술지침서에 언급된 '스마트 스코핑'은 오염부지 조사 시 부지 환경변화와 오염 거동을 고려한 현실적이고, 통합적인 데이터 적용과 이를 기반으로 한 부지개념 모델 개발을

주저자: 김보민, 박사과정 학생
공저자: 김한석, 연구교수; 권만재, 부교수
*교신저자: 조호영, 교수
E-mail: hyjo@korea.ac.kr

Received : 2020. 5. 15 Reviewed : 2020. 5. 28 Accepted : 2020. 6. 22
Discussion until : 2020. 9. 30

위한 효율적인 절차를 포함한다.

우리나라에서는 2004년 7월에 '스코핑' 제도를 환경영향평가서 작성을 위해 처음 도입한 이후, 이와 관련된 스코핑 시범사업과 성과 분석·평가 등을 실시해왔다. 이후 2011년 12월에는 '스코핑 가이드라인'을 마련하여 환경영향평가 항목 범위 등의 결정을 위한 스코핑 제도 운용 지침서로 활용했다. 환경영향평가서 스코핑 가이드라인에서 스코핑은 '사업자가 환경영향평가서를 작성할 때 선택과 집중 차원에서 꼭 평가해야 할 항목과 범위를 미리 정하는 절차'로 정의된다[Korea Ministry of Environment (KMOE), 2011]. 국외에서는 환경영향평가 도입 단계부터 스코핑 제도를 적용하지만, 우리나라에서는 2012년부터 해당 제도를 반영하기 시작했다. 스코핑 제도가 제대로 시행되면 사업 및 지역 특성을 고려한 효율적인 평가 항목 및 범위 설정을 통해 평가의 질적 향상과 사업자의 시간적 경제적 부담 경감이 가능하다. 또한, 이해관계자를 환경영향평가 과정에서 참여케 함으로써 평가과정에서 제기될 수 있는 문제를 사전에 차단하고 평가의 신뢰성을 제고할 수 있다는 장점이 있다(KMOE, 2011). 하지만 국내 토양 및 지하수 오염 평가 보고서 작성에는 아직 국내 환경영향평가 등의 환경조사와는 달리 스코핑 제도가 반영되지 않고 있다.

이에 본 논문에서는 먼저 오염부지의 데이터 특성이 잘 반영된 현실적인 부지개념 모델을 개발하기 위해 미 환경청에서 2018년에 발행한 '스마트 스코핑에 대한 기술지침서'의 내용을 소개하고, 해당 지침서와 우리나라의 오염부지 조사·평가지침서인 '토양 정밀조사의 세부방법에 관한 규정'과 '지하수 오염평가보고서의 작성 방법' 내용과의 연관성을 살펴보고자 한다.

2. 미 환경청(US EPA)의 오염부지 조사를 위한 스마트 스코핑 기술지침서

본 기술지침서에서는 오염부지 조사를 위한 스마트 스코핑 기법을 소개하고, 해당 기법이 정부 또는 자치단체 등에서 진행하는 오염부지 정화사업의 각 단계에서 어떻게 활용될 수 있는지 설명한다(US EPA, 2018a). 스마트 스코핑 개념을 적용하면 오염부지 조사에 적합한 통합적인 부지개념 모델을 개발할 수 있으며, 해당 모델은 이후 진행되는 오염부지 정화사업과 오염 대응 조치에 활용될 수 있다. 스마트 스코핑은 잠재적 오염부지 조사·평가 시 정보에 근거한 의사결정을 가능하게 하고, 제한된 자원의 효율적인 활용과 같은 사업관리 측면에 도움이 된다. 본 기술지침서에서는 스마트 스코핑 개념을 토대로 한 현실적인 부지개념 모델을 개발하는 방법을 설명하다. 또한, 스마트 스코핑의 실행을 위해 도움이 되는 실제 적용 사례 및 참고문헌을 제공한다.

2.1. 스마트 스코핑

2.1.1. 스마트 스코핑이란?

스마트 스코핑(Smart scoping)은 오염부지 조사·평가 시 적용하는 기법으로, 지역적 특성을 고려한 평가 항목과 범위 설정을 통해 관심 부지의 데이터 특성을 정확하게 반영하는 현실적인 부지개념 모델을 개발하기 위한 절차이다. 스마트 스코핑 기술지침서에서는 부지 특성에 최적화된 부지개념 모델을 개발하기 위해 오염부지 조사 전략 수립 단계에서 오염부지의 지역적, 지질학적 특성, 유사한 오염 특성을 보인 타 지역 오염부지의 조사·평가 사례, 과거에 입증된 모범 전략 기법 등의 다양한 정보들을 활용한다. 다음 항목은 스마트 스코핑 기법을 적용하기 위해 중요하게 고려해야 하는 사항들이다: (1) 정화사업관리자, 기술전문가, 위험관리자 및 기타 이해관계자들의 참여와 활용, (2) 현재 및 미래 토지, 지하수 자원의 올바른 사용 방법 수립, (3) 인간 및 생태계 위해성 평가 방법 설계(자연적 혹은 인위적 원인, 오염물질의 생물학적 이용 가능성 등에 대한 적절한 정보 수집), (4) 내부 전문가 활용, (5) 초기 대응 및 관리 기술의 적절성 평가.

2.1.2. 스마트 스코핑 기법 적용의 기대효과

오염부지 조사를 진행할 때 과거에 이루어진 유사한 부지 조사 모범 사례를 검토하고 이를 통해 더욱 최적화된 전략과 기법을 적용하면 관심 부지의 오염원과 그 주변 매체들에 대한 종합적인 특성화에 큰 도움이 된다. 이러한 부지의 종합적 특성화는 더욱 정밀하고 비용 효율적인 정화 전략을 세울 수 있게 한다. 스마트 스코핑은 장단기 전략 수립을 통해 발생 가능한 위험을 감소시키고, 시기적절한 데이터 수집과 조치를 통해 신속한 대응 조치를 가능하게 하며, 오염 현장의 오염원 조기 제거와 정화 작업을 용이하게 한다. 스마트 스코핑을 제대로 실행하면, 정밀조사 단계 이후 정화 설계 시 소요되는 추가 조사 비용과 시간을 효율적으로 관리할 수 있다. 또한, 스마트 스코핑은 오염부지 조사 단계에서 과학적 근거를 기반으로 한 전략적인 샘플링 설계를 가능케 한다. 이러한 전략적 샘플링 설계에 대한 지침은 미 환경청에서 발행한 '전략적 샘플링 기법을 위한 기술 보고서(Strategic Sampling Approaches Technical Guide, US EPA 542-F-18-005)'에

자세히 소개되어 있다(US EPA, 2018b).

2.1.3. 현실적인 부지개념 모델 이란?

미 환경청에서 제시하는 현실적인 부지개념 모델은 데이터의 특성을 잘 반영하고, 오염부지의 현재 및 미래 환경에서 취득되는 모든 정보를 통합하며, 정화 사업 수명주기의 각 단계에 맞춰 부지개념 모델이 발전되고 완성되는 모델이다. 이러한 부지개념 모델은 적절한 데이터를 바탕으로 부지 매체의 공간적 이질성을 정확하게 파악함으로써 최대한 참값에 가까운 현장 조건을 구현하고, 이후 성공적인 오염정화 계획 및 실행에 활용된다.

2.2. 부지개념 모델의 개발과 활용

본 장에서는 부지개념 모델의 개발 과정을 소개하고, 모델의 구성요소에 관해 설명하고자 한다. 부지개념 모델은 오염부지 정화 및 관리를 위한 의사결정자, 기술자 및 이해관계자 간 소통을 위한 핵심 도구이다. 미 환경청에서는 부지개념 모델의 개발 단계를 다음과 같이 6단계로 구분하였다.

• 부지개념 모델 도출 단계

(1) 부지개념 모델 개발 예비 단계: 체계적인 프로젝트 계획을 세우기 전에 과거 조사에서 취득한 기존 데이터를 활용하여 기본적인 프로젝트 계획을 세우는 단계.

(2) 사전 부지개념 모델 도출 단계: 체계적인 계획을 수립하고, 해당 계획에 대한 이해관계자 간의 합의 또는 불일치를 문서화하고, '데이터 갭(Data gap)', 불확실성, 필요사항 등을 파악하는 단계.

• 부지개념 모델 발전 단계

(3) 기본 부지개념 모델 수립 단계: 오염정화 여부와 정화기술을 결정하기 위해 다양한 현장 조사를 통해 획득한 새로운 데이터를 사용하여 기본 모델을 수정하는 단계.

(4) 부지개념 모델 최적화 단계: 오염정화 설계와 세부 정화기술 도출에 활용하기 위해 오염정화 설계 과정에서 획득한 데이터를 사용하여 부지 특성에 맞도록 모델을 최적화하는 단계.

(5) 부지개념 모델 고도화 단계: 오염정화 과정 동안 획득한 데이터를 사용하여 모델을 고도화하는 단계.

(6) 정화 완료 후 부지개념 모델 활용 단계: 오염부지의 물리적, 화학적, 지질학적, 수리지질학적 정보를 포함하고 있는 고도화된 개념모델을 부지 재이용 및 오염관리 등 오염정화부지 관리에 활용하는 단계.

2.2.1. 프로젝트 진행에 따른 부지개념 모델의 활용

미 환경청에서는 2011년 7월에 전문가들이 현실적인 부지개념 모델을 개발할 수 있도록 '환경 정화를 위한 최고의 관리법: 부지개념 모델의 효과적인 활용(Environmental Cleanup Best Management Practices: Effective Use of the Project Life Cycle Conceptual Site Model)'을 발행하였다(US EPA, 2011). 부지개념 모델은 프로젝트의 목적과 개발 단계에 따라 필요한 정보가 변화하고, 이를 토대로 새로운 정보가 취득된다. 프로젝트의 초점은 진행 단계에 따라 목적에 맞는 부지 특성화, 정화 기술 평가 및 선택, 정화 기법 최적화 등으로 변화한다. 이때 이루어지는 의사결정과 필요한 데이터 및 인력의 활용은 프로젝트가 진행됨에 따라 변하는 사항들과 관련 기술 요구사항 등을 충족해야 한다.

2.2.2. 기존 데이터의 적극적 활용

부지개념 모델 개발 예비 단계에서는 기존 데이터를 적극적으로 활용해야 한다. 과거 조사에서 취득된 데이터는 조사가 이루어지는 부지에 대한 포괄적인 이해를 도우며, 예비 부지개념 모델 개발에 활용된다. 예비 단계에서는 대상 부지에서 취득한 정보들을 종합적으로 이해하고, 위해성 평가 및 정화 기술 평가에 저해가 되는 데이터 갭을 해결하기 위한 요소들을 파악해야 한다. 기존 데이터를 잘 활용할 경우 더 정확한 부지개념 모델을 개발할 수 있을 뿐만 아니라 더 효율적인 조사 기법을 적용할 수 있게 된다. 본 논문 3절에서는 데이터가 부족한 부분을 시각적으로 파악하고, 정보를 효율적으로 수집하기 위한 여러 가지 방법들을 소개하고 있다. 기존 데이터의 활용은 다음 과정을 통해 극대화할 수 있다.

- 기존에 존재하는 모든 데이터의 수집, 평가 및 구성
- 기존 데이터를 종합하여 현장 예비 부지개념 모델 개발
- 기존 데이터의 시각화를 통한 알려진 정보와 부족한 정보의 구분 및 이를 활용한 부지 특성 파악

부지개념 모델 개발 예비 단계에서 활용하기 위해 과거 조사에서 취득되는 데이터는 다음과 같고, 이러한 기존 데이터의 수집, 종합 및 시각화 과정에는 충분한 시간이 필요하다.

- 해당 프로젝트와 관련이 있거나 해당 부지 인근 지역에서 실시된 조사 정보
- 유사한 오염 특성을 갖는 부지에 대한 정보
- 유사한 지질 및 수리지질 특성을 갖는 부지에서 취득된 정보

2.2.3. 부지개념 모델의 구성요소

통합적인 부지개념 모델은 단일 요소가 아닌 여덟 가지 복합적인 요소 및 그 하위 항목들로 구성되어 있으며, 이들은 프로젝트 진행 과정에서 적시 적소에 활용된다. Fig. 1은 부지개념 모델의 구성요소를 나타낸다. 이러한 각 구성요소에 대한 정보는 과거 조사 결과 자료들로부터 얻을 수 있다. 미 환경청에 의하면 과거 정화사업 중 부지개념 모델 구성요소들을 종합적으로 활용했던 사업들은 모두 성공적인 결과를 얻었다고 한다. 이런 부지개념 모델의 구성요소들은 서로 연관되어 밀접한 상호작용을 나타내는데, 예를 들어, 오염물질의 분포와 총량은 지중환경의 지질 및 수리지질학적 특성에 크게 영향을 받으며, 동시에 노출 경로-수용체 네트워크 및 부지 정화 기법 평가를 위한 중요 의사결정 기준 등에 영향을 미친다.

미 환경청이 제시한 부지개념 모델 개발과 관련된 참고문헌은 다음과 같다.

- US EPA. 2011. Environmental cleanup best management practices: effective use of the project life cycle conceptual site model. EPA 542-F-11-011. http://www.brownfieldstsc.org/pdfs/CSM_lifecycle_Fact_Sheet.pdf
- US Army Corps of Engineers. Conceptual site models. EM 200-1-12. December 28, 2012. https://www.epa.gov/remedytech/environmental-cleanup-best-management-practices-effective-use- project-life-cycle
- American Society for Testing and Materials (ASTM). 2014. Standard guide for developing conceptual site models for contaminated sites. E1689-95 (Reapproved 2014). https://www.astm.org/Standards/E1689.htm
- US EPA. 2016. Innovations in site characterization case study: The role of a conceptual site model for expedited site characterization using the triad approach at the Poudre river site, Fort Collins, Colorado. EPA 542-R-06-007. https://clu-in.org/download/char/poudre_river_case_study.pdf
- US EPA. n.d. Conceptual site model development. http://www.triadcentral.org/mgmt/splan/sitemodel/index.cfm
- US EPA. 2006. Systematic planning using the data quality objectives process EPA/240/B-06/001. https://www.epa.gov/sites/production/files/documents/guidance_systematic_planning_dqo_process.pdf

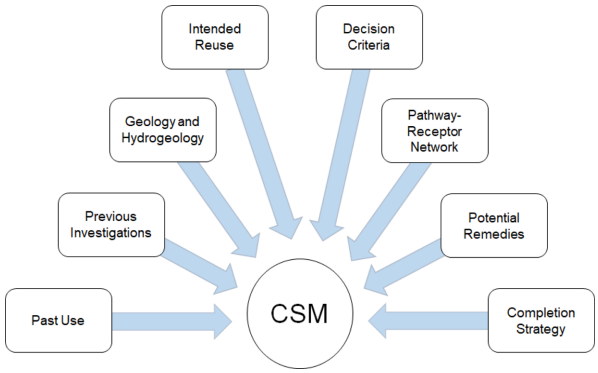

Fig. 1. Components of a conceptual site model (US EPA, 2018).

- US EPA. 2000. Soil screening guidance for radionuclides, 2.1: Developing a conceptual site model. EPA/540-R-00-007. https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/P100MBXW. PDF?Dockey=P100MBXW.PDF
- US EPA. 2016. CLU-IN. Key optimization components: conceptual site model. Last updated September 23, 2016. https://clu-in.org/optimization/components_csm.cfm
- US EPA. n.d. Brownfields road map. Last updated January 3, 2018. https://www.epa.gov/brownfields/brownfields-road-map
- US EPA. 2008. Triad issue paper: Using geophysical tools to develop the conceptual site model. EPA 542-F- 08-007. https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-08/documents/issue-paper_triad-geophysics.pdf
- New Jersey Department of Environmental Protection, Site remediation program. 2011. Technical guidance for preparation and submission of a conceptual site model. http://www.nj.gov/dep/srp/guidance/srra/csm_tech_guidance.pdf

2.2.4. 부지의 과거 용도(Past Use)

부지의 과거 용도는 오염물질 및 잠재적 오염물질(Contaminants of Concern/Contaminants of Potential Concern, COCs/COPCs), 오염된 매체 및 유출 메커니즘 파악, 오염원 및 과거 유출 시기 추정, 이동 경로 추적, 잠재적 책임당사자(Potentially Responsible Party, PRP) 조사, 과거 및 현재 관련 직원 면담, 잠재적 오염 수용체 식별 등을 수행하는 데 이용된다. 그 중 다양한 환경 매체에 지속적인 영향을 끼치는 오염원의 위치와 특성을 파

악하는 것이 중요하다. 부지의 과거 용도를 파악하기 위해 고려할 사항들은 다음과 같다:

- 관심 부지의 오염물질은 무엇인가?
- 해당 물질이 저장되고, 사용되고, 폐기된 지역은 어디인가?
- 오염물질은 해당 부지에서 얼마 동안 사용되었는가?
- 오염물질의 누출은 어떤 방식으로 이루어졌는가?
- 오염물질이 누출된 시기는 언제인가?
- 해당 부지에서 몇 건의 누출 사고가 발생했는가?

미 환경청에서 제시한 오염부지의 과거 용도 정보 활용 지침에 관련된 참고문헌은 다음과 같다.

- US EPA. 1988. Guidance for conducting remedial investigations and feasibility studies under CERCLA. Interim final. OSWER Directive 9355.3-01. EPA 540/G-89/004. October.
- US EPA. 2000. Abandoned mine site characterization and cleanup handbook. EPA 910-B-00-001. August.
- US EPA. 2005. Contaminated sediment remediation guidance for hazardous waste sites. OSWER Directive 9355.0-85. EPA-540-R-05-012. December.

2.2.5. 과거 조사 자료 해석(Previous Investigations)

과거 조사 자료를 활용하면 오염물질의 분포를 추정하고 잠재적 노출 경로-수용체 네트워크를 파악하는 데 도움이 된다. 이때 다음과 같은 사항들을 고려해야 한다.

- 우려되는 잠재 오염경로는 무엇인가?
- 인간의 건강과 환경에 위해가 되는 오염물질의 주요 이동 경로는 무엇인가?
- 문제의 잠재적 위험성은 어떠한가?
- 어떤 조사전략이 효과가 있었고, 또 실패하였는가?
- 어떤 정화 방법이 적용되었고, 그 결과는 어떠한가?
- 잠재적인 데이터 갭은 무엇인가?
- 관심 부지 조사와 관련된 위험 사항은 무엇인가?
- 현실성 있는 부지개념 모델을 완성하기 위한 전략은 무엇인가?

과거 조사 자료를 취합하고 검토하는 것은 부지개념 모델 개발에서 중요한 과정이다. 따라서 관심 부지와 관련된 모든 문헌은 부지개념 모델 개발에 도움이 되면 최대한 활용해야 한다.

미 환경청이 제시한 과거 조사 자료와 관련된 참고문헌은 다음과 같다.

- US EPA. 1988. Guidance for conducting remedial investigations and feasibility studies under CERCLA. Interim final. OSWER Directive 9355.3-01. EPA 540/G-89/004.
- US EPA. n.d. Conceptual site model checklist. https://triadcentral.clu-in.org/ref/ref/documents/CSM_Checklist.pdf
- US EPA. n.d. Triad central web resources. https://triadcentral.clu-in.org/index.cfm

2.2.6. 지질 및 수리지질학적 특성조사(Geology and Hydrogeology)

오염물질의 이동은 지질학적 구조 특성에 크게 영향을 받는다. 오염물질의 이동 경로를 효율적이고 정밀하게 조사하기 위해서는 지질 매체의 이질성을 고해상도로 파악해야 한다. 지중환경을 고해상도로 파악하기 위해서는 (1) 부지 조사 규모와 지질 매체에서 예상되는 이질성의 규모를 일치시키고, (2) 지하수와 오염물질의 이동 경로가 되는 지하구조를 3차원적으로 파악해야 한다. 이는 여러 기술의 조합이 요구되는 정화 설계에 필수적이다. 지중환경이 충분한 해상도로 구축되면 오염원 추적, 오염범위, 오염물질 모니터링, 정화 등에 대한 효율적인 의사결정과 대응 전략을 수립할 수 있다.

미 환경청이 제시한 지질 및 수리지질학적 요소와 관련된 참고문헌은 다음과 같다.

- US EPA. Technical support project. groundwater forum. https://www.epa.gov/remedytech/technical-support-project-cleaning-contaminated-sites-ground-water-forum
- US EPA. n.d. High-resolution characterization for groundwater. Last updated on September 23, 2016. https://clu-in.org/characterization/technologies/hrsc/
- US EPA. 2017. A practical guide for applying environmental sequence stratigraphy to improve conceptual site models. EPA/600/R-17/293. https://semspub.epa.gov/work/HQ/100001009.pdf

2.2.7. 의사결정 기준설정(Decision Criteria)

의사결정 기준은 다음과 같은 사항에 중요하다: (1) 실시간 현장 측정 결과에 근거한 부지 현장에서의 의사결정, (2) 위기 상황에 대해 정확한 파악을 해야 할 때, (3) 오염물질의 정화 범위 결정 등이다. 현장 기반의 의사결정 기준은 현장조사 결과의 편향성과 부정확성을 보완하는 방향으로 이루어져야 한다. 현장 관리자들은 다양한 매체에서의 오염 정도를 평가하기 위해 규제 당국에서 설정한

위해성 기반 선별 기준을 활용해야 한다. 종합 환경 대책 보상 및 부담 법(Comprehensive Environmental Response, Compensation and Liability Act, CERCLA)과 국가 석유 및 유해물질 오염 비상 계획(National Oil and Hazardous Substances Pollution Contingency Plan, NCP)에 따르면 오염물질에 대한 정화기준은 잠재적 연관성을 지닌 요인들과 위해성 기반 정화 수준 계산 등을 고려하여 설정할 수 있다.

미 환경청이 제시한 의사결정 기준에 관련된 참고문헌은 다음과 같다.

- US EPA. Triad central web resources. https://triadcentral.clu-in.org/index.cfm
- US EPA. Regional screening levels (RSLs) - generic tables. https://www.epa.gov/risk/regional-screening-levels-rsls-generic-tables
- US EPA. Regional removal management levels for chemicals (RMLs). Tables as of: May 2018. https://www.epa.gov/risk/regional-removal-management-levels-chemicals-rmls
- US EPA. Vapor intrusion screening level calculator. https://www.epa.gov/vaporintrusion/vapor-intrusion-screening-level-calculator
- US EPA. Superfund chemical data matrix (SCDM). https://www.epa.gov/superfund/superfund-chemical-data-matrix-scdm

2.2.8. 노출 경로-수용체 네트워크 다이어그램(Pathway-Receptor Network)

노출 경로-수용체 네트워크 다이어그램은 오염물질이 오염원에서 잠재적 수용체로 어떻게 이동하는지를 묘사한다. 이러한 다이어그램은 인간 건강 및 생태학적 위험 측면에서 오염물질의 실제 및 잠재적 이동 경로와 수용체를 분석한다. 따라서 부지개념 모델 개발 프로젝트의 구성과 진행 순서를 설정하는 데 도움이 된다. 네트워크 다이어그램을 구성할 때는 가장 중요한 노출 경로가 먼저 다루어져야 하며, 그다음 덜 우려되는 순으로 다루어져야 한다. 노출 경로-수용체 네트워크 다이어그램은 복잡하며 특히 화학적인 측면에서 잠재적 수용체를 평가하기가 쉽지 않으므로 이를 평가할 때는 더욱 복합적인 의사결정 기준을 적용해야 한다. 따라서 현장개념 모델 개발을 위한 체계적인 계획 과정(Systematic Planning Process, SPP) 초기 단계에서 노출 경로-수용체 네트워크 다이어그램을 구축하는 것이 중요하다.

미 환경청이 제시한 노출 경로-수용체 네트워크 다이어그램과 관련된 참고문헌은 다음과 같다.

- US EPA. 1988. Guidance for conducting remedial investigations and feasibility studies Under CERCLA. Interim final. OSWER Directive 9355.3-01. EPA 540/G-89/004. October.
- US EPA. n.d. Conceptual site model checklist. https://triadcentral.clu-in.org/ref/ref/documents/CSM_checklist.pdf
- US EPA. 1989. Risk assessment guidance for superfund, volume I, human health evaluation manual (Part A). Interim final. EPA/540/1-89/002. December. https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-09/documents/rags_a.pdf

2.2.9. 부지 재이용/재활용 방안(Intended Reuse)

슈퍼펀드 태스크 포스 보고서(The superfund task force report)는 부지의 재이용/재활용이 슈퍼펀드 관여 사업들의 최종 목표임을 명시하고 재이용/재활용을 위한 다양한 권장 사항을 소개했다. 미 환경청이 담당한 슈퍼 펀드 재개발 계획은 부지의 재이용 및 활용 방침을 프로젝트 초기 단계에 고려하는 것이 얼마나 중요한지를 보여준다. 오염된 부지를 다시 생산성 있는 부지로 회복시키는 것은 모든 미 환경청 오염부지 정화 프로그램의 주요 목표이다. 오염부지의 재이용/재활용 여부를 평가하고 결정하는 일에는 여러 이해관계자가 참여하며 많은 시간이 소요된다. 부지의 재이용/재활용은 그 용도(공터, 레저 용, 주거 공간, 상업 부지, 공업 부지 등)에 따라 필요한 정화 수준이 달라진다. 부지의 유형과 현존하는 오염물질은 부지의 재이용/재활용 용도를 결정하는 데 영향을 준다. 프로젝트 초기 단계에 부지의 재이용/재활용 용도를 결정하게 되면, 부지개념 모델을 개발할 때 목적에 맞게 효율적이고 적절한 데이터 수집이 가능해진다.

미 환경청이 제시한 부지의 재이용/재활용과 관련된 참고문헌은 다음과 같다.

- US EPA. 1995. Land use in CERCLA remedy selection process, OSWER 9355.7-04. https://semspub.epa.gov/work/HQ/174935.pdf
- US EPA. n.d. Superfund redevelopment program. Last updated on January 9, 2018. https://www.epa.gov/superfund-redevelopment-initiative

2.2.10. 오염부지 정화방안(Potential Remedies)

그동안의 스코핑 활동은 인간 건강과 생태학적 위해성 평가를 위한 데이터 수집과 오염의 특성 및 그 범위를 파악하는 데 초점을 맞추어 왔다. 이러한 활동들은 부지 개념 모델의 중요한 요소이지만 추가적인 이점을 위해서는 장단기 대응에 필요한 다양한 요소들을 미리 파악할 필요가 있다. 오염물질의 추가 이동을 방지하고 잠재적 위해 가능성을 낮추기 위해 초기 대응과 관리 요소들을 미리 파악하는 것은 모든 오염부지 정화 프로그램의 기본이다. 오염원을 식별하고 파악하는 것은 부지개념 모델의 중요한 요소들(부지의 과거 용도, 과거 조사 자료, 지질 및 수리지질학적 요소, 노출 경로-수용체 네트워크 등)과 밀접한 관련이 있다. 오염물질의 종류와 분포 시나리오별로 적용 가능한 정화기술들은 대부분 제한적이다. 따라서 정화의 필요성과 위해 요소들이 결정될 경우 이에 필요한 적절한 해상도의 데이터 수집과 정화기술의 적용 가능성에 초점이 맞춰져야 한다. 정보에 근거한 의사결정과 제한된 자원의 효율적인 관리에 도움을 주는 적응관리 기법은 적용 가능한 조사 기술들의 활용을 통해 데이터 수집이 낭비 없이 적절한 수준으로 이루어질 때 가능하다.

미 환경청이 제시한 오염부지 정화 방안과 관련된 참고문헌은 다음과 같다.

- The EPA's CLU-IN website discusses many potential remedies and technologies. www.clu-in.org
- The federal remediation technology roundtable (FRTR) provides information on the application of potential technologies. www.frtr.gov
- The interstate technology and regulatory council (ITRC) provides technical information on the application of technologies. www.itrcweb.org
- The strategic environmental research and development program (SERDP) and the environmental security technology certification program (ETSCP) provides cutting edge information on data collection techniques. https://www.serdp-estcp.org/

2.2.11. 부지 사후 관리 방안(Completion Strategy)

스마트 스코핑의 범위 설정은 (1) 정화 및 타당성 검토(Remediation Investigation/Feasibility Studies, RI/FS) 등의 프로젝트 단위, (2) 정화 완료 계획에 근거한 적용 가능 기법 선택, (3) 정화 완료, 부지 재이용/재활용 등과 같은 오염부지 조사 및 정화 후 부지 관리방안 등을 마련하는 데 도움이 된다. 사후 관리 전략은 적응관리 기법의 일환이며, 정화 활동과 위해 관리 설계에 도움이 되어야 한다. 규제 프로그램은 부지의 적절한 사후 관리를 위한 요구사항을 광범위하게 설정하지만, 현장 전문가는 더욱더 세밀한 사후 관리방안을 마련할 수 있다. 그 예로 미 환경청에서는 오염 지하수 정화의 프로젝트 종결 전략의 평가와 기록을 위한 통계 도구의 활용을 장려하는 지침서를 발행한 바 있다. 스마트 스코핑은 오염 지하수 정화 작업이 필요한 부지 종결 전략을 평가하고 기록하기 위한 사항들을 프로젝트 초기 단계에 고려하도록 한다.

미 환경청이 제시한 프로젝트 종결 전략과 관련된 참고문헌은 다음과 같다.

- US EPA. 2014. Groundwater remedy completion strategy: moving forward with the end in mind. OSWER Directive No. 9200.2-144. https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/P100KM8X.PDF?Dockey=P100KM8X.PDF
- US EPA. n.d. Groundwater remedial action completion webpage. Last update on June 4, 2018. https://www.epa.gov/superfund/superfund-groundwater-groundwater-response-completion
- US EPA. 2011. Close out procedures for national priorities list sites. OSWER Directive No. 9320.2-22. https://semspub.epa.gov/work/HQ/176076.pdf

2.3. 최상의 스마트 스코핑 접근법

미 환경청에서는 스마트 스코핑 기법 적용의 모범사례 분석을 통해 성공적인 오염부지 조사와 정화를 위한 부지 개념 모델 개발(2.2절에서 논의함), 다학제 종합 팀의 구성, 체계적인 프로젝트 계획, 동적 작업 전략과 적응관리 활용, 고해상도 기술의 활용과 실시간 측정, 협력적 데이터와 다중 근거 확보, 이해관계자들의 참여, 기술 적용성 입증, 데이터 관리와 의사소통, 3차원 시각화 및 분석, 조사 최적화 등의 스마트 스코핑 실행 방법들을 제시했다(Fig. 2). 2.3절에서는 2.2절에서 설명한 현장개념모델 개발을 제외한 나머지 방법들에 관해 설명하고자 한다.

2.3.1. 다학제 종합 팀의 구성(Comprehensive Team)

성공적인 오염부지 조사에는 여러 분야의 환경 기술 전문가, 규제 전문가 및 이해 관계자로 구성된 다학제 종합 팀이 투입된다. 미 환경청은 다학제 종합 팀의 각 구성원에게 서로의 역할과 책임을 부여할 것을 권장한다. 다양한 분야의 기술전문가들은 최선을 다해 현실성 있는 부지 개념 모델을 개발해야 하고, 규제 전문가와 이해관계자들

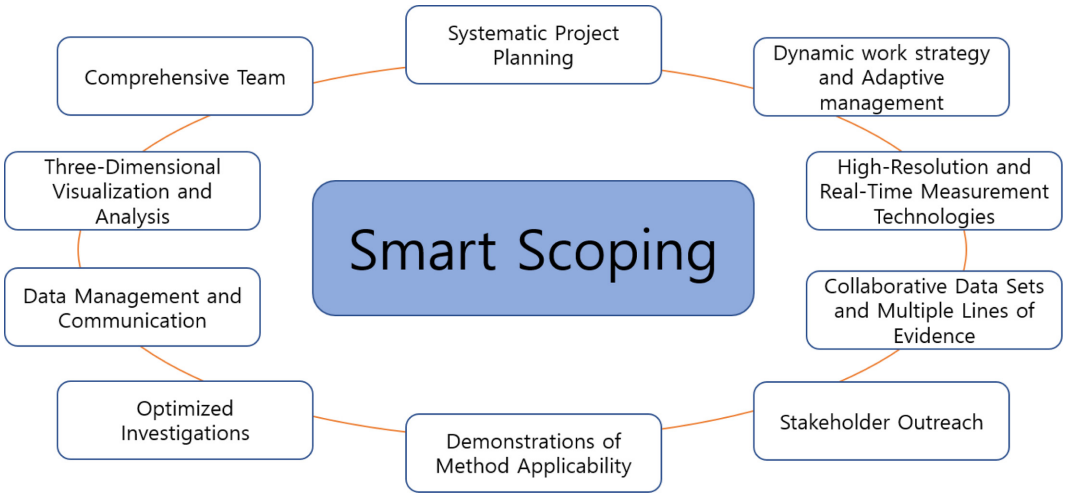

Fig. 2. Best practices for smart scoping in environmental investigation and remediation program (US EPA, 2018).

은 핵심 기술팀에서 개발한 접근법과 데이터 수집 결과를 살펴보고 의견을 제시해야 하며, 부지의 재이용/재활용, 의사결정 기준, 프로젝트 완성 전략 등에 대한 중요 정보를 제공해야 한다. 체계적인 부지개념 모델 개발 계획을 근거로 설계되는 예비 및 기본 부지개념 모델의 데이터 갭과 불확실성을 개선하고, 데이터 종합 등을 통해 현장 팀 간의 합의를 도출하는 것 또한 중요하다. 미 환경청에서는 성공적인 오염부지 조사를 위한 다학제 종합 팀의 분야를 지질학(Geology), 수리지질학(Hydrogeology), 지구화학(Geochemistry), 분석화학(Analytical Chemistry), 위험평가(Risk Assessment), 독성학(Toxicology), 지리정보시스템(Geographical Information System), 정보관리(Information Management), 토양학 및 퇴적학 (Soil and Sediment Science), 과제관리(Project Management), 환경안전 및 보건(Environmental Safety and Health), 공학(Engineering), 생물학(Biology), 기상학(Meteorology), 규제 전문(Regulatory Expertise), 주민참여 연대(Community Involvement Expertise), 정보통신(Communications) 등으로 구성한다. 프로젝트의 전 주기 과정에 따라 기술팀과 프로젝트팀의 구성원은 변화될 수 있다. 예를 들어, 규제 전문가의 역할은 프로젝트 시작 단계에서는 중요하지만, 초반 핵심 사항이 결정되면 그 역할의 중요성은 감소한다.

미 환경청이 제시한 종합 팀 구성에 관련된 참고문헌은 다음과 같다.

- US EPA. 2010. Best management practices: Use of systematic project planning under a triad approach for site assessment and cleanup. https://clu-in.org/download/char/epa-542-f-10-010.pdf
- US EPA. n.d. Multi-disciplinary technical teams. http://www.triadcentral.org/mgmt/req/techteams/index.cfm

2.3.2. 체계적인 프로젝트 계획 수립(Systematic Project Planning)

체계적인 프로젝트 계획 수립은 오염부지 조사 및 정화사업의 모든 단계에서 이루어지는 종합적 계획 수립과 실행을 위한 효율적인 방법이며 적응관리에도 적용할 수 있다. 체계적인 프로젝트 계획 수립은 제한된 프로젝트 활동을 과학적으로 방어할 수 있는 토대를 마련한다. 계획 수립에는 의사결정을 위한 중요사항 결정, 부지개념 모델의 개발 및 불확실성 평가 등이 포함된다. 체계적인 프로젝트 계획은 모든 유형의 조사 방법에서 중요하며, 체계적인 계획 프로그램, 동적 근무 전략 및 실시간 측정 기술과 관련된 세 방향 접근법의 계획과 실행에도 유용하다. 이러한 체계적인 프로젝트 계획 과정은 조사 단계부터 정화 작업, 정화 완료에 이르는 프로젝트의 전 단계에 걸친 부지개념 모델의 활용을 권장한다. 체계적인 프로젝트 계획 과정에서 부지개념 모델은 필요한 데이터 파악, 데이터 수집 방법 선정, 데이터 수집과 분석 등을 수행하는 데 활용된다. 체계적인 프로젝트 계획의 활용은 다음과 같은 기대효과가 있다:

- 프로젝트 이해관계자들 사이의 사회적 자본 구축
- 부지 재이용/재활용 옵션과 프로젝트 종결 전략 평가
- 부지개념 모델과 데이터 갭에 대한 이해관계자들의 합의 도출
- 부지개념 모델 구성요소와 관련된 프로젝트 수명 주

기 데이터 및 그 출처 확인
- 명확한 프로젝트 목표, 시간표 및 제약 조건 확인
- 데이터 수집 전략을 위한 기본 요소 및 성과 측정 기준 개발
- 위해성 관련 불확실성 관리의 평가 및 계획 수립

미 환경청에서 제시한 체계적인 프로젝트 계획과 관련된 참고문헌은 다음과 같다.

- US EPA. 2010. Best management practices: Use of systematic project planning under a triad approach for site assessment and cleanup. https://clu-in.org/download/char/epa-542-f-10-010.pdf
- US EPA. n.d. Triad central. Use of immunoassay test kits, Systematic project planning, and dynamic working strategies to facilitate rapid cleanup of the Wenatchee tree fruit research and extension center site, Wenatchee, Washington. Last ppdate on June 29, 2007. http://www.triadcentral.org/user/includes/dsp_profile.cfm?Project_ID=27
- US EPA. n.d. Triad central. Systematic planning and conceptual site model case study basewide hydrogeologic characterization at naval air weapons station (NAWS) China Lake, Ridgecrest, CA. Last update on October 22, 2004. http://www.triadcentral.org/user/includes/dsp_profile.cfm?Project_ID=4
- US EPA. n.d. Triad month session 2: Triad communications and systematic planning sponsored by: U.S. EPA technology innovation and field services division. https://clu-in.org/conf/tio/triad2_080609/
- US Navy. 2004. Triad's systematic planning process. http://www.triadcentral.org/ref/doc/2_Adrianne.pdf
- US Army Corps of Engineers. 2006. Draft systematic planning checklist-implementing systematic project planning. http://www.triadcentral.org/ref/ref/documents/Triad_Systematic_Planning_Checklist_Oct06_.pdf

2.3.3. 역동적 작업 전략과 대응관리 기법(Dynamic work strategy and Adaptive management)

역동적 작업 전략과 대응관리는 오염부지 조사와 정화 프로젝트가 진행될 때 발생하는 상황변화에 프로젝트팀이 적극적으로 대응할 수 있도록 자원과 계획을 유동적으로 수정하고 재구성함으로써 프로젝트의 가변적인 상황을 대처하고 관리하는 기법이다. 역동적 작업 전략을 통한 대응관리는 오염부지 특성화, 오염물질 정화 및 모니터링에 활용된다. 수집된 정보를 활용하면 특정 활동의 실시간 제어가 가능하며 후속 조치를 통해 남은 데이터 처리와 의사결정의 불확실성을 해결할 수 있다. 역동적 작업 전략의 목표는 현장 팀과 의사결정권자에게 예기치 않은 현장 문제를 해결할 수 있는 유연성을 제공하고, 최소한의 자원 투입을 통해 부지개념 모델을 발전시키고 부지정화를 완료하는 것이다. 프로젝트를 전략적으로 실천하기 위해 현장 작업환경은 사전에 수립되고 승인된 계획을 따르는 게 일반적이지만, 가변적 시나리오와 비상사태에 대한 모든 계획을 사전에 수립하는 것은 불가능하므로, 해당 상황에서는 프로젝트팀과 이해관계자들이 역동적 작업전략과 대응관리를 통해 작업환경에 지시사항을 전달할 수 있다. 역동적 작업 전략은 프로젝트가 진행됨에 따라 부지개념 모델을 발전시키는 데 필요한 데이터를 수집하는 '대응형' 데이터 수집 방식으로 수행된다. 대응형 데이터 수집 방법은 다음과 같다.

- 대응형 샘플링 위치 선택: 실시간 데이터 결과를 바탕으로 현장에서 적절한 샘플링 위치를 결정하는 방법.
- 대응형 샘플 분석 방법 선택: 실시간 데이터 결과를 바탕으로 현장에서 적절한 샘플 분석 방법을 결정하는 방법.

미 환경청이 제시한 동적 작업 전략과 관련된 참고문헌은 다음과 같다.

- US EPA. n.d. Triad resource center, Dynamic work strategies. http://www.triadcentral.org/mgmt/dwstrat/index.cfm
- US EPA. 2009. CLU-IN. Triad month session 7: Dynamic work strategies sponsored by: U.S. EPA Technology Innovation and Field Services Division. https://clu-in.org/conf/tio/triad7_082509/
- US EPA. 2005. Use of dynamic work strategies under a triad approach for site assessment and cleanup- technology bulletin. https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/2000CYTM.PDF?Dockey=2000CYTM.PDF

2.3.4. 고해상도 부지 특성화 기술과 실시간 측정 기술 활용(High-Resolution and Real-Time Measurement Technologies)

고해상도 부지 특성화(High-Resolution Site Characterization, HRSC)를 위해 오염물질의 분포, 운송 및 그 결과에 영향을 주는 지중환경의 이질성 규모에 적합한 조사 기술과 전략이 필요하다. 고해상도 부지 특성화 기술은 오

염물질 노출 경로, 이동에 영향을 주는 인자, 오염물질과 지중 매체의 종류에 따른 대량 오염물질 분포와 플럭스, 정화 조치 수준 결정 등을 위한 세부 정보를 제공한다. 다양한 고해상도 부지 특성화 기술에는 실험실 기반 측정 기술(정량적 혹은 정성적 측정 기술)과 데이터의 신속한 처리를 지원하는 현장 기반 실시간 측정 기술 등 실시간으로 의사결정을 지원하는 모든 측정 기술이 포함된다. 이러한 고해상도 부지 특성화에 활용되는 실시간 측정 기술들은 다음과 같다:

- X선 형광 분석(X-ray fluorescence, XRF)
- MIP 분석(Membrane interface probe)
- 레이저 유도 형광 분석(Laser induced fluorescence, LIF)
- 전기 전도도 측정(Electrical conductivity meter)
- 유압식 프로파일링 분석 기술(Hydraulic profiling tools)
- 적외선 분석 기술(Forward-looking infrared technology)
- 수동 샘플 채취기 및 플럭스 측정 기술(Passive samplers and flux meters)
- 바이오 에세이 및 색도 검사 테스트 기술(Bioassay and colorimetric test kits)
- 이동식 실험실(Mobile laboratories)
- 지표 및 지하 지구물리탐사 기술(Surface and borehole geophysics)

이러한 실시간 측정 기술들은 데이터 수집과 현장 대응에 영향을 주고, 고해상도 부지 특성화를 위한 충분한 데이터를 신속하게 제공한다.

미 환경청이 제시한 고해상도 기술과 실시간 측정과 관련된 참고문헌은 다음과 같다.

- FRTR provides information on the application and cost of measurement technologies. www.frtr.gov
- ITRC provides information on many characterization techniques and technologies. www.itrcweb.org
- The Triad central website provides information and case studies on the triad approach. www.triadcentral.org
- US EPA. n.d. High-resolution characterization for groundwater. Last ppdated on September 23, 2016. https://clu-in.org/characterization/technologies/hrsc/
- US EPA. 2003. Using the triad approach to streamline brownfields site assessment and cleanup. https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/10002O76.PDF?Dockey=10002O76.PDF

2.3.5. 협력적 데이터 구축과 다중 근거 확보(Collaborative Data Sets and Multiple Lines of Evidence)

'협력적 데이터 구축'이란 오염부지의 오염상태를 파악하기 위해 하나 이상의 측정 및 분석 기술을 이용하여 데이터를 수집하는 것이다. '협력적'이란 서로 다른 강점과 약점을 가진 두 가지 이상의 조사 방법을 조합하여 적용할 때가 각각의 조사 방법만을 적용했을 때보다 더 나은 의사결정에 도움이 되는 개선된 결과를 산출할 수 있음을 의미한다. 미 환경청에서는 협력적 데이터 생성을 위해 실험실의 고정식 측정 방법과 현장의 실시간 측정 기술의 혼합사용을 권장한다. 여러 분야의 기술을 조합하면 다양한 협력적 데이터를 산출할 수 있다.

'다중 근거 확보'란 서로 다른 측정 기술로부터 얻은 다양하고 많은 양의 측정 결과들이 유사한 결론으로 수렴하는 데이터 수집 양상을 의미한다. 유사한 결론으로 수렴되지 않으면 그 원인을 파악하고 부지개념 모델의 기본 가정을 검토해 실제 현장 조건에 맞게 기본 가정을 조정함으로써 불일치 문제점을 해결해야 한다. 근거의 수렴 여부는 향후 조사에 영향을 미칠 수 있다. 예를 들어 지질매체 수리전도도 측정을 위한 방법에는 시추공 로그 자료, 콘 관입시험(Cone Penetration Test, CPT), 전기 전도도 측정, 수압 프로파일링 기법 등의 다양한 방법이 있고, 이런 방법들로 취득한 결과를 종합하고 분석하면 실제 현장 조건과 가까운 수리전도도를 산출할 수 있다. 미 환경청에서는 협력적 데이터와 다중 근거 확보를 위한 전략적 샘플링 설계 기법을 개발하고 실행할 것을 권장한다.

미 환경청에서 제시한 협력적 데이터와 다중 근거 확보와 관련된 참고문헌은 다음과 같다.

- US EPA. 2001. Current perspectives in site remediation and monitoring: Applying the concept of effective data to environmental analyses for contaminated Sites. https://clu-in.org/download/char/effective_data.pdf
- US EPA. 2008. Demonstrations of method applicability under a triad approach for site assessment and cleanup - Technology Bulletin. http://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/P1001FR4.PDF?Dockey=P1001FR4.PDF
- US EPA. 2015. Office of solid waste and emergency response (OSWER) technical guide for assessing and mitigating the vapor intrusion pathway from subsurface vapor sources to idoor air. https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-09/

documents/oswer-vapor-intrusion-technical-guide-final.pdf
- US EPA. n.d. Use of a conceptual site model and collaborative data sets involving ROSTTM and other field- based measurement technologies to design and implement soil vapor extraction and petroleum product extraction systems at the Hartford plume site, Hartford, Illinois. Last updated on December 31, 2007. http://www.triadcentral.org/user/includes/dsp_profile.cfm?Project_ID=31
- US EPA. n.d. Triad resources center: Analytical, data, and decision quality: http://www.triadcentral.org/mgmt/meas/key/quality/index.cfm
- ITRC. 2003. Technical and regulatory guidance for the triad approach: A new paradigm for environmental project management: http://www.itrcweb.org/Guidance/GetDocument?documentID=90
- ITRC. 2007. Vapor intrusion pathway: A practical guideline: http://www.itrcweb.org/documents/vi-1.pdf

2.3.6. 이해관계자의 참여(Stakeholder Outreach)

이해관계자의 참여는 모든 유해 폐기물 오염부지 조사, 정화 및 사후 관리에 필수적이다. 이해관계자는 체계적 프로젝트 계획 수립 과정의 핵심으로 역동적 작업 전략과 대응관리에서 특히 중요한 역할을 한다. 그들은 예를 들어 샘플링 설계의 주요 결정사항이 현장 팀과 현장에서 멀리 떨어진 외부 의사 결정자들에 의해 종종 지연되는 상황에서 역동적 작업전략을 실천해 문제에 유연하게 대처할 수 있다.

'사회적 자본'이 구축되면 이해관계자 간의 신뢰, 상호관계, 정보 공유 및 협력에 도움이 되고 프로젝트 진행이 수월해지므로 모든 이해관계자는 프로젝트의 성공을 위해 중요하다. 데이터의 수집 설계, 실행 및 해석에 협력적 접근방식은 데이터 갭을 해소하고, 현장개념모델 요소 간의 불일치를 감소시킨다. 또한, 데이터 검토 시간이 절약되고 기술적 불일치가 해소되어 이해관계자의 문서 검토와 의견 승인과 관련된 프로젝트 관리 비용이 절감된다. 역동적 작업 전략과 대응관리 방법을 성공적으로 적용하려면 작업 계획에 대한 합의와 현장 조건 및 실시간 측정 결과에 근거하여 내리는 의사결정 과정에 이해관계자가 참여해야 한다. 이러한 이해관계자의 참여는 현장 작업이 진행되는 동안 데이터와 관련된 문제를 해결하여 부지 특성화 및 정화 프로젝트 결과에 긍정적인 영향을 준다. 포탈, 웹사이트, 파일 공유 플랫폼 및 화상 회의 등을 비롯한 다양한 원격 공동 작업 도구들을 활용하면 관심 프로세스에 더욱 쉽고 자원 친화적으로 참여할 수 있다.

미 환경청이 제시한 이해관계자의 참여와 관련된 참고논문은 다음과 같다.

- US EPA. 2001. Stakeholder involvement and public participation at the U.S. EPA: Lessons learned, barriers, and innovative approaches: https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-09/documents/stakeholder-involvement-public-participation-at-epa.pdf
- US EPA. 2013. Getting in step: engaging and involving stakeholders in your watershed 2nd Edition EPA841- B-11-001. https://cfpub.epa.gov/npstbx/files/stakeholderguide.pdf
- Federal energy regulatory commission. 2001. Federal energy regulatory commission ideas for better stakeholder involvement in the interstate natural gas pipeline planning pre-filing process. https://www.ferc.gov/legal/maj-ord-reg/land-docs/stakeholder.pdf
- Federal emergency management agency. 2016. Guidance for stakeholder engagement. https://www.fema.gov/media-library-data/1470349382727-a25897d8ed8adfe0d99989d2b0c9a74c/SE_Discovery_Guidance_May_2016_508.pdf
- ITRC. 2001. Petroleum vapor intrusion guidance-community engagement. http://www.itrcweb.org/Petroleum VI-Guidance/Content/7.%20Community%20Engagement.htm
- MDOT. 2009. Michigan Department of Transportation guidelines for stakeholder outreach. https://www.michigan.gov/documents/mdot/MDOT_Guidelines_For_Stakeholder_Engagement_264850_7.pdf

2.3.7. 조사 방법의 적용성 검증(Demonstrations of Method Applicability)

조사 방법의 적용성 검증은 현장에서 수행되는 조사 방법이 부지 조사에 적합한지 평가한다. 조사 방법 적용성 검증은 '방법 적용성 연구(Methods applicability study)' 혹은 '파일럿 연구(Pilot study)'라고도 한다. 조사 방법 적용성 입증에는 현장 적용성 평가를 위한 샘플링 및 분석 방법 사전 평가가 포함된다. 이러한 방법들은 미 환경청에

서 오염부지 샘플링 설계 및 분석 계획을 세우기 전에 실행하도록 권장하는 사항이기도 하다. 조사 방법 적용성 입증은 다음과 같은 목적을 달성하도록 설계되어야 한다.

- 부지 특이적 불균질성 문제에 대한 초기 평가를 통해 데이터 수집과 설계를 보강할 수 있음.
  - 샘플링 설계(샘플링 개수와 위치 고려)
  - 샘플링 지원(샘플링 양과 수집 도구 고려)
  - 샘플 처리(샘플링 지원과 관련)
  - 불균질성 이슈(Heterogeneity issues)에 대한 관리자와 이해관계자의 소통
- 부지 맞춤형 샘플링 및 계획 결정 논리에 대한 성능 평가
  - 분석 방법 선택 및 초기 관계 설정 가이드와 기술 탐색을 통한 협력적 데이터의 비교(통계적, 질적, 시각적 관찰)
  - 성능 향상과 비용 효율성을 위한 수정 방법 모색
- 부지별 맞춤 데이터를 위한 초기 조사 방법 성능 개발 및 품질관리 기준 설정
  - 프로젝트가 진행되면 해당 기준들을 통해 현장 및 분석적 품질관리 결과의 통제 가능성과 프로젝트 요구사항의 충족 여부 판단
  - 품질관리 기준을 초과한 경우 취해야 할 시정 조치 목록 개발
- 결정 임계 값(처분 지역 선정 및 최종 처분을 위한 물질 이송경로 지정에 관한 조치 수준) 설정
- 도구 또는 장비 고장을 대비한 비상 대책 수립
- 현장 데이터 입력(고해상도, 직접 감지 도구, 공간/위치 도구)을 위한 데이터 처리 계획 세분화
- 샘플링 설계에 영향을 주는 현장개념 모델의 요소와 기준에 대한 초기 검토
- 시추 관련 비상사태, 도로 상황, 인력 배치, 단일 비용 등에 의한 물류 이슈 고려

조사 방법 적용성 입증 과정은 현장 및 외부에서 분석 데이터를 산출하는 기술을 사용하여 협력적 데이터 수집을 최적화할 수 있는 비용과 성능 정보를 제공한다. 또한, 이해관계자들에게 부지 맞춤형 기술 정보와 부지 특성에 맞는 조사 방법 표준운영 절차의 최적화를 위한 기반을 제공한다.

미 환경청이 제시한 조사 방법 적용성 입증과 관련된 참고문헌은 다음과 같다.

- US EPA. 2008. Demonstrations of method applicability under a triad approach for site assessment and cleanup - technology bulletin. https://clu-in.org/download/char/demonstrations_of_methods_applicability.pdf
- US EPA. 2008. Demystifying the DMA (Demonstration of Method Applicability). https://clu-in.org/conf/tio/dma_072808/
- US EPA. 2008. X-ray Fluorescence (XRF) Session 4: Demonstration of Method Applicability (DMA): https://clu-in.org/conf/tio/xrf_081408/
- US EPA. 2003. Fort lewis agreed order RI demonstration of method applicability sampling and analysis plan addendum: http://www.triadcentral.org/user/doc/TPP-FortLewis-DMAMemo.pdf

2.3.8. 데이터 관리와 의사소통(Data Management and Communication)

오염부지 조사를 위한 데이터 수집에서 데이터의 관리와 분석은 중요한 요소이다. 데이터 관리 업무 중 일부는 다음과 같은 항목에서 동적 작업 전략과 적응관리와 밀접한 관련이 있다.

- 실시간 데이터의 적시 전송
- 신속한 데이터 처리와 검토 간의 균형
- 데이터의 보관 사항 및 관리
- 데이터의 폭넓은 활용

미 환경청에서 발행한 '데이터 관리를 위한 모범사례 기술지침서(Best Practices for Data Management Technical Guide)'는 데이터 관리 계획과 운영에 대한 추가적인 정보를 제공한다(US EPA, 2018c). 데이터 관리의 모범사례 기술지침서에는 데이터 수집 계획, 수집 방법, 분석, 의사결정, 보관, 통신과 관련된 내용이 자세히 서술되어 있다. 데이터 관리를 잘하면 다음과 같은 효과가 있다.

- 데이터 산출 시점에서 품질 관리
- 실시간 데이터를 이용한 현실적인 부지개념 모델 개발
- 단순한 과거 정보 해석이 아닌 부지개념 모델의 개선을 위한 검토와 재해석
- 프로젝트, 부지, 지역 등에 적용되는 규모의 경제
- 데이터 저장고 및 상호운용: 이해관계자 및 프로젝트 관계자에게 전자 형식으로 제공되는 모든 부지 관련 데이터

미 환경청은 역동적 작업 전략과 실시간 데이터 수집을 장려하며, 이를 위해서 현장 팀은 데이터를 신속하게 평가하고 이에 대응해야 한다. 대부분의 오염부지 조사에서 데이터 수집 팀, 의사 결정자, 이해관계자들은 지리적으로 분산되어 있어 데이터를 적시에 공유하는 게 제한될 수

있다. 팀 구성원들 간에 데이터를 공유하기 위해 여러 협업 도구들이 활용될 수 있다. 이러한 도구 중 다수는 구성원들이 프로젝트의 전 주기 동안 정보 저장고에 접근하기 위한 포탈로 사용될 수 있다. 미 환경청은 이러한 의사소통 도구들이 데이터의 시각화 결과와 부지개념 모델 개발 결과물을 공유하기 위한 좋은 수단이라고 강조한다. 다양한 공개 또는 상용 소프트웨어들은 데이터 통계 분석, 샘플링 설계, 모델링, 시각화, 위해성 평가, 최적화 등의 기능들을 지원한다. 이러한 도구의 예는 https://clu-in.org/software/, https://frtr.gov/decisionsupport/ 등에서 찾아볼 수 있다. 프로젝트 전용 웹사이트, 웹 미팅, 공동 작업 페이지를 사용하면 데이터, 연구결과, 권장 사항 등을 팀 구성원과 이해관계자에게 효율적으로 전달할 수 있다. 현재 미 환경청은 Adobe Connect 및 SharePoint 등을 이용해 공유 데이터에 접근한다. 프로젝트팀은 이해관계자 간의 합의를 도출하고, 역동적인 현장 프로그램과 데이터 해석에 원격으로 참여하며, 관련 문서를 신속하게 검토할 수 있도록 적절한 의사결정 지원 및 커뮤니케이션 도구를 계획하고 활용하는 게 좋다.

미 환경청이 제시한 데이터 관리와 의사소통과 관련된 참고문헌은 다음과 같다.

- US EPA. n.d. National association of remedial project managers - how to plan your data. http://www.slideshare.net/EarthSoft/narpm-data-management-datasearles-pdf
- US EPA. 2011. Data management plan remedial investigation/feasibility study newtown creek. https://semspub.epa.gov/work/02/162129.pdf
- US Department of Energy. n.d. Suggested elements for a data management plan. Last modified on: March 5, 2016. http://science.energy.gov/funding-opportunities/digital-data-management/suggested-elements-for-a- dmp/
- ITRC. 2006. Data management, analysis, and visualization techniques: http://www.itrcweb.org/Guidance Documents/RPO-5.pdf

2.3.9. 3차원 시각화 및 분석(Three-Dimensional Visualization and Analysis)

미 환경청은 지중환경의 불균질성을 정확히 파악하기 위해 고해상도 기법을 적용하여 오염 거동과 이동을 평가하며, 이를 통해 더욱 효과적이고 최적화된 정화 조치를 계획하고 실행한다. 올바른 지질학적 해석은 지중환경을 묘사하는 데 있어 기본이다. 3차원 지질 모델링 소프트웨어는 지질, 수리지질, 지질화학 등의 중요 지중환경 매개변수들을 단일의 공간적 포맷으로 통합하는 3차원 시각화 및 분석(Three-Dimensional Visualization and Analysis:, 3DVA)을 위한 효과적인 도구이다. 미 환경청은 3차원 시각화 및 분석을 활용하면 지하구조와 그 특성을 더 잘 이해하고 부지개념 모델 요소 간의 불일치를 해결할 수 있다고 한다. 3차원 시각화 및 분석 기법은 다음의 측면에서 2차원적 시각화와 분석 기법보다 효과적인 데이터 분석을 제공한다.

- 공간적으로 정확한 데이터 표현
- 깊이에 따른 데이터 표현
- 시간 경과에 따른 데이터 표현
- 관심 대상의 질량 및 부피에 대한 정량적 측정
- 데이터 이상치의 통합
- 기존 정보 활용 극대화 및 협력적 데이터 분석을 통한 추가 데이터 필요성 감소
- 환경 데이터의 지구통계적 분석
- 잠재적 데이터 갭 파악
- 공간적 불확실성의 정량화 및 신뢰도 측정

미 환경청이 제시한 3차원 시각화와 분석과 관련된 참고문헌은 다음과 같다.

- US EPA. 2011. Use of geostatistical 3-D data visualization/analysis in superfund remedial action investigations. https://clu- in.org/conf/tio/3d_092311/
- ITRC. 2006. Data management, analysis, and visualization techniques. http://www.itrcweb.org/Guidance Documents/RPO-5.pdf

2.3.10. 조사 최적화(Optimized Investigations)

오염부지 조사의 최적화 작업에는 스마트 스코핑 기술 지침서에서 제시하는 방법을 적용할 필요가 있다. 최적화 검토 작업은 부지의 현장 조건, 부지개념 모델 구성요소, 시스템 설계, 정화 전략, 프로젝트 완성 전략, 모니터링 네트워크 등에 대한 독립적인 평가를 가능하게 한다. 최적화 검토 결과는 기술 및 정책 사안, 비용 효율성, 시스템 보호, 프로젝트 완성 전략의 진행 단계 등에 대한 일련의 연구 성과와 권장 사항을 제시한다. 부지 조사가 진행되며 발견되는 새로운 현장 조건에 대응하는 역동적 작업 접근법을 적용해야 한다. 이를 위해서는 부지개념 모델이 어느 단계에 있건 오염부지의 현장 조건에 맞는 숙련된 전문가를 투입해 측정 가능한 기간과 목표를 가지고 오염원과 오염 플룸 관리 전략을 개발해야 한다.

미 환경청이 제시한 조사 최적화와 관련된 참고문헌은 다음과 같다.

- US EPA. Cleanup optimization at superfund sites. Last updated on June 4, 2018. https://www.epa.gov/superfund/cleanup-optimization-superfund-sites
- US EPA. 2012. National strategy to expand superfund optimization practices from site assessment to site completion. OSWER 9200.3-75. https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/P100GI85.PDF?Dockey=P100GI85.PDF
- US EPA. n.d. Optimizing site cleanups. Last updated on September 23, 2016. https://clu- in.org/optimization/
- US EPA. 2010. Optimizing the site investigation process: https://clu-in.org/consoil/prez/2010/Investigation-process-optimization-slides.pdf
- ITRC. 2004. Remediation process optimization: Identifying opportunities for enhanced and more efficient site remediation. http://www.itrcweb.org/GuidanceDocuments/RPO-1.pdf

3. 우리나라 지중환경 오염부지 조사 지침과의 연관성

우리나라의 오염부지에 대한 조사·평가는 「토양 정밀조사의 세부방법에 관한 규정」, 「토양오염 위해성 평가 지침」, 「지하수 오염평가보고서의 작성방법」에 따라 시행되고 있다 (KMOE, 2015, 2016, 2019). Table 1은 오염부지 조사·평가를 위한 우리나라의 「토양 정밀조사의 세부방법에 관한 규정」, 「토양오염 위해성 평가지침」, 「지하수 오염평가보고서의 작성 방법」 지침 사항들과 미 환경청에서 발행한 '스마트 스코핑에 대한 기술지침서' 의 중요 사항들을 간략히 비교한 것이다. 우리나라에서는 오염부지에 대한 조사·평가를 토양, 지하수 등 매체별 지침에 근거하여 개별적으로 진행하고, 미 환경청은 통합적으로 오염부지에 대한 조사·평가를 진행한다. 하지만 조사 절차, 조사 항목 등 그 형식 면에서는 미 환경청과 큰 차이가 없다.

우리나라 지침에도 미 환경청이 제시한 오염부지에 대한 '스마트 스코핑에 대한 기술지침서'의 개념이 일부 포함되어 있다. 「토양 정밀조사의 세부방법에 관한 규정」과 「지하수 오염평가보고서의 작성 방법」의 본문에는 "토양의 정밀조사는 본 지침에 따라 실시하여야 한다. 다만, 기초 및 개황 조사 결과 등에 따른 오염 가능 물질의 종류, 건물 등 지장물과 지질 여건 등 객관적인 자료를 토대로 조사 결과에 영향을 주지 아니하는 범위 내에서 필요한 경우 토양오염조사기관의 책임하에 조사면적, 조사 대상 오염물질의 종류, 시료 채취 밀도 및 심도를 일부 조정하여 조사할 수 있다"와 "오염평가보고서의 작성은 본 작성 방법을 토대로 하며 지하수 오염유발시설과 오염물질의 종류, 오염현황 및 면적 등을 고려하여 지하수 수질 개선을 기할 수 있도록 조사·평가 방법을 지하수 오염 유발 시설관리자가 조정할 수 있다." 등이 각각 명시되어 있다. 해당 내용을 살펴보면 정확히 규정되지는 않았지만, 우리나라 오염부지 조사·평가 지침에도 미 환경청의 '스마트 스코핑에 대한 기술지침서'에서 제시하는 역동적 작업전략과 대응관리 개념과 유사한 내용이 있음을 알 수 있다. 하지만, 오염부지 조사·평가과정에서 오염부지 조사 및 정화 프로젝트가 진행됨에 따라 변하는 환경에 적절히 대응할 수 있도록 자원과 계획을 변경하고 재구성하는 등 역동적 작업전략을 펼치며 부지개념 모델을 수립하기에는 국내 현실상 어려움이 있다. 국내의 경우, 오염부지 조사와 정화까지의 사업 기간이 제한적이고, 부지 특이적 불균질성과 예고치 않은 문제로 인해 상황에 맞춰 초기 수립된 정화 설계를 시의적절하게 대응관리 하기에는 어려움이 있다. 대표적인 건 설계변경 이슈이다. 변경 사항에 대해 사업 발주처와 관리자를 설득하기 위해서는 추가 조사와 많은 양의 데이터로 그 필요성을 입증해야 하는데 이를 위해서는 추가적인 시간과 노력이 필요하고 이는 곧 사업비용 변동(증액) 문제 등의 현실적인 문제와 직결되기 때문이다. 이러한 문제를 피하려면 충분한 고해상도 조사와 자료 해석을 통해 도출된 현실적인 부지개념 모델을 기반으로 통합적인 오염 거동 예측과 정화설계기술을 향상시켜야 한다.

우리나라에서는 잠재 오염부지 조사·평가를 토양, 지하수 등 지중환경 매체별로 각각의 절차, 조사항목, 방법 등이 포함된 세부 지침에 근거하여 수행하고 있다. 이는 토양과 지하수에 대해 매체별로 오염원, 오염범위, 오염경로, 오염 위해성 등을 파악하는 정밀조사 방법이다. 하지만 불균질성이 큰 지중환경 오염부지의 경우 그 특성상 종합적인 이해가 필요하며, 이를 위해서는 기존보다 개선된 차별적인 관리기술을 통한 오염부지의 종합적인 이해와 그에 맞는 적절한 정화 조치가 수행되어야 한다. 과거와 현재에 취득되는 모든 정보를 포함하고, 조사·평가 진행 단계에서 부지 특성에 맞게 수정 가능하며, 오염부지에 대한 종합적인 이해를 돕고, 오염부지 정화사업뿐만 아니라

Table 1. A summary of guidelines for contaminated site investigation in Korea and US EPA smart scoping for environmental investigation technical guide (KMOE, 2015, 2016, 2019, US EPA, 2018)

토양정밀조사의 세부방법에 관한 규정	지하수오염평가보고서의 작성방법	미 환경청 잠재 오염부지 조사에 스마트 스코핑 기술지침서
• 목적: 토양정밀조사의 조사항목, 시료채취 방법 등 세부사항을 정함 • 기초조사: 토양오염 유무 판단 및 조사방법 설정 - 일반현황 및 환경관리 조사: 토지사용 이력 조사, 시설내역조사 등 - 청취조사: 시설현황, 오염물질 관리상태, 오염사고 사례 등 - 현장조사: 오염상태 확인 - 결과활용: 기본개념모델 도출 • 개황조사: 오염물질 종류, 면적, 및 범위 파악 - 대상시료: 토양	• 목적: 지하수오염으로 인한 위해성, 오염범위, 오염원인 평가, 오염방지대책 수립 • 절차 및 방법: - 지하수오염으로 인한 위해성: 토양오염 위해성 평가지침에 따라 평가 - 개략적인 오염범위 추정을 위한 자료조사 및 현장조사 - 관측정 설치, 오염물질 분석, 수리지질조사 및 오염범위 분석: · 양수시험 · 순간수위변화시험 · 지하수위 측정 · 지구물리탐사(전기비저항탐사) · 충적층 및 암반층 시추조사	• 목적: 오염부지 조사 모범사례 분석을 통해 최적의 현장개념모델 개발을 위한 스마트 스코핑 기법 설명 및 관련 참고문헌 제공 • 부지 현장개념모델 구성요소 - 부지의 과거 용도 - 과거 조사 자료 - 지질 및 수리지질 - 의사결정기준 - 노출경로-수용체 네트워크 - 부지 재사용 방안 - 정화방안 및 대책 - 향후 관리방안
- 대상시료: 토양 - 시료채취: 기초조사 결과 분석을 통해 조사 대상 부지 특성에 따른 시료채취 지점 및 심도 결정 • 정밀조사: 개황조사 결과 우려기준을 초과하거나 오염이 우려되는 지역과 심도를 대상으로 한 정밀조사 - 대상시료: 토양, 하천수, 퇴적물, 지하수 등 - 시료채취: 개황조사 결과 분석을 통해 조사 대상 부지 특성에 따른 대상시료 종류와 시료채취 지점 및 심도 결정 - 시료채취 지점도 및 오염분포도 작성 - 필요한 경우 토양의 이화학 특성 분석, 현장 수리시험 등 실시 - 오염물질별 정화 대상량 결정 - 조사지역 지형, 지질, 오염물질의 종류 및 오염도를 고려하여 토양오염방지 및 오염토양 정화 방안 제시	· 토양조사 · 지하수 오염물질 조사·분석 - 지하수 유동특성 분석 - 오염도 작성 및 오염물질 총량 분석 - 시간 경과에 따른 오염물질 거동 예측(모델링) - 오염원인 및 오염경로 평가 - 지하수 오염방지대책 제시	• 부지 현장개념모델 개발 단계 - 현장개념모델 개발 예비 단계 기존 데이터를 활용하여 기본적인 프로젝트 계획을 수립하는 단계 - 사전 현장개념모델 체계적인 프로젝트 계획을 수립하고 기존 데이터를 활용하여 사전 현장개념모델 도출 단계 - 기본 현장개념모델 현장 조사를 통해 획득한 새로운 데이터를 활용하여 기본 현장개념모델 도출하는 단계 - 최적화 오염정화 설계 과정에서 획득한 데이터를 활용하여 부지 특성에 맞게 현장개념모델을 최적화하는 단계 - 고도화 오염정화 과정 동안 획득한 데이터를 활용하여 현장개념모델을 고도화하는 단계
• 토양오염 위해성평가지침 - 목적: 오염토양 정화를 위한 토양오염물질이 인체와 환경에 미치는 위해 정도 평가 절차 - 오염범위 및 노출농도 결정: 자료조사, 정밀조사 분석을 통한 토양시료추가채취, 토양 및 지하수 노출농도 - 노출평가: 노출경로, 토지이용도, 수용체, 노출경로별 인체노출량, 농작물 내 오염물질 농도, 노출인자 - 독성평가: 발암물질과 비발암물질 구분 - 위해도 결정: 발암물질과 비발암물질 위해도		• 부지 현장개념모델 수립을 위한 스마트 스코핑 접근법 - 다양한 분야 종합 팀의 구성 - 체계적인 프로젝트 관리 - 동적 작업전략과 적응관리 - 고해상도 부지 특성화 기술과 실시간 측정 기술 활용 - 협력적 데이터와 다중 근거 확보 - 이해관계자의 참여 - 조사 방법의 적용성 확인 - 데이터 관리와 의사소통 - 3차원 시각화 및 분석 - 조사 최적화

오염 대응 조치에도 활용할 수 있는 부지 특이적 부지개념 모델 개발에 중점을 두어야 한다. 이러한 부지개념 모델을 개발하고 지속해서 개선하기 위해서는 다양한 전문가가 포함된 다학제 종합 팀의 구성, 체계적인 프로젝트

계획, 역동적 작업전략과 대응관리, 고해상도 부지 특성화 기술과 실시간 측정, 다양한 기술을 통한 협력적 데이터 구축과 다중 근거 확보, 이해관계자의 참여, 적용성이 입증된 조사 방법의 활용, 데이터 관리와 의사소통, 3차원 시각화 및 분석, 조사 최적화 등을 적용해야 한다.

4. 결 론

미 환경청의 '스마트 스코핑 기술지침서'에서 가장 강조하는 사항은 오염부지의 조사·평가에서 지역적 특성을 고려한 효과적인 조사·평가 기법을 선택하고, 적절한 평가 항목 및 범위를 설정하여 현실적인 부지개념 모델을 개발하는 것이다. 현실적인 부지개념 모델은 과거와 현재에 취득되는 모든 정보를 포함하고, 조사·평가 진행 단계에서 부지 특성에 맞게 수정되어 오염부지에 대한 종합적인 이해를 가능케 한다. 현실적인 부지개념 모델은 다양한 전문가가 포함된 다학제 종합 팀의 구성, 체계적인 프로젝트 계획, 역동적 작업전략과 대응관리, 고해상도 부지 특성화 기술과 실시간 측정, 다양한 기술을 통한 협력적 데이터 구축과 다중 근거 확보, 이해관계자의 참여, 적용성이 입증된 조사 방법의 활용, 데이터 관리와 의사소통, 3차원 시각화 및 분석, 조사 최적화 등을 통해 개발될 수 있다. 미 환경청은 특히, 과거 잠재 오염부지에 대한 조사·평가와 모범사례 분석을 통해 현장 적용이 입증된, 부지 특성에 맞는 조사평가 기법을 활용할 것을 권장한다. 스마트 스코핑 기술지침서를 참고하여 국내에서도 오염부지 조사 개선을 위한 부지 특성과 오염 거동을 고려한 부지 개념 모델이 개발될 뿐만 아니라, 이를 기반으로 체계적인 오염부지 정화사업이 수행되고 사후 관리에 활용되었으면 한다.

사 사

본 연구는 환경부 "스마트 지중환경 관리기술 연구단(SEM)"으로부터 지원받은 과제임.

References

KMOE, 2011, Scoping guidelines for environmental impact assessment

KMOE, 2015, Guidelines for risk assessment of soil contaminated site

KMOE, 2016, Guidelines for detailed site characterization of soil contaminated sites

KMOE, 2019, Guidelines for groundwater contamination assessment report

US EPA, 2011, Environmental cleanup best management practices: effective use of the project life cycle conceptual site model. EPA 542-F-11-011, 2011 (https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-04/documents/csm-life-cycle-fact-sheet - final.pdf)

US EPA, 2018a, Smart scoping for environmental investigations technical guide. EPA 542-G-18-004, 2018 (https://semspub. epa.gov /work /HQ/ 100001799.pdf)

US EPA, 2018b, Strategic sampling approaches technical guide, EPA 542-F-18-005, 2018 (https://semspub.epa.gov/work/HQ/100001800.pdf)

US EPA, 2018c, Best practice for data management technical guide, EPA 542-F-18-003, 2018 (https://semspub.epa.gov/work/HQ/100001798.pdf)