

지반오염 정화기술의 신공법과 동향

권 호 진*1
박 준 범*2
송 영 우*3

1. 머리말

흙은 공기, 물과 더불어 우리가 아끼고 지켜야 할 우리의 자원이며 환경이다. 그러나 최근에 보고되고 있는 일련의 사실들은 우리나라의 지반오염이 이미 매우 심각한 상태임을 말해주고 있다.

본 글에서는 지반오염물질의 종류와 주요한 정화방법에 대해서 간략히 설명하고, 미국 환경청(Environmental Protection Agency, EPA) 신기술국(Technology Innovation Office)의 최근 자료를 토대로 지반오염 정화기술의 신공법과 동향에 대하여 알아보고, 경제적이고 환경친화적인 정화기법의 개발에 대하여 살펴보았다.

2. 지반오염물질의 종류

지반오염은 다양한 원인에 의하여 발생한다. 특히 지하저장시설(underground storage tank, UST)와 정화조, 농약이 과다하게 살포된 농토, 도시쓰레기 매립지, 산업폐기물 매립지, 폐광 등이 주요한 지반오염발생원이 된다. 이 중에서도 지하저장탱크에 의한 오염이 가장 빈도가 높은 것으로 나타났다.

2.1 화학적 분류

지반오염물질은 크게 다음의 네 가지로 분류한다: (1)유기화합물(organic compounds), (2)무기화합물(inorganic compounds), (3)병원체(pathogens), (4)방사능물질(radioactive materials).

유기화합물이란 생명체로부터 추출한 탄소를 함유한 화합물을 뜻한다. 탄소가 다른 원소와 달리 중요하게 취급되는 이유는 탄소 원자가 다른 탄소 원자나 다른 원자들과 다양한 방법으로 공유결합을 할 수 있어서 거의 무한정한 수의 화합물을 형성할 수 있기 때문이다. 화석연료(석탄, 석유)로부터 얻어진 화합물이 여기에 속한다.

무기화합물은 광물질에서 얻어지며 우리나라 토양환경보전법에서는 구리, 수은, 납, 카드뮴, 비소, 크롬 및 그 화합물을 토양오염물질로 분류하고 있다.

병원체란 질병을 일으킬 수 있는 미생물체를 가리킨다. 대장균류(coliform bacteria), 레지오넬라(legionella), 지아르디아(giardia), 및 바이러스류가 이에 속한다.

방사능물질은 우라늄(²³⁸U), 라돈, 라듐, 플루토늄 등과 같이 반감기를 갖고 방사능을 방출하는 물질을 가리킨다. 최근 원자력의 이용

*1 정희원, 광주대학교 공과대학 토목공학과 부교수

*2 정희원, 서울대학교 공과대학 토목공학과 전임강사

*3 정희원, 한남대학교 공과대학 토목공학과 부교수

증가로 핵폐기물에 의한 지반오염이 문제가 되면서 주목을 받기 시작했다.

위의 네 가지의 지반오염물질 중에서 유기화합물이 지반오염을 일으키는 빈도에 있어서 다른 세 종류의 물질보다 훨씬 높다. 유기화합물은 화학적 구조에 따라 크게 세 종류로 구분한다. 구조속에 벤젠링(C₆H₆)을 가지고 있지 않은 화합물은 탄화수소 화합물(aliphatic compounds), 벤젠링이 존재하면 방향성 화합물(aromatic compounds), 그리고 탄화수소 화합물과 방향성 화합물 중에서 한 개 이상의 할로겐원소(F, Cl, Br, I 등)를 포함하고 있으면 할로겐화 화합물(halogenated hydrocarbons)로 분류한다.

2.2 공학적 분류

지반환경공학에서 오염물질을 분류할 때는 위에서 언급한 유기화학적 구분법 외에도 오염물질이 지중에서 거동하는 양상에 따라 구분하기도 한다. NAPL(nonaqueous phase liquids, 疎水性 액체)은 물이나 공기와 접촉할 때 혼합되지 않는(immiscible) 탄화수소화합물을 일컫는 용어이다. 물과 NAPL의 물리적 특성 및 화학적 특성의 차이 때문에 두 액체 사이에는 물리적 경계면이 형성되어 혼합이 이루어지지 않는다.

NAPL을 밀도에 따라 분류하면, 밀도가 물보다 작은 LNAPL(light nonaqueous phase liquids)과 밀도가 물보다 큰 DNAPL(dense nonaqueous phase liquids)로 분류할 수 있다. LNAPL은 지중에 유입되어 지하수층에 도달하게 되면 물보다 가벼우므로 지하수층 상부에 뜨게 되고 지하수의 흐름을 타고 이동하게 된다. 그러나 DNAPL은 비중이 물보다 크므로 지하수층 아래로 가라앉게 된다.

지반을 오염시키는 LNAPL은 주로 석유추출물이며, 석유추출물은 용해도가 다양한 여러 화학물질들로 이루어진 복합성분의 유기화합물이다. 알콜(alcohol)이나 MTBE(methyl tertiary-butyl ether, 메틸3부틸에테르)와 같

은 성분은 용해도가 매우 크며, 벤젠(benzene), 톨루엔(toluene), 에틸벤젠(ethylbenzene), 크실렌(xylene, 자일렌) 등과 같은 성분은 용해도가 중간 정도이고, 기타 여러 성분(n-dodecane, n-heptane 등)의 용해도는 매우 작다. 일반적으로 LNAPL은 지하수층에 도달하게 되면 지하수의 흐름을 타고 광범위한 지역으로 확산되어 지하수를 장기간에 걸쳐 지속적으로 오염시키게 된다.

이에 반하여 DNAPL은 밀도가 1.0g/cm³ 이상이며, 산업용 세척제, PCB oil, 농약 등에서 주로 발견된다. 일반적으로 DNAPL은 물보다 무거우므로 지하수 저면에 쌓이거나, 심지어 암반에 형성된 균열(crack, fissure) 틈으로 들어가기도 한다. 따라서 DNAPL의 정화가 LNAPL보다 훨씬 어렵고 비용도 많이 들며 오염지역에 대한 효과적인 정화방안도 개발되어 있지 않다.

LNAPL의 특성, 지중이동, 지중변환 및 정화방법에 대하여 대한토목학회지(1996년 11월, 12월, 1997년 1월)에 비교적 상세히 설명한 바 있다.

3. 정화기술

3.1 정화기술의 선정

오염된 현장의 정화방법의 선정은 주로 매체와 오염물질의 종류에 따라 이루어진다. 오염된 지반과 지하수가 가장 심각한 문제이며, 많은 양의 오염물질 즉 침전물, 매립쓰레기, 슬래그 등도 여러 곳에 산재해 있다.

유해폐기물장의 정화기술을 선정하여 사용한 비율은 그림 1과 같다. 이것은 미국에서 사용한 697개의 오염원 처리기술에 대한 적용 비율을 나타낸 것이다.

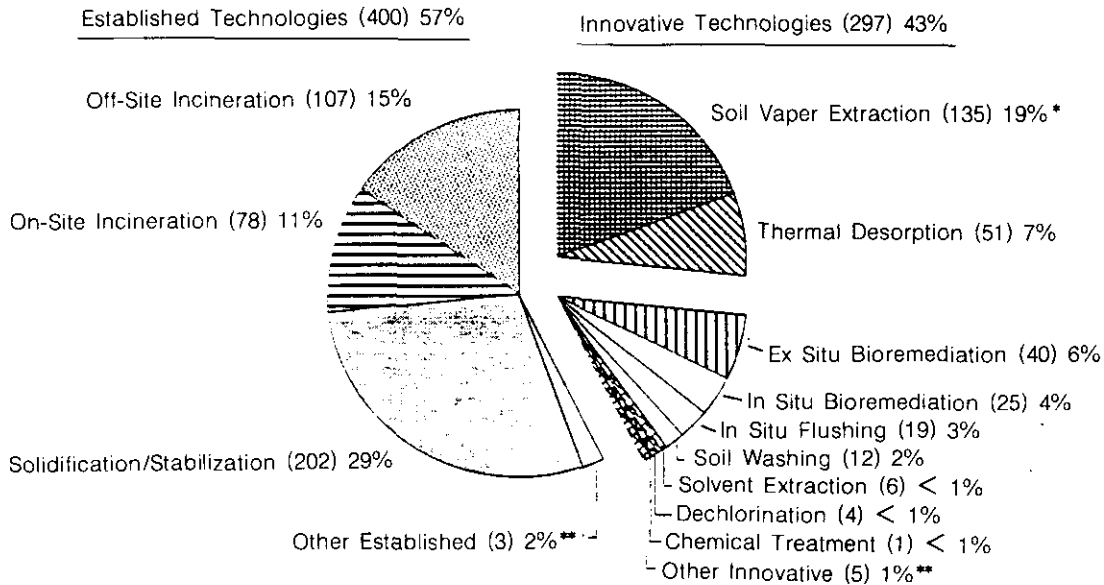
기본적인 처리방법에는 소각(incineration)과 고결/안정화(solidification/stabilization) 방법이 있다. 이들 두 방법의 적용에 관련된 유용한 정보가 많이 있기 때문에 미국 환경청은 이러한 방법을 '확립된(established) 기술'이라

고 여기고 있다. 반면에 계속적인 사용을 위한 실행정보와 비용정보가 부족한 방법은 '새로운 (innovative) 기술'이라고 한다.

오염원 처리에 가장 많이 사용하는 새로운 기술에는 토양증기추출법(soil vapor extraction)과 가열탈착법(thermal desorption) 등

이 있으며, 생분해법(bioremediation), 현장세척법(in situ flushing), 토양세척법(soil washing) 등도 자주 사용되고 있다. 지하수 처리에 가장 많이 사용하는 새로운 기술에는 공기분무법(air sparging)과 생분해법 등이 있다.

Superfund Remedial Actions:
Summary of Source Control Treatment Technologies Selected
Through FY94



* Includes dual-phase extraction projects.

** "Other" innovative technologies: contained recovery of oily wastes (CROW™), cyanide oxidation, in situ vitrification, and plasma high temperature metals recovery.

Source: Innovative Treatment Technologies: Annual Status Report (Seventh Edition)

(그림 1)

3.2 정화기술의 종류

고결/안정화 방법(solidification/stabilization)은 흙이나 다른 폐기물을 정화하기 위하여 가장 많이 사용하는 방법이다. 금속을 포함하는 폐기물을 정화하는 데는 이 방법이 주로 사용된다. 이 방법은 준휘발성 유기화합물(semivolatile organic compounds, SVOCs)을

처리하는 데 사용되기도 한다.

소각방법(incineration)은 흙, 슬러지, 침전물을 정화처리하기 위하여 두번째로 많이 사용하는 방법이다. 이 방법의 주요 장점은 고농도 혼합물의 엄격한 정화기준을 만족하기 쉽다는 점이다. 현장 내외에서의 소각방법의 선정비율은 1992년-1994년 동안에 15% 이하로 감소하

였다.

토양증기추출법(soil vapor extraction, SVE)은 휘발성 유기화합물(volatile organic compounds, VOCs)을 처리하는 데 가장 적합한 방법이다. 이 방법은 현장내(in situ) 처리 방법으로서 현장외(ex situ) 처리방법에 비해 매우 경제적이다. 이 방법에 대해서는 공기주입(bioventing), 지하수처리, 구멍굴차, 공기파쇄 및 가열처리 등 여러 발전이 이루어지고 있다.

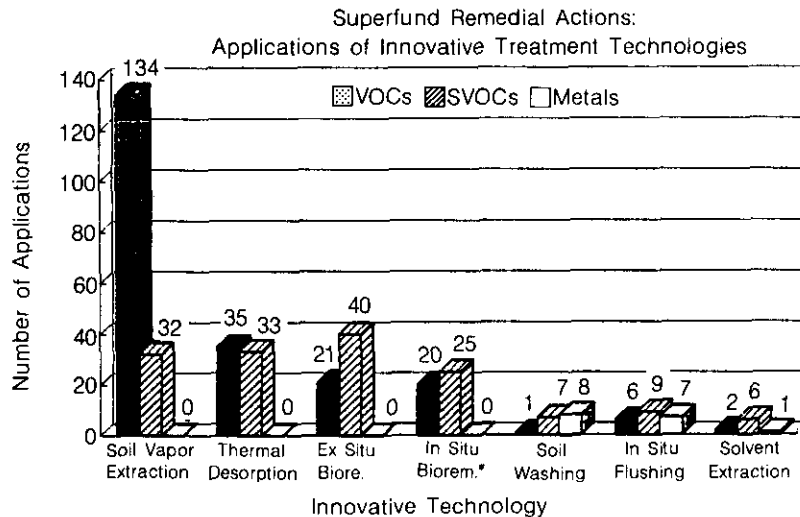
네번째로 많이 사용하는 방법은 가열탈착법(thermal desorption)으로서, 휘발성 유기화합물, PCBs 및 금속이나 유기물을 포함한 흙을 처리하는 데 사용한다.

생분해법(bioremediation)은 소각방법이나 다른 화학적 방법에 비해서 유기오염물질을 실질적으로 파괴시키는 정화방법이다. 현장의 흙

과 지하수에 공기를 공급하기 위한 방법에 대한 많은 연구와 경험을 통하여, 생분해법의 수행능력이 향상되고 적용가능한 오염물질의 종류가 다양해질 것이다. 이 방법은 석유류 탄화수소화합물에 광범위하게 적용할 수 있다.

그림 2는 주요 오염물질의 종류에 따른 새로운(innovative) 정화처리기술의 선정을 요약한 것이다. 그림 2에서 토양증기추출법이 많이 이용되고 있음을 알 수 있으며, 금속을 처리하는 데도 몇 가지 방법이 있다는 것을 알 수 있다.

현장에서 오염물질이 변화하면, 오염지반을 효과적으로 처리하기 위하여 다른 정화방법을 추가 적용할 필요가 발생한다. 여러 현장에서 두 개 이상의 새로운 정화처리기술을 연속적으로 적용하는 연쇄처리(treatment trains)를 사용하고 있다(그림 3).



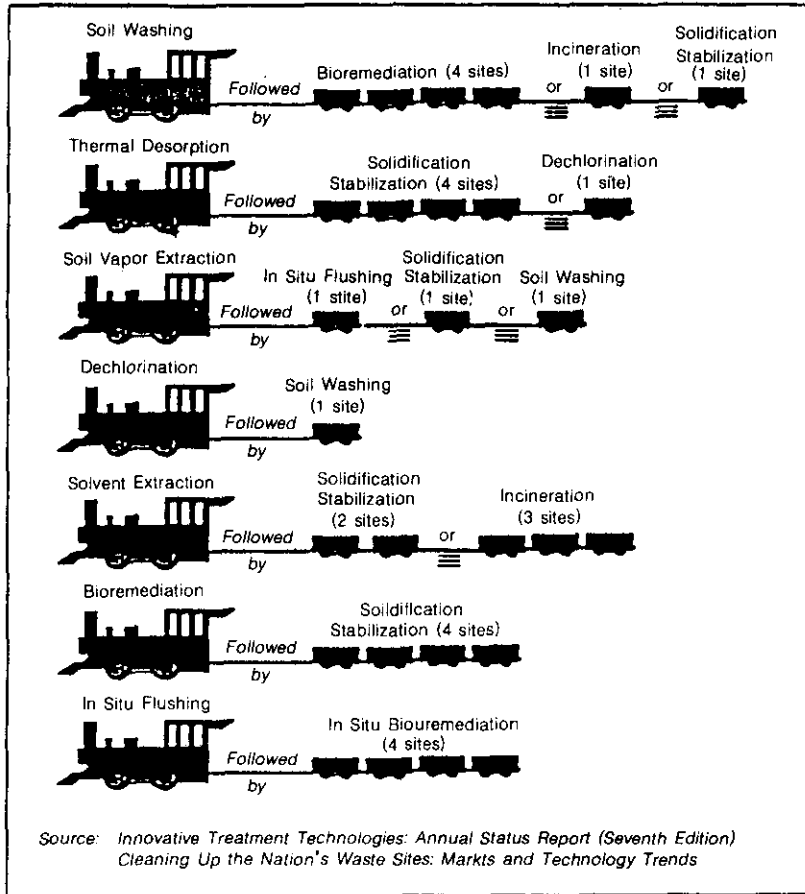
* Does not include *in situ* groundwater bioremediation.

Source: Innovative Treatment Technologies: Annual Status Report(Seventh Edition)
Cleaning up the Nation's Waste Sites: Markets and Technology Trends

(그림 2)

Superfund Remedial Actions:
Treatment Trains with Innovative Treatment Technologies

Total Treatment Trains = 28



(그림 3)

3.3 중금속으로 오염된 지반의 정화기술

앞에서 언급한 정화처리방법 이외의 더욱 새로운 방법이 요구되는 경우가 있다. 그 하나는 중금속으로 오염된 지반을 정화하는 경우이다. 가장 흔히 나타나는 금속은 납(lead), 카드뮴(cadmium), 아연(zinc), 니켈(nickel), 크로뮴(chromium), 비소(arsenic) 등이다. 이 오염물질들은 토양환경보전법 상의 중금속성 오염물

질과도 대부분 일치한다. 중금속처리에는 고결/안정화 방법이 많이 사용되고 있으며, 금속으로 오염된 지반을 처리하기 위한 새로운 방법 중 현장시험 중이거나 실제 사용하고 있는 유망한 몇 가지 방법은 그림 4와 같다. 그 중 동전기기술(electrokinetics)방법과 식물정화처리방법(phytoremediation)은 매우 흥미로운 방법이다.

표 1. Overview of In Situ Soil Remediation Technologies for Metals

Evaluation Factor	Electrokinetics	Phytoremediation	Soil Flushing	Solidification/Stabilization
Status	Full-scale applications in Europe; recently licensed in U.S.	Pilot-scale; currently being field-tested in Chernobyl, Ukraine	Commercial; selected at 8 Superfund sites	Commercial
Range of Metals Treated	Broad	Broad	Limited	Broad
Major Limiting Factor	State-of-art	State-of-art Longer time required for treatment	Potential contamination of aquifer with residual solution	Long-term reliability unproven
Site-Specific Consideration	Homogeneity of soil Moisture level in soil	Depth of Contamination Concentration of contamination	Permeability of soil Groundwater flow and depth	Debris

동전기기술 정화방법(electrokinetic remediation)은 흙속에 설치한 전극사이에 저밀도 직류전류를 가하는 방법이다. 오염물질(금속)은 전기를 띤 입자나 이온의 형태로 전극으로 이동하여 지상으로 추출된 후 처리된다. 이 방법은 유럽에서 많이 상업화되어 사용 중이며, 미국에서는 최근에 특허를 받은 방법으로, 구리, 납, 아연, 비소, 카드뮴, 크로뮴, 니켈 등을 제거하는 데 효과적이며 90% 이상의 제거율을 나타내기도 하였다. 지상으로의 추출없이 오염 금속을 전극 사이의 정화구역으로 이동시키는 방법을 사용하기도 한다. 이 방법으로 점토지반에서 휘발성 물질을 제거하기 위한 현장실험이 이루어지고 있다.

식물정화처리방법(phytoremediation)은 초기 상업화 단계에 있으며, 장래에 매우 경제적인 방법이 될 것이다. 이 방법은 오염물질이 낮은 농도로 확산되어 있고 지표면 부근(나무뿌리 깊이내)의 지반만을 정화할 필요가 있는 경우에 적합하다. 금속정화는 식물을 이용한 추출과 안정을 통해 이루어진다.

식물추출(phytoextraction)은 오염물질이

흙속에서 식물조직으로 흡수되고 이 식물을 수확하여 처리하는 것이다. 나무, 풀, 농작물 등의 이용이 모두 가능하지만 생장성이 높은 농작물이 가장 적합하다. 니켈과 아연이 가장 잘 흡수되며, 구리와 카드뮴도 비교적 잘 흡수된다. 불행하게도 매우 흔한 오염물질인 납은 식물이 가장 흡수하기 어려운 금속의 하나이다.

식물안정(phytostabilization)은 지표면 부근의 오염물질을 안정화시키는 방법이다. 이 방법은 식물을 통하여 화합물을 공급하여 용해도가 낮은 금속복합물을 형성하는 것이다. 또 식물은 지표면 침식을 조절하여 주며, 증발산을 통한 여과를 감소시켜 준다. 실험실에서의 연구는 이 방법이 납에 대해서 효과적이라는 것을 보여주고 있다.

3.4 지하수가 오염된 지반의 정화기술

더욱 새로운 정화처리방법이 요구되는 또 다른 경우는 지하수가 오염된 경우 특히 DNAPLs(dense nonaqueous liquids)에 의하여 지하수가 오염된 경우이다. 지반정화가 필요한 현장의 70% 이상이 지하수가 오염된 경

우이다.

양수처리법(pump-and-treat)만으로는 정화 기준을 만조시킬 수 없는 경우가 자주 있으므로 새로운 현장처리방법이 필요하다. 1982년 이후 지하수 정화현장 중에서 35% 정도가 새로운 정화처리방법이 채택하였다. 이들 방법은 대부분 최근에야 채택되었으므로, 주로 생분해법이나 공기분무법을 사용하였다.

DNAPLs에 의한 오염을 정화하는 방법에는 양수처리법을 촉진시켜 주거나 또는 전혀 별개인 6가지 방법이 있다.

가열촉진법(thermal enhancement) : 이 방법은 뜨거운 물이나 증기를 주입하거나 무선전동이나 전기저항을 이용한 열을 가하여, 유기오염물의 이동성, 용해성, 휘발성을 증가시키는 방법이다.

계면활성제촉진법(surfactant enhancement) : 계면활성제는 오염물질의 수용성을 증가시켜 주며, 흡입자와 오염물질 사이의 표면장력을 감소시켜 이동성을 증가시켜 준다.

정화처리벽(treatment wall) : 이것은 오염물질의 이동유로에 수직벽을 설치하여 오염물질이 통과할 때 정화처리하는 방법이다. 이 벽체는 휘발성 유기물을 감소시키기 위한 촉매, 금속의 이동을 억제하기 위한 킬레이트(chelator, 고리형 복합체), 생분해를 촉진하기

위한 영양분과 산소를 포함하고 있다.

수압/공기 파쇄법(hydraulic/pneumatic fracturing) : 이 방법은 압밀지반이나 투수성이 작은 비압밀지반에 고압의 물이나 공기를 주입하여 균열의 개수와 크기를 증가시켜 주는 것이다. 확대된 균열은 현장정화처리의 대상이 되는 영역을 넓혀주며, 용해되거나 이동한 오염물질을 제거하기 위한 통로의 역할을 한다.

혼합용매법(cosolvent) : 이것은 용매혼합물(예를 들면 물에다 알콜과 같은 유기질 용매를 혼합한 것)을 주입하여 유기질 오염물질의 용해도를 높여주는, 일종의 현장세척방법이다.

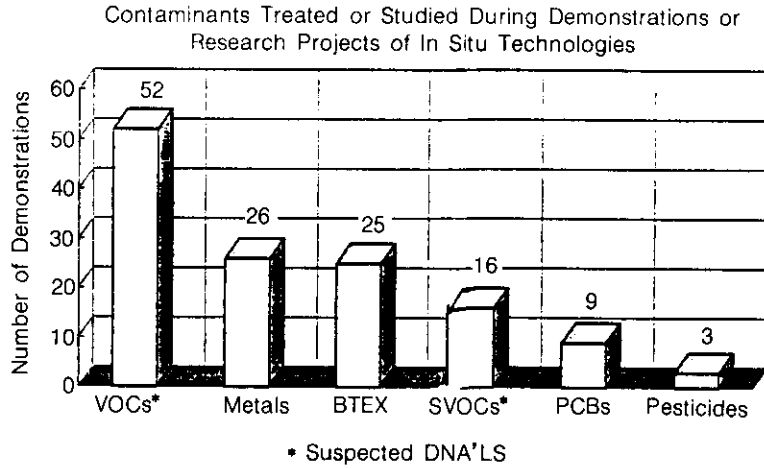
동전기기술법(electrokinetics) : 이것은 전기를 띤 유기질이나 무기질의 오염물질을 끌어들이어서 양수하여 제거하는 방법이다.

4. 정화기술의 동향

새로운 정화기술이 실험실 연구에서 현장적용으로 급속히 옮겨 가고 있다. 실험실 작업과 함께 현장 작업이 반복적으로 행해지고 있는 경우도 있다. 1995년 4월 현재 새로운 정화기술의 개발상황은 그림 5와 같다. 이들이 다루고 있는 주요한 오염물질은 그림 6과 같다.

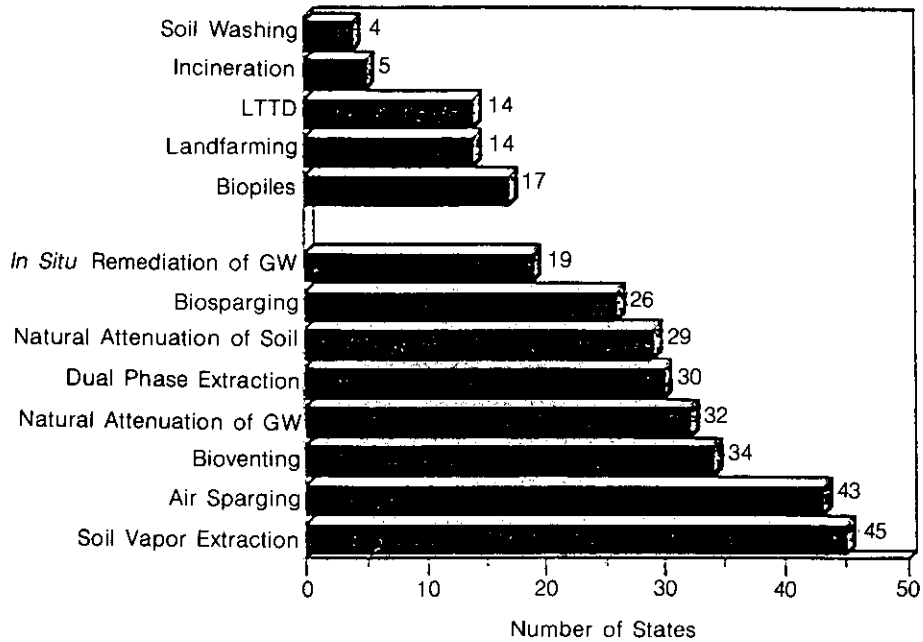
표 2. Development Status of Selected In Situ Technologies

Technology	Research Projects	Ongoing or Future Demos	Completed Demos	Commercial Applications
Thermal Enhancements	2	5	11	-
Surfactants	9	6	3	1
Treatment Walls	11	9	2	1
Fracturing	-	2	10	-
Cosolvents	1	3	-	-
Electrokinetics	10	5	1	-
Total	33	30	27	2



(그림 6)

States Reporting Increased Use of Technologies for UST Remediation



Source: "Innovation Skyrockets at 50,000 LUST Sites," *Soil and Groundwater Cleanup*, December 1995

(그림 7)

지하저장시설에서의 기름 누출로 인한 오염 지반에 대하여 적용하는 정화방법의 종류를 미국 50개주에서 조사한 결과는 그림 7과 같다. 전체적으로 토양증기추출법(SVE)이 가장 많이 사용되고 있다. 현장내처리 방법인 이 방법은 현장외처리 방법에 비해서 매우 경제적이다. 흙의 투수성과 오염물질의 휘발성을 증대시키는 새로운 기술의 발달이 토양증기추출법의 적용을 확대시킬 것이다. 이 방법은 bioventing, 구멍굴착, 가열 등과 다른 방법을 병용할 수 있다.

앞으로는 염소용매나 금속을 다루는 현장정화방법이 급속히 개발될 것이다. 방사능 폐기물, PCB, 살충제, dioxin 등과 같은 까다로운 혼합물에 대한 개발노력도 요구되고 있다.

5. 미국의 지반정화처리 프로그램

5.1 슈퍼펀드 프로그램(Superfund Program)

이 프로그램은 방치된 폐기물장에서 누출된 유해물질의 정화를 위한 연방정부의 프로그램이다. 슈퍼펀드는 1980년에 제정된 환경보전법(Comprehensive Environmental Response, Compensation and Liability Act, CERCLA)의 위임에 의하여 환경청이 집행하고 있다. 이 법령은 연방정부나 주정부의 다른 정화프로그램에 크게 영향을 주었다. 이 프로그램은 1986년에 개정된 CERCLA에 따라 영구적인 정화처리와 새로운 정화기술의 사용을 장려하고 있다.

오염지역은 위험도에 따라 분류하고, 일정 기준 이상의 현장은 전국적 주요처리대상(National Priorities List, NPL)으로 취급한다. NPL 현장의 정화작업은 슈퍼펀드에서 비용을 부담한다. 1995년 9월 현재, NPL으로 분류된 현장은 1284개소이며, 88개의 현장은 그 대상에서 제외되었다. 앞으로 NPL에 추가될 현장의 규모는 불확실하며, 앞으로 개정될 CERCLA에 따라 달라질 것이다.

5.2 자원보전 및 복원령(Resource Conservation and Recovery Act, RCRA)

이 법령에서는 산업시설의 정화에 대해서 규제하고 있으며, 장기간의 정화작업을 착수하기 전에 오염물질이 확산되지 않도록 안정화시킬 것을 강조하고 있다. 환경청과 주정부는 건강과 환경에 미치는 위험정도에 따라 산업시설의 등급을 매긴다.

미국에는 대략 6200개의 유해폐기물 취급시설(treatment, storage, disposal facilities, TSDFs)이 있으며, 이들 시설은 100,000개의 고체폐기물 취급단위를 포함하고 있다. 이 시설이 모두 RCRA에 의한 정화대상이 아니고, 그 중 2600~3700개의 시설이 정화대상이 될 것으로 환경청은 평가하고 있다.

5.3 지하저장시설(Underground Storage Tanks, USTs)

주정부의 법령은 지하저장시설로부터의 누출과 방출로 인한 오염을 규제하고 있다. 그 시설의 소유주는 누출과 방출을 감시하고, 보고하며, 그로 인한 오염을 정화처리하여야 하며, 장래의 사고를 예방하여야 한다.

미국에서는 현재 사용 중인 약 백십만 개의 USTs와 사용 중지된 백만 개의 USTs가 환경청에 등록되어 있다. 평균적으로 하나의 USTs당 2.7개의 탱크가 있는 것으로 알려져 있다. 전체 USTs 중에서 96%는 유류저장시설이며 2%는 유해물질 저장시설이다. 즉, 대부분이 주유소의 탱크임을 알 수 있다. 누출로 인하여 지반오염을 야기시킨 USTs는 161,000개로서(전체의 약 20%) 정화하여야 할 지반은 부피로 약 30,000,000m³에 달하는 것으로 보고되고 있다. 따라서 하나의 USTs당 약 190m³을 정화하여야 한다.

5.4 국방성(Department of Defense, DOD)

미국 국방성은 많은 산업적, 상업적, 군사훈련 및 무기실험 활동으로 인한 오염을 정화할

책임을 갖고 있다. 또 국방성은 지역사회의 경제활성화를 위하여 이전할 가능성이 있는 군사기지를 정화하여야 한다.

국방성은 1994년 9월 현재, 2151개의 군사시설에서 9331개의 현장이 오염물질의 정화가 필요한 것으로 평가하고 있으며, 그 대상은 육군, 해군, 공군에 고르게 분포되어 있다. 그 중 41%에 달하는 3790개가 California, Alaska, Florida, New York, Maryland 주에 위치하고 있다.

5.5 에너지성(Department of Energy)

미국 에너지성은 과거 40년 이상 동안 원자력 무기의 연구, 개발, 생산에 사용되어온 시설 및 지역에 대한 정화를 책임지고 있다. 에너지성이 맡고 있는 이러한 시설은 슈퍼펀드나 국방성이 맡고 있는 것에 비해 규모가 크다.

참 고 문 헌

1. 양임석(1997), "오염된 군사기지 환경복원기술과 미래 전망", 토양환경 관련정책 세미나, 한국토양환경학회, pp.115~125
2. 조선일보 1997년 3월 7일자 "서울 지하수 88% 못마신다."
3. 조선일보 1997년 3월 12일자 "유류저장탱크 기름유출·토양오염 심각"
4. 권호진, 박준범, 박규홍(1996), "지반오염물질의 특성과 정화(1)-LNAPL의 지중이동", 대한토목학회지 토목 제44권 제11호, 1996.11, pp.69~75.
5. 박규홍, 권호진, 박준범(1996), "지반오염물질의 특성과 정화(2)-LNAPL의 지중변환", 대한토목학회지 '토목' 제44권 제12호, 1996.12, pp.66~69.
6. 박준범, 박규홍, 권호진(1997), "지반오염물질의 특성과 정화(3)-지반오염의 정화법", 대한토목학회지 '토목' 제45권 제1호, 1997.1, pp.55~61.
7. Kovalick, W.W. and Kingscott, John.(1996). "Status of Remediation Technology in the United States", Proceedings of the Second International Congress on Environmental Geotechnics, ISSMFE, Fukuoka, Japan, 1996. 11, pp.285~300.
8. U.S. EPA(1995), Abstracts of Remediation Case Studies, EPA 542-R-95-001.
9. U.S. EPA(1996), Bioremediation in the Field Search System(BFSS) Software and Manual, EPA 540-R-95-508.
10. U.S. EPA(1996), Cleaning Up the Nation's Waste Sites-Market and Technology Trends, PB96-178041.
11. U.S. EPA(1994), In Situ Remediation Technology Status Reports, EPA 542-K-94-003~009.
12. U.S. EPA(1995), Innovative Treatment Technologies: Annual Satus Report, EPA 542-R-95-008.
13. U.S. EPA(1996), Recent Developments for In Situ Treatment of Metal Contaminated Soils, PB96-153135.
14. U.S. EPA(1996), Remediation Technologies Development Forum, EPA 542-F-96-010.