

# 최근의 토양·지하수환경 정책동향과 물리탐사기술의 발전과제

김영웅 (농업기반공사 지하수사업처)

## The recent trend of the soil and groundwater environment policy and the role of geophysical exploration technology

Young-Woong Kim (Dept. of Groundwater Development, KARICO)

**요 약:** 토양·지하수환경분야와 관련된 제도들이 최근 개정 움직임을 보이고 있는 시점에서 조사단계 및 처리단계이후의 유지관리분야에서 지구물리탐사분야의 중요성이 점차 인식되고 있다. 특히 토양·지하수오염과 관련하여 오염유발가능시설의 80%가 농촌지역에 산재되어 있으나, 그 규모와 오염정도에 대한 조사가 제대로 이루어지지 않은 상태이다. 이에 따라 지하수의 수질은 점차적으로 저질화되어가고 있으나 비가시적인 이유로 인하여 그동안 소홀히 다루어져 왔다. 또한 오염조사 및 오염복원 등이 제도적으로 뿌리내리지 못해 오염원의 범위, 정도 등을 확인하는데 많은 한계점을 드러내고 있는 현실이다. 최근 관계법령의 개정을 통해 보다 엄격하고 강화된 규제 및 책임을 법제화하는 일은 현재와 미래의 환경보전을 위해 다행한 일이라 하겠다. 특히, 지하수오염 등은 국가적인 불행한 일이므로 향후 토양·지하수환경에 막대한 영향을 미칠 오염인자에 대한 정밀실태조사가 시급히 이루어져야 할 것이다.

따라서 현재 개정을 추진하고 있는 토양환경보전법과 지하수법의 개정취지를 제대로 살리면서 환경오염에 능동적으로 대처하기 위하여 지구물리탐사분야와 지질조사분야에서의 다양하고 정밀한 조사를 위한 방법들과 내용에 대한 연구가 절실히 요구되고 있다. 또한 이와 더불어 오염부지 특성조사를 위한 절차 및 방법들이 구체적으로 법제화되어 할 것이다.

**주요어:** 지하수법, 토양환경보전법, 지하수오염, 토양오염, 지구물리탐사

### 1. 서 론

IMF이후 기업간의 합병 내지 기업매각등이 활발해지면서 오염부지에 대한 복원문제가 화두로 떠오르게 되었다. 사실 최근까지도 유류 등에 의한 오염 복원사업은 비공개적으로 일부 시행되어왔으나 그 성격상 조사단계에서의 지구물리탐사의 역할은 미미할 수 밖에 없었다.

국내 지구물리탐사분야는 1960년대 후반부터 시작하여 주로 건설분야에서 실시되었으며 1980년대 말에 이르러서 다양한 기법의 연구개발이 이루어져 점차적으로 기술발전을 이룩하였다. 그러나 이러한 기술발전에도 불구하고 제공되는 탐사정보들이 많은 분야에서 충분히 만족을 시킬 수 없는 것도 사실이다.

최근 제도적으로 미비한 토양·지하수환경분야와 관련된 제도들이 개정되면서 지구물리탐사의 적용분야가 더욱 다양화되고 정밀해져야 하는 시점에 이르르게 되었다. 현재까지 토양·지하수오염과 관련하여 기초 및 정밀조사에 대한 뚜렷한 지침이 확립되지 않아 개략적인 조사로 일관되어 왔으며 복원 등이 제도적으로 뿌리내리지 못해 오염원의 범위, 정도 등을 확인하

는데 많은 한계점을 드러내고 있는 현실이다. 특히, 전국에 산재되어 있는 700여개의 비위생 매립지는 향후 토양·지하수환경에 막대한 영향을 미칠 오염인자로 이들에 대한 조사가 시급히 이루어져야 할 것이다.

특히, 지하수가 오염물질에 노출될 경우, 지하수는 비가시적이며 복잡 다양한 구조를 가지는 지하특성 때문에 오염범위 및 오염정도에 대한 관측과 오염물질의 거동예측이 매우 어렵다. 이러한 비가시적인 특성 때문에 오염문제가 그동안 대수롭지않게 인식되어져 왔으며 대기, 토양 및 지표수 등 가시적인 환경매체에 비해 상대적으로 소홀히 다루어져 왔다.

따라서 현재 개정을 추진하고 있는 토양환경보전법과 지하수법의 개정내용을 소개하고 현행법상의 오염조사를 통해 문제점을 살펴본 후 조사단계에서 지구물리탐사의 역할에 관하여 논하고자 한다.

## 2. 지하수법 개정(안)

우리나라의 지하수부존량은 1조5천억 $m^3$ (12년간의 강수량)이며, 매년 지하수로 함양되는 양은 약 230억 $m^3$ 이다. 따라서 정부는 이와같이 막대한 지하수자원을 효율적으로 개발·이용하고 보전하기 위해서 1993년 12월에 지하수법을 제정하고 1997년 3월, 1999년 3월 개정한 바 있다.

국내 지하수자원은 시간이 지날수록 그 오염정도는 심화되고 있으며, 지하수 이용율이 개발가능량을 초과하는 지역이 증가하고 있다. 현재 지하수이용량 증가추세는 연간 약 3.5억 $m^3$ 에 이른다. 이와같은 추세로 연평균 지하수이용량이 증가한다면 2010년경에는 현 이용량의 2배에 해당하는 73억~75억 $m^3$ 에 이를 것이다. 그러나 현행지하수법은 지하수보호·보전의 핵심조항들이 누락되어 있어 지하수의 고갈이나 지하수오염문제가 발생하여도 국민건강과 주변생태계에 심각한 영향을 주었을 때 합리적인 질적·양적 관리가 불가능한 상태이다. 따라서 정부는 지하수의 과다개발·오염심화등 지하수를 둘러싼 환경변화에 대응하여 지하수의 공적관리체계확립, 지하수이용부담금제 도입, 지하수오염방지 강화, 정보화등을 통해 지하수의 양적·질적 보전·관리체계를 새롭게 구축함으로써 지하수개발·이용의 적정을 기하고 효율적인 보전·관리를 도모하기 위하여 법적체도를 보완하기 위하여 개정을 추진하고 있으며 현재 추진중인 지하수법개정내용 및 지하수오염조사·평가기법에 대하여 간략히 소개하면 다음과 같다.

### 2.1. 개정(안) 주요내용

- 1) 지하수는 국가가 보전·관리의무를 지는 공공의 자원임을 분명히 하고 국가·지방자치단체와 국민의 책무를 명시하여 **지하수의 공적관리체계를 확립함**
- 2) 지하수보전·관리의 효율성을 제고하고 국민에 대한 지하수정보제공 기능을 강화하고 **자 지하수관리정보인프라** 구축의 근거를 마련함
- 3) 국가지하수관리기본계획에 따라 지자체별 지역지하수관리계획수립·시행을 의무화하여 지역특성에 맞는 **지하수관리체계를 구축**토록 함
- 4) 지하수개발·이용허가시 행하는 지하수영향조사제를 우물조사제로 완화하여 국민부담을 줄이고 허가의 유효기간을 5년으로 하여 **허가시설의 관리를 강화**함
- 5) 지하수개발·이용신고의무가 면제되었던 가정용·농업용등의 경미한 지하수개발·이용도

관리대상에 포함 함

- 6) 지하철·터널등 지하구축물로 인해 유출·방류되는 지하수의 저감대책과 이용방안을 강구하고, 지하수에 영향을 미치는 토지굴착행위를 제도적으로 관리하여 **폐공발생 방지**를 도모함
- 7) 지하수보전구역제를 **지하수보전구역과 지하수개발제한구역**으로 구분하여 동제도의 실효성을 확보하고 지하수오염 예방 및 과다개발 방지를 도모함
- 8) 다수인이 이용하는 공공급수정을 오염요인으로부터 보호하여 양질의 지하수를 이용토록 **취수정보호구역 지정**제를 신설함
- 9) 지하수관리를 보다 효율적으로 하기 위해 **지역단위 보조관측망**을 설치하여 수량·수질등을 관측토록 함
- 10) 지하수오염유발시설에 대한 관리와 이들 시설에 의한 지하수오염여부를 감시하고 **오염시 정화**를 실시토록 하는등 유해물질등에 의한 지하수오염방지제도를 강화함
  - ☞ 토양환경보전법과 관련하여 오염부지조사 및 평가에 대한 방법 및 절차 마련 시급
- 11) 지하수개발에 사용되는 시추기·착정기등 **굴착장비에 대한 등록제도**를 도입하여 지하수개발 질서를 확립함
- 12) 현행 지하수영향조사기관을 우물조사자로 대체하고 지하수의 보호·보전과 오염지하수의 정화등 고도의 전문적인 지하수관련 조사평가업무를 행하는 **지하수영향조사평가제도**를 도입함
- 13) 국가 및 지방자치단체의 지하수 보전·관리정책에 대한 자문과 심의를 위해 관계부처·지하수관련전문가등이 참여하는 **중앙지하수관리위원회와 지방지하수관리위원회**를 설치하여 운영토록 함
- 14) 최후의 수자원인 지하수에 대한 지속적인 투자와 안정적인 보전·관리를 위해 지하수 관리기공을 설치하고 지방자치단체에는 **지하수관리 특별회계**를 설치·운영함
- 15) 지하수의 무분별한 개발·이용을 억제하고 지하수보전·관리 투자재원확보를 위해 지하수개발·이용자에게 부과하는 **지하수이용부담금 제도**를 도입함
- 16) 지하수의 체계적인 보전·관리를 도모하고 지하수관련 기술 및 정보의 개발·보급, 교육등을 전담할 **한국지하수관리기술원을 법인**으로 설립·운영함
- 17) 지하수관리의 전문화에 대응하여 지하수관련종사자의 전문지식 함양과 기술습득을 도모하기 위하여 **지하수기술인력 교육훈련제도**를 도입함
- 18) 각종 지하수개발·이용 및 보전·관리제도의 실효성을 확보하기 위하여 벌칙 및 과태료제도를 현실에 맞게 조정함

## 2.1. 지하수오염 조사 및 평가

오염된 지하수를 정화 및 복원시키거나 오염의 확산을 방지하려면 무엇보다도 오염된 지하수의 특징을 파악하는 것이 필요하다. 오염 지하수의 특징파악은 지하수조사로부터 시작되는데, 오염원의 가시적 분포현황 및 오염원의 물리화학적 특성을 검토하는 것이다. 오염지하수의 특징파악을 위해서는 수리지질학적 및 화학적 특성에 대한 조사가 필요하다.

오염지하수 조사는 실내업무를 통하여 조사지점 및 조사깊이를 결정하여 현장에서 다양한 지하수조사 장비로 보링 및 시추작업을 하게 된다. 지반조사의 기본원칙은 전 조사대상 지역중에서 전지역을 대표하는 관련 공학적인 판단기법과 조사기법이 요구된다. 오염지하수 조사시에는 전지역에 대한 오염원의 수직적 및 수평적 분포현황을 파악하여 오염원의 농도

가 가장 높은 위치를 찾아서 이의 상세한 정보를 제공하여야 한다.

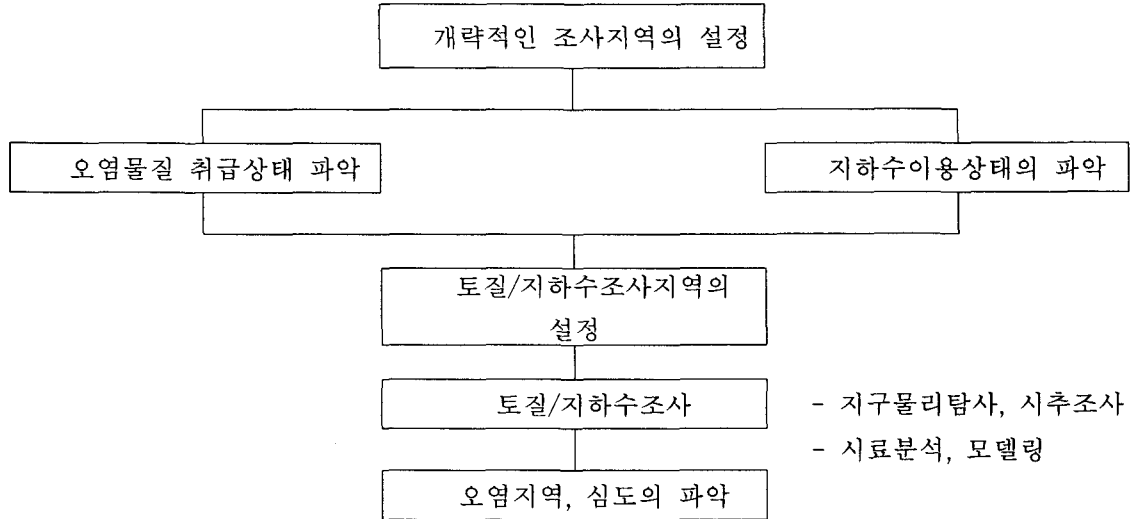
### 2.1.1. 조사항목

오염지하수의 조사는 기존의 기반조사 항목외에 환경적인 기반조사 항목이 추가되기 때문에 기존의 기반조사 비용에 비하여 3~4배 이상이 소요된다. 일반적으로 오염지하수 조사는 지구물리탐사를 통하여 전체적인 기반상황을 개괄적으로 파악하고, 현장조사장비인 오거나 드릴을 이용하여 기반을 천공하고 지하수시료를 채취하여 시료의 상세한 물리·화학적 특성을 파악한다.

지하수의 특성은 시료채취 과정을 통한 온도, 냄새측정 뿐만 아니라 실내에서의 수질분석 등이 포함된다. 지하수 이동에 의한 오염의 확산을 파악하기 위해서 현장 및 실내 투수 시험, 추적자시험 및 흡착시험이 수행된다. 지하수의 화학적인 특성은 예상되는 오염원의 다양성에 따라 결정되며 현장 및 실내에서의 수질, 가스, 침출수, 화학성분 등의 분석으로부터 파악한다.

### 2.1.2. 조사절차

지하수오염조사에는 지층구성내역 파악, 토층의 3차원적인 오염확산, 지하수현황, 오염물질의 존재유무 등 오염물질에 초점을 맞추어 실시한다. 그리고 오염지하수 조사를 통하여 오염지반의 수리지질학적 특성을 파악하고, 지구물리탐사 및 시추조사를 통해 지중오염대를 탐지하고 오염분포도를 작성한다. 지하수오염을 조사하는 일반적인 순서를 나타내면 그림 1과 같다.



<그림1> 오염지하수 조사 흐름도

### 2.1.3. 지하수오염 평가

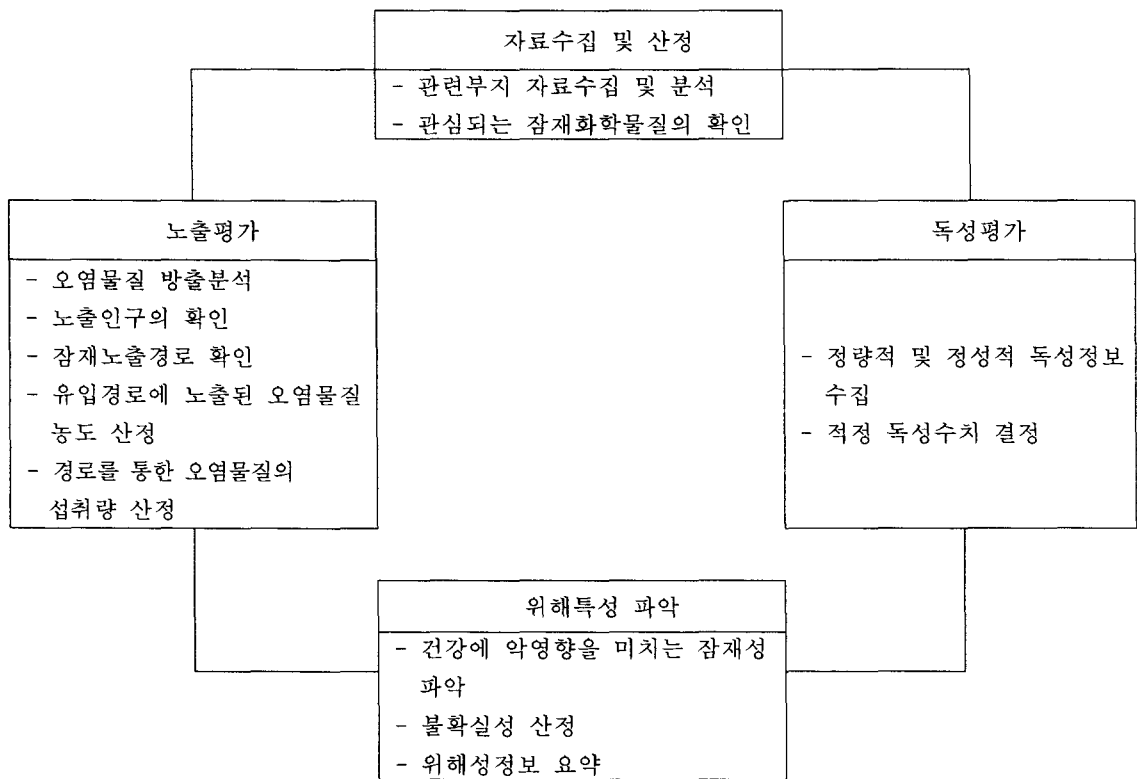
#### 가) 수질분석

채취한 지하수 시료에 포함된 유해물질의 농도를 측정하는 방법은 대상물질마다 여러 가지 방법이 사용되고 있다. 따라서 대상 유해물질마다 적정의 분석방법이 선택되어야 한다. 어느 물질을 측정대상으로 해야 하는가는 해당 지하수가 무엇에 의해 오염 가능성이 있는지를

판단한 후에 정한다. 따라서 해당지점과 그 주변 정보를 수집해 두는 것이 효율적인 지하수 조사를 진행하기 위해 필요하다. 지하수오염의 원인과 기구를 규명하기 위해서는 지하수를 오염시키고 있는 유해물질 외에 일반수질항목을 동시에 분석함으로써 유용한 정보를 얻을 수 있다.

나) 위해성평가 절차

오염지하수가 수취자에게 접촉되거나 지하수의 농도가 수취자의 건강에 영향을 미칠 수 있는 경우에 오염지하수는 인간건강과 환경에 위해를 가하게 된다. 위해성(Risk)은 환경에 오염물질이 방출됨으로 인하여 인간건강 또는 환경에 충격을 가하는 가능성으로 정의할 수 있다. 위해성은 그림 2에 요약된 바와 같이 기초위해성평가(baseline risk assessment)를 수립함으로써 산정될 수 있다고 한다. 기초위해성평가를 수행하는 목적은 오염지하수에 관계되는 현재 및 미래의 위해성을 산정하고, 산정된 위해성과 수용가능한계를 비교하는 것이다. 만약에 위해성이 수용가능한계수준을 초과하게 되면, 지하수복원이 필요하게 된다. 또한 위해성 평가기법은 복원프로그램이 실시된 후에 잔류 위해성을 산정하는 데에도 사용될 수 있다.



<그림2> 기초위해성평가

현재에 이용가능한 위해성 평가방법에는 상당히 많은 불확실성 요소를 내포하고 있다. 첫째로 특정오염물질과 특정 건강 및 환경사이를 유기적으로 연결해주는 자료가 매우 적다는 것이다. 둘째로 지하수내 오염물질의 농도가 노출기간동안 처리 및 희석과 같은 요소에 의하여 시간경과에 따라 변화될 수 있기 때문에 위해성평가 결과는 불확실도를 가지게 된다.

위해성평가에 있어서 주 관심 대상이 되는 요소는 토양내에 존재하는 오염물질의 농도보다는 오염물질의 이동성, 회피능력 및 거동형태라고 할 수 있다. 이는 오염지역의 지질, 수리지질 및 지구화학 조건에 큰 영향을 받는다. 또한 미래의 오염지역의 용도도 중요한 요소가 된다. 오염물질의 유출경로, 운명 및 이동이 파악되면, 오염부지 위해성은 인간의 건강 및 환경에의 악영향에 관한 평가가 이루어 진다.

#### 다) 지하수오염취약성도 평가(Vulnerability map)

오염취약성도 작성은 여러가지의 수리지질학적 변수를 사용해서 지하수자원의 오염민감도를 결정하는 기법이다. 지하수오염취약성은 광역적 규모의 지하수보호지역을 규정하는 수단으로 이용되어 왔다.

지하수오염취약성도를 작성하는 방법은 DRASTIC, Legrand의 분류시스템, Flemish지역의 오염취약성 작성법 등 여러 가지 방법이 가용하다.

### 3. 토양환경보전법 개정

현대사회는 산업의 고도화, 복잡화로 수많은 종류의 화학물질들이 생성, 소비, 배출됨으로써 각각의 오염물질에 대한 종합적이고 체계적인 통제 및 관리가 요구되고 있다. 특히 토양을 매개체로 한 오염물질의 거동 및 영향은 수질과 대기를 통한 피해보다 상대적으로 노출속도가 느리고 전달경로도 복잡하여 사회적 관심 및 기술개발이 미흡한 실정이다.

토양의 주요오염원은 전국도처의 불량폐기물 매립지에서 배출되는 침출수를 비롯한 오염물질, 공업단지 지역에서 배출되는 오염원, 군부대에서 토양의 부적절한 관리로 인한 오염, 전국의 주유소의 지하저장소의 누출로 인한 오염, 폐광산에서의 누출 등 오염원은 전국에 산재되어 있는 실정이다.

정부는 '95년에 토양환경보전법을 제정하고 '96년부터 법을 시행하고 있으며 법규의 제정, 시행과 더불어 국내오염정도의 체계적인 현황파악 및 그 정화기술의 개발은 매우 시급한 과제로 부각되고 있다. 이에 정부는 공장부지, 폐광산지역 등 토양오염이 심각하게 우려되는 지역을 적극적으로 조사·정화하기 위해 오염원인자로 하여금 토양오염지역을 조사하게 하고, 토지거래시 부지의 토양환경평가를 자율적으로 실시할 수 있도록 평가기준을 마련하는 등 토양오염조사체계를 효과적으로 개선하고, 현행 제도 운영상 나타난 일부 미비점을 개선·보완하기 위해서 법개정을 추진하고 있으며 주요내용은 다음과 같다.

#### 3.1. 주요내용

- 1) 토양오염 관리대상을 확대하기 위해 토양오염의 원인이 되는 물질을 토양오염물질로 지정하고, 사람의 건강·재산 등에 직·간접으로 위해를 줄 우려가 큰 토양오염물질은 지정토양오염물질로 지정·관리하고자 함
- 2) 토양오염에 대한 피해배상 및 정화책임을 지는 **오염원인자의 범위를 명확히** 하여 토양오염에 대한 책임을 강화함
- 3) 매년 동일지점의 토양오염도를 측정하는 현행 지역측정망체계를 매년 오염우려지역을 선정하여 오염조사를 실시하는 **토양오염실태조사체계로 개편**하여 토양오염우려지역을 효과적으로 조사하고자 함

- 4) 오염원인자로 하여금 토양이 오염된 지역에 대해 토양정밀조사를 실시하게 하여 오염 지역을 적극적으로 조사하고자 함
  - ☞ 현행 토양정밀조사지침 2000년 12월말까지 수정보완 예정
- 5) 토양오염유발시설등이 설치된 부지의 양도·양수시 부지의 토양오염을 사전 조사·진단 하여 토양오염에 대한 법적 책임관계를 명확히 규명하기 위해 양도자 또는 양수자가 부지토양환경평가를 자율적으로 실시할 수 있도록 평가기준과 절차를 마련함
  - ☞ 2000년 12월까지 평가기준과 절차 마련
- 6) 토양오염유발시설의 신고 및 토양오염유발시설 설치자에 대한 명령 등의 업무를 시·도지사에서 시장·군수·구청장으로 이양함
- 7) 토양관련전문기관에 의한 토양오염검사, 토양정밀조사시 부당행위를 방지하기 위해 토양관련전문기관에 대한 영업정지, 지정취소 등 처벌규정을 마련함

### 3.2. 선진외국의 토양오염조사체계 (미국을 중심으로)

#### 3.2.1. 조사체계

미국에서 토양오염을 총괄하고 있는 Superfund Program에 의하여 1996년까지 국가우선 순위목록(National Priority List: NPL)에 기재되어 있는 토양오염지역은 2,000개소에 달하고 있다. 미국에서 토양의 정화는 토양오염가능지역을 발견하거나 또는 EPA에 토양오염가능지역을 통보함으로써 절차가 시작된다. 토양오염가능지역은 민간, 주정부당국, EPA의 지역사무소등에 의하여 발견된다. 이러한 오염지역 발견되면, 이 지역은 CERCLIS(Comprehensive Environmental Response, Compensation, and Liability Information System)에 등록되게 된다. CERCLIS는 EPA에서 운영하고 있는 유해물질이 방출된 지역을 D/B로 구축하여 목록화한 전산정보시스템이다. 이후 EPA는 유해물질오염지역에 대한 예비평가(Preliminary Assessment: PA)와 부지조사(Site Inspection)을 거쳐 오염지역을 정확하게 판단하게 된다. 본 단계는 현행 토양환경보전법상의 오염토양기초조사에 해당하는 부분으로 차이점은 조사 단계에서 지하지질에 대한 정보를 얻느냐하는 점이다. 현재 국내에서는 단순한 시료채취와 분석을 통해서만 조사가 이루어지고 있어 오염원의 크기, 오염정도, 지하수상태 등을 파악하기 위해서는 지질조사와 병행하여 지구물리탐사방법 등 체계적인 조사방법이 명시되지 않아 조속히 법제화되어야 필요가 있다.

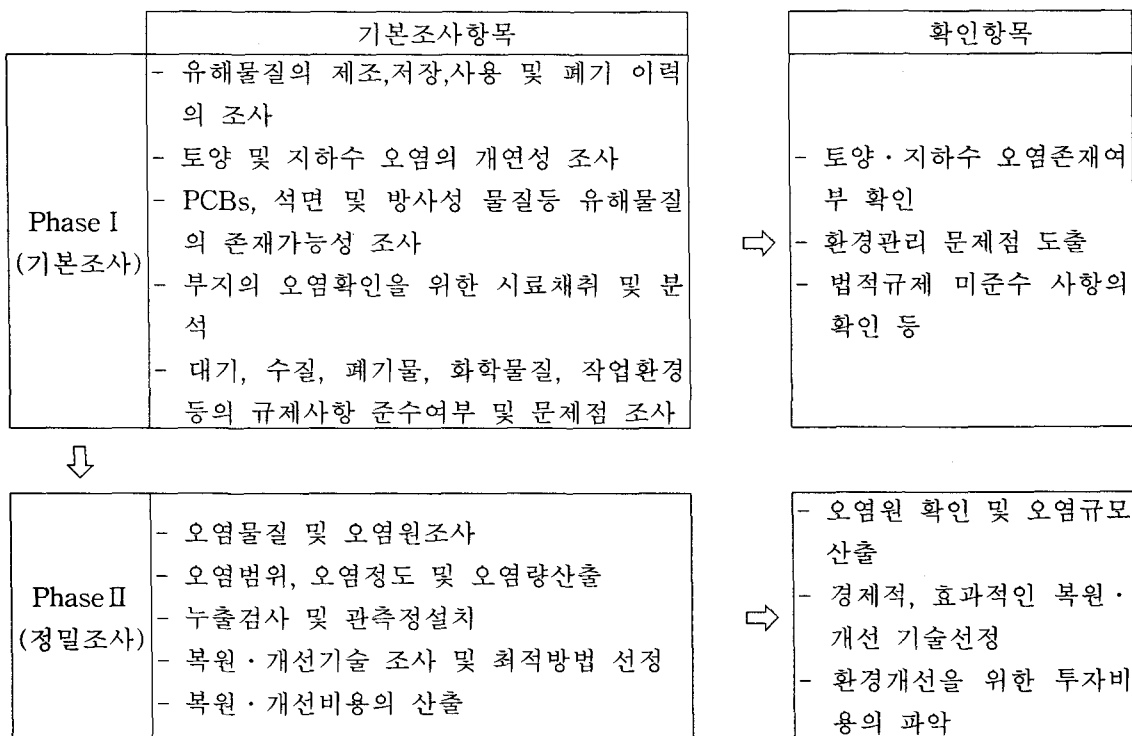
#### 3.2.2. 오염토양 판단기법

미국에서 건전한 상태의 토양에 대한 관리는 폐기물법에서 지하수중 유해물질의 규제농도를 정함으로써 간접적으로 행하고 있다. 특히, 토양오염을 유발할 수 있는 폐기물매립지 인근지역의 토양에 대해서는 폐기물법에서 221개의 오염물질로 기준농도 실측한계치( Practical Quantitation Limit)를 정하고 지하수수질이 이를 충족하도록 요구함으로써 간접적으로 건전한 토양상태가 유지되도록 하고 있다. 이러한 규제방식은 미국에서는 식수 전체의 대부분을 지하수로부터 얻고 있기 때문에 지하수보전이 중요하다는 것을 근거하고 있다. 폐기물법에서 정하고 있는 오염물질의 종류 및 PQL기준이 제시되어 있다. 이러한 PQL기준을 사용하고 있는 이유는 토양과 지하수내 오염물질의 배경농도를 기준으로 하거나 분석기기에 의한 오염물질의 검출한계치 기준, 그리고 오염물질이 검출되지 않는 경우도 발생하기 때문이다.

그러나 일반적으로 예비평가(PA)를 할 때 토양과 지하수의 질을 측정하기위한 폐기물 법에서 정한 40여종의 오염물질을 대상으로 하고 있다. 예비평가의 경우 지하수오염물질농

도, 독성특성에 의한 오염물질의 최대농도 등이 토양의 이용용도에 따라 복합적으로 사용된다.

어떠한 지역의 토양이 오염되어 있는가 판단하는 것은 CERCLA에 근거하여 마련된 부지환경성평가(Environmental Site Assessment)에 의하고 있다. 부지환경성평가는 두 단계(Phase I, II)로 구분되어 진행된다. Phase I은 부지에 대한 기초조사로서, 이 단계에서는 관련기록, 법규, 지형·지질을 조사하고, 오염원 및 누출확인을 위한 현장조사를 통해 대상지역의 책임자를 인터뷰하며, 토양오염여부의 확인을 위하여 기초적인 토양시료 채취 및 분석작업을 거쳐게 된다. Phase II는 대상부지의 정밀조사단계로서, 이 단계에서는 오염가능지역의 토양·지하수 시료를 채취하고, 오염도를 분석하며, 오염물질의 분포 및 거동을 해석하고, 향후 오염지역의 복원 또는 오염토양의 처리를 위한 기술평가 및 소요비용을 산출하게 된다 <그림 3>.



<그림 3> 부지환경성평가 Phase I 과 Phase II의 목적 및 조사항목

#### 4. 국내 토양 및 지하수오염현황

##### 4.1. 현 황

전국에 산재되어 있는 토양오염을 유발할 가능성이 있는 시설·지역 등에 대한 문헌 조사결과 이러한 시설·지역 등은 최소 29,058개소 이상인 것으로 추정된다(표 1,2)

특히, 이러한 오염유발시설들의 80%가 농촌의 농지인근에 산재해 있으며 침출수미처리 매립지 83%(741개소)가 농촌지역에 위치해 있다.

최근의 연구결과에 의하면 농촌환경(폐광산, 농약, 축산, 생활·산업오폐수)에 의한 사회적 비용이 연간 2조 7천억원에 이르며(한국농촌경제연구원, 1998), 2006년까지 농지오염복원



투자수요가 2,800~5,600억원 이를 것 <sup>21</sup> 큰 추정된 바 있다(국립환경연구원,1997)

농촌지역 오염 및 잠재오염원현황을 보면, 1980년 오염물질 발생량이 일일 8,794천톤 이었으나 1993년에는 20,554천톤으로 233%가 증가되었으며 농촌지역 간이급수시설(지하수) 65%가 음용에 부적합 것으로 나타났다('93~'94, 농업기반공사, 167개소 표본조사). 또한 전국의 생활·공업·농업·먹는샘물 등 지하수관정 1,538개소중 8%인 123개소가 수질 불합격으로 나타났으며(환경부,1999), 지하수 수질검사 결과 수질 부적합공이 계속적인 증가추세에 있다 (표 3,4). 농촌지역 지하수의 주요 오염원중의 하나인 축산폐수 발생량 역시 '91년 140천톤 에서 '97년 206천톤으로 143%증가된 것으로 나타났다.

- ☞ 토양·지하수환경 관련 법령들의 개정에 맞춰 토양 및 지하수오염실태를 파악할 수 있도록 정부의 정책개발과 투자가 시급한 실정임
- ☞ 세계은행(IBRD)에서 채택하고 있는, 토지가격 평가시 오염복원비용을 평가액에서 공제하는 제도가 2001년이후 국내에도 도입예상(ISO14000)

<표 1> 토양오염유발 가능시설

구 분		개소
총 계		29,058+ α
폐기물매립지	소 계	1,445
	일반폐기물매립지(환경부,1998)	537
	지정폐기물매립지(환경부,1998)	10
	사용종료된 폐기물매립지(환경부,1998)	898
소각지역·시설	소 계	15,515
	일반폐기물 소각시설(환경부,1998)	15,470
	지정폐기물 소각시설(환경부,1998)	45
유류저장·제조 시설·지역 등	소 계	11,757(1,659km)
	유류비축기지(대한석유공사,1999)	8
	정유회사 원유제품저장·제조 시설 등('97석유연보,1998)	5
	유류일반대리점('97석유연보,1998)	127
	주유소('97석유연보,1998)	5,210
	일반판매소('97석유연보,1998)	6,407
	송유관시설(km)(송유관공사,1999)	1,659km
휴·폐광산	소 계	461
	환경관리대상 휴·폐금속광산(환경부,1999)	158
	휴·폐 석탄광산(석탄합리화사업단,1994)	303

<표 1> 토양오염유발 가능시설 (계속)

구 분		개 소
총 계		29,058+ $\alpha$
산업시설·지역	소 계	292
	공업단지(대한상공회의소,1993)	151
	재련소(비금속협회,1999)	4
	조선소(산업자원부,1999)	137
	발전소(산업자원부,1999)	49
과거 군부대 주둔지역		> 200

<표 2> 추정가능한 토양오염개소 및 면적

구 분	개 소	면 적(천㎡)
계	2,402~7,256	72,682~73,071
폐기물매립지	1,445	47,586
유류 및 유해화학물질저장시설	255~5,109	20~409
광산지역	502	22,274~24,968
산업시설지역	?	?
과거 군부대주둔지역	> 200	108

※ 출처 : 효율적인 토양오염조사체계 구축방안 연구, 환경부, 1999

※ 산업시설지역은 추정할 수 있는 자료가 미흡하여 결과에서 제외된 것으로 상당수가 오염이 되어 있을 것으로 추정됨

<표 3> 연도별 지하수수질검사 결과

연도 \ 내용	합계	합격	불합격	미기재	불합격율(%)	비고
1995	140,083	137,157	2,926	-	2.1	
1995	25,267	23,407	1,696	164	6.8	
1997	30,302	27,500	2,107	695	7.1	
1998	15,861	15,086	717	58	4.5	
계	197,213	203,150	7,446	917	5.12	

※연도별로 지자체가 실시한 지하수수질조사임(지하수조사연보, 건설교통부)

〈표 4〉 먹는물 수질검사 결과

연도	내용	총갯수	질산성질소	COD		TCE	PCE
				2급수(1-3)	3급수(3이상)		
'95	1차	762	94 12.3	-	-	14 1.8	2 0.3
	2차	762	105 13.8	-	-	16 2.1	8 1.05
'96	1차	769	132 17.2	269 35	66 7.6	21 2.7	6 0.8
	2차	763	103 13.5	268 35.1	70 9.2	13 1.7	2 0.3
'97	1차	752	102 13.6	317 42.1	45 6.0	19 2.5	9 1.2
	2차	746	91 12.2	91 47.2	59 7.9	24 3.2	7 1.0
초과범위(%)			12.2~17.2	35.0~47.2	6.0~9.2	1.7~3.2	0.3~1.2
						초과수 비율	

#### 4.2. 환경오염관련 보도사례

정부, 환경리스트 도입키로 결정(중앙일보, 2000.2.9)

- 환경투자가 적거나 환경 관련 민원이 발생할 소지가 많은 업체에 대해서는 외국기업들이 인수합병을 꺼리는 사태가 국내에서도 발생

환경오염 높은 기업에 금융제재 추진(매일경제, 2000.1.18)

- 환경부 : 세계은행의 지원으로 국내기업에 환경회계를 도입하고 환경오염가능성이 높은 기업에 대한 금융제재 도입방안 추진
- 오염방지시설은 물론이고 환경오염에 대한 배상책임까지도 포함
- 환경문제를 금융부문과 연계해 도금·파혁·염색·중화학 등 환경을 오염시킬 가능성이 높은 업종에 대해서는 대출·보증 등 여신심사때 환경위험성을 반영

KBS 보도('99.2.4) : 안산 시화간척지 25,000평에 산업폐기물을 묻은 뒤 92억원에 땅을 판 땅주인에게 땅값의 두배나 되는 167억원의 폐기물 정화비용을 배상하라는 판결

중앙일보('00.2.9) : 석유화학공장과 발전부문 등에 대한 매각을 진행했던 H그룹의 경우 인수하려던 A사가 토양 및 지하수오염에 대해 환경영향평가를 벌여 그 결과 오염이 심각하다는 판정을 받아 결국 매각에 실패

한국토양환경학회(1998) : 의왕시의 경우 H화학의 기름탱크에서 누출된 유류가 주변 토양과 지하수를 오염시키고 200m떨어진 C모직 부지까지 오염시킴. 정밀 실태조사만 10억원, 완전히 복구하려면 1천3백억원 비용추정

## 5. 지구물리탐사의 역할

지하매질에 대한 간접적인 조사방법으로 그 동안 많은 기술적인 발전을 이룩한 지구물리탐사분야는 그 정확성에서 직접적인 조사방법에 비하여 떨어지는 것이 현실이다. 그러나 시간적, 경제적인 측면 뿐만 아니라 지하수·토양환경분야에서는 직접적인 시추에서 파생될 수 있는 2차적인 오염을 방지하기 위해서도 지구물리탐사분야의 역할은 아주 크다고 할 수 있다.

토양·지하수 오염의 조사 방법은 대상이 되는 오염물질에 따라 여러 가지가 적용될 수 있으며, 크게 다음의 두가지 조사로 나누어 진다. 즉, ① 오염 범위 조사 ② 오염처리후 효과판정 조사이다. 일반적인 오염 조사는 ① 오염 현황 파악(기존자료 조사, 기존 정권현황 조사 등) ② 오염 범위 와 오염원의 파악 ③ 오염 기구 파악(시추조사, 수문, 수리조사 등) 및 오염처리대책 수립을 위한 조사순으로 진행된다. 이중 지구물리탐사는 오염범위를 파악하고 오염처리후 처리대책의 적정성을 판단하는 과정에서 이용될 수 있다.

토양·지하수 오염 조사에 적용할 수 있는 지구물리탐사법은 조사대상의 물리적성질에 따라 여러가지 방법이 적용될 수 있으며, 표 5에서 보듯이 지하수·토양 오염원의 조사에 유용한 방법은 전기비저항 탐사와 전자탐사이며, 이외에도 자연전위 탐사와 유도분극탐사가 이용될 수 있다.

<표5> 지구물리탐사와 적용가능성

지구물리탐사	측정하는 물리적 성질	적 용 성									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
중력탐사	중력	P	P	s	s	s	s	!	!	s	!
자력탐사	대자율	P	P	P	s	!	m	!	P	P	!
탄성파탐사(굴절법)	탄성계수, 밀도	P	P	m	P	s	s	!	!	!	!
탄성파탐사(반사법)	탄성계수, 밀도	P	P	m	s	s	m	!	!	!	!
전기비저항	전기비저항	m	m	P	P	P	P	P	s	P	m
자연전위	전위차	!	!	P	m	P	m	m	m	!	!
유도분극	비저항,	m	m	P	m	s	m	m	m	m	m
전자탐사	전도도, 유전율	s	P	P	P	P	P	P	P	P	m
EM-VLF	전도도	m	m	P	m	s	s	s	m	m	!
EM-GPR	전도도, 유전율	!	!	m	P	P	P	s	P	P	P

※ P : 1차적인, s : 2차적인, m : 적용될 수는 있음, ! : 적용불가능

※ 적용성 범례

1 : 석유, 석탄 탐사    2 : 국부적인 지질 조사    3 : 광물자원 탐사

4 : 공학적 부지 조사    5 : 수리지질학적 조사    6 : 지하 공동 탐지

7 : 오염원의 조사    8 : 금속광물 탐사    9 : Archaeogeophysics

10 : Forensic geophysics

그동안 국내에서 토양·지하수 오염의 조사는 쓰레기 매립장의 침출수의 누출을 감지하기 위해 전기비저항 탐사가 일부 적용되었다. 최근에는 유류 등에 의한 오염지역에 대한 GPR탐사의 적용도 신중히 고려되고 있지만 아직 결과는 만족할만한 수준은 아닌 것으로 알려져 있다. 그러나, 위에서 살펴보았듯이 오염물질 유발시설 및 오염물질은 다양하며 각각의 오염 물질에 대응하는 토양·지하수 오염분포도를 현장에서 작성하기 위해서는 각각의 오염물질에 대응하는 지구물리탐사법이 정립되어야 하며, 또, 오염물질의 농축정도에 따른 탐사측정치의 정량화 작업이 이루어 져야한다. 예를 들면, 물과 기름의 유전율은 각각 80과 4로 크게 상이한 것을 이용하며 전자탐사로 원위치에서 오염범위 및 오염물질의 농축정도를 나타내는 오염도를 작성할 수 있는 방법의 정립이나, 중금속의 오염을 측정하기 위해 오염된 토양내에 산소를 주입하여 지하수와 중금속의 화학반응에서 발생하는 미세한 온도차이를 측정하여, 중금속의 오염정도와 오염원의 확산 방향을 측정할 수 있는 방법의 정립 등이다.

또한, 토양, 지하수오염 조사의 항목은 오염된 토양에서 오염물질이 지하수내로 용해되어 이동하는 것과 이동속도를 좌우하는 물리적 정수들의 원위치 조사법이 정립되어야 한다. 오염된 물질이 지반내를 이동하는 경우에는 지반의 수리수문 및 지질조사가 필요하다. 즉, 지반의 지층구성과 각 지층별 투수계수, 공극율, 지하수위 분포, 수리경계조건을 구하여 오염된 물질이 지반내를 이동에 관계되는 확산계수, 분산장, 흡착계수 등을 구하여 오염물질의 공간적 분포를 조사하는데 있다.

원위치에서 공간적 분포 조사의 정확성을 높이고, 조사된 오염원 분포상황을 확인하기 위해서는 전기비저항 토모그래피를 이용한 지반내 오염물질의 단면적 농도 변화양상의 관찰이 필요하다.

현장에서 수행되는 시추조사, 현장 분석 및 현장에 취득한 토양, 지하수 샘플의 실내시험을 통해 분석되는 자료와 아울러 원위치에서 장시간의 변동을 모니터링할 수 있는 기법의 개발도 필요하다. 즉 각각의 오염물질에 대응하는 토양오염도의 변화를 원위치에서 연속적으로 계속 측정할수 있는 방법이 필요하다.

이상과 같이 사회적 관심이 고조되고 있는 환경 오염에 능동적으로 대처하고, 강화된 지하수 및 토양환경보전법에 부흥하여 정확한 오염조사가 이루어지기 위해서는, 오염원 및 오염정도확인에 지구물리탐사분야의 조사가 필수적이지만, 아직까지는 국내에서 활발하게 이 분야에 적용되지 못하고 있다. 또한, 각각의 오염물질에 대응하는 적절한 물리탐사 기법의 정립 및 오염도와 탐사자료의 상호 연관성에 관한 연구가 미흡한 실정이므로 이에 대한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

## 6. 결 언

앞에서도 언급했듯이 토양·지하수환경분야와 관련된 제도들이 최근 개정 움직임을 보이고 있는 시점에서 오염부지의 조사단계 및 처리단계이후의 유지관리분야에서 지구물리탐사분야의 중요성이 점차 인식되고 있다. 특히 토양·지하수오염과 관련하여 오염유발가능시설의 80%가 농촌지역에 산재되어 있으나 그 규모와 오염정도에 대한 조사가 제대로 이루어지지 않은 상태이다. 특히, 이러한 부분에 대한 실태조사시 전문기술자들의 참여가 간과된 채 개략적인 조사로 일관되어 왔으며 오염복원 등이 제도적으로 뿌리내리지 못해 오염원의 범위, 정도 등을 확인하는데 많은 한계점을 드러내고 있는 현실이다. 지하수오염 등을 소홀히 다룰시 이는 국가적인 불행한 일이므로 향후 토양·지하수환경에 막대한 영향을 미칠 오염인자에

대한 정밀실태조사가 시급히 이루어져야 할 것이다.

따라서 현재 개정을 추진하고 있는 토양환경보전법과 지하수법의 개정취지를 제대로 살리면서 환경오염에 능동적으로 대처하기 위하여 지구물리탐사분야에서의 다양하고 정밀한 조사를 위한 방법들과 내용에 대한 연구가 절실히 요구되고 있다.

## 참고문헌

- 김천수, 2000, 국내지하수자원관리와 지하수법의 문제점: (사)한국지하수토양환경학회 지하수 관련 제도개선방안 특별세미나 논문집.
- 박삼규, 1999, 일본에서의 토목·건설 지반조사를 위한 물리탐사 활용 현황: 건설현장에 필요한 물리탐사기술 심포지움 논문집, 1-20.
- 안재영, 1999, 국가 토양환경보전을 위한 정책방향: '99세계 환경의 날 기념 국제세미나 논문집.
- 윤길림, 1998, 오염지반의 현장특성화 기법: 오염토양분석 워크샵 논문, 39-51.
- 이민효, 1999, 21C 토양환경 문제와 발전방안: '99세계 환경의 날 기념 국제세미나 논문집.
- 이병호, 2000, 현행 지하수법의 개정방안: (사)한국지하수토양환경학회 지하수관련 제도개선 방안 특별세미나 논문집.
- 정하익, 1999, 오염지하수 복원기술에 관한 기초연구, 한국건설기술연구원.
- 한정상, 1999, 국내지하수의 문제점과 현행 지하수법 개정의 당위성: (사)한국지하수환경학회 /토양환경학회 춘계 공동학술발표회 논문집.
- 환경부, 1999, 효율적인 토양오염조사체계 구축방안 연구.
- 西恒誠, 1999, 土壤·地下水汚染の 對策: 土と基礎, 47-10, 1-4.