



천 정 응

한화환경연구소 환경경영연구팀

# 토양복원기술의 선진 동향과 시사점

## ▷ 요약 ◁

### (1) 토양오염의 특성과 현황

- 토양오염은 지하에서 일어나는 오염문제이므로 눈으로 직접 확인하기가 어려울 뿐만 아니라 한번 오염되면 복원을 위해서 많은 시간과 경제적 노력이 필요함
- 우리 나라에서는 폐광지대 그리고 공업단지 내 유류 저장시설 주변 토양이 중금속과 유기화합물로 심각하게 오염되어 있는 것으로 나타남

### (2) 오염토양 정화기술의 분류와 주요기술

- 오염토양 정화기술은 크게 비원위치 기술과 원위치 기술로 분류되며 각각 물리적, 화학적, 생물학적 방법으로 다시 분류됨

### (3) 주요 국가들의 토양정화기술 보유 동향

- 29개국 360개 토양정화관련 회사들의 관련 기술 보유동향을 분석한 결과, 세계 유수의 토양정화관련 기업들은 비원위치 기술로는 열탈착법, 토양세척법, 경작법 그리고 원위치 기술로는 생분해법, 토양증기추출법을 주요 기술로 보유하고 있는 것으로 나타남

### (4) 시사점

- 토양오염에 대한 사회적 관심과 토양환경보전법이 강화되는 추세를 감안하면, 앞으로 토양정화사업이 활발하게 수행될 것으로 예상됨
- 앞으로 복원비용이 비교적 적게 소요되고 사회적인 인지도가 높은 원위치 토양증기추출법, 생분해법이 유망할 것으로 판단됨

### (1) 토양오염의 특성과 현황

#### 가. 토양오염의 정의와 특성

- “토양오염”이라 함은 사업활동 기타 사람의 활동에 의해 토양이 오염되는 것으로서 사람의 건강이나 환경에 위해를 주는 상태를 말함
- 지하에서 발생하는 오염문제이므로 직접 눈으로 확인하기 어려울 뿐만 아니라 지반의 불균질성으로 인해 오염 범위와 정도에 대한 관측 및 예측이 매우 어려움
- 이러한 비가시성과 관측의 어려움 때문에 대기나 지표수와 같은 가시적인 매체에 비해 상대적으로 소홀히 다루어져 왔음
- 한번 오염되면 복원을 위해 많은 시간과 경제적 노력이 필요하며, 美환경청에 의하면 미국의 경우 1998년 여름 현재 202개 오염현장에서 정화작업이 진행 중이며 총 302개 현장에서 정화작업이 종료된 것으로 보고되었는데 평균 복원기간은 정화기술에 따라 약 13개월~19개월이었던 것으로 보고됨
- 토양의 오염은 그 속에 존재하는 생물과 지하수의 오염을 유발시키며, 지하수의 오염은 오염되지 않은 토양으로의 오염물질의 확산을 야기함
- 따라서 토양오염이 확인되어 즉각적인 조치를 취하지 않을 경우 광범위한 생태계 오염이 발생함

#### 나. 토양오염 현황 및 대책마련의 필요성

- 1999년 환경부의 강원도 길곡광산 등 전국 10개 폐금속광산지역에 대한 오염 실태조사 결과에 따르면, 폐광과 주변 지역 927개 시료채취 지점 중 40%가 토양오염 우려기준을 초과함
- 조사지역은 밭이 가장 많았는데, 벼, 고추, 무, 배추 등 일부 채소류에서 카드뮴, 납, 크롬, 아연 등의 중금속이 검출됨
- 또한, 부여 임천광산 인근 농경지, 경북 토현광산, 옥방광산, 금장광산 주변지역도 토양오염이 심각한 것으로 조사됨

- 1999년 국립환경연구원의 전국 석유/유독물질 제조 및 저장시설 8,637개소 주변 토양에 대한 BTEX 오염도 조사결과, 조사지역의 토양이 유기화합물로 심각하게 오염되어 있는 것으로 나타남
- 조사지역 중 137개소(1.6%) 주변 토양이 토양오염확인기준인 32 ppm을 크게 초과하였으며, 특히 토양오염대책기준인 200 ppm을 초과한 곳도 42개소에 달해 오염도가 심각한 것으로 확인됨
- 외국 기업들이 국내 기업에 대한 M&A 시 인수 대상 기업 공장 부지의 토양오염실태, 대기·수질 오염배출실적, 폐기물 처리현황 등의 환경실사 보고서를 요구함
- 이 과정에서 대상 공장 부지의 토양/지하수 오염이 드러나 복원을 요구하거나, 매매 가격을 대폭 줄이는 사례들이 있었다고 함
- 환경정책평가연구원에 따르면 북한의 공장과 광산들이 오염방지시설을 제대로 갖추지 못해 여기서 발생하는 산업 폐기물들을 주변에 그대로 버리는 경우가 많아 토양오염이 심각하다고 함
- 독일의 경우, 통일과정에서 동독의 오염토양 회복을 위해 막대한 복원비용을 지출하여 통일 비용의 증대에 결정적인 영향을 미쳤다고 함
- 기존의 토양오염 문제는 광산지역의 중금속 오염이 중심이었으나, 최근에는 첨단산업으로부터 배출되는 휘발성유기화합물에 의한 오염이 중심이 되고 있음
- 드라이클리닝, 도장공정, 주유소, 반도체 공장 등에서 누출되는 유기화합물에 의한 오염이 중요한 문제가 되고 있음
- 또한, 엄격한 환경관리가 이루어지지 않았던 군부대에서 의 토양오염은 군부대의 이전 또는 폐쇄에 따라 밝혀지게 되는데, 이는 세계적인 추세임
- 우리 나라는 1994년부터 정부차원에서 토양정화기술을

개발하기 시작하였으며, 오염부지에 대한 현장조사 및 정화에 대한 공식적인 자료는 없으나, 일부 기업체가 비공식적으로 자체 소유의 오염부지에 대한 정화를 시도한 바 있음

- 미국의 경우, 1980년에 슈퍼펀드법을 제정한 이래로 1985년까지 20,766개의 유해지역을 찾아내고 507개의 매우 위험한 지역에 대해 유해물질 제거작업을 실시함
- 현재 국내 토양 오염부지에 대한 조사 및 정화기술은 선진국에 비해 매우 낙후되어 있으나, 부지오염에 대한 관심 증가와 함께 국책연구기관, 대학, 민간연구소를 중심으로 열탈착법, 토양세척법, 경작법, 토양증기추출법, 생분해법 등이 활발하게 연구되고 있으며 일부 사업화가 진행되고 있음

**(2) 오염토양 정화기술의 분류와 주요기술**

〈표 1〉 상용화된 토양 정화 기술 분류

분 류	오염토양 정화기술	
비원위치 (Ex Situ) 기술	물리적 방법	소각법 (Incineration) 열탈착법 (Thermal Desorption) 토양증기추출법 (Soil Vapor Extraction) 분급법 (Mechanical Separation) 굴착폐기 (Excavation and Disposal)
	화학적 방법	토양세척법 (Soil Washing) 고형화 및 안정화 (Solidification/Stabilization) 탈염화법 (Dehalogenation) 용제추출법 (Solvent Extraction) 화학적 산화 및 환원법 (Chemical Reduction/Oxidation)
	생물학적 방법	경작법 (Landfarming) 생반응법 (Bioreactors)
원위치 (In Situ) 기술	물리적 방법	토양증기추출법 (SVE : Soil Vapor Extraction) 가열토양증기추출법 (Thermally-enhanced SVE) 차폐 및 반응벽체 (Containment/Reactive Walls/Barriers) 전기 개선법 (Electroreclamation) 매립 차폐법 (Landfill Cap)
	화학적 방법	토양세척법 (Soil Washing) 안정화 및 고형화 (Stabilization/Solidification)
	생물학적 방법	생분해법 (Bioremediation) 식물정화법 (Phytoremediation) 자연저감법 (Natural Attenuation)

자료: UNECE, ICS-UNIDO, "Compendium of Soil Clean-up Technologies and Soil Remediation Companies", 2nd Edition, 2000.

· 실행 위치에 따라 非原位置(Ex Situ)와 原位置(In Situ) 기술

로 나누어짐

- 비원위치 정화기술 : 오염토양을 오염지역으로부터 굴착 이동시켜 처리하는 기술이므로 일반적으로 토양을 채취하여 처리지역으로 이동시키는데 많은 비용이 소요되어서는 안됨
- 오염토양을 오염 현장으로부터 이동시킴으로서 오염지역의 지반환경을 교란시켜 예기치 못한 오염의 확산을 유발할 가능성이 있으며, 오염 토양의 제거와 이동 중 작업자가 오염물질에 노출될 위험성이 있으나, 원위치 기술에 비해 오염지역 주변 지하수나 거주민에게 위험을 덜어주면서 빠르게 오염원을 제거할 수 있다는 장점이 있음
- 원위치 정화기술 : 오염 토양을 현장에서 직접 처리하는 기술로 오염된 토양을 굴착 이동시킬 필요가 없으므로 주변 환경과 작업자들이 오염물질에 노출될 가능성이 적을 뿐만 아니라 비용 또한 비원위치 정화기술에 비해 저렴한 편임
- 현장지반의 불균질성으로 인한 오염물질의 분포와 이동의 복잡성 때문에 정화효율을 높이기 위해서는 정밀한 현장 조사 자료가 필요함

(3) 세계 오염토양 정화 관련 기업들의 보유 기술 동향

- 세계 토양 정화관련 기업들은 비원위치 기술로는 열탈착법, 토양세척법, 경작법을 그리고 원위치 기술로는 생분해법, 토양증기추출법을 주요 기술로 보유하고 있음
- 29개국 360개 토양 정화관련 회사들의 관련 기술 보유 동향을 분석한 것임

가. 북미

- 원위치 생분해법이 53건, 비원위치 열탈착법 35건, 비원위치 토양세척이 25건으로 전체 적용 기술 중에 44% 임
- 미국 197개社 캐나다 10개社의 토양 복원 기술을 분석함
- 비원위치 기술이 54.6%로 원위치 기술과 비슷하게 보유하고 있음



즉각적인 오염조사 및 복원 작업을 실행해야 함

- 토양오염은 비가시적이며, 한번 오염되면 복원을 위해 많은 시간과 경제적 노력이 필요하고 그 부지의 재산 가치 또한 하락하기 때문임

· 토양환경보전법이 1996년부터 시행 중이고 토양오염문제가 site-specific한 문제임에도 불구하고 정확한 오염 현황과 우리 실정에 맞는 오염지역 조사가 이루어진 사례가 매우 적음

- 우리 나라 지반 특성에 적합한 오염부지 조사방법의 정립과 체계적인 오염현황 파악이 선행되어야 할 것임

· 우리 나라 토양환경보전법이 강화되는 추세를 감안하면, 앞으로 부지 오염평가와 오염도양 복원 작업이 활발하게 수행될 것으로 예상됨

- 국립환경연구원의 우리 나라 토양 정화를 위한 예상투자액에 관한 자료를 보면, 1987년에서 2006년까지 약 8,062 억원에서 2조1,395억원 정도로 추정하였음

- 토양오염이 우려되는 부지의 관리자 및 소유자는 오염방

지차원에서 관련법을 철저히 지켜야하며, 앞으로의 토양환경보전법은 오염토양의 조사 및 평가 그리고 정화기술의 발달과 함께 강화되어야 할 것으로 사료됨

· 토양 정화 관련 기업들은 특히 생분해기법을 많이 보유하고 있음

- 정화 기간은 많이 소요되나 비용이 적게 소요되고 오염부지를 계속 사용하면서 정화를 수행할 수 있으며, 현장에 이미 존재하고 있는 미생물들 이용함으로써 식물정화법과 함께 자연 친화적이라는 인식 때문임

· 기술 보유 빈도, 현장 적용정도 그리고 선호도가 높은 원위치 토양증기추출법, 생분해법이 유망할 것으로 판단됨

- 토양 복원에 많은 투자를 하고 있는 선진국들에 비해 정화기술이 매우 낙후 되어있으므로 현 시점에서 외국의 기술동향을 파악 우리 환경에 적합한 기술을 선정 집중 투자한다면, 해외시장으로 진출할 수 있는 기회도 얻을 수 있을 것으로 판단됨



## 원고를 모집합니다.

- 어려운 현실에서도 환경보전을 위한 작은 실천 내용을 나누고 싶습니다.
- 주위의 따뜻하고 진솔한 삶의 소리를 듣고 싶습니다.
- 열심히 공부하고 모은 기술자료 및 기타 내용을 공유하고 싶습니다.
- 좋은 것은 나누고 슬픔은 함께 했으면 합니다.

- 자격 : 회원 및 가족
- 접수 : E-mail 및 우편
- 문의 : 2638-0186(편집국)

※ 채택된 원고에는 소정의 교료(도서상품권)를 드립니다.