

식물정화기법(Phytoremediation)을 이용한 지반오염의 정화

박준범*1, 이승환*2, 최명인*2, 이승학*3

1. 머리말

지난 수십년동안의 인구증가와 급속한 산업발달은 우리 삶의 터전인 흙을 심각하게 오염시켰다. 하지만, 지반오염의 특성상, 눈으로 직접 실태를 확인할 수 없다는 이유로 그 심각성이 무시되어 왔다.

다른 나라에 비해 다소 늦은 감이 있지만, 우리나라에서도 1996년 1월부터 환경부의 토양환경보전법에 의거하여 지반오염을 유발할 가능성이 있거나 진행중인 모든 시설물 및 현장(예: 지하저장시설, 폐광, 쓰레기 매립장, 유독물의 제조 및 저장시설 등)은 토양오염검사를 받고, 만약 오염정도가 토양오염 우려 기준치이상이면 그 지역은 오염지반 정화처리의 대상이 될 수 있게 되었다.¹⁾ 그러나 현실적으로, 오염 지반의 정화기술이 아직 초기단계에 있어 그 비용이 적지 않으며, 각각의 대상 오염물질에 제일 적합한 정화기술이 정형화되어 있지 않으며, 처리를 한 후에도 미량의 오염물질이 흡사이에 남아 지속적으로 흙을 오염시키는(tailing effect) 등의 문제점을 가지고 있다.

이에 이 글에서는 환경 복원 기술의 하나로, 비용 절감의 잠재력이 높고, 다양한 종류의 오염물질 처리에 적합하며, 오염수준이 낮은 현장에 적용성이 뛰어난 뿐만 아니라, 미적 즐거움까지 줄 수 있는 식물정화 기술(phytoremediation)이란 방법에 대해 소개하

였다. 또한, 그와 함께 실제 적용사례에 대한 조사를 통해 그 적용성과 효율성을 검토하였다.

2. 식물정화기술의 개념과 역사

식물정화기술(phytoremediation)이란 용어는 식물, 꽃 등을 나타내는 단어(phyto-[faitou-])와 정화라는 뜻을 나타내는 단어(remediation)가 합쳐져서 만들어진 말이다. 이 기술은 식물을 이용해 흙과 지하수로부터 오염물질을 제거함으로써 부지를 정화시키거나 복원시키는데 활용되는 여러 방법을 가리킨다. 환경복원의 수단으로서 오염부지에 식물을 가꾸고 수확하는 일은 알거나 낮은 부지를 정화하는데 활용할 수 있는 환경친화적 기술이다. 또한 식물정화 기술은 다른 물리적 정화기술을 대체하여 활용되거나 이와 병행해서 활용할 수도 있다.

식물정화기술에 대해서 미국 EPA(Environmental Protection Agency)는 다음과 같이 설명하고 있다.

- 미적 즐거움을 주고 자연 순응적이며 태양에너지에 의존하는 정화기술
- 오염 부지가 깊지 않고, 오염수준이 낮을 경우 매우 유용한 정화기술
- 다양한 종류의 환경오염물질을 처리하는데 유용한 정화기술

오염지반정화에 있어, 식물정화기술이라는 개념의

*1: 정희원, 서울대학교 지구환경시스템공학부 조교수

*2: 단국대학교 대학원 토목공학과

*3: 서울대학교 대학원 토목공학과

■ 기술기사 ■

처리방법이 아직 실험실 연구와 현장적용 연구를 병행하고 있는 초기단계이지만 식물을 이용한 오염물질의 제거는 '인공 습지대', '인공갈대밭', '부유식물 시스템'을 통해 이미 폐수처리나 하수처리에 적용되어져 왔다.

이 기술에 대한 연구는 1980년대 초반부터 실시되어 왔고, 1986년 우크라이나의 체르노빌서 흡이나 지표수로부터 방사능 물질을 제거하는데 Phytotech가 적용되었다. 현재는 유럽과 미국에서 'Green Clean'의 개념에 입각하여 Phytoremediation을 활발히 연구하고 있다. 특히, 미국 EPA 산하의 RTDF(Remediation Technologies Development Forum)를 중심으로 추진되고 있으며 최근 많은 성과를 나타내고 있다. RTDF의 'Phytoremediation of Organics Action Team'에서는 식물정화기술 연구의 현황 평가, 연구결과를 제출하는 방법의 결정 및 오염지역의 정화에 적합한 식물정화기술의 개발 등을 담당하고 있으며, 미국 EPA는 학계나 민간의 식물정화기술에 대한 다양한 연구들을 개발·지원하고 있다.

3. 식물정화기술의 적용기법

3.1 기본 메카니즘

모든 식물은 생리화학적 과정을 통해서 흡이나 물로부터 금속성분을 포함한 필수 영양물질을 추출하여 이용한다. 또한 어떤 식물은 자신의 생리적 작용에 직접적으로 필요하지 않은 금속성분이라도 많은 양을 체내에 보관하기도 한다.⁵⁾ 이러한 사실을 바탕으로 식물정화기술의 기본 메카니즘을 정리하면 다음과 같다.

(1) 추출(Extraction)

식재된 수목의 새싹과 잎에 오염물질이 이동해서 축적되는 것을 말한다. 식물정화기술 분야의 전문가들은 식물을 흙에서 오염물질을 뽑아 올리는 '태양에너지 펌프'로 비유한다. 오염물질은 매년 식물의 열

매나 낙엽에 포함돼 수거할 수 있기 때문에 결과적으로 대상 부지에서 오염물질이 정화되는 것이다. 수거된 식물체는 안전하게 건조해서 소각·퇴비화된다.

소각된 재의 부피는 오염지반을 굴착한 부피의 10%에 지나지 않는다.⁶⁾ 일부 경제성 있는 금속의 경우라면 실제 소각재에서 회수하여 산업계에서 재 사용할 수도 있다.

(2) 구속(Containment)

식물이 오염물질을 일정범위에 잡아두는 메카니즘이다. 예를 들어 어떤 식물은 매우 높은 농도의 금속성분을 뿌리에서 흡수한다고 하자. 이때 오염물질은 식물의 줄기나 잎에 축적되게 된다. 오염물질을 포함하고 있는 오염부지의 모든 식물과 그 뿌리를 수거해서, 처리를 위해 멀리 옮기는 것이 현실적으로 불가능하다고 가정하자. 하지만 적어도 오염물질이 지반 환경내에서 더 확산되는 현상은 방지할 수 있는 것이다. 이것이 구속의 과정이다.

(3) 분해(Degradation)

탄화수소와 기타 유기화합물로 구성된 오염물질의 구조를 파괴해서 더 이상 유해하지 않은 물질로 전환하는 과정이다. 이 같은 분해 작용은 식물의 뿌리부에서 공생하는 미생물이나 곰팡이, 뿌리의 화학 작용과 뿌리의 효소에 의해 일어난다. 또 다른 분해 작용으로 식물의 자체 메카니즘을 들 수 있다. 일부 식물은 유기 독성물질을 흡수해서 독성의 특정 화학성분을 이용할 수 있는 기능을 가지고 있다.

3.2 오염물질의 정화기법

지반오염물질은 크게 금속성 오염물질과 유기성 오염물질로 구분할 수 있으며, 각 오염물질에 따라 적용하는 식물정화기법은 다음과 같다.

3.2.1 금속성 오염물질

금속류로 오염된 부지에서 식물은 식물추출(Phytoextraction), 뿌리여과(Rhizofiltration),

식물안정화(Phytostabilization)의 세 가지 방법을 통해 흙과 지하수에 있는 금속성분을 안정화하거나 제거한다.

(1) 식물추출(Phytoextraction)

식물추출은 식물축적(Phytoaccumulation)이라고도 불리며, 식물뿌리에 의해 흙에 있는 오염물질이 잎이나 줄기와 같은 식물의 상부로 이동해서 축적되는 것을 말한다. 니켈과 같은 금속류는 흙에서 식물뿌리로 흡수되어 줄기 및 잎을 통해 이동한다. 금속류를 가진 식물은 흙 속의 금속 농도가 허용수준으로 낮아질 때까지 기다려 오염부지에서 수확해서 폐기하고 재 식재하는 과정을 반복한다. 이 방법에 적용되어지는 식물의 특성은 다음과 같다.

- 식물이 견딜 수 있는 최대농도의 중금속을 흡수 또는 축적가능해야 한다.
- 빠른 성장률을 보여야 한다.
- 생물량(Biomass)의 생산이 높아야 한다.

그림 1은 식물추출에 의한 금속류의 축적을 나타

낸다. 오염부지에 식물을 식재한 후 일정 기간동안 성장하면 이들을 수확해서 금속류의 재활용을 위해 소각하거나 퇴비화하는데, 이같은 과정을 반복함으로써 지반오염 수준을 낮출 수 있다. 만약 식물을 소각하였다면 소각재는 유해폐기물 매립장에 처분해야 하지만 소각재의 부피는 오염지반 자체를 처리하기 위해 굴토해야 하는 부피의 10% 미만이다. 니켈, 아연, 구리는 식물정화기술로 가장 잘 제거되는 금속류이다. 왜냐하면 약 400여 종의 식물이 이들 금속류를 잘 흡수하는 것으로 밝혀져 있기 때문이다.

(2) 뿌리여과(Rhizofiltration)

뿌리여과는 뿌리부 주변에 용해 상태로 있는 오염물질을 식물뿌리에 흡착 또는 침전하거나 뿌리 속으로 흡수하는 작용을 말한다. 뿌리여과는 식물추출과 유사하지만 식물을 흙보다는 오염된 지하수의 처리에 우선적으로 활용한다는 점이 다르다. 정화처리에 이용되는 식물은 흙 보다 물 속에 뿌리를 둔 온실에서 재배된다(그림 2. 참고). 식물을 환경에 적응시키기 위해 매립장에서 오수(汚水)를 모아서 기존의 용

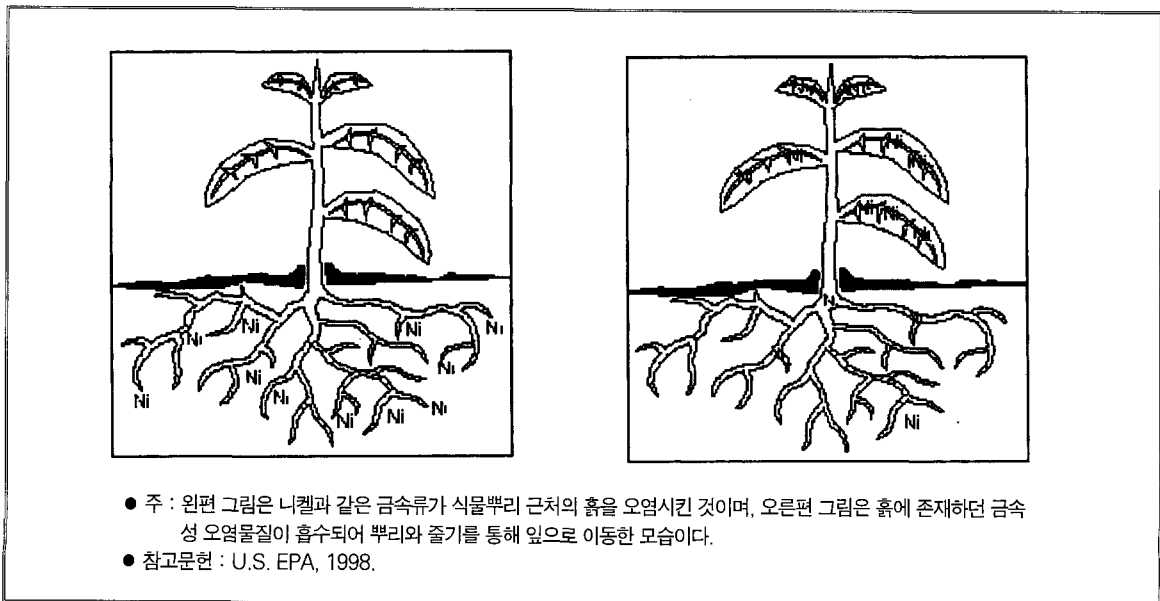


그림 1. 식물추출(Phytoextraction)에 의한 금속류의 축적

기술기사

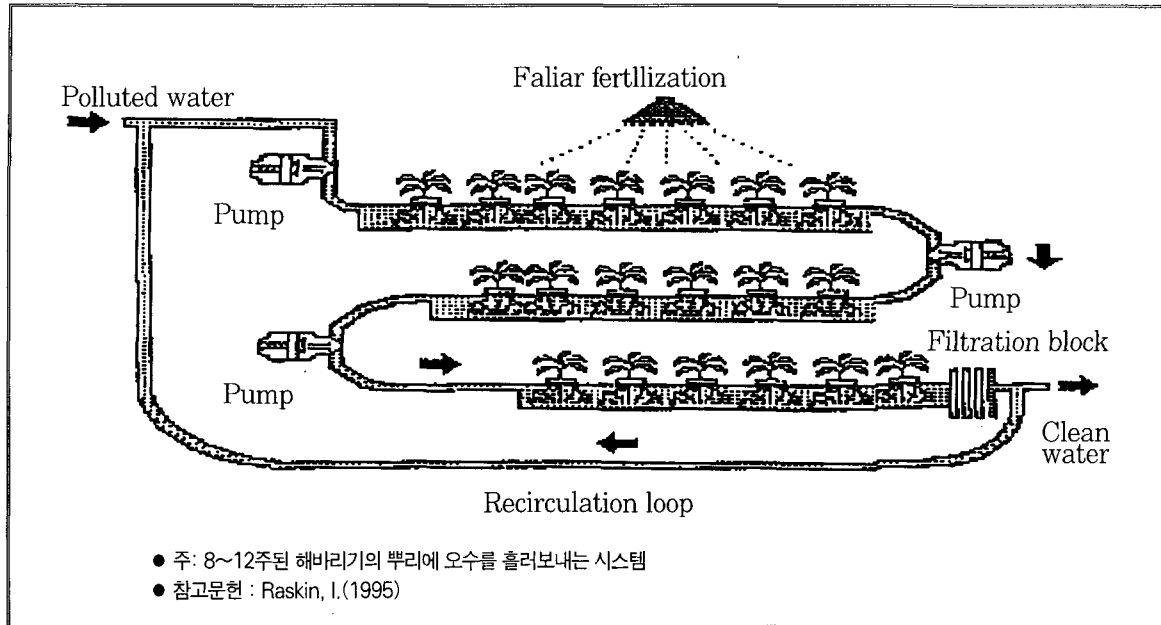


그림 2. 식물여과(Rhizofiltration) 시스템을 통한 흐름

수를 대신하여 식물에 공급하는 대형 뿌리 시스템 (Root System)에 의해 개발된 식물을 그 뿌리가 물과 오염물질을 흡수할 수 있도록 오염지역에 식재한다. 식물뿌리가 오염물질을 삼투(滲透)시킨 후 식물을 수확하여 오염물질을 제거한다. 뿌리여과의 한 사례로서 우크라이나 체르노빌(Chernobyl)의 오염지역에 해바라기를 식재한 실험을 통해 연못의 물 속에 있는 방사능 오염물질을 성공적으로 제거한 경우가 있다.

(3) 식물안정화(Phytostabilization)

식물안정화는 식물뿌리를 통한 흡수와 축적, 뿌리 위에 흡착, 뿌리부내에 침전 등을 통해 흙과 지하수에서 오염물질을 고정시키기 위한 목적으로 특정 식물을 활용하는 것이다. 이 과정은 오염물질의 이동성을 저감시키고, 지하수와 대기 중으로의 확산을 방지한다. 또한 식물안정화는 먹이사슬로의 유입에 대한 생물유효성(Bioavailability)을 감소시킨다. 이 기술은 지표토에서 높은 금속농도 또는 황화물질에 의

한 물리적 방해 때문에 자연식생이 부족한 부지에서 식생대(植生帶)를 재 조성하는데 활용된다. 금속에 대한 내성 수종은 침식에 의한 오염의 잠재적 이동, 노출된 지표토의 유출과 지하수에 의한 지반오염의 침출을 감소시키기 위해 부지에서 식생을 복원하는데 활용된다.

3.2.2 유기성 오염물질의 정화기법

유기성 오염물질은 보편적인 환경오염 물질이다. 이러한 유기성 오염물질에 대해 식물을 이용한 정화처리 방법에는 식물분해(Phytodegradation), 뿌리분해(Rhizodegradation), 식물발산(Phytovolatilization) 등의 방법이 있다.

(1) 식물분해(Phytodegradation)

식물분해는 식물전환(Phytotransformation)이라고도 하며 식물의 신진대사 과정을 통해 식물 내의 오염물질을 제거하거나 식물에 의해 만들어진 효소와 같은 물질의 작용을 통해 식물외부의 오염물질을

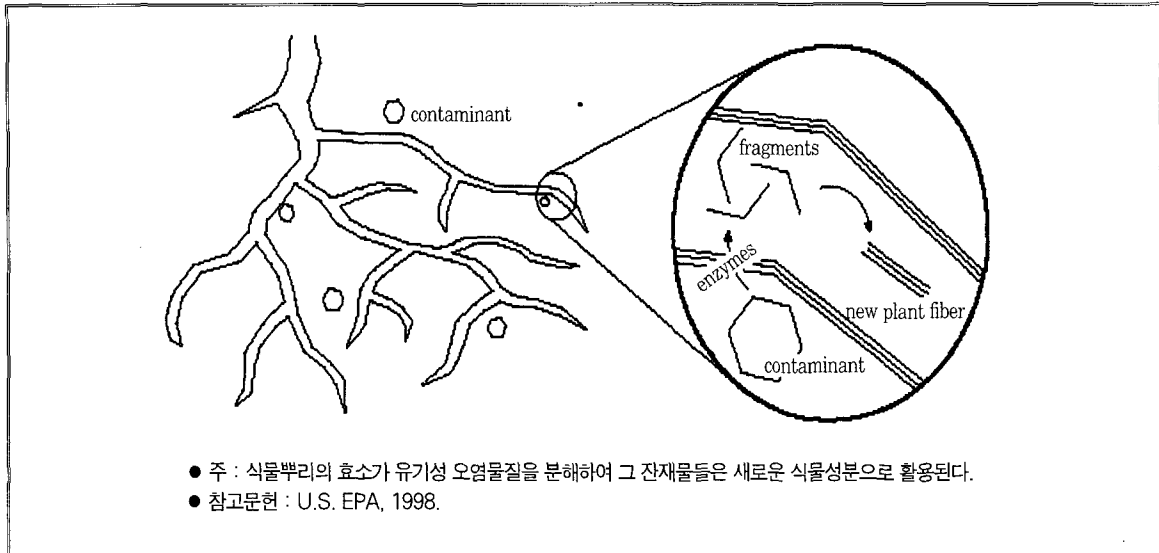


그림 3. 식물분해(Phytodegradation)에 의한 유기성 오염물질의 제거

제거하는 것을 말한다(그림 3. 참고). 오염물질은 단순한 분자로 분해되거나 식물세포 내에 흡수되어 식물성장의 촉진을 돕는 작용을 한다. 이 방법이 효과적인 경우는 식물의 대사작용에 의해 잘 흡수되는 유기오염물질을 대상으로 할 때이다. 식물은 급속한 화학반응을 유발시키는 효소와 복합화합물질인 단백질을 가진다. 특정 효소는 암모니아 폐기물을 제거하거나 전환하며, 다른 효소는 TCE(Trichloroethylene)와 같은 표백제를 분해하거나 제초제를 분해한다.

(2) 뿌리분해(Rhizodegradation)

뿌리분해는 식물촉진(Phytostimulation), 고도 뿌리부 생분해(Enhanced Rhizosphere Biodegradation), 식물보조 생분해(Planted-Assisted Biodegradation)라고도 하며, 뿌리부의 접촉으로 활성화되는 미생물 활동을 통해 흙 속에 있는 오염물질을 전환하는 것이다. 뿌리분해는 식물분해 과정보다 느리게 진행된다. 곰팡이, 박테리아 등의 미생물은 양분이나 에너지로 유기물을 소모하거나 소화한다. 특정 미생물은 연료나 솔벤트와 같이

인간에게 유해한 유기물을 소화할 수 있고, 생분해라는 과정을 통해 유해한 유기물을 무해한 물질로 전환할 수 있다.

식물뿌리에서 생성되는 당분, 알콜 및 산(酸) 등의 자연물질은 토양미생물의 먹이가 되는 유기탄소와 이들의 활동을 촉진하는 부수적인 양분을 포함하고 있다. 또한 생분해는 식물뿌리가 흙을 변화시켜서 촉진되고 흙에 수분을 공급한다.

(3) 식물발산(Phytovolatilization)

식물발산은 식물에서 대기 중으로 오염물질을 배출하거나 오염물질을 변환시키는 식물에 의해 오염물질이 흡수되거나 증산되는 것을 말한다. 식물발산은 식물이 성장함에 따라 활발해지는데, 일부 식물들은 수분과 유기성 오염물질을 흡수하여 특정 오염물질을 잎으로 이동한 뒤 대기 중으로 증산시키거나 발산시킨다. 한 사례연구에서는 오염부지에 식재한 포플러나무가 흡수한 TCE(Trichloroethylene)의 90%를 발산시킨다는 결과를 보여 주었다.

【 기술기사 】

표 1. 식물정화기법에 사용되어진 식물들

| 적용된 식물 | 오염물질 | 비 고 |
|----------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|
| Indian mustard greens | 중금속 | 토양으로부터 Pb, Cr, Cd, Zn, Cu를 효과적으로 제거 |
| 강 갈대밭(river reeds) | 비행기의 제빙제 | 갈대가 오염물질을 빠른 속도로 물과 이산화탄소로 분해 |
| 포플라 나무 | TCE, 석유류, atrazine 및 여타의 지하수 오염물질 | 깊은 뿌리를 가진 나무는 오염된 지하수의 확산을 억제 |
| 자주개자리(Alfalfa) | 농약성분 | 흙에서만 30%정도의 nitrogen을 흡수 |
| Kochia and Multiflora Rose | 제초제 | 두가지의 복합적인 사용은 제초제의 확산을 방지 |
| 해바라기 | 방사능 물질 | 체르노빌 지역의 오염된 지하수에서 우라늄을 성공적으로 제거 |

- 참고문헌 : Stephane Smith, Phytoremediation: Using Plants to Remediate Soil and Groundwater Contamination Department of Civil and Environmental Engineering in Brigham Young Univ., Utah, 1997

지금까지 적용되어진 식물들을 정리하면 다음 표 1과 같다.

4. 식물정화기법의 장·단점

얼마 전까지 식물정화기법은 주로 금속 오염물질의 제거에 초점을 맞추어 진행되어 왔으나, 최근에는 지반환경 변화에 따라 다양한 오염물질에 대해 여러 종류의 식물을 적용함으로써 활발한 연구가 진행되고 있다. 식물정화기법이 다른 지반정화기법에 비해 여러 장점을 가지고 것이 사실이지만, 아직까지 많은 한계점을 가지고 있다. 우선 이 기법의 장점을 정리해 보면 다음과 같다.

- 일반적인 지반정화기법이 대상 부지를 굴착한 뒤 오염토양을 처리시설로 운송하여 화학·기계적 공정을 거쳐 정화하는 반면 식물정화기법의 경우 현장처리하는 방법이므로 작업을 간소화할 수 있다.
- 식물정화기술의 가장 매력적인 특성은 초기 설치비용이 적다는 점이다.
- 식물은 태양에너지로 자라기 때문에 정화 도중에 발생하는 유지비용이 매우 낮다.
- 식물정화기법은 그 심미적 특성에 의해, 다른

정화기법 적용시 황폐하게 버려져 있는 오염부지에 비해 쉽게 대다수 시민들의 호응을 얻는다. 이것은 부지에 수목이 자라고 있는 경우가 환경적으로도 훨씬 건전한 상태라는 것을 보여주며, 또한 누구나 한눈에 오염 정화 과정을 확인할 수 있기 때문이다.

이런 여러 가지 장점에 비해 식물정화기법이 가지는 단점은 다음과 같다.

- 식물정화기술은 모든 오염지역에 효과를 발휘하지 못한다. 즉, 심각하게 오염된 지역에서는 효과적이지 않다.
- 식물정화기술의 효과는 오염 깊이가 깊지 않은 대상 부지로 한정된다.
- 식물정화기술 분야는 아직 초기단계로서 대부분의 검증은 실험단계이다. 객관적 검증 자료의 부족으로 실제 채택 과정에서 정책담당자는 여러 의문을 표명할 것이기 때문에 시행단계에서는 단계별로 충분한 설명과 설득이 필요하다.
- 정화를 위해 식재된 식물이 미치는 환경영향에 대해 아직 검증되지 못한 부분이 있다. 야생동물이 먹이사슬을 통해 오염된 식물의 새싹과 잎을 먹었을 경우 먹이사슬에 미치는 영향이나

식물이 토양의 오염물질을 흡수하여 증산작용을 통해 배출하였을 때 대기질에 미치는 영향 등에 대한 연구가 계속 진행되어야 한다.

지금까지 식물정화기술의 장점과 단점에 대해 알아보았다. 식물정화기술은 여러 가지 단점에도 불구하고 많은 성장잠재력을 가지고 있다. 미국의 경우, 깊이 50cm의 1에이커(4046.8m²) 면적의 오염지반에 대한 식물정화의 예상비용은 6만~10만 달러로서 동일한 면적에 대한 굴토와 매립처리비용인 40만~170만 달러에 비해 매우 저렴하다. 식물정화기술은 소량의 물질을 재활용하거나 특정 금속류의 회수도 가능하게 한다. 이 같은 요인으로 식물정화기술은 환경 친화적 이면서 신뢰할 수 있고, 비용면에서도 효과적인 기술로서 최근 연구가 급속히 확산되고 있는 것이다.

표 2. 식물정화기술의 장단점 비교

| 장점 | 단점 |
|------------------------------|---------------------------------|
| · 오염지반 내에서 처리(In-Situ) | · 깊이가 얇은 토양, 하천, 지하수로 제한 |
| · 자연순응적 기술 | · 유해물질의 농도 집중으로 식물에게 유해 |
| · 태양에너지 활용 | · 다른 생물학적 처리와 연계된 대규모 전환의 제한 |
| · 일반 물리적 처리의 10~20% 비용 | · 물리적 처리에 비해 느림 |
| · 자연 정화보다 전환의 신속 | · 대체로 수용성 오염물질에 효과가 국한 |
| · 일반대중의 높은 선호 | · 분해 생성물의 독성과 생물학적 유효성이 규명되지 못함 |
| · 대기 및 수질오염 배출이 거의 없음 | · 지하수로 오염물질의 이동 |
| · 부수적 폐기물의 발생이 거의 없음 | · 오염물질이 동물에 의해 먹이 사슬로 유입될 잠재력 |
| · 흙이 부지 내에 유지되고 추가적인 처리가 가능함 | · 정책담당자의 거부감 |

● 참고문헌 : Chappell, J., 1997. p.3

5. 사례연구

5.1 텍사스의 카스웰 공군기지 (Texas Carswell Air Base)

식물정화기술의 대표적 사례로 미국 텍사스의 카스웰(Carswell) 공군기지에서 수행된 '스티브 록 프로젝트(Steve Rock Project)'가 있다. 1996년 봄부터 시작된 본 프로젝트에서는 공군기지의 원유저유소 주변의 얇은 지하수에서 검출되는 솔벤트의 일종인 삼염화에틸렌(TCE : Trichloroethylene)을 정화하기 위해 식물정화기술을 활용하였다. 오염물질을 흡수하고 정화하기 위해 670그루의 미류나무(Eastern Cottonwood Tree)를 식재하였다. 초기 단계인 다른 많은 식물정화기술과 같이 이 프로젝트



● 주 : 원편 사진은 오염된 부지를 정화하기 위해 서양버즘나무를 식재한 초기현장이며, 오른편 사진은 오염 농도가 높은 지역에 식재된 나무들의 성장 상태가 매우 좋고 뿌리의 기름 제거 미생물에 의해 토양도 정화되었음을 보여준다.

그림 4. 미국 카스웰 공군기지의 식물정화기술 적용 사례

【 기술기사 】

도 현재 실험단계이며, 그림 4는 미국 카스웰 공군기지의 미류나무를 이용한 식물정화기술 적용 사례를 보여 주고 있다.

5.2 미국 메릴랜드 에버딘지역 무기시험소 (Aberdeen Grounds- J field site)

메릴랜드에 있는 에버딘지역 무기시험소는 1918년부터 미국 육군무기시험소로 이용되어왔다. 이 지역은 Bush river에 의해 Edgewood와 Aberdeen 지역으로 나누어지는데 특히 Edgewood 지역의 토양과 지하수의 오염이 심각하게 관측되었다. 이 때문에 오염지역으로 지정되어 다양한 처리방법의 채택이 고려되어 왔다. 토양세척법(Soil Flushing), 증기 추출법(Vapor Extraction), 양수처리법(Pump & Treat), 굴착(Excavation) 등이 고려되었으나 현장상태가 높은 지하수면을 가지고 있고, 오염물이 불포화대에 집중해 있으며, 지하에, 폭발성은 없지만, 폭약을 가지고 있었다. 따라서, 인공적인 시공기술은 배제되었고 결국, 식물정화기술을 적용하게 되었다. 1955년 9월에 먼저 토양의 특성과 오염물질의 식물유해성을 평가한 후 1996년 4월 Plume의 가장자리부터 잡종 포플라(Hybrid Poplar)와 소합향나무(Sweet Gum Tree)를 식재하였다. 그 후 지속적인 관찰을 통해 식물정화기법의 효과를 추적하였는데 태양광선이 강할수록 수액 흐름이 증가하였고, 1997년 5월에 측정된 지하수위가 1996년의 자료에 비해 2 피트정도 감소하였다. 나무 조직은 TCA분해산물인 TCAA(Trichloroacetic Acid)를 지니고 있었으며, TCE(Tetrachloroethane)은 식물의 증발, 증산작용으로 인해 휘산된 것으로 측정되었다.

5.3 미국 뉴저지 Sears사유지 (Edward Sears properties)

1960년대 중반부터 1990년대 초까지 기간 만료된, 페인트, 접착제, 군수용품의 재포장 또는 판매를 한 사유지이다. 그런데, 드럼과 컨테이너를 통해 오염물질이 누출되어 주변의 토양과 지하수를

오염시켰는데 주로 TCE, methylene chloride, xylene 이었다. 오염의 정도는 지하수대의 지질학적 특성으로 인해 silty-clay lens (오염물질이 5-18 피트에 집중)에 의해 오염물질이 잡혀 있어서 넓은 범위의 오염은 없었으나 고농도의 오염물질이 발견되었다. 적용가능한 기술은 여러 가지로 조사되었으나 주변 개인자산의 피해를 줄이고 평평에 의한 주변 우물의 수위저하 현상을 없애기 위해 역시 식물정화기술이 적용되었다. 1996년 12월에 잡종 포플라를 식재하였고, 지속적으로 모니터링하고 있는 과정에 있다.

5.4 전북에서의 해바라기를 이용한 중금속에 오염된 지반 정화(국내)

전북 고창군 공단지역의 천변이나 쓰레기 매립장 일대에는 유달리 노란 해바라기 꽃이 많이 심어져 있다.

고창군이 올 봄부터 해바라기 1천여 그루를 공단이나 쓰레기 매립장 등에 심어 중금속으로 오염된 땅을 되살리고 환경도 아름답게 가꾸기 위한 실험을 하고 있기 때문이다.

미국의 듀폰사는 지난 94년 공장 주변에 옥수수와 잔디를 심어 오염된 토양에서 매년 1t정도의 낱을 빨아들였다는 실험결과를 밝힌 바 있다.

이에 따라 고창군도 5백여 만원의 예산을 들여 쓰레기 매립장, 농공단지, 자동차 공업사, 주유소 등 모두 64곳에 해바라기 1천여 그루를 심었다.

최근 농촌지도소도 지난해 1년간 토양오염이 심각한 곳에 해바라기 온실 재배를 통해 '해바라기 10그루가 1t가량의 낱과 수은 등의 오염물질을 정화하는 능력이 있다'는 보고서를 발표했다.

이 보고서에 따르면 해바라기 뿌리가 오염물질을 빨아들인 뒤 정화시켜 공기 중으로 내뿜어 토양의 오염도가 90% 가량 줄어들었다는 것이다.

군은 올해 말 해바라기를 심은 오염지역의 흙에 대해 카드뮴, 비소, 구리, 아연, 납, 수은, 수소이온농도 등 7종의 오염도를 조사해 오염물질 제거 효과가 높을 경우 내년에는 관내 모든 오염지역에 해바라기를

심기로 했다.

군 관계자는 "여러 종류의 식물들이 런던의 하수도 폐기물, 체르노빌 근처의 방사선 오염지역 등에서 뛰어난 오염정화 능력을 보이고 있다"며 "효과가 뛰어난 해바라기나 옥수수 등 키 큰 식물을 심어 적은 비용으로 오염물질을 제거하고 환경도 아름답게 가꾸는 일석이조(一石二鳥)의 효과가 기대된다"고 말했다.

6. 맺음말

식물정화기술은 분명 새로운 오염정화 및 환경복원기술이다. 식물정화기법은 아직 초기단계에 있기 때문에 몇가지 제한점에 부딪히고 있지만, 계속되는 연구결과와 적용사례는 이 기법의 효율성을 입증하고 있다. 식물은 성장을 위해 특정한 기간과 계절이 필요하기 때문에 현장연구 결과를 수집하고 평가하는데 여러 해가 걸린다. 그러나 현재 수행 중인 많은 연구 결과가 1~2년 내에 나올 것으로 기대된다. 따라서 향후 이들 연구결과와 성과와 자료가 축적됨에 따라 정책 담당자, 토지 소유자와 복원 전문가는 식물정화기술이 오염지역의 정화처리에 얼마나 효과적 인지에 대한 결정을 더욱 쉽게 할 수 있을 것이다. 이에 더해, 눈으로 확인할 수 있는 식물정화기법의 심미적 효과는 지반오염정화에 친밀하지 않은 일반인에게 쉽게 받아들일 수 있을 것이다.

최근 동향을 종합할 때 오염지반정화 분야에서 식물정화기술의 잠재적 역할은 점차 중요해질 것이다. 따라서 지반정화 및 환경복원 분야의 전문가는 적어도 식물정화기술의 기본원리와 현재 추진 중인 오염지역의 복원 전략을 이해하고 있어야 할 것이다. 이 같은 인식을 통해 식물정화기술이 미래의 성장시장이라는 사실을 확인할 수 있기 때문이다.

참고문헌

1. 전국환경관리인 연합회, "환경관계법규 (2)", 홍

문관 pp. 719, 1998

2. U.S. Environmental Protection Agency, A Citizen's Guide to Phytoremediation, U.S. Office of Solid Waste and Emergency Response, USA, August 1998.
3. Kathryn Sargent Brown, the Green Clean, Bioscience, vol 45, no 9, pp.579-581
4. Workshop on Phytoremediation of Organic Contaminants, pp. 1-22, 1996
5. Ralinda R. Millar, Phytoremediation, Ground-water Remediation Technologies Analysis Center, pp. 1-11, 1996
6. Metal Scavenging Plants to Cleanse the Soil, <http://bob.soils.wisc.edu/~barak/soilscience326/agres.htm>
7. Chappell, J., Phytoremediation of TCE using Populus, Status Report prepared for the U.S. EPA Technology Innovation Office under a National Network of Environmental Management Studies Fellowship, USA, 1997. (<http://clu-in.com/phytoTCE.htm>)
8. Glass, D., The 1998 United States Market for Phytoremediation, A Market Report from D. Glass Associates, Inc. Needham, MA, USA, April 1998.
9. Miller, R.R., Phytoremediation, Technology Overview Report by Ground-Water Remediation Technologies Analysis Center, PA, USA, October 1996.
10. Raskin, I., "Phytoremediation : Using Plants to Remove Pollutants from the Environment", A Part of the American Society of Plant Physiologists (ASPP) Invited Author Series on Leading Plant Research. ASPP, MD, USA.1995

식물정화기법(Phytoremediation)을 이용한 지반오염의 정화

11. Rock, S.A. and P.G. Sayre, "Phytoremediation of Hazardous Wastes : Potential Regulatory Acceptability", Remediation , Vol. 8(4), John Wiley & Sons, Inc., NY, USA, Autumn 1998.
12. Thompson J.W., "Botanical Remedies", Landscape Architecture , Vol. 88(9), American Society of Landscape Architects, Indiana, USA, September 1998.
13. Urbanska, K.M., N.R. Webb, and P.J. Edward (eds), Restoration Ecology and Sustainable Development , Cambridge University Press, UK, 1997.
14. [http:// www.korealink.co.kr / 11_5 / 9807 / h1551469.htm](http://www.korealink.co.kr/11_5/9807/h1551469.htm)
15. [http:// 203.251.211.1 / cs / ntech1.htm](http://203.251.211.1/cs/ntech1.htm)
16. [http:// www.ecobrief.com/ frame_vip.htm](http://www.ecobrief.com/frame_vip.htm)

한국지반공학회 논문집 정기구독 신청 안내

회원 여러분의 안위를 기원합니다.

1999년 1월부터 우리학회의 간행물이 학회지와 논문집으로 분리 발간됩니다. 학회지는 매월 무가로 회원들께 배포되며, 논문집은 유가로 1년에 20,000원의 구독료를 납부하고 받아 보실 수 있습니다. 필요하신 회원은 다음 사항을 참고하셔서 논문집 구독 신청을 하시기 바랍니다.

다 음

- 구 독 료 : 1년 6회, 20,000원
- 신청기한 : 수시(단, 신청시점이 구독료 납부 회계시점임)
- 입 금 처 : 한국주택은행 (예금주: 한국지반공학회)
534637-01-002333

* 입금 후 반드시 학회 사무국(02-3474-4428, 7865)으로 연락하여 확인하시기 바랍니다.