



전병준

(주)프라임텍인터내쇼날
기술지원부장

효율적이고 안정 관리를 위한 산업폐수 처리기술 <33>

목 차

1. 산업폐수 처리를 위한 기초 개념

- (1)현탁 입자의 제거방법
- (2)슬러지의 침전 부상처리
- (3)용해성 물질의 제거방법
- (4)저농도 유기물의 제거방법
- (5)무기성 오염물의 제거방법

2. 석유화학 공장의 폐수처리

- (1)정유공장의 폐수처리
- (2)일반 석유화학 공장의 폐수처리

3. 제지·펄프공장의 폐수처리

4. 합섬·염색공장의 폐수처리

5. 식품공장의 폐수처리

6. 제철·철강공장의 폐수처리

7. 하수·위생처리장의 폐수처리

8. 특정 오염물질의 처리기술

9. 폐수처리 신기술에 대한 이해

10. 폐수 재활용 기술과 안정관리

5. 토양복원의 관련기술과 동향

가. 토양복원 기술의 개요

1) 기술의 개요

오염토양 복원기술은 복원방법에 따라 물리적, 화학적, 생물학적 기술로 분류되며, 복원하는 위치에 따라 지중처리(In-situ)와 지상처리(Ex-situ) 그리고 오염된 매체(media)에 따라 토양과 지하수로 분류할 수 있으며 그 방법들은 하기 표와 같으며, 세부사항에는 대표적인 방법들에 대해서만 언급하였다.

전세계적인 추세로 볼 때 현재까지의 토양복원기술의 근간은 미생물처리로서 대표적으로 독일의 경우에도 토양처리시설 59개소중 미생물처리(40), 열적처리(3), 토양세척(16)로서 현행 기술로는 미생물처리가 근간임을 알 수 있으나 점진적으로 다양한 기술과 접목되는 추세이다. 한편 중금속과 같이 무기계 오염물이 주요 처리의 대상일 경우(네덜란드의 경우)에는 처리방법이 열적처리(60%), 물리화학적처리(40%)로서 미생물처리가 아닌 여타의 방법들이 사용되고 있으며, 열적처리(400~700℃ 범위에서 처리, 배출가스는 800~1200℃의 after burner사용)와 중금속 고정화시설등을 활용하고 있는 실정이다.

2) 각 방법의 분류와 내용

각 방법들의 개념과 예를 하기에 언급하였다.

- ① 고정화 방법 : 오염물질을 불용성으로 처리한 다음 토양성분으로부터 침출시키는 것.
(예) 중금속의 침전, 킬레이트화, 고분자화
- ② 열적 처리방법 : 고온을 이용하여 화학반응을 일으키거나 화학결합을 분해하는 기술.
(예) 소각, 열분해
- ③ 지중가열 방법 : 열분해, 증발 및 증류를 통하여 지표면 하부층의 유기오염물질을 제거하는 방법
- ④ 지중 유리화 방법 : 방사능(우라늄)으로 오염된 지역에서 전기 용융기를 이용하여 가열하는 방법

〈표. 각종 복원기술에 대한 분류 및 세부 처리방법〉

구 분	토 양	지 하 수
지중처리 (In-Situ)	Biodegradation Bioventing Natural Attenuation(Soil) Pneumatic Fracturing Soil Flushing Soil Vapor Extraction(in-situ) Solidification/Stabilization(in-situ) Thermally Enhanced SVE Vitrification(in-situ) White Rot Fungus	Air Sparging Co-metabolic Processes Directional Wells Dual Phase Extraction Free Product Recovery Hot Water/Steam Flushing/Stripping Hydrofracturing Natural Attenuation(Groundwater) Nitrate Enhancement Oxygen Enhancement With Air Sparging Oxygen Enhancement With Hydrogen peroxide Passive Treatment Walls Slurry Walls Vacuum Vapor Extraction
지상처리 (Ex-Situ)	Chemical Reduction/Oxidation Composting Controlled Solid Phase Biological Treatment Dehalogenation(BCD) Dehalogenation(Glycolate) Excavation, Retrieval and Off-site Disposal High Temperature Thermal Desorption Hot Gas Decontamination Incineration Landfarming Low Temperature Thermal Desorption Open Burn/Open Detonation Pyrolysis Slurry Phase Biological Treatment Soil Vapor Extraction(ex-situ) Soil Washing Solidification/Stabilization(ex-situ) Solvent Extraction(Chemical extraction) Vitrification(ex-situ)	Air Stripping Bioreactors Filtration Ion Exchange Liquid Phase Carbon Adsorption Precipitation Ultraviolet Oxidation
기타 (배출가스처리)	Biofiltration High Energy Corona Membrane Separation Oxidation Vapor-Phase Carbon Adsorption	

나. 토양복원 기술의 세부사항

1) 미생물 분해법

오염토양을 복원하기 위한 지중처리의 경우는 생분해를 이용하여 토양을 복원하는 Biodegradation방법이 전형적인 방법이다. 생분해는 미생물이 토양이나 지하수에서 존재하는 유기오염물질을 분해시키는 과정이므로 산소가 충분히 공급되면, 미생물은 유기오염물질을 이산화탄소, 물, 그리고 미생물세포 등으로 변화시키지만, 산소가 없는 상태에서 유기오염물질은 메탄, 이산화탄소, 수소 등으로 변화된다. 때때로 오염물질은 초기 오염물질보다 독성이 증가된 중간생성물질로 변하기도 한다. 예를 들면 trichloroethylene(TCE)는 혐기성 상태에서 분해되어 지속성과 독성이 강한 vinyl chloride(VC)가 된다.

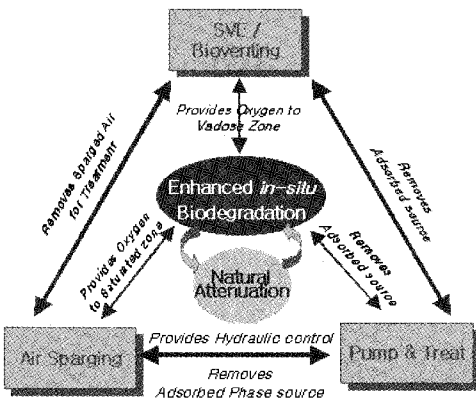
오염토양의 지중 생분해 공법의 실제적 적용과정은 오염되지 않은 물에 산소와 양분을 섞어 토양에 주입함으로써 이루어진다. 때때로 특정미생물이나 산소발생원인 과산화수소가 주입되기도 한다. 토양 내부에서 오염물질의 분포 위치가 깊지 않은 경우는 주입관이나 살포장치를 이용하지만 오염물질의 분포 위치가 깊은 경우에는 주입정을 이용한다. 산소의 농도와 오염물질 분해공정의 산화·환원력은 오염물질의 생분해에 많은 영향을 미친다. 따라서 지중(in-situ)생분해는 오염물질에 따라 호기성 혹은 혐기

성 상태를 유지시켜 주어야 한다. 비할로겐 방향족물질, 다환 방향족물질 그리고 비할로겐 유기물질과 같은 수많은 유기오염물질은 혐기성 상태보다 호기성 상태에서 빠르게 분해된다. 그러나 일부할로겐 지방족물질이나 할로겐 방향족물질들(특히 할로겐화가 심하게 되어 있는 경우)은 호기성 보다는 혐기성 상태에서 더 잘 분해되므로 이들의 분포상태를 고려하여 실시하는 것이 일반적이다.

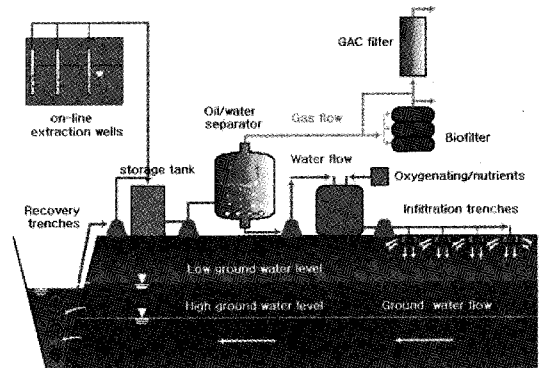
생분해 공정은 유류탄화수소, 솔벤트, 살충제, 유기화학물질등으로 오염된 토양, 슬러지, 지하수를 정화하는데 적용될 수 있다. 폭발성 물질로 광범위하게 오염된 토양의 nitrotoluene을 생분해 하는 pilot test에서 효과가 높게 나타나는 것으로 알려지고 있다.

또한, 생분해처리를 이용한 토양복원방법은 저농도로 광범위하게 오염된 토양의 정화에 효과적이다. 생분해기법은 무기물질 자체를 분해할 수는 없지만, 평형상태를 변화시켜 흡착, 응집, 농축 시킬 수 있다. 이러한 기술은 광범위하게 연구중인데, 토양으로부터 무기물질을 제거하여 안정화시키는데 효과가 높다.

최근에는 유분이 토양에 오염된 정유공장이나 저유고와 같은 대단위의 유류취급장소를 중심으로 토양 오염도의 조사와 함께 복원작업이 추진되는 초기적인 토양복원이 진행중이나 대부분 바실러스균주등 기름성분을 분해하는 효과가 있다고 알려지고 있는 미생물을 이용한 복원법이



<그림. 지하수/토양 동시 정화 개념도>

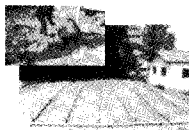


<그림. 지하수 오염 정화 개념도>

주체가 되고 있는 실정이다. 그러나, 미생물을 이용한 복원 작업은 분해가 어려운 물질일 경우 장기간의 시간이 소요되고 전술한바와 같이 처리효율이 대단히 낮은 문제점이 있기 때문에 대부분의 경우 토양오염에 의해 2차적인 오염이 발생하는 지하수의 오염을 정화하는 방법이 함께 사용되는 추세에 있다. 하기 그림에 지하수의 정화기술 개념도를 나타내었다.

2) Bioventing법

생물학적 통풍은 토양에 존재하는 미생물에 산소를 공급함으로써 토양에 함유된 유류탄화수소의 생분해를 활성화시키는 기술이다. 토양증기추출



〈산소공급라인 가설장면〉

법과는 달리 생물학적 통풍법은 미생물의 활동을 유지시키기 위한 최소한의 산소를 주입한다. 산소는 직접공기주입을 통해 오염물질에 주입된다. 흡착된 유류 잔유물의 분해와 휘발성 유기물질은 증기가 생물학적으로 활성화된 토양에 천천히 유입됨에 따라 생물학적으로 분해를 촉진시키는 전형적인 방법이다. 이방법을 통한 처리 가능물질로는 유류탄화수소, 비염소계용매, 살충제 등으로서 유기화합물질로 오염된 토양을 정화할 수 있다.

생물학적 통풍은 무기오염물질을 분해할 수 없지만 무기물질의 평형상태를 변화시켜 흡착, 흡수, 응집, 그리고 세균이나 미생물에 의해 무기물을 농축시킨다. 이 기법은 현재 실험단계 이지만 오염토양을 안정화 시키거나 무기물을 제거할 수 있다고 판단되고 있다.

3) Biofiltration법

이 방법은 통상 배출가스의 처리에 사용되는 방법으로서 주변의 오염을 초래하는 Gas상의 오염물의 제거를 위해 미생물을 이용하는 방법에 해당된다. Biofiltration(생물여과)는 증기상의 유기오염물질이 토양을 통과하면서 분해되는 full-scale 기술인데 토양에 들어있는 미생물에 의

해 오염물질이 분해되는 방법을 이용한다. 이를 위해서는 특정 박테리아가 주입되고, 최적의 상태에서 특정 오염물질을 분해하여야 효율을 기대할 수 있으며, 생물여과는 활성탄 흡착에 비해 몇 가지 장점도 있다.

① 생물학적 분해는 지속적인 최고의 흡착능력을 유지
- Filter는 재생이 필요하지 않고, bed의 길이를 짧게 할 수 있다. 이 형태는 운전비용을 감소시킨다. 부가적으로 이 기술은 GAC기술과 마찬가지로 오염물질이 파괴되는 것이 아니고 분리되는 것임.

② 비할로겐 휘발성유기물질과 유류탄소를 처리하는데 이용이 가능

- 할로겐 휘발성유기물질 또한 처리될 수 있지만 이 공정은 효과가 낮다. 생물여과는 퇴비화 공정에서 발생하는 악취제거에 이용될 수 있음. 그러나, 역시 미생물에 의한 처리방법은 투자비용적인 측면에서는 바람직하지만, 효율이 즉각적이기 어렵고 장시간의 처리기간이 필요한 것이 일반적이므로 복합적인 처리방법들이 병용되는 것이 일반적인 추세로 있다.

다. 토양복원 기술의 향후 과제

현재 국내의 토양복원부분은 아직은 초기단계로서 유분이나 중금속에 의한 특정오염물의 제거를 중심으로 초기 단계로 진행되고 있으나, 향후 토양복원에 대한 신기술 개발은 지속되어야 할 전망이다. 이를 위해서는 선진국들의 토양복원에 대한 기술의 조사와 함께 국내 실정에 적합한 모델의 개발이 절실하다.

최근에는 식물을 이용한 토양의 정화법등 다양한 시도가 추진되고 있으나, 토양의 오염은 국토의 오염과 함께 먹는물의 직접적인 오염으로 귀결되는 부분이 간과되어서는 안되겠다. 따라서, 일본이나 여타의 토양복원이 비교적 활발한 국가들과 같이 향후 보다 체계적이고 지반 토양오염조사방법이나 복원시스템의 설계 공법의 효율적인 개선 등과 같은 연계 기술이 발전하여야만 할 것으로 전망된다.