

자연저감법의 국외 동향

우남철 (연세대학교 지구시스템학과)

1. 서 론 - 자연저감법이란?

자연저감(Natural Attenuation)이란 자연환경이 지닌 오염에 대한 자체적인 복원 작용을 일컫는 용어로서, 미국 환경청(US EPA)에서는 자연저감을 인위적인 간섭이 없이 오염물질의 농도, 질량, 부피, 이동성, 독성 등을 감소시키는 토양과 지하수 환경에서 일어나는 자연적인 기작으로 정의한 바 있다(naturally-occurring processes in soil and groundwater environments that act without human intervention to reduce the mass, toxicity, mobility, volume, or concentration of contaminants) (US EPA, 1999).

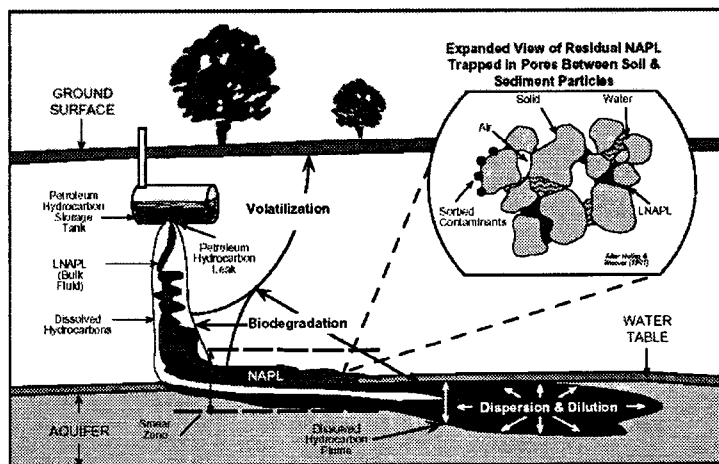


Figure 1. LNAPLs에 의한 오염확산과 자연저감 기작

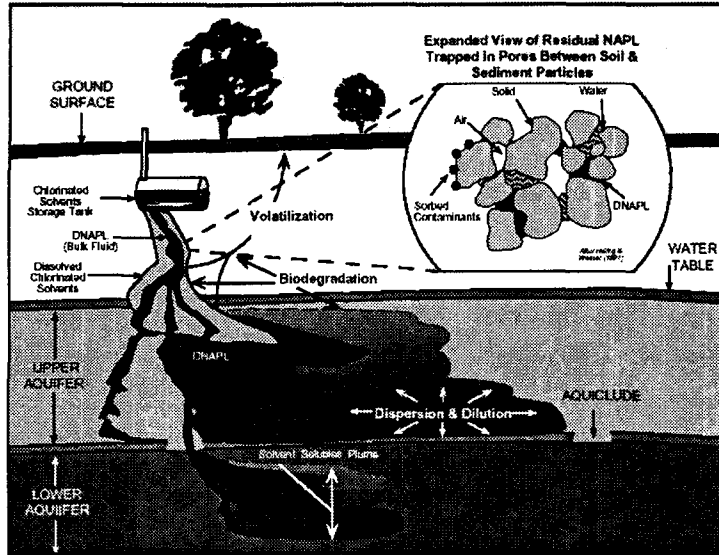


Figure 2. DNAPLs에 의한 오염확산과 자연저감 기작

오염된 부지에서 이러한 자연저감을 일으키는 기작에는 생분해, 분산, 희석, 흡착, 휘발, 방사능붕괴, 화학적·생물학적 안정화, 변형 및 파괴 등이 있다 (US EPA, 1999).

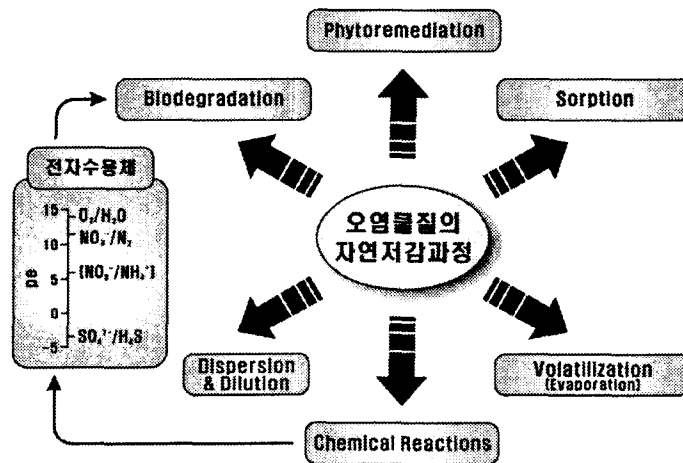


Figure 3. 오염물질의 자연저감 반응

자연저감 기작의 많은 부분이 생물화적인 과정과 연계되므로, 자연저감을 intrinsic (bio)remediation 이라고 부르기도 하고, 때로는 자연저감법을 오염환경의 복원기법으로 적용할 경우 오염물질의 실질적인 분해 내지 저감현상의 발생과 변화를 관측, 감시하는 것이 중요하기 때문에 “자연저감”이란 용어 앞에 Monitored 란 단어를 붙여 MNA(Monitored Natural Attenuation)라고 부르기도 한다. 자연저감을 이용한 복원기법을 RNA(Remediation by Natural Attenuation)라고 부르기도 한다.

자연저감법 내지 자연저감을 이용한 환경복원 기법은 그 용어들과 정의(definition)에서 보이듯이, 인위적인 간섭이 없이 자연적으로 발생하는 기작을 주요 복원기작으로 이용하는 것이다. 따라서 일반 대중들이 “자연저감기법”을 아무것도 하지 않고 오염된 부지를 그대로 방치하여 오랜 시간이 흐르면서 자연의 힘으로 저절로 복원되는 것으로 오해하게 되었다.

이러한 의혹에 대해 US EPA(2001) 기술자문위원회(Science Advisory Board)는 그러한 생각이 부지특성을 이해하지 못한 대중의 오해임을 명시하면서, 자연저감기법도 적절히 적용된다면 과학적 지식을 기반으로 하는 하나의 오염복원 기법임을 확인하였다. 이 위원회에서는 자연저감법이 자연저감 기작에 대한 충분한 과학적 이해와 관측, 예측 및 정량적 평가에 근거하는 과학적 오염복원 기법의 하나임을 인정하였다.

2. 환경복원 기술로서의 자연저감법

미국에서는 최근 들어 자치단체의 행정가들과 주민들 사이에 자연저감법에 대한 인식이 크게 변화되었는데, 이러한 변화에는 몇 가지 중요한 요인이 있었다.

첫째는, US EPA와 US Geological Survey를 중심으로 각 주정부가 수행한 장기간의 과학적 연구결과로부터 새로운 지화학적, 미생물학적 정보의 산출되어 자연저감 기작을 구체적으로 규명하게 되었다. 오염부지에서 오염물질의 저감이 실질적으로 일어나고 있음을 관측자료에 의하여 입증하게 된 것이다.

둘째는, 지하수와 토양이 오염된 부지에서 자연저감법을 적용할 수 있는 가의 여부를 판단하기 위해 현장 적용성 평가를 위한 체계적 단계별 접근방법이 개발되었다. 이러한 접근방법에 근거하여 미국 EPA에서는 자연저감기법에 대한 적용 지침서(Guideline)를 발간하게 되었다.

셋째는, US EPA의 국가기술자문위원회에서 자연저감법에 대한 종합적인 평가 결과를 수록한 NRC 보고서를 발간한 것이다. 이 보고서는 오염된 토양·지하수 환경의 복원기법으로서의 자연저감법의 현재까지 과학적으로 규명된 실질적인 적용 가능성과 한계, 아직까지 규명되지 않은 부분들과 앞으로 지속적으로 연구되어야 할 분야 등에 대하여 명확히 제시하였다.

넷째는, 현장에서 이 기법을 적용시켜 본 사례들이 보고되면서, 지자체 행정가와 주민들의 자연저감에 대한 인식이 제고되었다.

결과적으로 보다 많은 오염부지에서 자연저감법을 적극적으로 복원기법으로, 또는 다른 복원기법과 연계하여 복원의 한 단계로 적용시키는 사례가 증가하게 되었다. 지하 유류저장탱크의 누출(LUST)로 인한 지하수·토양오염 부지에 적용된 복원기법에 자연저감법이 지하수 오염복원에서는 약 45% (약 16,000 부지), 토양 오염복원에서는 약 10% (약 6,800 부지) 이상을 차지하고 있음이 보고된 바 있다 (Cleary et al., 2001; 부록에 도표 참조). 또한, 독성 오염물질로 인해 심각하게 오염된 부지로 판명된 SuperFund Site의 지하수 오염복원에서도 총 749 개 부지 중 22%에 달하는 164개 부지에서 자연저감법을 단독, 내지는 다른 복원기법과 연계하여 적용하고 있다(US EPA, 2001).

**Figure 19. Superfund Remedial Actions:
Groundwater Remedies (FY 1982 - FY 1999)**

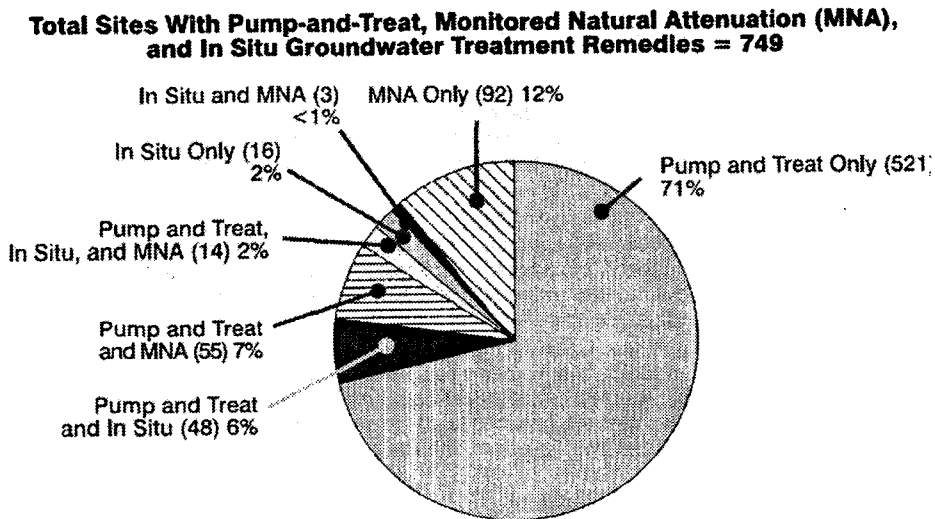


Figure 4. 미국 Superfund program에서 적용된 지하수 오염 복원기술

이상과 같이, 자연저감법의 적용이 갈수록 증대하는 이유는 다음을 들 수 있다.

- i) 자연저감은 실제로 일어나고 있는 현상이며 (NA happens),
- ii) 오염된 부지에서 일어나고 있으며 (in situ),
- iii) 오염물질을 분해하고 파괴하는 기작이고 (a destruction technique),
- iv) 복원비용 측면에서 경제적일 수 있으며 (cost effective),
- v) 자체적으로도 좋은 복원기법으로 적용될 수 있고 (a good remedy),
- vi) 다른 복원기법과도 연계하여 사용할 수 있다 (a part of a treatment train)

이러한 자연저감기법을 현장에 적용하기 위해서는, 오염지역 주변 환경에 대한 평가를 위해 토양과 지하수의 물리/화학적 특성을 정확히 규명하여야 한다. 오염물질과 오염체(plume)의 이동성을 평가하기 위해서, 부지 고유의 수리지질학적 특성에 대한 정확한 지식이 필요하며, 오염부지 현장에서 오염물질의 분해와 저감에 주요한 역할을 하는 미생물들의 생물학적 특성을 규명해야 한다. 또한 자연저감 기법을 적용한 후, 실질적으로 오염물질의 저감이 일어나는지, 그 분해와 저감속도가 어떻게 변화되는지, 그리고 자연저감이 일어나는 과정 중에 토양과 지하수환경이 변화되는지, 그 변화가 저감기작에 어떠한 영향을 미치는지 등등을 관측하고 평가하기 위한 방법과 도구가 필요하며, 자연저감에 의해 오염부지의 복원에 필요한 시간, 복원에 필요한 환경조건의 유지 등을 예측/평가하기 위한 수학적 모델도 필요하다.

오염된 환경의 복원기법으로서 자연저감법의 적용은 언제 고려할 수 있는가? 우선적으로 이 기법을 적용하는 것이 주변 환경을 보호할 수 있어야 한다. 실질적으로 오염물질의 저감이 일어나고 있음을 입증해야 한다. 또한 오염물질(오염원)을 제거할 수 없어서 장기적인 복원처리가 불가피하거나, 다른 복원기법을 적용하게 될 때 환경에 대한 위해성이 더 크게 작용하는 경우에 자연저감법의 적용을 고려할 수 있다. 나아가 오염체(plume)의 거동특성을 명확히 이해하고 있다면 이 기법의 적용을 생각해 볼 수 있다.

그러나, 자연저감법의 적용가능성을 입증하기 위해서는 예비조사를 통해 오염물질의 처리과정과 기작(저감기작), 처리속도(저감률), mass balance 등을 충분히 입증하여야 하며, 다음 세 가지에 대한 증거를 제시하여야 한다(부록 Table 6 참조).

- i) 지하수 유동경로의 하류부에서 오염농도의 감소
- ii) 오염물질의 양적 감소(loss of mass)를 보여주는 지화학적, 생물학적 자료
- iii) 오염부지 현장의 매체(토양, 지하수, 암반)에서 오염물질의 분해, 저감을 지시하는 미생물학적 실험자료

자연저감의 적용가능성을 평가하는 단계는 다음과 같다(부록의 Figure 4 참조).

- 1단계: Review available site data
- 2단계: Review/develop site conceptual model
- 3단계: Screen data for evidence of NA
- 4단계: Identify additional data requirements
- 5단계: Collect additional site data
- 6단계: Refine site conceptual model
- 7단계: Interpret data and test fit to conceptual model
- 8단계: Conduct an exposure pathway analysis
- 9단계: If accepted, integrate NA into long term site management strategy

위와 같은 단계별 평가결과에 의하여 오염된 부지에 자연저감법의 적용가능성이 충분한 것으로 확인된다고 하더라도, 다음과 같은 요인들을 고려하여 실질적인 적용여부를 결정해야 한다.

- i) 부지 주변에 오염에 민감한 수용체의 존재여부(예: 상수원)
- ii) 오염물질의 제거가 확실히 발생되어야 함(저감의 주요기작)
- iii) 오염원 제거기술(source-control measures)과 연계되어야 함
- iv) 오염부지의 지리적 경계 안에서 안정화가 되어야 함
- v) 적절한 시간(30년, 50년, ...) 내에 목표를 달성할 수 있어야 함
- vi) 오염물질과 분해산물의 특성과 거동을 충분히 이해하고 있어야 함

이와 같은 여러 가지 변수들 외에도, 계획대로 처리되지 않았을 경우의 대비책(contingency plan)도 필요하고, 장기적인 관측에 따른 오염원인자의 장기적 책임 문제(liability)를 해결해야 하며, 자연저감법 적용 부지에 대한 장기적인 관측시설의 보호방법 등도 추가적으로 고려해야 한다. 더욱이, 다음과 같은 경우에는 자연

저감법의 적용이 불가능하다.

- i) 수용체가 오염저감기적에 의해 영향을 받는 경우
- ii) 오염체 (plume)가 확산되는 경우
- iii) 자연저감에 의한 오염물질의 감소량이 충분하지 않은 경우
- iv) 비용경제적인 측면에서 효율성이 없는 경우

지금까지 밝혀진 자연저감법이 지니고 있는 문제점으로는, 방법 자체의 문제점과 현장 적용 시 설계의 문제점을 들 수 있다. 방법적인 문제점으로, 자연저감법은 오염물질의 고유특성에 따라서 나타나는 기작을 활용하는 것이므로, 이러한 기작을 일반화시켜 오염부지 전체로 확대 적용하는 것은 부적절하다. 또한 오염물질에 따라서 부지의 수리지질학적, 지화학적 환경에 대한 반응이 다르게 나타나며, 장기적으로 오염저감 반응이 진행되는 과정에서 부지의 환경이 변화될 수 있는 가능성이 존재하고, 이러한 변화가 궁극적으로 자연저감 기작 자체에 영향을 미칠 수도 있다. 만약, 오염된 부지에 오염물질의 단일 오염물질이 아니라 여러 종류의 오염물질들이 혼합된 상태라면, 이러한 오염물질들이 동일한 기작으로 저감된다는 보장이 없다. 나아가, 오염물질의 변형으로 인한 이차적 부산물(transform products)의 위해성과 유동성은 원래의 오염물질과는 다르게 나타날 수도 있다. 자연저감법은 일반적으로 오염원인물질의 제거(source removal)를 전제로 한다. 그러나 원인물질의 제거가 부지환경의 산화-환원환경을 변화시키거나, 오염물질을 분해하는 미생물들의 에너지를 제거하는 결과가 된다면, 이는 오히려 자연저감에 역효과를 나타낼 수도 있다(NRC, 2000; 부록 Table 3-2).

자연저감법의 현장 적용 시 설계 상의 문제로는, 자연저감법을 오염부지의 다량의 오염물질을 제거하는 방법으로 설계하는 경우가 있는데, 이는 자연저감법을 잘못 적용하는 것이다. 이와 같은 경우에는, 비용경제적인 다량의 오염물질 제거기술을 적용해야 한다. 또한, 자연저감법을 오염부지의 유일한 복원방법으로 인식하여 "All or Nothing" 개념으로 자연저감법을 적용하는 경우가 있는데, 이러한 접근보다는 기존의 다른 복원기법과의 연계성을 검토하여 적용(treatment train)하는 것이 바람직하다.

자연저감기법의 장단점을 요약하면 Table 1과 같다.

TABLE 1: ADVANTAGES AND DISADVANTAGES OF USING NATURAL ATTENUATION

Advantages	Disadvantages
In-situ destruction - no wastes generated and no cross-media transfer	Time frames may be as long as remediation by groundwater extraction and treatment
Natural attenuation is already operating at most sites	Long-term monitoring
The most toxic and mobile contaminants usually biodegrade most quickly and reliably	Aquifer heterogeneity complicates site characterization (not unique to natural attenuation)
Non-intrusive	Intermediates of biodegradation may be more toxic than the original contaminants
Cost-effective	Occasionally more expensive than other remedies, especially pump and treat (due to monitoring requirements)
Easily combined with other remedies	
No down time due to equipment failures	

지금까지 연구결과로부터 확인된 자연저감법이 적용 가능한 오염물질과 현재 시점의 자연저감 기작에 대한 과학적 이해정도를 부록(NRC, 2000; Table 3-6)에 첨부하였다. 이 표는 1999년도까지 가용한 자료를 기초로 작성되었으며, 저자들 역시 환경과학기술의 급속한 진보를 표 하단부에 명시하면서, 오염물질에 대한 자연저감법의 적용가능성은 확장될 수 있음을 제시하였다.

앞으로 오염환경 복원기법으로서 자연저감법 적용성에 대해서, Wiedemeier and Wilson 은 약 20% 오염부지에서 자연저감법이 단일 복원기법으로 활용될 것으로 예측한 바 있다. 그러나, 염화유기용매나 비소(arsenic), 중금속 등으로 오염된 부지에 대해서는 아직 예측할 정도의 충분한 연구결과가 나오지 않았다. 그럼에도 불구하고, 수년 내로 나머지 오염부지의 약 50% 정도 부지에서도 다른 오염복원 기법과 연계하여 자연저감기법이 복원기술로 활용될 것으로 예측된다(US EPA, 2001).

3. 자연저감법 연구의 국외 동향

US EPA(2001)가 자연저감법 관련 연구분야는 오염물질의 특성에 따라서 다음과 같이 세분된다.

i) 염화유기용매 분야

- 염화유기용매의 완전분해를 위한 실내 및 현장시험 연구
- 동일 오염체 내의 다른 부분에서 서로 다른 생분해현상이 일어날 때 자연저감을 정량화할 수 있는 방법 개발
- 오염원 지역에서 오염원인 물질의 용해, 생분해를 조절하는 인자의 규명 및 MNA 기법과의 연계
- 탈염화(dechlorination)반응 외의 다른 기작의 중요성

ii) 지하유류저장탱크(UST) 분야

- 다양한 현장조건에서 MTBE와 다른 산화제들의 생분해율 평가
- MTBE와 기타 유류첨가물의 용해율(dissolution rates)과 이동성 예측기법의 진보

iii) 무기화합물 분야 (비소와 중금속)

- 비소와 중금속의 고정화(immobilization) 기작에 대한 연구
- 지구화학적 환경변화가 고정화된 오염물질의 재이동성(re-mobilization)에 미치는 영향 평가
- 유기물과 무기물이 혼합된 오염체에서의 중금속의 거동(fate and behavior) 이해

iv) 하천, 호소, 해양환경의 오염된 퇴적물(contaminated sediments) 분야

- 수중 퇴적물에서 자연저감의 cause-and-effect 기작에 대한 연구
- 오염된 퇴적물의 자연저감과 이동을 정량화하기 위한 monitoring 프로그램

미국의 대표적인 자연저감 연구 프로그램으로는 미국지질조사소(USGS)의 Toxic Substances Hydrology Program을 들 수 있으며, 이 프로그램에서는 아래

표와 같은 오염물질의 특성별 대표적인 오염부지에 대한 장기적인 연구를 수행하고 있다.

오염물	지 역	연구 시작년도
Radioactive waste + mixed wastes	Amargosa Desert, NV	1976
Sewage effluent	Cape Cod, MA	1979
Crude Oil	Bemidji, MN	1983
Gasoline	Galloway, NJ	1987
MTBE	Laurel Bay, SC	1997
Metals (Mine drainage)	Pinai Creek, AZ Upper Arkansas River, CO	1984
군열매질에서의 유동 연구	Mirror Lake, NH (비오염부지) Naval Air Warfare Center, Trenton, NJ (유기용매)	1990
Landfill leachate	Norman, OK	1995

전술한 바와 같은 오염환경의 복원기법으로서의 자연저감법의 정의와 개념은 미국에서 시작되어 구미 지역에서 인식되고 있는 것이다. 그러나 유럽 지역에서는 자연저감법을 인식하는데 약간의 차이를 보이고 있다.

유럽에서는 자연저감법을 i) 위해성 평가를 위한 부분적인 단계, 또는 ii) 관측 기법(a monitoring technique), 혹은 iii) 오염환경의 복원기법으로 인식하고 있으나, 실질적인 오염환경의 복원기법으로 인정하고 있는 국가는 그리 많지 않다.

현재, 영국, 네덜란드, 독일만 자연저감법의 적용가능성 평가를 위한 평가방법의 지침(guideline)을 제시하고 있으며, 이 방법을 적용하여 오염환경을 복원하는 것에는 아직 회의적인 부분이 많으나, 지역적 특성에 따라서 적용을 허용하고 있는 상황이다. 자연저감 기작에 대해서는, 희석(dilution) 작용을 저감기작으로 받아들

이지 않고 있지만, 현실적으로는 오염물질의 저감 평가에서 희석에 의한 저감을 다른 기작에 의한 저감과 분리하기가 어렵다.

유럽에서의 자연저감 관련 연구는 영국, 네덜란드, 독일이 주축을 이루어 진행하고 있으며, 관련 기관과 대표적인 연구 프로그램은 다음과 같다.

- CLARINET - Contaminated Land Rehabilitation Network for Environmental Technologies in Europe
- NICOLE - Network for Industrially Contaminated Land in Europe
- NATO-CCMS (Committee on the Challenges of Modern Society): Pilot study
- UK Environmental Agency - SIREN (Sites for Innovative REsearch on monitored Natural attenuation)
- NNAGS - Network on Natural Attenuation in Groundwater and Soil
- GPRG - Groundwater Protection and Restoration Group

유럽국가연합(EU)에서는 1998년 이후 매년 National Conference on Natural Attenuation in Contaminated Land and Groundwater를 개최하여 자연저감에 관한 연구활성화와 현장 적용성 증대를 위해 활발한 국제적 학술활동을 수행하고 있다.

4. 요약

전술한 내용에서 자연저감의 정의와 과학적 저감기작, 복원기법으로서의 적용성과 한계 및 현재 미국과 유럽에서의 연구동향 등을 간략히 살펴보았다. 이러한 내용들을 종합적으로 볼 때, 몇 가지의 핵심적인 사항들을 요약하면 다음과 같다.

오염부지의 현장 복원기법으로서 자연저감법을 고려할 때에는, 비용과 시간(reasonable time)의 문제가 가장 중요한 사항이 된다(부록 Table 4 참조). 이러한 측면에서 오염원 제거(source removal)가 전제되며, 다른 복원기법과의 연계적용이 검토된다. 나아가 장기적인 monitoring이 가장 중요한 technology로 작용하게 되므로, 적절한 monitoring 기법과 평가기술 등의 개발이 필요하게 된다. 예를 들어, 탄소안정동위원소를 이용한 유류의 자연저감 monitoring 을 들 수 있다.

환경복원 기술로서의 자연저감법은 아직 미완성의 기법이다. 자연저감법은 오염물질 개개의 특성, 오염부지의 수리지질학적, 지화학적 환경, 오염물질과 매체의 유기적·무기지화학적 상호반응의 복잡성, 복합오염물질에서 나타나는 다양한 반응기작 등에 크게 영향을 받는다. 따라서 아직도 논란과 연구의 대상이 되고 있는 기술이다 (예; 혐기성 반응에 의해 생성된 지하수 내의 수소분자의 reductive dechlorination 반응과의 관계). 이러한 측면은 과학적으로는 아직도 수많은 문제들이 풀려져야 할 숙제로 남아있다는 의미로 다가올 수 있다.

많은 인구에 비하여 상대적으로 좁은 땅 덩어리를 가진 우리나라의 현실에서 오염된 토양과 지하수 환경의 복원문제는 이미 내일의 문제가 아니라 오늘의 문제로 다가서기 시작했다. 오염된 환경의 복원은 내일의 세대를 위한 작업이 아니라, 오늘을 살아가고 있는 우리들의 문제인 것이다. 서울 용산의 녹사평에서, 부산 문현동에서, 인천의 문학산에서, 의정부에서, 원주에서... 보이는 것보다 보이지 않으나 실재하는 문제가 훨씬 많을 수밖에 없는 환경오염문제에서 더 이상 우리는 자유롭지 않다. 최소한의 비용으로 최대한의 효과를 만들어 낼 수 있는 과학적인 오염복원 기법을 정립하는데, 지질학이 한 축이 될 수 있음을 되새긴다.

5. 참고문헌

- Brady, P.V., M.V. Brady, and D.J. Borns, Natural Attenuation - CERCLA, RBCA's, and the Future of Environmental Remediation. Lewis Publishers, New York, 245 p.
- Nyer, E.K. and G. Boettcher, 2001, Seven Easy Steps and Three Difficult Steps to Natural Attenuation. Ground Water Monitoring & Remediation, 42-47.
- ITRC, 1999, Natural Attenuation of Chlorinated Solvents in Groundwater: Principles and Practices. Interstate Technology and Regulatory Cooperation, In-Situ Bioremediation Work Team,
- Sinke, A., 2001, Monitored Natural Attenuation: Moving Forward to Consensus.

Land Contamination & Reclamation, vol. 9, no.1, p.111-118.

US National Research Council, 2000, Natural Attenuation for Groundwater Remediation. National Academy Press, Washington, D. C. , 274p.

US EPA, 1994, Symposium on Natural Attenuation of Ground Water, Office of Research and Development, EPA-600-R-94-162

US EPA, 1997, Proceedings of the Symposium on Natural Attenuation of Chlorinated Organics in Ground Water. Office of Research and Development, EPA-540-R-97-504

US EPA, 1998, Seminars - Monitored Natural Attenuation for Ground Water. Office of Research and Development, EPA-625-K-98-001

US EPA, 1999, Use of Monitored Natural Attenuation at Superfund, RCRA Corrective Action and Underground Storage Tank Sites. Directive number 9200.4-17P. Washington, D. C. : EPA, Office of Solid Waste and Emergency Response.

US EPA, 1999, Monitored Natural Attenuation of Petroleum Hydrocarbons - US EPA Remedial Technology Fact Sheet. Office of Research and Development, EPA-600-F-98-021

US EPA, 1999, Monitored Natural Attenuation of Chlorinated Solvents - US EPA Remedial Technology Fact Sheet. Office of Research and Development, EPA-600-F-98-022

US EPA, 1999, Treatment Technologies for Site Cleanup: Annual Status Report (Ninth Edition). EPA-542-R99-001, Office of Solid Waste and Emergency Response.

US EPA, 2001, Monitored Natural Attenuation: USEPA Research Program - an EPA Science Advisory Board Review. Washington, D. C. , EPA-SAB-EEC-01 -004.

US EPA, 2001, Evaluation of the Protocol for Natural Attenuation of Chlorinated Solvents: Case Study at the Twin Cities Army Ammunition Plant. Office of Research and Development, EPA-600-R-01-025

Waters, R. D., Brady, P. V., and Borns, D. J., 1998, Natural Attenuation of Metals and Radionuclides - an Overview of the Sandia/DOE Approach. <http://www.sandia.gov/eeseector/gc/gc/wm98rna.htm>

6. 11 111

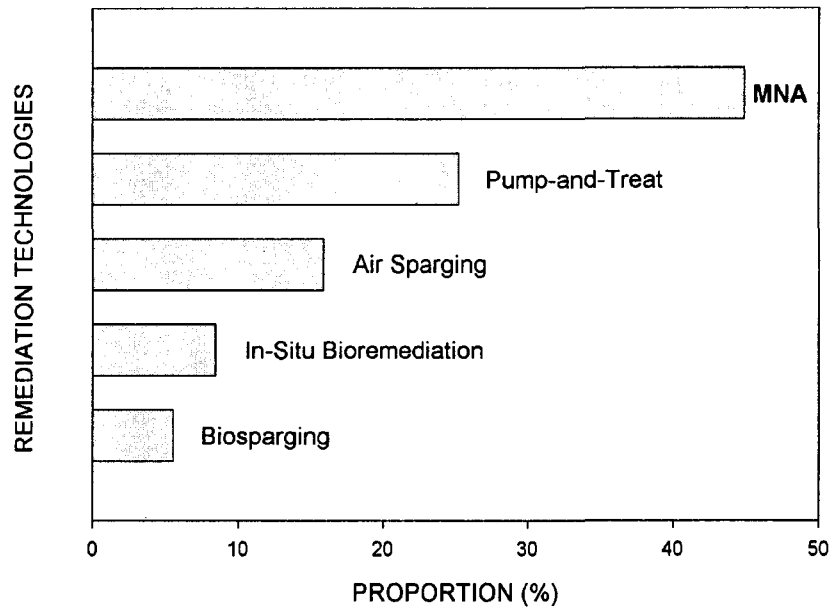


FIG.1 Technologies utilized to remediate groundwater at LUST sites (FY 1997 total=35,144 sites). The figure was modified from Cleary et al. (2001) whose data were obtained from Tulis et al. (1998).

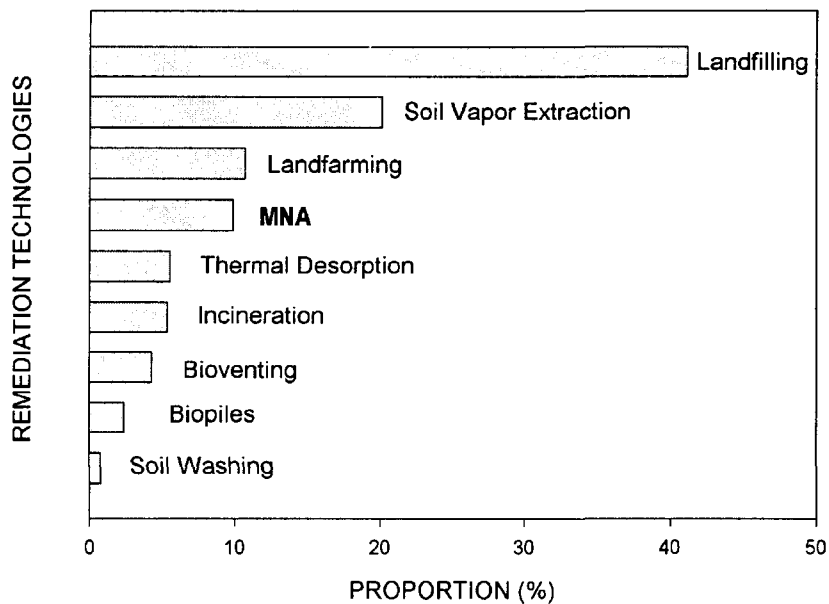


FIG.2 Technologies utilized to remediate soil at LUST sites (FY 1997, total =69,248 sites). The figure was modified from Cleary et al. (2001) whose data were obtained from Tulis et al. (1998).

TABLE 3-6 Likelihood of Success of Natural Attenuation

Chemical Class	Dominant Attenuation Processes	Current Level of Understanding ^a	Likelihood of Success Given Current Level of Understanding ^b
<i>Organic</i>			
Hydrocarbons			
BTEX	Biotransformation	High	High
Gasoline, fuel oil	Biotransformation	Moderate	Moderate
Nonvolatile aliphatic compounds	Biotransformation, immobilization	Moderate	Low
Polycyclic aromatic hydrocarbons	Biotransformation, immobilization	Moderate	Low
Creosote	Biotransformation, immobilization	Moderate	Low
Oxygenated hydrocarbons			
Low-molecular-weight alcohols, ketones, esters	Biotransformation	High	High
MTBE	Biotransformation	Moderate	Low
Halogenated aliphatics			
Tetrachloroethene, trichloroethene, carbon tetrachloride	Biotransformation	Moderate	Low
Trichloroethane	Biotransformation, abiotic transformation	Moderate	Low
Methylene chloride	Biotransformation	High	High
Vinyl chloride	Biotransformation	Moderate	Low
Dichloroethene	Biotransformation	Moderate	Low
Halogenated aromatics			
Highly chlorinated			
PCBs, tetrachloro-dibenzofuran, pentachloro-phenol, multi-chlorinated benzenes	Biotransformation, immobilization	Moderate	Low
Less chlorinated			
PCBs, dioxins	Biotransformation	Moderate	Low
Monochlorobenzene	Biotransformation	Moderate	Moderate
Nitroaromatics			
TNT, RDX	Biotransformation, abiotic transformation, immobilization	Moderate	Low

continues

TABLE 3-6 Continued

Chemical Class	Dominant Attenuation Processes	Current Level of Understanding ^a	Likelihood of Success Given Current Level of Understanding ^b
<i>Inorganic</i>			
Metals			
Ni	Immobilization	Moderate	Moderate
Cu, Zn	Immobilization	Moderate	Moderate
Cd	Immobilization	Moderate	Low
Pb	Immobilization	Moderate	Moderate
Cr	Biotransformation, immobilization	Moderate	Low to moderate
Hg	Biotransformation, immobilization	Moderate	Low
Nonmetals			
As	Biotransformation, immobilization	Moderate	Low
Se	Biotransformation, immobilization	Moderate	Low
Oxyanions			
Nitrate	Biotransformation	High	Low
Perchlorate	Biotransformation	Moderate	Low
Radionuclides			
⁶⁰ Co	Immobilization	Moderate	Moderate
¹³⁷ Cs	Immobilization	Moderate	Moderate
³ H	Decay	High	Moderate
⁹⁰ Sr	Immobilization	High	Moderate
⁹⁹ Tc	Biotransformation, immobilization	Low	Low
^{238,239,240} Pu	Immobilization	Moderate	Low
^{235,238} U	Biotransformation, immobilization	Moderate	Low

NOTE: Knowledge changes rapidly in the environmental sciences. Some contaminants not rated as having high natural attenuation potential could achieve this status in the future, but this table represents the best understanding of natural attenuation potential at this time.

^a Levels of understanding: "high" means there is good scientific understanding of the processes involved, and field evidence confirms attenuation processes can protect human health and the environment. "Moderate" means studies confirm that the dominant attenuation process occurs, but the process is not well understood scientifically. "Low" means scientific understanding is inadequate to judge if and when the dominant process will occur and whether it will meet regulatory standards.

^b "Likelihood of success" relates to the probability that at any given site, natural attenuation of a given contaminant is likely to protect human health and the environment. "High" means scientific knowledge and field evidence are sufficient to expect that natural attenuation will protect human health and the environment at more than 75% of contaminated sites. "Moderate" means natural attenuation can be expected to meet regulatory standards at about half of the sites. "Low" means natural attenuation is expected to be protective at less than 25% of contaminated sites. A "low" rating can also result from a poor level of scientific understanding.

Table 6: Data Collection Tiers for Evaluation and Implementation of Natural Attenuation

<u>Parameter</u>	<u>Data Type</u>	<u>Ideal Use, Value, Status and Comments</u>	<u>Method</u>	<u>Data Collection Tier</u>			
				<u>I</u>	<u>II</u>	<u>III</u>	<u>*</u>
<i>Geological</i>							
Area Geology	Topography/Soil Type/Surface Water/Climate	Provides inferences about natural groundwater flow systems, identifies recharge/discharge areas, infiltration rates, evaluation of types of geological deposits in the area which may act as aquifers or aquitards.	Consult published geological/soil/topographic maps, air photo interpretation, field geological mapping.	✓	✓	✓	
<i>Hydrogeological</i>							
Subsurface Geology	Lithology/Stratigraphy/Structure	Identify water bearing units, thickness, confined/unconfined aquifers, effect on groundwater flow and direction (anisotropy).	Use published hydrogeologic surveys/maps. Review soil boring/well installation logs.	✓	✓	✓	
Velocity	Hydraulic Conductivity (K)/Permeability (k)	Measure of the saturated hydraulic conductivity of the geological matrix. K times the gradient gives the specific discharge (v). If site is very layered or complex, measure the vertical/horizontal K.	Conduct surface or sub-surface geophysics. Estimate range based on geology. Conduct: Pump, slug or tracer tests. Estimate with grain size analysis. Permeability test.	✓	✓	✓	
	Gradient (h)	Measure of potential of the fluid to move (hydraulic gradient)	Downhole flowmeter/dilution test				*
	Porosity (n)	Measure of the soil pore space. Dividing the specific discharge by porosity gives the average linear groundwater velocity.	Water table and piezometric surface measurements. Estimate range based on geology. Measure bulk and particle mass density.	✓	✓	✓	

Notes: * indicates parameter is optional depending on site complexity

Table 6: Data Collection Tiers for Evaluation and Implementation of Natural Attenuation

Parameter	Data Type	Ideal Use, Value, Status and Comments	Method	Data Collection Tier			
				I	II	III	*
Direction	Flow Field	Estimate direction of groundwater flow.	Water and piezometric contour maps.	✓	✓	✓	
			Downhole flowmeter.				*
Dispersion/Sorption	Foc	Fraction of organic carbon: used to estimate the retardation of chemical migration relative to the average linear groundwater velocity.	Estimate or measure foc in soil samples, estimate from published values, or compare migration of reactive and non-reactive (tracer) chemicals in the groundwater.	✓	✓	✓	
			Estimate based on distribution of chemicals or use tracer tests.	✓	✓	✓	
Chemistry	VOC	Longitudinal and horizontal dispersion (mixing) spreads out the chemical along the groundwater flow path.					
			Identify parent solvents and degradation products; assess their distribution. Certain specific isomers/degradation products provide direct evidence of biodegradation (e.g, cis-1,2-DCE), while others are formed due to abiotic degradation processes (e.g, formation of 1,1-DCE from 1,1,1-TCA). In addition, aromatic hydrocarbons (BTEX) and ketones can support biodegradation of cVOC.	US EPA Method 8240.	✓	✓	✓
	Semi VOC	Selected semi-VOC (e.g., phenol, cresols, alcohols) may support biodegradation of cVOC.	US EPA Method 8270, 8015M.			✓	
	Volatile Fatty Acids	Organic chemicals like acetic acid can provide insight into the types of microbial activity that is occurring and can also serve as electron donors.	Standard analytical methods or published modified methods using ion chromatography.			✓	

Notes: * indicates parameter is optional depending on site complexity

Table 6: Data Collection Tiers for Evaluation and Implementation of Natural Attenuation

<u>Parameter</u>	<u>Data Type</u>	<u>Ideal Use, Value, Status and Comments</u>	<u>Method</u>	<u>Data Collection Tier</u>			
				<u>I</u>	<u>II</u>	<u>III</u>	<u>*</u>
	Methane, Ethene, Ethane, Propane, Propene	Provide evidence of complete dechlorination of chlorinated methanes, ethenes, and ethanes. Methane also indicates activity of methanogenic bacteria. Isotope analysis of methane can also be used to determine its origin.	Modified analytical methods, GC-FID.		✓	✓	
	TOC/BOD/COD /TPH	Potential availability of general growth substrates.	US EPA Methods 415.1,405.1.		✓	✓	
	Alkalinity	Increased levels indicative of carbon dioxide production (mineralization of organic compounds).	US EPA Method 310.1.				
Inorganic/Physical	Ammonia	Nutrient. Evidence of dissimilatory nitrate reduction, and serve as a aerobic co-metabolite.	US EPA Method 350.2.		✓	✓	
	Chloride	Provides evidence of dechlorination, possible use in mass balancing, may serve as conservative tracer. Road salts may interfere with chloride data interpretation.	US EPA Method 300.0.	✓	✓	✓	
	Calcium/Potassium	Used with other inorganic parameters to assess the charge-balance error and accuracy of the chemical analysis.	US EPA Method 6010.			✓	
	Conductivity	Used to help assess the representativeness of water samples, and assess well development after installation (sand pack development).	Electrode measurement in the field. Standard electrode.	✓	✓	✓	
	Dissolved Oxygen (DO)	Indicator of aerobic environments, electron acceptor.	Use flow through apparatus to collect representative DO measurements by electrode.	✓	✓	✓	

Notes: * indicates parameter is optional depending on site complexity

Table 6: Data Collection Tiers for Evaluation and Implementation of Natural Attenuation

<u>Parameter</u>	<u>Data Type</u>	<u>Ideal Use, Value, Status and Comments</u>	<u>Method</u>	<u>Data Collection Tier</u>			
				<u>I</u>	<u>II</u>	<u>III</u>	<u>*</u>
	Hydrogen	Concentrations in anaerobic environments can be correlated with types of anaerobic activities (i.e., methanogenesis, sulfate and iron reduction) and therefore this parameter is an excellent indicator of the redox environment. Hydrogen may be the limiting factor for complete dechlorination of cVOC.	Field measurement. Flow through cell equipped with bubble chamber. As groundwater flows past chamber, hydrogen gas will partition into headspace. Headspace sampled with gas-tight syringe and analyzed in the field using GC. Equipment for analysis is not yet widely available. Relationship to dechlorination activity is still unclear and subject to further R&D.				*
	Iron	Nutrient. Ferrous (soluble reduced form) indicates activity of iron reducing bacteria. Ferric (oxidized) is used as an electron acceptor.	US EPA Method 6010A.		✓		
	Manganese	Nutrient. Indicator of iron and manganese reducing conditions.	US EPA Method 6010.			✓	
	Nitrate	Used as an electron acceptor by denitrifying bacteria, or is converted to ammonia for assimilation.	US EPA Method 300.0.		✓	✓	
	Nitrite	Produced from nitrate under anaerobic conditions.	US EPA Method 300.0.		✓	✓	
Inorganic/Physical	pH	Measurement of suitability of environment to support wide range of microbial species. Activity tends to be reduced outside of pH range of 5 to 9, and anaerobic microorganisms are typically more sensitive to pH extremes. pH is also used to help assess the representativeness of the water sample taken during purging of wells.	pH measurements can change rapidly in carbonate systems, and during degassing of groundwater. Therefore, pH measurements must be measured immediately after sample collection or continuously through a flow through cell.	✓	✓	✓	✓

Notes: * indicates parameter is optional depending on site complexity

Table 6: Data Collection Tiers for Evaluation and Implementation of Natural Attenuation

<u>Parameter</u>	<u>Data Type</u>	<u>Ideal Use, Value, Status and Comments</u>	<u>Method</u>	<u>Data Collection Tier</u>			
				<u>I</u>	<u>II</u>	<u>III</u>	<u>*</u>
	Phosphorous	Limiting nutrient.	US EPA Method 300.0			✓	*
	Redox Potential	Measure of oxidation-reduction potential of the environment. Ranges from +500 mV for aerobic environments to -500 mV for anaerobic environments.	Use flow through apparatus in the field to collect representative redox measurements by electrode. Standard. Redox measurements can be affected by geochemical speciation of organic/inorganic chemical species. The measured redox (using probes) can be confirmed by examining chemical speciation of redox couples.	✓	✓	✓	
	Sodium	Evaluate whether chloride may be associated with road salt.	US EPA Method 6010.			✓	
	Sulfate	Used as electron acceptor. Changes in its concentration may provide evidence of activities of sulfate reducing bacteria.	US EPA Method 300.0.		✓	✓	
	Sulfide	May provide evidence of sulfate reduction. May not be detected even if sulfate-reducing bacteria are active because it can react with various oxygenated chemical species and metals.	US EPA Method 376.1.		✓	✓	
	Temperature	Used to help assess the representativeness of water samples, and to correct temperature sensitive parameters/measuring devices. Microorganisms are active over a wide temperature range.	Field Measurement. Standard thermometer.	✓	✓	✓	
Inorganic/Physical	Toxic Metals	The presence of metals (e.g., lead, copper, arsenic) can reduce microbial activity. Microorganisms are generally resistant.	US EPA Method 6010.				*

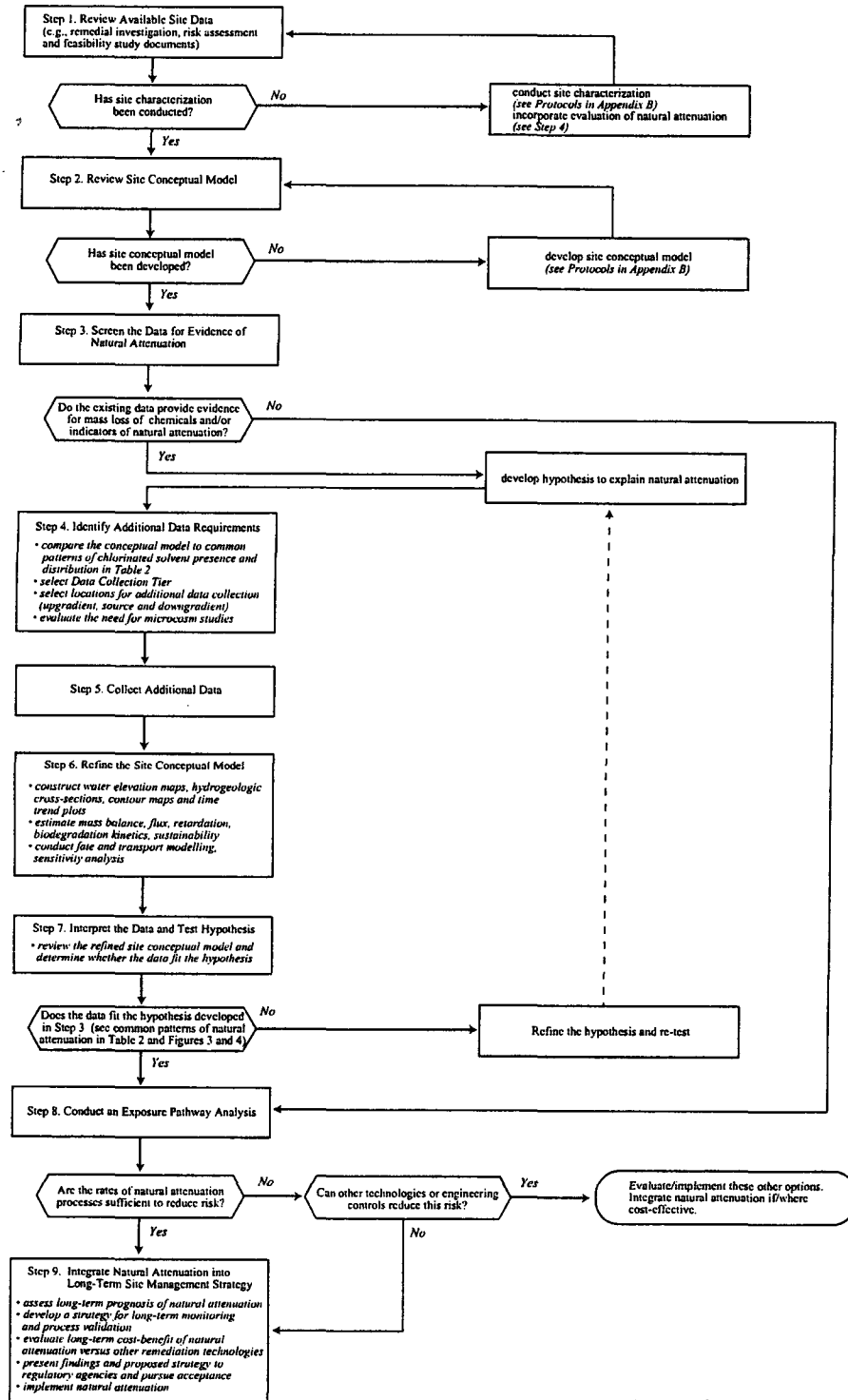
Notes: * indicates parameter is optional depending on site complexity

Table 6: Data Collection Tiers for Evaluation and Implementation of Natural Attenuation

<u>Parameter</u>	<u>Data Type</u>	<u>Ideal Use, Value, Status and Comments</u>	<u>Method</u>	<u>Data Collection Tier</u>		
				I	II	III
<i>Microbiology</i>						
Biomass	Microorganisms Per Unit Soil or Groundwater	Microbial population density between impacted and non-impacted/treated areas can be compared to assess whether microbial populations are responsible for observed degradation. The value of biomass measurements is still being explored for cVOC biodegradation.	There are three general techniques available: culturing (plate counts, BioLog, MPN enumerations); direct counts (microscopy); and indirect measurement of cellular components (ATP, phospholipid fatty acids).			*
	Biodegradation Rate and Extent	Demonstrate the indigenous microorganisms are capable of performing the predicted transformations. Determine nutrient requirements and limitations. Measure degradation rates and extent.	Varied. Shake flasks, batch, column, bioreactors designs.			*
	Species/Genera/Functional Group	The presence of certain microbial species of functional groups (e.g., methanogenic bacteria) that have been correlated with cVOC biodegradation can be assessed. Research is being conducted to identify patterns of microbial composition that are predictive of successful cVOC biodegradation.	There are three general techniques available: culturing and direct counts; indirect measurement of cellular components; and molecular techniques (16s RNA, DNA probes, RFLP).			*

Notes: * indicates parameter is optional depending on site complexity

Figure 4: Flowchart to Evaluate and Implement Natural Attenuation



Sajeed Jamal, Beak International Inc., 1997

TABLE 3-2 Potential Effects of Other Remediation Activities on Natural Attenuation

Other Remediation Activities	Natural Attenuation of Petroleum Hydrocarbons		Natural Attenuation of Chlorinated Solvents	
	Possible Benefits	Possible Detriments	Possible Benefits	Possible Detriments
Excavation and backfilling	Remove mass; enhance oxygen input	Alter flow field; enhance spreading	Mass removal	Interfere with anaerobic degradation; alter flow field; enhance DNAPL spreading
Capping	Reduce contaminant flux to groundwater	Enhance spreading of vapors; reduce oxygen input	Enhance anaerobic degradation	Enhance spreading of vapors; reduce fermentative creation of substrates; reduce oxygen input for vinyl chloride biodegradation
Pump and treat (for plume capture)	Contain plume	Reduce time available for attenuation reactions	Contain plume	Reduce time for natural attenuation; introduce oxygen into plume and source area
Pump and treat (for mass removal)	Control source; enhance electron acceptor delivery	Reduce time available for attenuation reactions	Control source; reduce time for attenuation reactions	Introduce oxygen; interfere with anaerobic degradation
Free-product recovery	Decrease source mass	None	Reduce source	Remove electron donor for reductive dehalogenation; introduce oxygen

continues

TABLE 3-2 Continued

Other Remediation Activities	Natural Attenuation of Petroleum Hydrocarbons		Natural Attenuation of Chlorinated Solvents	
	Possible Benefits	Possible Detriments	Possible Benefits	Possible Detriments
In-well stripping and recirculation	Remove mass; enhance aerobic degradation	Interfere with anaerobic degradation	Remove mass; enhance aerobic degradation	Interfere with anaerobic degradation
Soil vapor extraction	Remove mass; enhance aerobic degradation	Interfere with anaerobic degradation	Remove mass; enhance aerobic degradation	Interfere with anaerobic degradation; remobilize DNAPL
Air sparging	Remove mass; enhance aerobic degradation	Interfere with anaerobic degradation	Remove mass; enhance aerobic degradation	Stop anaerobic degradation; remobilize DNAPL
Bioslurping	Control source; enhance aerobic degradation	None	Enhance aerobic degradation	Interfere with anaerobic degradation
Passive O ₂ addition	Enhance aerobic degradation	Not applicable	Enhance aerobic degradation	Interfere with aerobic degradation
Carbon sources addition	Not applicable	Not applicable	Stimulate aerobic cometabolism or anaerobic dechlorination	Result in incomplete utilization of carbon source; form byproducts
Cosolvent or surfactant flooding	Remove mass	Cause spreading of contaminant; result in incomplete removal of cosolvent or surfactant	Remove mass	Spread contaminant; result in incomplete removal of cosolvent or surfactant; result in removal of electron donors
Thermal treatment	Remove mass	Sterilize the site for indeterminate time; spread contamination	Remove mass	Sterilize the site for indeterminate time; spread contamination
Chemical oxidation	Remove mass	Produce explosive vapors; sterilize the site	Destroy DNAPL mass	Produce toxic byproducts and explosive vapors; sterilize the site
Phyto-remediation	Remove mass	Transfer contaminant across media	Remove mass	Transfer contaminant across media
Zero-valent metal walls	Not applicable	Not applicable	Reduce contaminant mass flux	Add dissolved iron

SOURCE: Adapted and modified from Department of the Navy, 1998.

Table 4: Cost Comparison of Natural Attenuation to other Remedial Technologies

Present Cost estimates for natural attenuation of a typical chlorinated solvent plume and of a typical pump and treat system as an alternative remedy.

Assume:

- 20 monitoring wells
- RI completed
- Long term monitoring PC = 11.44 x recurring charges
- 3% inflation rate and 12% discount rate

=====

Present Cost of a natural attenuation remedy

Up front costs - one time costs

- Monitoring, incl intrinsic parameters	\$20,000
- Groundwater modeling	\$50,000
- Intrinsic proposal report	\$15,000
- Negotiation support	\$10,000
- Report in response to Government	\$10,000
- Install three new sentinel wells @ \$10,000	\$30,000
	=====
Total	\$135,000

Yearly costs for lifetime of natural attenuation (based on 30-years net present value)

- 2 sampling events per year - 20 wells - analyze for VOC's and intrinsic parameters 2 mob's at \$10M + \$566/sample*40 samples (8015[\$125];8240[\$257];9060[\$25];6010[\$80]; 353.2[\$15];375.4[\$20];325.3[\$10];310.1[\$17]; 415.1[\$17])	\$42,600
- Two summary reports per year, one long one short	\$15,000
- Well maintenance	\$10,000
	=====
Total	\$67,600

Present Cost Estimate

- One time costs	\$135,000
- Recurring charges	\$773,300
	=====
Total	\$908,300

=====

Present cost of a simple pump and treat system

Up front costs

- Monitoring for design parameters	\$ 20,000
- GW Modeling	\$ 50,000
- Design and install equipment (\$10M/gpm) [50gpm]	\$500,000
- Design Report	\$ 10,000
- Negotiation Support	\$ 10,000
	=====
Total	\$590,000

Yearly on-going P&T O&M Costs
Inclusive of sampling events

- (\$5/1000 gallons) [25MM gallons/year]	\$125,000
- Reporting	\$ 10,000
	=====
Total	\$135,000

Pump and treat Present Cost estimate

One time costs	\$590,000
PC of O&M costs	\$1,544,000
	=====
Total	\$2,134,000

=====
=====
Cost difference between remedies

PC of pump and treat remedy	\$2,134,000
PC of natural attenuation remedy	\$ 908,300
	=====
Difference =	\$1,225,700

=====
=====



U.S. Environmental Protection Agency Office of Underground Storage Tanks (OUST)

[Recent Additions](#) | [Contact Us](#) | [Print Version](#) Search: [GO](#)

[EPA Home](#) > [Underground Storage Tanks](#) > [Cleanup of UST System Releases](#) > [Remediation/Cleanup Technologies](#) > [Monitored Natural Attenuation \(MNA\)](#) > [OSWER Monitored Natural Attenuation \(MNA\) Workgroup](#)

- About OUST
- Frequently Asked Questions
- USTfields Initiative
- UST Program Priorities
- Publications
- Index of UST Topics
- Laws & Regulations
- Contact OUST for Assistance
- Information Sources
- Compliance Assistance
- State, Local & Tribal Governments
- Regional EPA UST Offices



Monitored Natural Attenuation

[Purpose of OSWER MNA Workgroup](#)

[Frequently Asked Questions](#)

[EPA MNA Documents \(policy and technical guidance\)](#)

[Non-EPA MNA Documents/Articles](#)

[MNA Research \(Lab and Field\)](#)

[Software Tools for MNA Evaluation](#)

[MNA Training/Workshops/Seminars/Conferences](#)

[Other MNA-Related Links](#)

[MNA News](#)

[Search OSWER's MNA Web Site](#)

[EPA MNA Contact List](#)

The OSWER MNA Web Site is maintained by:
Hal White (OUST)
white.hal@epa.gov

There have been
0004838
visitors since October 27, 1999

[EPA Home](#) | [Privacy and Security Notice](#) | [Contact Us](#)

Last updated on Tuesday, April 9th, 2002
URL: <http://www.epa.gov/swerust1/oswerdna/index.htm>

monitored natural attenuation, MNA, mna, natural attenuation, MNA, mna, MONITORED NATURAL ATTENUATION, MNA, mna, Monitored Natural Attenuation, MNA, mna, Intrinsic Remediation, Intrinsic Bioremediation, MNA, mna, Remediation by Natural Attenuation, MNA, mna, RNA, monitored natural attenuation, MNA, mna, natural attenuation, MNA, mna, MONITORED NATURAL ATTENUATION, MNA, mna, Monitored Natural Attenuation, MNA, mna, Intrinsic Remediation, Intrinsic Bioremediation, MNA, mna, Remediation by Natural Attenuation, MNA, mna, RNA, monitored natural attenuation, MNA, mna, Monitored Natural Attenuation, MNA, mna, MONITORED NATURAL ATTENUATION, MNA, mna, Monitored Natural Attenuation, MNA, mna, Intrinsic Remediation, Intrinsic Bioremediation, MNA, mna, Remediation by Natural Attenuation, MNA, mna, RNA, monitored natural attenuation, MNA, mna, natural attenuation, MNA, mna, MONITORED NATURAL ATTENUATION, MNA, mna, Monitored Natural Attenuation, MNA, mna, Intrinsic Remediation, Intrinsic Bioremediation, MNA, mna, Remediation by Natural Attenuation, MNA, mna, RNA



Toxic Substances Hydrology Program

Topical Information

Natural Attenuation

A unifying theme of Toxics Program investigations is the characterization of the natural response of hydrologic systems to contamination. This makes the sites where the investigations are conducted ideally suited to assessing potential long-term impacts, evaluating the potential and the limitations of remediation by natural attenuation, and designing systems to monitor the performance of remediation where natural attenuation is being relied upon.

Toxics Program Projects on Natural Attenuation

Hydrocarbons:	<ul style="list-style-type: none"> • <u>Bemidji, MN</u> (crude oil) • <u>Galloway, NJ</u> (gasoline) • <u>Laurel Bay, SC</u> (oxygenated fuel)
Sewage Effluent:	<ul style="list-style-type: none"> • <u>Massachusetts Military Reservation, Cape Cod, MA</u> • <u>Bacteria-Contaminant Interactions</u>
Landfill Leachate:	<ul style="list-style-type: none"> • <u>Norman Municipal Landfill, Norman, OK</u> • <u>Geochemical Studies at the Norman Landfill</u>
Fractured Rock:	<ul style="list-style-type: none"> • <u>Mirror Lake, NH</u> (uncontaminated) • <u>Naval Air Warfare Center, Trenton, NJ</u> (solvents)
Radioactive and Mixed Wastes:	<ul style="list-style-type: none"> • <u>Amargosa Desert Research Site, Beatty, NV</u>
Metals:	<ul style="list-style-type: none"> • <u>Pinal Creek, AZ</u> (a mined watershed) • <u>Upper Arkansas River, CO</u> (a mined watershed)
Organic Chemicals:	<ul style="list-style-type: none"> • <u>Fate of Organic Chemicals in Subsurface Environments</u> • <u>Microbiology and Molecular Ecology of biogeochemical cycles in aquatic environments</u> • <u>Comparative Study of Organic Degradation in Selected Hydrologic Environments</u> • <u>Fate and Transport of Immiscible</u>

- Home
 - About the Program
 - Headlines
 - Investigations
 - Meetings
 - New Publications
 - Bibliography
 - On-Line Fact Sheets
 - Photo Gallery
 - Links
- For Topical Information



A Citizen's Guide to Monitored Natural Attenuation

The Citizen's Guide Series

EPA uses many methods to clean up pollution at Superfund and other sites. If you live, work, or go to school near a Superfund site, you may want to learn more about cleanup methods. Perhaps they are being used or are proposed for use at your site. How do they work? Are they safe? This Citizen's Guide is one in a series to help answer your questions.

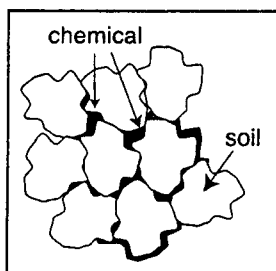
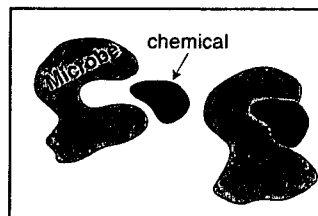
What is monitored natural attenuation?

Natural attenuation relies on natural processes to clean up or *attenuate* pollution in soil and groundwater. Natural attenuation occurs at most polluted sites. However, the right conditions must exist underground to clean sites properly. If not, cleanup will not be quick enough or complete enough. Scientists *monitor* or test these conditions to make sure natural attenuation is working. This is called *monitored natural attenuation* or *MNA*.

How does it work?

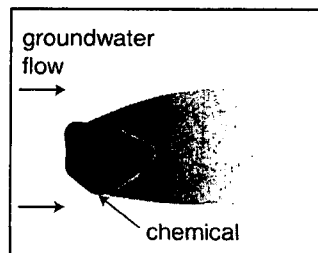
When the environment is polluted with chemicals, nature can work in four ways to clean it up:

1. Tiny bugs or *microbes* that live in soil and groundwater use some chemicals for food. When they completely digest the chemicals, they can change them into water and harmless gases. (*A Citizen's Guide to Bioremediation* [EPA 542-F-01-001] describes how microbes work.)

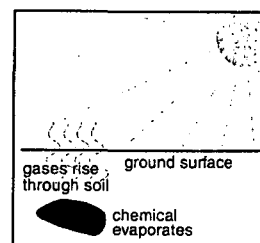


2. Chemicals can stick or *sorb* to soil, which holds them in place. This does not clean up the chemicals, but it can keep them from polluting groundwater and leaving the site.

3. As pollution moves through soil and groundwater, it can mix with clean water. This reduces or *dilutes* the pollution.



4. Some chemicals, like oil and solvents, can *evaporate*, which means they change from liquids to gases within the soil. If these gases escape to the air at the ground surface, sunlight may destroy them.



MNA works best where the source of pollution has been removed. For instance, buried waste must be dug up and disposed of properly. Or it can be removed using other available cleanup methods. After the source is removed, the natural processes get rid of the small amount of pollution that remains in the soil and groundwater. The soil and groundwater are monitored regularly to make sure they are cleaned up.

Is it safe?

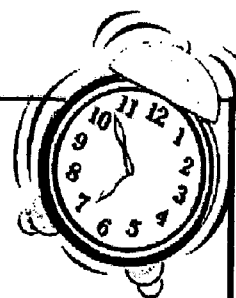
MNA can be a safe process if used properly. No one has to dig up the pollution, and nothing has to be added to the land or water to clean it up. But MNA is not a “do nothing” way to clean up sites. Regular monitoring is needed to make sure pollution doesn’t leave the site. This ensures that people and the environment are protected during cleanup.

How long will it take ?

The time it takes for MNA to clean up a site depends on several factors:

- type and amounts of chemicals present
- size and depth of the polluted area
- type of soil and conditions present

These factors vary from site to site, but cleanup usually takes years to decades. MNA is used when other methods will not work or are expected to take almost as long. Sometimes MNA is used as a final cleanup step after another method cleans up most of the pollution.



For more information

write the Technology Innovation Office at:

U.S. EPA (5102G)
1200 Pennsylvania Ave.,
NW
Washington, DC 20460

or call them at
(703) 603-9910.

Further information also
can be obtained at
www.cluin.org or
[www.epa.gov/
superfund/sites](http://www.epa.gov/superfund/sites).

Why use monitored natural attenuation?

Depending on the site, MNA may work just as well and almost as fast as other methods. Because MNA takes place underground, digging and construction are not needed. As a result, there is no waste to dispose of in landfills. This is less disruptive to the neighborhood and the environment. Also, it allows cleanup workers to avoid contact with the pollution. MNA requires less equipment and labor than most methods. Therefore, it can be cheaper. Monitoring for many years can be costly, but it may cost less than other methods.

MNA is the only cleanup method being used at a few Superfund sites with groundwater pollution. At over 60 other sites with polluted groundwater, MNA is just one of the cleanup methods being used. MNA also is used for oil and gasoline spills from tanks.

NOTE: This fact sheet is intended solely as general guidance and information to the public. It is not intended, nor can it be relied upon, to create any rights enforceable by any party in litigation with the United States, or to endorse the use of products or services provided by specific vendors. The Agency also reserves the right to change this fact sheet at any time without public notice.