

토양·지하수오염원 분류체계 구축방안: 1. 국내외 현황 및 시사점

안정기 · 신경희 · 황상일*
한국환경정책·평가연구원 통합환경연구본부

Building a Classification Scheme of Soil and Groundwater Contamination Sources in Korea: 1. State-of-the-Art and Suggestions

Jeongyi An · Kyung Hee Shin · Sang Il Hwang*
Integrated Environmental Research Group, Korea Environment Institute

ABSTRACT

National inventory of soil and groundwater contamination is an efficient decision-making tool to identify and manage existing or potential contaminated sources and contaminants. It has been used as basic data for establishing the scheme of regulations and remediation plans of soil and groundwater contamination in developed countries. This study examined classification of existing or potential sources of soil and groundwater contamination from various countries to suggest implications that required for development of classification of soil and groundwater contamination sources in Korea. Each country has provided a list of currently or potentially contaminating activities or landuses and identified some of the potential contaminants related to those contamination sources. Consideration of sources which had not been mentioned or regarded as contamination sources before was suggested for Korea situation. In addition, it is necessary to compile a list of existing data and information as much as possible to develop a detailed and practical list of various contamination sources.

Key words : Soil and groundwater contamination, Potential contamination source, Inventory, Classification of potential source

1. 서 론

산업구조의 고도화로 다분야의 산업이 발달함으로써 오염을 유발하는 시설과 화학물질의 종류가 다양해지고 있으며, 폐기물 발생량의 계속적인 증가추세에 따라 토양·지하수오염이 가중될 전망이다(환경부, 2009). 또한, 한번 오염된 토양·지하수는 원상태로 회복되기까지 많은 시간이 걸리며 정화하는데 경제적으로 막대한 예산이 요구되므로 토양·지하수오염을 관리하고 정화하기 위한 합리적인 평가가 요구된다. 이를 위해, 오염원 및 오염물질을 확인·평가하고 다양한 관리·정화전략 설계시 기초자료로 사용될 수 있는 국가적 차원의 인벤토리 구축이 필요하다.

국내에는 토양·지하수오염을 유발하는 시설이나 장소, 활동 등 기존 및 잠재오염원에 관한 정보를 수집하여 통

합적으로 관리하기 위한 인벤토리가 구축되어 있지 않으며, 휴·폐금속광산 토양오염실태조사나 산업단지 오염도 조사 등으로 매우 제한적으로 진행되어 왔다. 반면, 선진국의 경우에는 토양·지하수오염 인벤토리 구축을 위한 연구가 많이 진행되었으며, 구축된 인벤토리를 지속적으로 갱신해 오고 있었다.

선진국과 같이 토양·지하수오염 인벤토리를 구축하기 위해서는 오염원 관리우선순위 선정시의 기초자료인 기존 및 잠재오염원의 분류체계가 필요하며, 이는 오염원이 무엇인지 정확히 파악하는데 용이하게 하며 오염시설에 대한 관련시설의 종류를 구체적이고 명확하게 제시해 준다.

본 연구에서는 차후 국내 인벤토리 구축을 위해 필요한 오염원분류체계 개발을 위해 중요한 자료로 활용될 수 있는 선진국의 토양·지하수오염원 분류체계 사례를 검토하여 시사점을 도출하고자 하였다.

*Corresponding author : sangilh@kei.re.kr

원고접수일 : 2010. 9. 16 심사일 : 2010. 9. 27 게재승인일 : 2010. 10. 12
질의 및 토의 : 2011. 2. 28 까지

2. 토양 · 지하수 잠재오염원 분류 국외사례

2.1. 미국

미국의 오염원 분류체계에 대한 사례는 지하수오염을 줄이기 위한 프로그램인 우물수원보호(Wellhead Protection) 프로그램과 공공수원 평가 및 보호(Source Water Assessment and Protection) 프로그램을 통해 살펴볼 수 있다.

2.1.1. WHP 프로그램

1986년 미국 환경보호청은 안전음용수법을 수정하여 공공관정과 그 주변 지역을 관리함으로써 지하수 오염을 줄이기 위해 WHP 프로그램을 개발하였다. 이 프로그램은 각 관련기관들의 역할 명시, WHP 지역의 구체화, WHP 지역내 잠재오염원 확인, 오염지역의 관리방법 개발, 대체 물공급을 위한 사고대비계획 준비, 잠재오염원의 최소화 와 그 효과를 최대화시킬 수 있는 새로운 관정의 위치선 정과 같은 6가지 주된 목적을 가지고 있다. 일반적으로 지하수 오염원 및 잠재오염원은 1984년 미의회기술평가국에 의해 방류특성에 따라 세분하여 6군 33종으로 분류된 것이 있으며(Table 1), 미국 환경보호청은 각 주와 지방정부가 WHP 프로그램 수행 시 적용할 수 있도록 지하수 잠재오염원 분류와 이와 관련된 오염물질을 제시하였다. 미국 환경보호청 보고서(1993)에 제시된 지하수 잠재오염원 분류체계를 살펴보면, 자연발생(Naturally

occurring), 농업(Agricultural), 주거(Residential), 도시(Manucipal), 상업(Commercial), 산업(Industrial), 산업과정(Industrial processes) 부분으로 잠재오염원을 분류하여 오염원으로부터 발생하는 건강, 환경 또는 심미적 오염물질을 나열하여 제시하였다(Table 2). 이렇게 분류된 지하수 잠재오염원 분류체계는 애리조나 주 등이 적용하였으며(Arizona DEQ, 1997), 캘리포니아 주는 여기에 오리건 주의 정보를 보충하여 자체적인 오염원 분류체계를 만들었다(California DHS, 1999).

2.1.2. SWAP 프로그램

음용수로 사용되는 지하수보호를 위한 WHP 프로그램을 제정한 이후, 미국 환경보호청은 1996년에 지하수뿐만 아니라 지표수를 포함한 음용수보호 프로그램의 일환으로 SWAP 프로그램을 개발하도록 안전음용수법을 개정하였다. SWAP 프로그램은 공공용수공급을 위한 수원지역의 구체화, 잠재오염원 인벤토리, 오염물질에 대한 공공용수 공급의 민감성 결정을 포함하도록 하고 있으며, 필요한 지하수 기초자료는 WHP 프로그램 및 기존에 조사된 자료들과 연계되어 작성되도록 하였다. 지표수 및 지하수 잠재오염원 분류는 WHP 프로그램에서 제시된 분류체계와 크게 다르지 않으며, 각 주마다 지역 실정에 맞는 오염원 분류체계를 개발하여 적용하였다(US EPA, 1997).

오하이오 주는 SWAP 프로그램의 일환으로 지하수를 이용하는 공공용수시스템에 대한 음용수원평가 매뉴얼에

Table 1. Potential sources of groundwater contamination listed by US OTA (1984)

No.	Category	Source
1	Sources designed to discharge substances	Land application, Injection wells, Subsurface percolation
2	Sources designed to store, treat, and/or dispose of substances; discharge through unplanned release	Aboveground storage tanks, Animal burial, Containers, Detonation sites, Graveyards, Landfills, Materials stockpiles (non-waste), Open burning sites, Open dumps including illegal dumping (waste), Radioactive disposal sites, Residential (or local) disposal (waste), Surface impoundments, Underground storage tank, Waste piles, Waste tailings
3	Sources designed to retain substances during transport or transmission; discharge by accident or negligence	Materials transport and transfer operations, Pipelines
4	Sources discharging substances as a consequence of other planned activities	Animal feeding operations, De-icing salt applications, Fertilizer applications, Irrigation practices (e.g. return flow), Mining and mine drainage, Percolation of atmospheric contaminants, Pesticide applications, Urban runoff
5	Sources providing conduit or inducing discharge through altered flow patterns	Abandoned domestic wells, Construction excavations, Other wells (non-waste), Production wells
6	Naturally-occurring sources; discharge is created and/or exacerbated by human activity	Groundwater-surface water interactions, Natural leaching, Salt-water intrusion/brackish water upconing (or intrusion of other poor-quality natural water)

출처: US OTA, 1984, Protecting the Nation's Groundwater from Contamination.

Table 2. Potential sources of groundwater contamination listed by US EPA(1993)

No.	Category	Source
1	Naturally Occurring	Contaminated water, Decaying organic matter, Geological radioactive gas, Natural hydrogeological events and formation, Rocks and soils
2	Agricultural	Agricultural drainage wells and canals, Animal feedlots and burial areas, Chemical storage areas and containers, Crop areas and irrigation sites, Farm machinery areas, Livestock waste disposal areas, Manure spreading areas and storage pits
3	Residential	Apartments and condominiums, Common household maintenance and hobbies, Lawns and gardens, Septic systems/cesspools/sewer lines, Swimming pools, Underground storage tanks
4	Manucipal	Artificial groundwater recharge, Combined sewer overflows (municipal sewers and storm water drains), Drainage well, Highways/road maintenance depots/deicing operations, Land areas applied with wastewater or wastewater byproducts, Municipal incinerators, Municipal sewage treatment plants and sewer lines, Municipal waste landfills, Open dumping and burning sites/closed dumps, Park lands, Public and residential areas infested with mosquitoes/gypsy moths/ticks/ants/other pests, Recycling/reduction facilities, Schools and government offices and grounds, Storage/treatment/disposal ponds/lagoons/surface impoundments, Storm water drains and basins, Sumps and dry wells, Water supply wells/monitoring wells/older wells/domestic and livestock wells/unsealed and abandoned wells/test hole wells, Well pumping that causes inter-aquifer leakage/induced filtration/landward migration of sea water in coastal areas
5	Commercial	Above-ground and underground storage tanks, Airports/abandoned airfields, Auto repair shops, Barber and beauty shops, Boat yards and marinas, Bowling alleys, Campgrounds, Car dealerships (especially those with service departments), Car washes, Carpet stores, Cemeteries, Construction trade areas and materials (plumbing, heating and air conditioning, painting, paper hanging, decorating, drywall and plastering, acoustical insulation, carpentry, flooring, roofing and sheet metal, wrecking and demolition, etc.), Country clubs, Dry cleaners, Funeral services and crematories, Furniture repair and finishing shops, Gasoline service stations, Golf courses, Hardware/lumber/parts stores, Heating oil companies, underground storage tanks, Horticultural practices/garden nurseries/flowerist, Jewelry/metal plating shops, Laundromats, Medical institutions, Office buildings and office complexes, Paint stores, Pharmacies, Photography shops/photo processing laboratories, Print shops, Railroad tracks and yards, Research laboratories, Scrap and junk yards, Sports and hobby shops, Transportation services for passenger transit (local and interurban), Veterinary services
6	Industrial	Above-ground and underground storage tanks and containers, Dry wells, Injection wells, Operating and abandoned production and exploratory wells (for gas, oil, coal, geothermal, and heat recovery)/test hole wells/monitoring and excavation wells, Radioactive waste disposal sites, Storage/treatment/disposal ponds/lagoons/other surface impoundments Chemical landfills, Transport and transfer stations (trucking terminals and rail yards), Unattended wet and dry excavation sites (unregulated dumps), Waste tailing ponds (commonly for the disposal of mining wastes), Well drilling operations
7	Industrial processes	Asphalt plants, Communications equipment manufactures, Electric and electronic equipment manufacturers and storage facilities, Electroplaters, Foundries and metal fabricators, Furniture and fixtures manufacturers, Industrial pipelines, Machine and metalworking shops, Mining operations (surface and underground)/underground storage mines, Paper mills, Petroleum production and storage companies/secondary recovery of petroleum, Photo processing laboratories, Plastics materials and synthetics producers, Primary metal industries (blast furnaces, steel works, and rolling mills), Public utilities (phone, electric power, gas), Publishers/printers/allied industries, Sawmills and planers, Stone/clay/glass manufacturers, Unsealed abandoned mines used as waste pits, Welders, Wood preserving facilities

출처: US EPA, 1993, Seminar Publication, Wellhead Protection: A Guide for Small Communities.

지하수오염원을 상업, 산업, 농업의 세 가지 형태의 잠재 오염원에 코드를 부여하여 분류하도록 하였다(Ohio EPA, 2009). 노스캐롤라이나 주는 오염원 또는 시설종류로 분류되어 있는 기존자료를 재정리하여 지하수 잠재오염원을 지표면, 지하수면 위, 지하수면 아래의 세 가지 형태로 분류하고, 관심오염물질과 잠재오염원을 고려한 인벤토리를

구축하였다(<http://swap.deh.enr.state.nc.us/swap/index.htm>). 뉴저지 주는 지표수와 지하수오염의 민감도 순위에 영향을 줄 수 있는 8개 항목의 잠재오염물질(병원균, 영양염류, 농약, VOCs, SOCs, 무기화합물, 방사성물질, DBPs)에 대한 오염지역 및 활동을 분류하여 분류체계를 개발하였다(New Jersey DEP, 1999).

Table 3. Branch catalogue listed by International Centre for Soil and Contaminated Sites in Germany

Branch category
<p>Manufacturing and Processing industries Gas/mining related products, Chemistry, High furnaces/metallurgical plants/foundries, Stones/gravel/sands/cement/asbestos/ceramics/glass, Metal processing and machine building, Electrical, optical, iron and metal products, Wood processing and treatment, Paper/printing houses, Leather/shoes, Textile processing, Reuse of by-products, Food processing/forage/miscellaneous, Manufacturing and processing industry-general Gas production (town gas), Coal mining, Brown coal mining and briquette production, Ferrous ores mining, Production of non-ferrous metals, Production (chemicals, commercial fertilizers, plastics, etc.), Cooling agents, Adhesives, Explosives, Disinfectants, Antioxidants, Extraction of stones/gravel/sands, Production of cement/concrete, Asbestos processing, Industrial ceramics, Bricks manufacturing, Fine ceramics, High furnaces/steel production/hot rolling plants, Metal surface treatment/hardening, Electrical engineering/electronics, Wood processing/raw wood treatment, Manufacture of cellulose, leather processing, Textile pre-treatment, Food processing industry, Carbon enameling, etc.</p>
<p>Wholesale, Services and Supply Meat processing factories, Freight facilities/automobile trade/motorcycle trade, Slaughter houses, Railways/freight railway stations, Airports, etc.</p>
<p>Agriculture Agrochemical centre, Agricultural airports, Silos and storage facilities, Livestock farming (cattle, pigs, sheep), Drying facilities, Poultry farming, Horticulture, etc.</p>
<p>Weapons-related, Military and War-time past contamination Manufacture of propellants and explosives, Special chemical warfare agents and agent-containing ammunition factories, Ammunition enterprises, etc.</p>
<p>Transportation pipelines and underground depositories Gas pipelines, Underground depositories, Salty solution pipelines, Oil pipelines, Waste water pipelines, Other pipelines and harmful substances not otherwise specified</p>

출처: ICSS, 2007, Manual for Management and Handling of Contaminated Sites.

2.2. 유럽

2.2.1. 독일

1999년에 연방토양보호법이 시행되면서 잠재적으로 위험한 부지의 조사와 평가, 정화계획과 방법에 관련된 규정들이 제시되었다. 이와 관련하여 토양오염부지 국제센터에서는 오염지역의 관리를 위해 오염확인, 위해도평가, 정화와 모니터링 등 3단계로 구성된 인벤토리 매뉴얼을 제시하였다(ICSS, 2007). 데이터 수집은 오염원부문, 폐기물종류, 위해물질 등과 관련된 정보가 있는 자료은행(Data banks)을 활용하도록 하였고, 오염원 분류를 위해서 이전의 산업지역 평가를 위해 사용하였던 분류체계(branch catalogue)를 활용하여 오염원을 분류하도록 제시하였다. 분류체계는 오염원들을 제조·공정, 도매·서비스·공급, 농업, 군무기 및 과거 전쟁유발 오염, 수송관·지하창고 등 5개 대분류로 나눈 후 중분류, 소분류로 구분지어 오염원을 분류하였다(Table 3).

2.2.2. 스웨덴

1990년 스웨덴 환경보호청은 산업부문의 국가오염지역 정화를 위한 계획수립의 임무를 부여받아, 1992년에서

1994년에 걸쳐 산업부문 중 정화가 가장 시급한 지역과 분야를 확인하기 위해 기존 정보를 바탕으로 범국가적인 인벤토리 구축을 수행하였다. 환경보호청은 ‘환경보호청은 ‘환경질 준거치’라는 표제아래 6개의 보고서를 발행하였으며, 이 중 산업부문의 오염원 분류체계는 ‘오염부지들’이라는 보고서에 포함되었다(Swedish EPA, 2002). 인벤토리 작성을 위하여 산업지역 내 토양·지하수 잠재오염원을 55개로 분류하여 각 오염원과 관련된 오염물질을 제시하였다(Table 4). 예를 들면, 광산/광산폐기물 부분과 관련된 오염물질은 금속, 시안화물, 방향족탄화수소, 유류로 제시하였고, 식품생산과 유통부분에서는 오염물질을 생분해 유기물질로 제시하고 있다. 이렇게 분류된 잠재오염원 중 정화가 필요한 7,000개의 오염지역에 대해 제조과정, 사용원료, 생산물/폐기물, 관련된 오염물질이 건강 및 환경에 주는 영향, 오염물질 양 등과 같은 인자들을 고려하여 위해도 등급을 3가지로 나누어 인벤토리를 작성하였다.

2.2.3. 사이프러스

사이프러스 지질조사부는 2004년 토양오염의 잠재오염원에 대한 국가 인벤토리 작성을 위한 사업을 착수하였다.

Table 4. List of alphabetically categorized Industrial branches by Swedish EPA

Alphabetical Classification	Industrial branches
A~E	Accumulators, Adhesives manufacture, Airports, Armed forces, Asphalt works, Auto repair facilities, Car dismantling, Car salvage/sales, Chloralkali, Chlorates, Dry cleaning, Electro-technology, Environmental waste facilities
F~J	Ferro-alloys, Fiberboard manufacture, Food products/trade, Foundries, Gas works (discontinued), Glass-making, Graphic production, Graphite electrodes, Gunpowder/explosives, Herbicide/pesticide production, Impregnation facilities for rail transport, Incinerators
K~P	Manufacturing industry, Mineral wool, Mines and mine wastes, Motor vehicle traffic, Municipal dumps, Oil refining, Oil storage, Other inorganic chemistry, Other organic chemistry, Paint/pigment, Pharmaceuticals, Photographic products, Ply-wood/particle board, Polyester manufacture, Polyurethane manufacture, Primary metal works/secondary metal works/iron and steel manufacture, Printing, Pulp/paper
Q~Z	Railroad repair shops, Rubber manufacture, Sawmills, Sewage treatment plants, Shipping/harbours, Soap/detergent manufacture, Surface finishing of metals, Surface treatment of wood, Surface treatment with lacquer/paint or glue, Tanning, Textile manufacture, Wood impregnation

출처: Swedish EPA, 2002, Methods for inventories of contaminated sites.

Table 5. Categorization of potential soil contaminating activities in Cyprus

Classification	Activity: Industry, Enterprise
A	Electric power plant/distribution station, Landfill (including household wastes), Metal plating/aluminium anodising including galvanised pipes, Metal smelting (cast iron, chromite, copper)/Metal treatment/Metal Works, Ore mining/Quarrying (asbestos, bentonite, chromite, Copper, Gypsum, Pyrite, UMBER), Petrol station, Petroleum bulk storage, Petroleum refinery, Petroleum refinery/Bulk storage, Waste treatment plant
B	Agriculture (including chemical/livestock fertilizers), Animal rearing (including pig, cow, sheep, goat and poultry), Chemicals (Cartridges and Shooting ranges, Chemical fertilizers including phosphate fertilizers, Cosmetics/Toiletries/Disinfectants, Paint and lacquer, Pesticides/ Herbicides/Insecticides, Pharma-ceuticals, Textile bleaching/dyeing), Furniture, Hospital and medical clinics, Machinery including electrical Paper, Plastic products, Printing/Publishing, Rubber products, Wood treatment
C	Airport, Battery, Brick making industries, Cement manufacture, Dockyards (including shipbuilding), Footwear, Glass, Leather products, Military installations including explosives, Non-metallic industries (including brick makers/stone/makers/plaster), Plaster making industries, Pottery/Ceramics, Shipbuilding, Stone making industries, Tannery, Tobacco, UMBER, Bentonite/Gypsum manufacture, Wearing apparel
D	Animal feedstuff for farm animals, Animal feedstuff for house pets, Automobile repair, Beverage industries, Cemeteries, Dry cleaner/Laundry, Food (including all types of food manufacturing, e.g., dairy products, canned fruit/juice/vegetable), Food (Animal products processing, Olive oil mill, Slaughterhouses), Photographic processing, Wine industries

출처: Demetriades et al., 2007, National Inventory of Potential sources of Soil Contamination in Cyprus-Part 1: Compilation of the Inventory of Soil Polluting Activities.

이 사업은 토지이용 후 인체건강 위해성평가를 위해 오염 형태에 대한 지구화학적 조사를 수행하고, 토양이용 형태에 따른 유기 및 무기오염물질의 특정부지 지침값(guideline values)을 결정하며, 카테고리별(A~D)로 잠재오염부지의 우선순위를 분류하여 오염토양의 관리와 정화계획을 설정하는 것을 목적으로 하였다. 토양오염원 분류는 여러 기관들로부터 기존 데이터와 정보를 수집한 후, 평가 및 검토를 통하여 잠재적인 토양오염활동을 경제활동 코드로 분류하고, 각 오염 활동별로 예상되는 유기 및 무기 오염물질로 구분하여 나타내었다(Table 5). 예를 들어

광업을 하나의 상위코드로 분류하고, 석면, 크롬, 구리, 황철석 등을 생산하는 광산을 세부코드로 분류하여 각 광산 활동에서 발생할 수 있는 잠재오염물질을 구분하여 제시하였다(Demetriades et al, 1997).

2.2.4. 크로아티아

크로아티아는 잠재 및 기존의 토양오염지역과 정화활동 데이터베이스(GEOL database)를 2006년에 완성하였으며, GEOL은 오염원과 오염물질 기록, 오염지역의 상황(정화 정도, 정화비용, 모니터링과 예비연구의 존재 등)으로 구

Table 6. List of potentially contaminating activities, industries and landuses in Western Australia

Alphabetical Classification	Activity, Industry and Landuse
A~D	Abattoirs, Abrasive blasting, Acid & alkali plant/formulation & bulk storage, Airports, Analysts (commercial analytical laboratory sites), Asbestos production or disposal, Asphalt or bitumen manufacture or bulk storage, Automotive repair including engine works and spray painting, Battery manufacturing and recycling, Bitumen or asphalt manufacturing or bulk storage, Boat building and maintenance, Brake lining manufacturers, Breweries/distilleries, Cement or lime manufacturing, Cemeteries, Chemical manufacturing/blending or mixing, Compost manufacturing, Concrete batching or cement product manufacturing, Defence works and defence establishments, Drum or tank re-conditioning or recycling facility, Dry cleaning establishment
E~I	Electrical transformers, Electricity generation/power stations, Explosives production or bulk storage, Fertilizer manufacture or storage, Fiberglass reinforced plastic manufacturing, Foundry operations, Gasworks, Iron and steel works, Intensive agriculture
J~O	Landfill sites, Livestock dip or spray race operations, Market gardens/orchards/glass houses, Metal treatment or coating, Metal finishing and treatments (e.g. electroplating), Metal smelting or refining, Mining and extractive industries, Motor vehicle workshops, Oil or gas production/refining/storage, Orchard and market gardens
P~Z	Pest control depots, Printing shops, Port activities, Railway yards, Rifle range, Scrap metal recovery, Service stations/petrol stations/fuel storage facilities, Sewage treatment plant, Sheep and cattle dips, Tannery (and associated trades), Textile operations, Timber preserving/saw mills/Wood storage, Woolsourcing

출처: DEC, 2004, Contaminated Sites Management Series-Potentially Contaminating Activities, Industries and Landuses.

성되어 있다. 여기서 오염원 분류는 크게 도시와 산업 폐기물매립지, 산업과 상업지역, 광산지역, 표면굴착, 과거 군사지역과 저장시설, 기름추출과 저장지역, 유류누출지역, 발전소, 정화조와 기타 오염물질 누출지역으로 분류하여 나타내었다(Mesic et al., 2007).

2.3. 뉴질랜드와 호주

뉴질랜드 환경부는 오염된 토지의 일관성 있는 평가와 관리를 위해 총 다섯 가지 지침을 포함하는 ‘오염토지 관리지침’이라는 시리즈를 개발하였다. 시리즈 중에는 유해 물질의 사용, 저장 또는 처분시 야기될 수 있는 잠재적인 토지오염을 알기 위해 오염활동과 산업을 분류한 ‘유해활동 및 산업목록’(Hazardous Activities and Industries List, HAIL)이 포함되어 있다. HAIL은 ANZECC(1992)에 의해 개발된 오염지역의 평가와 관리를 위한 호주와 뉴질랜드 지침에 처음으로 소개된 산업활동의 목록을 수정하여 Schedule A에 제시되었고(Ministry for the Environment, 2004a), 추가적으로 Schedule B에 각각의 HAIL 항목에 대한 전형적인 유해성물질 목록이 제시되었다(Ministry for the Environment, 2004b).

서부호주 주정부 또한 오염지역 평가와 관리에 대한 지침을 제공하기 위해 개발된 ‘오염부지 관리시리즈’를 개발하였으며, 기술과 관리부분으로 나누어 각각에 해당하는 지침을 7개씩 제시하였다. 이 시리즈에서는 부지조사 단계를 1단계-예비부지조사, 2단계-세부부지조사, 3단계-

부지관리계획, 4단계-정화확인과 지속적 관리로 나누어 각 단계를 진행하기 위해 참고 되어야 할 지침목록을 구분하였다. 오염원에 대한 조사와 분류는 1단계에서 수행되어야 하며 이에 필요한 오염원 분류체계는 ‘오염을 유발하는 활동, 산업, 토지이용에 대한 지침’에 제시되었다. 이 지침은 위에서 설명한 뉴질랜드의 HAIL과 호주 빅토리아 주에서 제시된 내용을 참고하여 오염 활동과 산업, 토지이용의 종류를 빠르게 확인할 수 있도록 오염원을 알파벳순으로 분류한 참고목록을 제공하며, 이와 관련된 일반적인 오염물질 종류를 나타내고 있다(Table 6). 예를 들면, 묘지와 같은 토지이용은 중금속, 질산염, 포름알데히드 등의 오염물질을 배출할 가능성이 있으며, 배터리 제조와 재활용과 같은 활동에 의해서 배출되는 오염물질은 안티몬, 카드뮴 등의 금속과 황산, 염산 등이 있다(DEC, 2004).

3. 토양·지하수 잠재오염원 분류 국내사례

국내의 토양·지하수 잠재오염원은 현재 구체적인 구분과 목록이 명시되어 있지 않고, 오염원과 관련된 오염물질 분류체계 또한 없는 실정이다. 토양·지하수오염을 사전에 예방하기 위해 어떤 오염물질을 우선관리대상으로 선정할 것인가에 대한 연구는 우선관리대상 토양오염물질 선정연구(국립환경과학원, 2007)와 지하수오염물질 우선관리대상항목 선정연구(국립환경과학원, 2008)를 통해 이루어졌으나, 오염원 자체에 대한 분류체계나 관리우선순위

결정에 대해 진행된 연구가 국내에 없는 것으로 파악되었다. 토양환경보전법에 제시되어 있는 토양오염원은 토양오염관리대상시설로써, 21개의 법정토양오염물질을 생산·운반·저장·취급·가공 또는 처리함으로써 토양을 오염시킬 우려가 있는 시설·장치·건물·건축물 및 장소 등에 해당된다. 이 중 토양을 현저히 오염시킬 우려가 있는 석유류·유독물의 제조 및 저장시설과 송유관시설을 특정토양오염관리대상시설로 지정하여 방지시설의 설치, 토양오염검사 등을 규정하며 국가적 차원으로 관리하고 있다.

지하수법에서는 지하수를 오염하게 하거나 현저하게 오염하게 할 우려가 있는 시설을 지하수오염유발시설로 정의하고 있다. 지하수오염유발시설의 종류는 지하수보전구역에 설치된 시설과 보전구역 외의 지역에 설치된 시설로 분류하며, 특정토양오염관리대상시설, 폐수배출시설, 매립시설을 보전구역에 설치된 시설로 구분하였고, 보전구역 외의 지역에 설치된 시설은 특정토양오염관리대상시설 중 정화조치명령을 받게 된 시설과 매립시설로 구분하여 제시하였다.

4. 시사점 및 결론

본 연구에서는 선진국에서 오염지역의 평가와 관리를 위해 마련하는 토양·지하수오염 인벤토리 구축시에 선행되어야 할 오염원 분류체계에 대해 살펴보았다. 그 결과 각국마다 오염유발 가능성이 있는 오염원들을 활동이나 토지이용형태에 따라 구체적으로 명시하여 세부목록을 제시하고 있었다. 미국의 경우, 다른 나라에 비해 지하수오염원에 대한 관심이 오래전부터 지속되어서 오염원 분류체계가 보다 세분화되어 있었으며, 미국을 중심으로 다른 선진국과의 분류체계를 비교해 보면 다음과 같다.

다른 나라들과 달리 미국은 지하수오염원 분류체계에 자연적으로 발생할 수 있는 잠재오염원을 포함시키고 있었다. 여기에는 암석과 토양을 잠재오염원으로 구분하여 철과 철박테리아, 망간과 같은 심미적 오염물질과 석면과 황환원 박테리아, 미생물과 같은 건강을 위협하는 환경오염물질로 나누어 제시하였다. 또한, 염수에 의한 침입지역과 같은 자연적인 수리지질학적 이벤트와 라돈과 같은 지질학적 방사성가스도 오염원으로 분류하고 있었다. 이 중 석면은 독일, 사이프러스, 서부호주에서도 석면광산이나 석면을 처리하는 활동을 잠재오염원으로 포함시키고 있었다.

농업부문에서는 미국의 경우 동물사체매몰지, 거름살포지역 및 저장구덩이, 농약비축지 및 컨테이너, 농업배수정과 배수로를 잠재오염원으로 고려하고 있었으며, 농기계

폐기물이나 용접폐기물이 발생할 수 있는 농기계관리·수리지역은 독일과 미국 모두 고려하고 있었다.

상업부문에서는 제트연료, 방빙제, 디젤연료, 난방기름의 사용으로 인해 석유탄화수소의 배출가능성이 있는 공항이 모든 선진국에서 잠재오염원으로 취급되고 있었다. 묘지의 경우는 잔디유지를 위해 사용되는 화학약품과 폼알데하이드, 질산염 등의 배출가능성이 있어 스웨덴을 제외한 모든 선진국에서 잠재오염원으로 고려하고 있었다. 특히, 미국은 묘지 외에도 장례식장과 화장장을 잠재오염원으로 포함하고 있었다. 원예활동은 미국, 독일, 서부호주에서 고려되고 있었으며 서부호주는 과수원 또한 오염원으로 제시하였다. 자동차에 관련된 오염원을 살펴보면 모든 선진국에서 자동차 수리점을 고려하고 있었으며 독일은 폐차장을, 미국은 세차장을 추가적으로 고려하고 있었다.

이외에도 각각의 선진국에서 제시된 오염원으로는 선착장과 보트유지지역 및 항구활동과 디젤연료, 유류, 페인트, 왁스 등의 오염물질이 배출되는 담배산업과 양조장, 도살장, 의료기관 및 실험실, 건설현장 등이 분류체계에 오염원으로 포함되어 있었다.

선진국과는 달리 현재 국내에는 토양·지하수의 기존 또는 잠재오염원 및 오염물질의 현황파악조차 명확하게 이루어 지지 않은 실정에 있다. 또한, 위에서 살펴본 비와 같이 토양에서는 석유류나 유독물의 제조·저장시설과 송유관시설을 특정토양오염관리대상시설로 지정하고 있고, 지하수부분도 폐수배출시설, 매립시설, 특정토양오염관리대상시설을 지하수오염유발시설로 분류하고만 있을 뿐, 제시된 여러 시설에 해당하는 구체적인 시설종류가 분류되어 있지 않아 관리차원에서 실질적으로 적용하는 데에 혼란과 어려움을 주고 있다. 분류체계를 작성하기 위해 독일은 자료은행의 기존정보를 활용하였고 미국의 SWAP 프로그램은 이전 WHP 프로그램에서 얻은 정보와 연계되어 진행되었듯이, 국내에도 기구축된 자료들을 수집하여 구체적인 시설종류가 제시된 분류체계를 구축해야 할 필요성이 있다. 또한, 선진국들은 국내에서 아직 잠재오염원으로 인식되지 않았던 오염원이나, 현황조사 및 데이터구축이 선행되지 않은 오염원에 대해서도 잠재오염원으로 언급하고 있었으므로, 국내에도 토양·지하수 잠재오염원의 다양하고도 세밀한 관심과 조사를 통한 분류체계 마련이 필요하다.

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.
- 환경부, 2009, 토양보전기본계획.
- ANZECC, 1992, Australian and New Zealand Guidelines for the Assessment and Management of Contaminated Sites, Australian and New Zealand Environment and Conservation Council, National Health and Medical Research Council.
- Arizona DEQ, 1997, Wellhead Protection: A Guide for Arizona Communities, Arizona Department of Environmental Quality, Tucson, Arizona.
- California DHS, 1999, Drinking Water Source Assessment and Protection(DWSAP) Program, California Department of Health Services.
- DEC, 2004, Contaminated Sites Management Series-Potentially Contaminating Activities, Industries and Landuses, Department of Environment and Conservation, Western Australia.
- Demetriades, A., Androulakakis, N., Kaminari, K., and Vergou, K., 2007, National Inventory of Potential sources of Soil Contamination in Cyprus-Part 1: Compilation of the Inventory of Soil Polluting Activities, 2007 Annual Report NATO/CCMS Pilot Study Meeting, Science for Peace and Security, Ljubljana, Slovenia, http://www.cluin.org/slovenia/download/Other_Topics/Demetriades.pdf.
- Mesic, H., Major, Z., Vranaric, M., and Cidic, A., 2007, Croatian Soil Information System within the Environment Information System, In: Hengl et al.(ed.), Status and prospect of soil information in south-eastern Europe: soil databases, projects and applications, Institute for Environment and Sustainability, Italy, p. 43-53.
- Ministry for the Environment, 2004a, Contaminated Land Management guidelines Schedule A: Hazardous Activities and Industries List(HAIL), Ministry for the Environment, Wellington, New Zealand.
- Ministry for the Environment, 2004b, Contaminated Land Management guidelines Schedule B: Hazardous Activities and Industries List(HAIL) with Hazardous Substances, Ministry for the Environment, Wellington, New Zealand.
- New Jersey DEP, 1999, New Jersey Source Water Assessment Program Plan, New Jersey Department of Environmental Protection.
- ICSS, 2007, Manual for Management and Handling of Contaminated Sites, International Centre for Soil and Contaminated Sites, Berlin, Germany.
- Ohio EPA, 2009, Potential Contaminant Source Inventory Process Manual, revised september 2009, Ohio Environmental Protection Agency.
- Swedish EPA, 2002, Method for Inventories of Contaminated Sites, Report 5053, Swedish Environmental Protection Agency, Stockholm, Sweden.
- US EPA, 1993, Seminar Publication, Wellhead Protection: A Guide for Small Communities, Office of Research and development, Washington D.C.
- US EPA, 1997, State Source Water Assessment and Protection Programs-Final Guidance, United States Environmental Protection Agency.
- US OTA, 1984, Protecting the Nation's Groundwater from Contamination, Vols. I and II, The Office of Technology Assessment, Washington D.C.