

지구물리학적 특성에 따른 토양 오염 복원 기술의 선택

조중수 (주) En3)

Selection of Soil Remediation Method Depending on Geophysical Characteristics

Jong Soo Cho (En3, Inc)

요 약: 다양한 토양 오염 복원 기술이 개발되었고 여러 가지 제한 요인을 제거하는데 주력해왔다. 결정 요인 중 하나인 지구물리학적 특성 중 투수계수, 전기전도도, 열전도도를 이용한 복원 공법에 대해 재고해 보았다. 복원 대상이 되는 토양내 여러 가지 특성을 이해하고 그의 분포에 대한 정확한 정보를 가지고 있을 때, 가장 효율적인 공법의 선택이 가능하다.

주요어: 오염 토양, 복원 기술, 지구물리학적 특성

Abstract: Various soil remedial technologies have been developed and main effort has been to overcome the limiting factors. Major factors were the geophysical characteristics, especially hydraulic, electrical, and heat conductivities. In this paper, I have reviewed the remedial technologies depending on those. Only with comprehensive understanding and information on those characteristics, selection of the best remedial method can be possible.

Keywords: Soil Contamination, Remedial Technologies, Geophysical Characteristics

1. 서 론

지난 수십 년에 걸친 산업화 과정에서 많은 환경 오염문제가 발생하였으며 그 중에 토양 및 지하수 오염 문제는 1980년대 미국의 Love Canal 사건의 발생으로 커다란 관심의 대상이 되었고 곧 이어 발효된 Superfund 법에 의해 본격적인 토양 및 지하수 오염 정화 기술의 개발과 실용화에 박차를 가하게 되었다. 최초로 사용된 방법은 pump and treatment로 추출정을 이용해 지하수를 추출함으로써 오염물의 용해를 촉진하고 용해된 오염물의 제거를 시도하였다. 그러나 이 방법은 지하에 분포한 오염물질의 이동과 지하수의 이동, 화학적, 미생물학적 과정에 대한 이해의 부족에서 많은 실패를 경험하게 되었다. 특히 처음에 예상하였던 처리 기간보다 수배, 또는 수십 배의 장시간이 요구되고 어떤 경우는 수 백년의 기간이 요구되는 경우도 나타나게 되었다. 그 후 많은 기술에 대한 연구가 활발히 진행되고 개발이 되고 현장에 적용 시험되고 실용화 단계를 거쳤으나 현재 상용화되어 널리 사용되는 기술은 많지 않다. 그 이유로 여러 가지를 들 수 있으나 가장 큰 문제점은 환경 담당 관리자나 토지 소유주, 또는 project 책임자들의 이해부족과 실용성 여부에 대한

확신 부족이 주 원인이다. 즉 신기술인 경우 현장에서의 적용 예가 희소하고 경제성, 효율성에 대한 data가 부족한 경우가 태반이라 현장 적용에 대한 결정권 등을 가진 사람들이 선택 받아 들이려 하지 않는데 문제가 있다. 그런 문제점의 해결을 위해 미국에서는 여러 가지 demonstration program들이 미 정부의 지원하에 진행되어 왔다 (US EPA, SITE Program, US DOE, Integrated Demonstration Program 등).

많은 기술들이 개발되어 왔으나 대부분의 경우 pump and treatment에서 제기된 여러 가지 제약을 극복하는데 그 초점이 맞추어져 왔다. 용해도에 의한 제한을 극복하기 위한 solvent 나 계면 활성제의 투입에 의한 용해도 증가 등이다. 그러나 이런 여러 가지 새로운 기술의 적용도 현장의 지질학적 특성, 특히 지구물리화학적 특성을 이해하지 못하면 기대한 만큼의 효과를 거두기 힘들다. 이번 발표에서는 이런 지구물리화학적 특성을 이해하고 최적의 공법을 적용하는데 도움이 되도록 지구물리화학적 특성에 따른 여러 가지 공법을 소개하고자 한다. 이런 여러 가지 공법의 현장내 적용은 많은 현장 경험과 거기에 따른 know-how를 요구한다.

2. 지구물리화학적 특성에 따른 복원 공법

오염물질에 의한 토양의 정화는 대상 오염물의 제거를 목적으로 하고 있다. 제거하는 방법으로 물리적/물리화학적 추출이나 화학 반응을 통한 분해 또는 물성 변화의 유도, 미생물에 의한 분해, 독성 감소, 이동성 감소 등이다. 그러므로 이런 물리적, 화학적, 미생물학적 추출이나 반응을 일으키기 위해 전달 매체를 이용하며 이런 매체의 전달이 성공의 관건이 되는 것이다. 이런 매체의 전달은 결국 지구물리학적 특성, 즉 전달 계수 (conductivity)에 의해 결정되며 여러 가지 매체의 전달 계수에 대한 올바른 이해가 복원 방법의 선택에 가장 결정적 요소가 되는 것이다.

2.1. 투수계수 (Hydraulic Conductivity)

많은 방법이 유체상을 이용하여 오염물의 추출, 반응물의 전달 등을 하고 있다. 유체상의 물질을 토양 내에서 이동하기 위해서는 가장 결정적인 인자가 바로 이 투수계수이다. 앞에 언급한 pump and treatment방법의 가장 커다란 문제점이 바로 이 투수계수의 이해 부족이었다. 지하의 토양은 토질 분포에서 매우 불균질한 경우가 많으며 투수계수의 폭이 진흙과 자갈토의 경우 10^6 이상이다. 그러므로 세심한 사전 조사를 통한 정확한 토질 분포의 이해와 거기에 따른 투수계수의 분포, 오염물의 이동에 관한 정확한 파악 등이 성공적인 정화를 이룰 수 있다.

유체에 의한 추출 또는 제재 투입 공법

Pump and Treatment: 지하수의 pumping을 통해 수용의 오염물 추출 방법

Solvent/Surfactant Flushing: Pump and Treatment 방법의 용해도를 증가시키기 위한 방법으로 alcohol등의 solvent나 계면 활성제(surfactant)를 투입하여 오염물을 추출하는 방법

Soil Vapor Extraction: 토양 내 공기의 흐름을 유도하여 휘발성이 강한 성분을 추출하는 방법, 공기의 토양 내 상대 투수계수에 효능이 결정

In-situ Bioremediation: 미생물의 활성을 높이기 위해 여러 제재와 산소를 투입해 주는 공법으로 제재를 녹인 수용액이나 공기에 의한 산소 주입시 각각의 투수계수에 의해 결정됨.

Chemical Oxidation/Reduction: 산화제나 환원제 또는 그 수용액을 투입하여 오염물을 산화. 환원 시키는 공법.

투수계수 감소에 의한 이동성 차단 방법

Stabilization/solidification: 시멘트, plastic 제재 등을 오염 토양과 혼합 또는 토양 내 투입하여 고형화함으로써 오염물의 이동을 차단하는 방법

Vitrification: 오염 토양에 전기 등을 이용하여 고온으로 용융해 줌으로써 토질을 유리화하여 오염물의 이동을 차단하는 방법

Containment: 차단벽이나 sheet pile 등을 이용하여 일정 지역 밖으로의 유출을 방지하는 방법

투수계수 증가를 통한 제재 투입을 증가 시키는 방법

Pneumatic/hydraulic Fracturing: 고압의 공기나 물을 주입함으로써 암반이나 저투수 계수층에 균열을 증가시킴으로써 투수계수를 높여 유체의 투입을 촉진한다.

2.2. 전기전도도 (Electrical Conductivity)

토양의 전기전도도 분포는 투수계수와 반대의 경향을 나타내고 있다. 사토와 같이 표면에 전리 이온층을 가지고 있지 않는 경우 전기전도도가 낮으며 점토와 같은 토질의 경우 표면에 전리 이온층을 가지고 있을 경우 높은 전도도를 나타내고 있다. 전기전도도는 수분 함유량에 따라 심한 변화를 나타내며 같은 수분함유량이라도 수분의 전기전도도에 따라 그 변화의 폭이 크게 달라진다 (예 담수와 염수). 이런 전기전도도의 차이를 이용하여 특히 투수계수가 낮은 점토층 내에 존재하는 오염물을 제거하는 기술들이 개발되고 있다. 대부분의 기술이 추출정을 통한 추출을 병행하여 실시한다.

Electroosmosis/electrokinetics: Electroosmosis는 전기장내에서 유도되는 삼투압의

차이에 의해 점토층 내의 유체의 흐름을 유도하는 것이고 electrokinetics는 이온의 흐름을 유도하는 것으로 근본적인 유도 대상이 다른 것이나 둘 다 전기전도도를 이용하는 방법.

Direct Current Heating: 전극을 이용하여 직류 전기를 원하는 특정 토양 내에 통과시켜 열을 발생시키고 발생된 열이 오염물을 증발시키고 증발된 오염물을 추출장에서 추출하는 방법.

Six Phase Current Heating: Direct current 대신 6상의 전류를 전극을 통해 흘리고 발생하는 열을 이용해 오염물을 증발 추출하는 공법

Radiofrequency Heating (RF Heating): Microwave를 이용하여 지하에서 열 발생을 유도, 오염물을 추출하는 공법

2.3. 열 전도도 (Heat Conductivity)

토양내의 열전도도는 전기전도도나 투수계수처럼 커다란 차이를 나타내고 있지 않다 (10^3 이내). 토양 내부에 열에너지를 주입할 경우 전체적으로 균일하게 분포될 수 있다는 커다란 장점을 가지고 있다. 그리고 많은 유기 오염물들이 온도가 상승할수록 용해도가 증가하고 증기압이 높아지므로 열에너지에 의해 증발하거나 용해된 오염물을 쉽게 추출할 수 있게 된다.

Hot Water Flooding: Pump and Treatment에서 용해도를 증가시키고 저 투수계수층 내에 있는 오염물을 추출해 주는 공법

Steam Injection: 지하에 고압의 수증기를 주입하고 추출정으로 물과 오염물, 수증기 등을 추출하는 방법으로 주로 Power Plant에서 발생하는 폐열을 이용.

Heat Blanket: 고온 발생의 전기 담요를 이용하여 주로 지표면에 있는 (30 cm 이내) 비등점이 높은 오염물 (PCB등)을 추출 제거하는데 이용

3. 결 론

지구물리학적 특성 중 토양 오염 복원에 이용되는 가장 대표적인 3가지 특성인 투수계수, 전기전도도, 열전도도를 이용한 복원 방법에 대해 재고하였다. 앞에 열거한 공법들이 현재 개발되었거나 개발 중인 공법 전부를 기술한 것은 아니다. 각 site마다 공법의 선택 적용이 다르며 결정 요인이 제 각각이다. 그 중 가장 중요한 요인 중의 하나가 토양 내의 지구물리학적 특성이며 그 특성들의 분포이다. 그러므로 그 특성의 정확한 이해와 분포에 대한 정보를 가지고 있을 경우 보다 경제적이고 효과적인 정화 공법의 선택이 가능하다.