

토양·지하수오염원 분류체계 구축방안: 2. 분류체계 구축 및 속성자료 활용방안

안정이 · 신경희 · 황상일*

한국환경정책·평가연구원 통합환경연구본부

Building a Classification Scheme of Soil and Groundwater Contamination Sources in Korea: 2. Construction of Classification System and Applications of Attribute Data

Jeongyi An · Kyung Hee Shin · Sang Il Hwang*

Integrated Environmental Research Group, Korea Environment Institute

ABSTRACT

Constructing the national inventory that can be used as a tool to identify and assess existing or potential contamination is necessary for efficiently managing the soil and groundwater contamination. In order to start this construction, the first step is how we define and classify potential contamination sources of soil and groundwater. After selecting the basic classification model of contamination sources from developed countries, we suggested the classification and list of the potential contamination sources of soil and groundwater which are appropriate for specific conditions of South Korea. In addition, we investigated several databases to confirm the existence of available data sources and then examined established attribute data through chemical accident response information system (CARIS) and water information system (WIS) in National Institute of Environmental Research and mine geographic information system (MGIS) in Mine Reclamation Corporation. All sorts of attribute data in the existing databases can be utilized as significant assessment factors for determining the management priority of potential contamination sources in the future. Therefore, it is required the expanded investigation of additional database sources and the continual modification so that the classification system of potential contamination sources can be improved.

Key words : Soil and groundwater contamination, Potential contamination source, Inventory, Classification system, Attribute data

1. 서 론

산업화의 가속화에 따라 다양한 종류의 화학물질 개발과 에너지원으로서 사용되는 유류 소비가 증가하고 있으며, 산업활동 중 생산·운반·저장·보관 등의 과정에서 발생하는 각종 사고와 시설의 노후화, 시설의 이전 및 고의적 방류 등으로 인해 유류 및 유해화학물질들이 생태계로 유출되고 있어 토양·지하수에 심각한 오염을 초래하고 있다. 다른 환경매체와는 달리 토양오염은 한 번 오염되면 오랜 기간 누적되어 복구되는데 훨씬 더 긴 시간과

비용이 요구되며, 지하수의 오염과 국민건강에 직간접적인 피해를 준다. 따라서 토양·지하수의 오염현황 파악과 오염원 및 잠재오염원의 확인과 평가 및 지속적인 관리와 정화전략 수립을 위해 활용할 수 있는 국가차원의 토양·지하수오염 인벤토리 구축이 필요하다.

국내에는 토양·지하수오염의 체계적인 관리를 위한 국가차원의 인벤토리가 구축되어 있지 않기 때문에, 인벤토리 구축에 있어 첫 단계이자, 최우선적으로 관리되어야 할 오염원 목록 확보를 위해 필요한 잠재오염원 분류체계 연구를 진행하였다. 이전 연구(안정이 외, 2010)에서는 오염

*Corresponding author : sangilh@kei.re.kr

원고접수일 : 2010. 12. 10 심사일 : 2010. 12. 13 게재승인일 : 2010. 12. 15
질의 및 토의 : 2011. 2. 28 까지

원 분류체계 개발에 중요한 자료로 활용될 수 있는 선진국의 토양·지하수오염원 분류체계 사례분석을 실시하였고, 본 연구에서는 이를 바탕으로 국내 실정에 적합한 토양·지하수 잠재오염원 분류체계(안)를 제안하고 국내 가용한 오염원 관련 자료원을 확인하기 위해 관련 분야 정보시스템 등의 속성자료를 조사하여 활용방안을 도출하고자 하였다.

2. 토양·지하수 잠재오염원 분류체계

2.1. 분류체계 모델선정

국내 토양·지하수 잠재오염원 분류체계 개발을 위해 미국, 독일, 스웨덴, 뉴질랜드 등 선진국의 분류체계 사례를 검토하였다(안정익 외 2010). 각 나라별로 토양·지하수오염을 유발할 수 있는 오염원들을 자국 실정에 맞게 선정하여 세부목록으로 제시하고 있었다. 이 중, 미국 환경보호청은 80년대부터 지하수오염을 줄이기 위한 관심을 기울여 왔으며, 여러 가지 프로그램들을 개발하여 오염의 최소화와 안전한 음용수를 제공하기 위한 노력을 해오고 있다. 미국은 1986년 개발된 Wellhead Protection(WHP) 프로그램을 수행하기 위하여 미국 환경보호청 보고서(1993)에 지하수 잠재오염원을 6가지로 구분(자연발생, 농업, 주거, 도시, 상업, 산업, 산업공정)하고 잠재오염원과 관련 오염물질을 제시하여 공공관정과 그 주변지역을 관리하도록 하였다. 선진국의 사례를 살펴보았을 때, 미국의 분류체계는 다른 선진국보다 잠재오염원이 더 세분화되어 있고 구체적인 것으로 판단되었으므로, 본 연구에서는 미국의 분류체계를 국내 토양·지하수 잠재오염원 분류를 위한 기본 모델로 선정하여 검토하였다.

2.2. 잠재오염원 분류체계(안)

2.2.1. 잠재오염원 선정절차

미국의 잠재오염원 목록을 국내에 적용하기 위해서는 현재 국내 실정에 맞는 오염원을 선정하여 재정리하는 절차가 필요하였다. 이를 위해 내·외부 전문가 토의를 통해 국내 토양·지하수 오염사고사례와 오염물질 우선관리대상항목에 관한 연구(국립환경과학원, 2007, 2008)에서 선정된 오염물질의 배출여부, 국내 오염원 관련 참고문헌 등을 기준으로 각각의 오염원에 대한 적정여부를 판단하여 목록을 선정하고, 적절치 않은 오염원들은 삭제하거나 명칭을 수정하였다. 토양과 지하수를 오염시키는 주요오염원은 산업활동에 의한 것인 점과 국내 산업분류에 대한 관련 자료가 기구축되어 있는 점을 고려할 때, 산업과 산업공정에

의해 발생하는 오염원 분류는 관련 자료의 활용을 높이고 좀 더 세분화하고 명확히 할 수 있도록 한국표준산업분류에 따른 업종분류를 활용하여 목록화하기로 하였다.

현재 국립환경과학원에서 운영하고 있는 화학물질배출량정보시스템은 미국의 TRI(Toxics Release Inventory), 캐나다의 NPRI(National Pollutant Inventory), 영국의 PI(Pollution Inventory) 등 여러 나라에서 시행하고 있는 화학물질 배출량조사제도에 기반을 둔 시스템이다. 이 시스템은 사업장에서 제조 또는 사용과정 중 환경(대기, 수계, 토양)으로 배출되는 화학물질의 종류, 배출량, 배출업종 및 업체 등의 정보를 조사하여 환경오염을 최소화하는데 목적이 있다. 화학물질 배출량 조사대상 업종은 한국표준산업분류에 의해 구분되어 있으며, 유해화학물질을 배출하는 업종명이 제시되어 있다. 여기에는 광업, 제조업, 전기·가스·증기 및 수도사업, 하수·폐기물 처리·원료재생 및 환경복원업, 도매 및 소매업, 운수업, 출판·영상·방송통신 및 정보서비스업, 전문·과학 및 기술서비스업, 협회 및 단체·수리 및 기타 개인서비스업에 포함된 총 41개의 업종이 해당되며, 이를 산업 및 산업공정에 의해 발생하는 오염원으로 선정하였다.

또한, 각종 수질관리의 기초 자료 확보를 위해 실시하고 있는 전국오염원조사는 시·도 및 시·군·구에서 기초현황, 산업현황, 축산현황 등의 자료를 전국오염원조사 시스템에 입력하도록 하고 있으며, 산업현황에는 폐수배출사업장 정보, 폐수발생량, 폐수오염도, 배출시설 정보를 입력하게 되어 있다. 폐수배출조사업종은 한국표준산업분류코드에 분류될 수 있게 되어 있으며, 총 140개의 업종이 해당된다. 이를 산업 및 산업공정에 의해 발생하는 오염원으로 선정하였고, 이 중 한국표준산업분류코드에 분류되지 않는 5개 시설은 공통시설로 분류하였다.

미국의 잠재오염원 분류에서는 군대에 의해 발생하는 오염원을 고려하지 않았지만, 미국 이외의 선진국에서는 대부분 포함하고 있었다. 현재 국내에서도 군부대에서 배출되는 오염물질에 의한 토양·지하수오염 사례가 보도되고 있고 그 심각성이 대두되고 있는 것을 고려하여 국내 잠재오염원 분류체계(안)에 군대에 의해 발생하는 오염원을 추가하기로 하였다.

2.2.2. 잠재오염원 선정결과

국내 실정에 맞는 오염원을 최종적으로 정리한 결과 토양지하수 잠재오염원을 7개의 목록으로 분류하고 각각에 대한 세부적인 잠재오염원을 제시하였다(Table 1). 미국의 잠재오염원으로 제시되고 있는 수영장, 불링장, 약국, 미

Table 1. Potential sources of soil and groundwater contamination in South Korea

No.	구분	오염원
1	자연적으로 발생되는 오염원	- 지질학적 방사능가스 - 암석과 토양
2	농업에 의해 발생되는 오염원	- 농업 배수정과 배수로 - 동물사육장과 매장지 - 화학물질 저장지역과 컨테이너 - 축산폐기물 처분지역 - 분뇨살포지역과 저장구덩이 - 작물재배지역(전/담/과수원 포함)과 관개부지(화학비료, 무기질비료 모두 포함)
3	주거에 의해 발생되는 오염원	- 지하저장탱크(난방유)
4	도시에서 발생되는 오염원	- 인위적인 지하수 함양활동 - 배수관정 - 고속도로/도로유지관리 창고/제빙장치 - 도시소각로 - 하수처리시설과 하수관거 - 생활폐기물매립지 - 비위생매립지 - 폐기물중간집하장 - 폐기물재활용/감량시설 - 관정 및 우물
5	상업에 의해 발생되는 오염원	- 공항/유기된 비행장 - 카센터 - 보트야드와 마리나 - 세차장 - 매장묘지 - 골프장 - 주유소 및 저장탱크 - 비유류 지상 및 지하저장탱크 - 철도선로와 야드 - 폐물과 고물집적소-원광석 고철야적장 - 차량기지(여객터미널)
6	산업 또는 산업공정에 의해 발생되는 오염원	- 지상 및 지하저장탱크와 컨테이너 - 매립식 화학물질 처리-지정폐기물, 사업장폐기물매립지 - 석탄, 원유 및 천연가스 광업 - 금속광업 - 비금속광물 광업; 연료용 제외 - 광업 지원 서비스업 - 식료품 제조업 - 음료 제조업 - 담배 제조업 - 섬유제품 제조업; 의복 제외 - 의복, 의복액세서리 및 모피제품 제조업 - 가죽, 가방 신발제조업 - 목재 및 나무제품 제조업 - 펄프, 종이 및 종이제품 제조업 - 인쇄 및 기록매체 제조업 - 코크스, 연탄 및 석유정제품 제조업 - 화학물질 및 화학제품 제조업; 의약품 제외 - 의료용 물질 및 의약품 제조업 - 고무제품 및 플라스틱제품 제조업 - 비금속 광물제품 제조업 - 1차 금속 제조업 - 금속가공제품 제조업; 기계 및 가구 제외 - 전자부품, 컴퓨터, 영상, 음향 및 통신장비 제조업 - 의료, 정밀, 광학기기 및 시계 제조업 - 전기장비 제조업 - 기타 기계 및 장비 제조업 - 자동차 및 트레일러 제조업 - 기타 운송장비 제조업 - 가구 제조업 - 기타 제품 제조업 - 전기, 가스, 증기 및 공기조절 공급업 - 수도사업 - 하수, 폐수 및 분뇨처리업 - 폐기물 수집, 운반 및 원료 재생업 - 수산물 도매업 - 연료 및 관련제품 도매업 - 화학물질 및 화학제품 도매업 - 수산물 소매업 - 육상운송 및 파이프라인 운송업 - 수상 운송업 - 항공 운송업 - 보관 및 창고업 - 출판업 - 사진 촬영 및 처리업 - 병원 - 기계 및 장비 수리업 - 자동차 및 모터사이클 수리업 - 세탁업 - 공통시설 (산업시설의 폐가스, 분진, 세정, 응축시설 / 산업시설의 정수시설 / 이화학시험시설 (면적 100 m ² 이상) / 도금시설 / 운송장비 수선 및 세차 또는 세척시설)
7	군대에 의해 발생되는 오염원	

출처: 1. US EPA, 1993, Seminar Publication, Wellhead Protection: A Guide for Small Communities 재정리.
2. 화학물질 배출량 조사대상 업종과 전국오염원조사 폐수배출 조사대상 업종 참고.

용실, 세탁소, 저장·처리·매립을 위한 웅덩이 등과 같이 국내의 토양·지하수 잠재오염원으로 볼 수 없거나 국내현실에 맞지 않는 오염원들을 삭제하고, 산업 및 산업 공정 부분에는 국내 산업특성을 반영하여 제시하였다. 군대에 의한 오염원의 경우, 독일에서는 추진체와 폭발물 제조, 탄약공장·창고, 액체연료저장시설, 탄약·화학무기 작용제의 매장지 및 군사 활동으로 오염이 발생된 과거 오염지 등을 잠재오염원으로 분류하고 있었으나, 국내에는 오염현황을 파악하기 위한 현장조사와 이를 바탕으로 구축된 관련 자료가 부재하여 세부적인 잠재오염원은 제시하지 않았다.

3. 토양·지하수관련 국내자료 조사

토양·지하수오염 인벤토리를 구축하여 실제적으로 토양·지하수정책을 위한 기초자료로 활용하고 체계적인 오염원관리를 위한 도구로서 사용되기 위해서는 확보된 잠재오염원에 대한 정보 및 데이터가 토양·지하수 정보시스템과 연계되어야 한다. 이를 위해, 국내 가용한 잠재오염원 관련 자료원을 확인하고 그 속성자료를 조사하였다.

3.1. 화학물질사고대응정보시스템(CARIS)

국립환경과학원에서 운영하고 있는 화학물질사고대응정보시스템(CARIS; Chemical Accident Response Information System)은 화학물질로 인한 화재사고나 테러 발생에 대비하기 위해 사고접수 시 화학물질정보, 취급업체정보, 대응요령, 피해예측범위, 방제정보 및 지리정보 등을 대응기관(지자체, 경찰관서, 소방관서, 군부대 등)에 제공함으로써 인명과 재산, 환경피해를 최소화하도록 하는 종합적인 대응정보시스템이다. CARIS의 데이터베이스는 물질정보, 취급업체정보, 대응시나리오, GIS DB, 피해확산 모델 및 기상자료로 구성되어 있으며, CARIS의 각 해당 항목에 대한 상세정보를 검색할 수 있는 정보검색의 기능

을 갖추고 있다. 상세정보에는 화학물질 취급업체, 취급수장, 대응기관, 방제물품 판매업체 등의 시설물 위치 및 속성정보를 검색하는 시설물검색과 반경, 산업단지, 행정구역 등 지형지물에 대한 위치 정보검색, 최적거리검색, 물질정보검색, 기상정보검색 등을 포함하고 있다.

CARIS에서 제공하는 취급업체 정보에는 취급하고 있는 화학물질명과 함량 등을 포함하고 저장시설 타입, 연 취급량과 저장시설 설치연도의 정보가 있으며, 취급공정 관련 정보에는 독성물질누출위험, 폭발·부식·오염위험 등의 여부를 입력하도록 되어 있다(Table 2).

3.2. 광산지리정보시스템(MGIS)

기존연구 및 언론보도 등을 통해 접할 수 있는 휴·폐광산 관련 오염사례들은 오염기준을 훨씬 뛰어 넘어 토양·지하수오염을 유발하고, 인근 지역 주민들에게 급성 및 만성독성을 일으키는 등 사회적 문제로 대두되고 있는 광산 광해의 심각성을 보여 준다. 이에 한국광해관리공단은 광해현황자료의 체계적 관리시스템을 구축하여 광산활동으로 인한 피해를 방지 및 복구하고 광산지역의 지속가능성을 보장하는 광해방지사업을 원활히 수행하기 위해 광산지리정보시스템(MGIS; Mine Geographic Information System)을 구축하였다.

이 시스템은 광산 및 광해현황자료의 체계적인 정보 인프라를 구축하고 관리하여 환경복원 정책수립의 의사결정을 지원하고 있으며, 공간자료와 속성자료가 구축된 서버를 통해 GIS관리자나 지반침하업무 담당자 및 수질·토양개선업무 담당자 등에게 광산·광해정보관리 및 지반침하방지, 수질·토양개선, 산림복구사업을 위한 지원시스템을 제공한다.

시스템 내에는 광산의 일반적인 정보와 광해현황 조회가 가능하도록 되어 있으며, 광산의 수질·토양정보 분석을 위한 속성자료에는 수질·토양조사 정보 및 통계, 정화시설 유입·유출 수질분석의 자료가 포함되어 있다.

Table 2. Composition example of input data in CARIS

업체정보	취급품목	저장시설	보관시설	취급공정
사업장소재지 영업형태 보관저장능력 보관·저장보유능력 등	화학품목명 함량·용도 연제조·수입·구매·사용· 판매·이월·재고·수출·손실량 유해물·사고물질여부 등	저장시설타입 물질성상 시설용량 평균사용량 연취급량 등	보관시설구분 다이 크여부 면적 등	화재·폭발위험 폭주반응위험 독성물질누출위험 부식위험 오염위험 장비결합위험 지진·태풍·홍수위험 등

출처: 국립환경과학원 화학물질사고대응정보시스템 (<https://ccsms.nier.go.kr>)에서 발췌.

Table 3. Survey information in pollution source investigation

기초현황 조사	산업현황 조사	축산현황 조사	특별대책지역 조사
인구현황 양식장 등 기타 수질오염원 현황 토지이용현황 매립장 침출수 처리시설 현황 환경기초시설 현황 농약 및 비료사용 현황 등	수질배출 사업장별 업종 물공급량 폐수발생량 폐수방류량 원수 및 배출수 수질 농도 등	축산폐수 발생 및 처리현황 축산폐수 관련 영업자 현황 등	기존 “수질보전특별대책 지역 환경자료조사”를 통합

출처: 국립환경과학원 물환경정보시스템 (<http://water.nier.go.kr>)에서 발췌.

3.3. 물환경정보시스템(WIS)

국립환경과학원에서 운영하는 물환경에 대한 전반적인 내용으로 구성된 물환경정보시스템(WIS; Water Information System)은 주로 수질·수생태계, 수질측정망 측정자료, 유역환경에 대한 제반내용, 수질 및 오염원 기초자료, 물 관련 자료의 검색과 통계 등의 내용으로 구성되어 있다. 환경부 주관으로 매년 실시되는 전국오염원조사는 오염원을 6개 그룹인 생활계·축산계·산업계·양식계·토지계·매립계로 구분하여 그룹별로 각종 수질관련 기초자료를 조사하고 있으며, 조사된 자료는 물환경정보시스템에 축적되어 과학적인 수질 정책 수립에 기여하고 있다.

전국오염원조사는 시·군·구에서 기초현황, 산업현황, 축산현황, 특별대책지역 조사를 실시하여 작성지침에 따라 작성하도록 하고 있다. 이 조사를 통해 토양·지하수 잠재오염원으로 분류한 매립지에 대한 현황과 축산폐수 발생현황, 연간 농약 및 비료 사용량 등 다양한 속성자료를 얻을 수 있다(Table 3).

4. 시사점 및 결론

본 연구에서는 국내 실정에 적합한 토양·지하수 잠재오염원 분류체계를 제안하였고, 차후에 국가 인벤토리 구축을 위해 필요한 잠재오염원과 관련된 가용자료원의 확인과 구축된 속성자료를 살펴보았다. 위에서 살펴본 화학물질배출량정보공개시스템은 유해화학물질(사고대비물질, 유독물, 관찰물질, 취급제한·금지물질)을 조사대상으로 하고 있었고, CARIS의 경우는 유해화학물질관리법, 산업안전보건법, 위험물안전관리법 등에서 제시하는 물질을 대상으로 하고 있으나 해당 물질의 일부만을 포함하고 있었다. 따라서 관리대상에 포함되어 있지 않은 물질을 다루는 오염원의 정보가 추가적으로 필요하다. 이외에도 반드시 조사·관리되어야 하는 토양·지하수 잠재오염원으로 유류 및 유해화학물질 저장시설을 들 수 있는데, 함량이 기준보다 적어 유독물에서 제외되는 연료유류를 취급하는

주유소와 유독물 사용량이 등록대상 기준 이하여서 유독물관리대상에서 제외된 사업장과 관련된 정보의 취합이 필요하다. 이를 위해 주유소를 포함하여 위험물 관련 자료가 구축되어 있는 소방방재청의 오염원 속성자료에 대한 정보 수집이 필요하며, 등록대상에 해당되지 않는 사업장에 대해서는 각 시·군·구 자료를 살펴보고 가용자료의 유무를 판단해야 할 것으로 사료된다. 또한 추후 토양·지하수 현행 법정 오염물질이 추가 확대됨에 따라 추가적으로 발생할 수 있는 오염원의 고려가 필요하며, 오염원과 오염물질에 대한 체계적인 조사가 이루어지지 않은 군부대에 의한 오염원에 대해서는 차후 오염현황 파악을 위한 조사를 바탕으로 한 정보 수집이 필요할 것으로 판단된다. 따라서 토양·지하수 잠재오염원 분류체계(안)는 국내 현황을 반영할 수 있도록 활용 가능한 자료를 추가적으로 확보하여 수정·보완이 필요할 수 있으며, 분류체계(안)를 시범지역에 적용하여 기 구축 자료의 정확도를 평가하고 그 적용성을 검토한 후 수정·보완하는 것도 필요할 것으로 판단된다.

국가 인벤토리 구축을 위해서 첫 번째로 개발되어야 하는 잠재오염원 분류체계는 오염원 관리우선순위 선정에 필요한 목록을 제시해주며, 기 구축된 자료원 내 각종 속성자료는 국가나 지자체가 향후 어떤 잠재오염원을 최우선적으로 관리하여야 하는지 도출하기 위해 필요한 오염원 특성, 지반 및 매체 특성, 주변 환경평가 특성, 오염물질 특성 등과 함께 중요한 평가인자로 활용될 수 있다. 오염원 관리우선순위 평가결과를 통해 얻어진 기초자료는 오염의 관리전략 수립시 활용될 수 있을 것이며, 이를 토대로 토양·지하수 오염의 효율적인 관리와 오염의 최소화를 돕는 국가적 차원의 인벤토리를 구축할 수 있을 것이다.

사 사

본 연구는 한국환경정책·평가연구원 수탁연구과제 “토

양·지하수오염원 국가인벤토리 구축기법 개발” 연구의 일부분으로써 한국환경정책·평가연구원과 한국환경산업기술원의 지원에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- 국립환경과학원, 2007, 우선관리대상 토양오염물질 선정 연구.
- 국립환경과학원, 2008, 지하수오염물질 우선관리대상항목 선정 연구.
- 국립환경과학원 물환경정보시스템, <http://water.nier.go.kr/>
- 국립환경과학원 화학물질배출량정보공개시스템, <http://ncis.nier.go.kr/triopen/>
- 국립환경과학원 화학물질사고대응정보시스템, <https://ccsms.nier.go.kr/>
- 안정이, 신경희, 황상일, 2010, 토양·지하수오염원 분류체계 구축방안: 1. 국내외 현황 및 시사점, 한국지하수토양학회지 게재예정.
- 한국광해관리공단 광산지리정보시스템.
- US EPA, 1993, Seminar Publication, Wellhead Protection: A Guide for Small Communities, Office of Research and development, Washington D.C.
- ICSS, 2007, Manual for Management and Handling of Contaminated Sites, International Centre for Soil and Contaminated Sites, Berlin, Germany.