

Remediation of petroleum impacted filled land using of various in situ technology

안훈기, 김재형, 고경연, 서형기, 임은진

아름다운환경건설(주) (ahkwal@esakorea.com)

<요약문>

On site, In situ soil remediation technologies are very important among the remediation technologies and in general efficiency of these technologies are turned to site characterization and environmental condition. specially using of only one technology has so many limitation factors. for example, existing state of tailing and channeling and so on. actually, filled land have high concentration cation exchange capacity because of existence in abundance soil organic matter. Therefore we used various on site in situ technologies by phase for overcome the limitation factors. Target site is petroleum (diesel) impacted filled land and using technologies are SVE(Soil Vapor Extraction), BV(Bioventing), Bioremediation, Soil flushing, Chemical oxidation.

key word : on site, in situ, remediation, petroleum (diesel), filled land, various technologies

1. 서론

오염토양을 복원하는 공법 중, On site, In situ 처리 기술은 매우 중요한 위치를 차지하고 있으며 국내외에서도 많은 적용 사례와 새로운 공법 개발이 지금도 진행되고 있다. 그러나 이러한 On site, In situ 처리 기술은 공법의 특성 상, 대상 부지의 지질학적, 수리지질학적, 환경적 특성에 많은 지배를 받게 된다. 특히 단일 공법을 적용 시에는 tailing 현상, channeling 현상 등 복원 중·후반에 급속한 효율 저하를 가져오며 특히 매립부지와 같은 soil organic matter이 많은 곳에서는 높은 흡착능으로 인해 복원이 한계를 나타내는 경우가 자주 발생하고 있다.

본 논문에서는 다양한 공법, 예컨대 Soil Vapor Extraction, Bioventing, Bioremediation, Soil flushing, Chemical Oxidation 공법을 부지 특성에 맞게 순차적으로 적용하여 이러한 On site, In situ 처리 공법의 한계를 극복하도록 하였다.

2. 본론

2.1 부지 특성

본 논문의 연구 대상 지역은 서울 광진구 구의동에 위치한 주유소로서 지하 -2.5m 에서부터 -15m 내

외까지 과거 10년 전에 매립한 쓰레기로 구성<Fig 1. 발견된 쓰레기>되어 있으며 대상 부지의 위치는 <Fig 2. 대상부지의 위치도>에 나타내었다. 대상 부지의 물리·화학·생물학적 특성은 <Table 1. 대상 부지의 특성>에 기술하였으며 오염현황은 <Fig 3. 오염분포도>에 나타내었다.

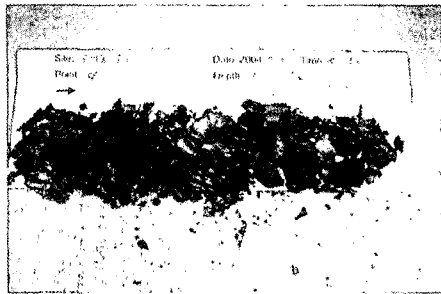


Fig 1. 발견된 쓰레기

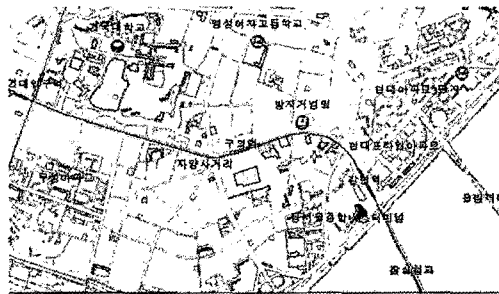


Fig 2. 대상부지의 위치도

Table 1. 대상부지의 특성

Sample type	Test Name	Result	Unit / Remarks
S	Soil Texture	Sandy Loam	Clay(17.92%) Silt(16.44%) Sand(65.64%)
S	Moisture content	20.56	%
S	Cation Exchange Capacity	4.60	cmol/Kg
S	Electric Conductivity	756.00	us/cm
S	Total Nitrogen	0.110	%
S	Inorganic Nitrogen (NH ₄ -N)	ND	mg/kg
S	Inorganic Nitrogen (NO ₃ -N)	10.81	mg/kg
S	Fe	ND	mg/kg
S	Total Phosphorus	628.08	mg/kg
S	Available Phosphorus (P ₂ O ₅)	31.58	mg/kg
S	Total Organic Carbon	8.80	%
S	pH	7.43	
S	Total Number of Microbe	8.39 × 10 ⁶	CFU / g dry soil
S	Number of degrading microbe	2.51 × 10 ⁴	MPN / g dry soil

Wireframe & Vector map

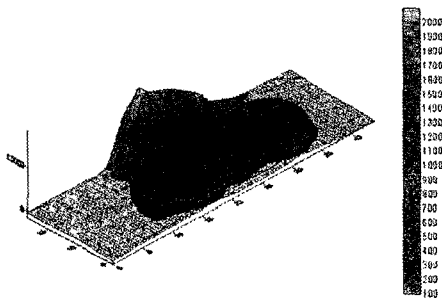


Fig 3. 오염분포도

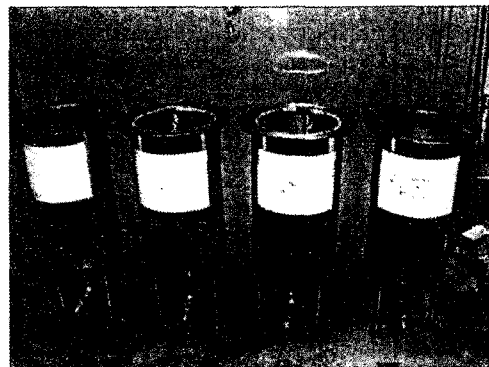


Fig 4. Field/Lab test

대상 부지에서 확인된 오염물질은 경유이며 최대 오염 농도는 BTEX, 2,854mg/kg, TPH 124,800 mg/kg, 최대 오염 심도는 지하 -6m이다. 특히 오염이 극심한 지점은 연탄재 등이 매립된 -4m 지점이며 포화대수층은 존재하지 않았다. 본 대상 부지의 주 오염물질은 TPH로서 본 논문에서는 TPH에 대한 연구내용만 기술하도록 한다.

2.2 복원공법의 선정 및 타당성 검토

적정 복원공법을 선정하기 위하여 Field/Lab test가 선행되었다<Fig. 4 Field/Lab test>. Field test는 air permeability test와 microbe respiration test가 실시되었고, Lab test로는 실제 오염토를 대상으로 Fenton's reagent를 이용한 chemical test가 실시되었다. test 결과, 높은 air permeability와 설치 Well의 영향반경이 12m를 나타내어 SVE 공법의 적절성이 확인되었으며 respiration test 결과 또한 다량의 미생물에 의한 분해가 진행되고 있는 점으로 보아 생물학적 처리가 가능하다고 판단되었다. 또한 Chemical test는 H₂O 40L+Fe+2 500mg+ EDTA 500mg+H₂O₂(35%) 40kg의 배합으로 적용하였을 경우, 최적의 산화분해 효율을 나타냄을 확인할 수 있었다.

2.3 공법 적용 및 효율 평가

복원 공법의 적용은 SVE/BV, Soil flushing, Bioremediation, Chemical Oxidation의 순으로 공법 효율을 판단하며 그 변환시기를 결정하여 적용하였다. SVE/BV 공법은 2002년 4월부터 2003년 5월까지 20Hp의 roots blower와 10Hp의 ring blower, 35개의 75mm 추출, 주입관정을 설치하여 적용하였으며 이 때 Well 설치의 영향반경과 복원기간, 복원효율을 고려하여 약 2m 간격의 고정격자형으로 Well screen의 설치 심도를 다르게 하여 복원 효율을 높일 수 있도록 구성하였다. Soil flushing 공법은 2003년 6월부터 2003년 8월까지 Candida 속이 생산하는 biosurfactant를 이용하여 주입정과 추출정을 통해 적용하였다. 이 때 주입은 추출정보다 상부에 위치한 주입정을 이용하였고 중력에 의하여 침출되는 오염물질과 계면활성제는 주입정보다 하부에 설치된 추출정을 통하여 회수하였다. Bioremediation 공법은 Acinetobacter sp., Pseudomonas sp., Bacillus sp., Candida sp를 이용 주입정을 통해 2003년 9월부터 2004년 2월까지 적용하였다. 특히 Bioremediation 공법 적용 기간에는 미압을 지속적으로 오염 지중에 주입하여 호기적 조건을 형성토록 했으며 주기적으로 O₂, CO₂, 지중의 온도 변화를 관측하여 미생물의 활성도를 가늠하였다. Chemical Oxidation은 Fenton's reagent를 이용 2004년 3월부터 2004년 4월까지 총 4회에 걸쳐 Air percussion과 특별 제작한 주입관을 이용 잔존 고농도 지역을 중심으로 적용하였다. 특히 Chemical Oxidation에 적용한 주입관은 Chemical 주입 시 수평확산이 아닌 Bore hole을 통한 수직이동을 막기 위하여 packer를 장착하여 적용하였다. 초기 SVE/BV 공법은 매우 높은 효율을 나타내었으나 공법 적용 후 점차 효율이 저하되는 Tailing 현상이 나타났다. <Fig 5. SVE/BV Tailing 현상> 이후 환경적 조건과 기후 변화, 지점별 복원 진행 사항 등을 고려하여 Soil flushing과 Bioremediation, Chemical Oxidation을 순차적으로 적용하여 초기 124,800mg/kg의 고농도 TPH를 1,243mg/kg으로 저감시키는데 성공하였다. <Fig 6. 공법 적용에 따른 TPH 최대 농도 변화>

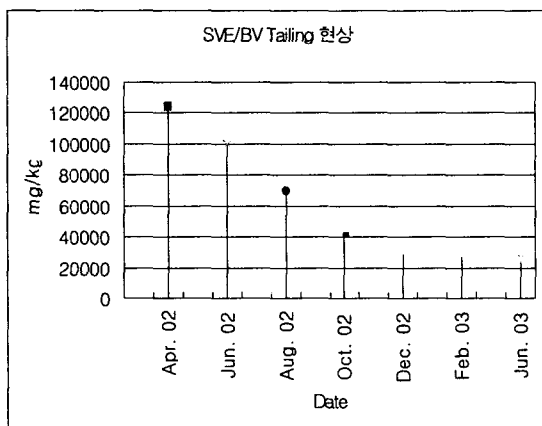


Fig 5. SVE/BV Tailing 현상>

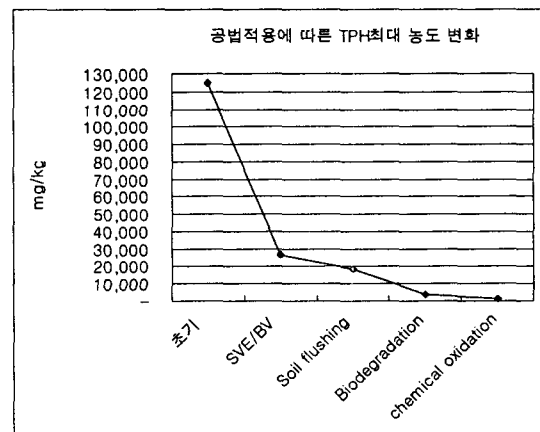


Fig 6. 공법 적용에 따른 TPH 최대 농도 변화

3. 결론

기존의 단일공법을 이용한, 특히 SVE/BV 공법만을 적용하였을 경우, 복원 후기에 Tailing 현상 등에 의한 효율저하 현상이 나타나나 Soil flushing, Bioremediation, Chemical Oxidation 공법 등을 이용, 이러한 효율 저하 현상을 극복할 수 있음을 알 수 있다. 특히 본 연구의 경우 매립부지의 유기물에 TPH 124,800mg/kg의 고농도 오염물질을 이러한 다양한 공법을 적용하여 약 2년여의 기간에 정화한 사례가 될 수 있겠다. 특히 이러한 공법들을 전환하고자 하는 경우에는 지점별 복원 진행 사항에 대한 정확한 monitoring과 기후변화, 환경 특성 변화 등을 고려하여야 하며 본 연구를 더 충실히 하기 위해서 실제 복원 현장을 대상으로 단일 공법을 적용하였을 경우의 대조군을 두어 그 차이를 비교해 보는 연구를 진행할 계획이다.

4. 참고문헌

- ① Environment Agency, 1999. Methodology for the derivation of remedial targets for soil and groundwater to protect water resources, R&D Publication 20. Prepared by Aspinwall & Company.
- ② DETR/Environment Agency, in preparation. Contaminated land research report CLR11. Model Procedures for the Management of contaminated land
- ③ Finnamore, J.R., Denton, B.&Nathanail, P., in preparation. Contaminated land: Financial Risk Management. Construction Industries Research and Information Association, London.
- ④ 박동운, Bioremediation, 한국과학기술정보연구원, 2002
- ⑤ 이민효, 토양·지하수 오염, 동화기술, 2003
- ⑥ 이종열, SVE기술을 이용한 유류오염토양의 지중 처리에 관한 연구
- ⑦ Tom A. Pedersen, James T. Curtis, "Soil vapor extraction technology", Camp Dresser & Mckee inc. Cambridge, Massachusetts, 1991