(사)한국지하수토양환경학회
00년춘계학술발표회 5.26~27

SVE와 Bioventing기술을 이용한 유류 오염토양의 복원

SVE & Bioventing Techniques for the Treatment of Hydrocarbon

김무훈 · 강순기 · 조미영 · 정우성* · 박덕신*

삼성엔지니어링 기술 연구소
*철도기술연구원

ABSTRACT

The purpose of this study is to see the effect of SVE (Soil Vapor Extraction) and Bioventing (biostimulation) hydrocarbon contaminated areas. The removal rate of VOC for three weeks were 17.43 kg on 3.6 m^3/hr at steady-state. In the application of Bioventing, every flow rate were tested, and it was found that 4.0 m^3/hr were adequate for best control of the system. At this stage, the addition of microbial agent accelerated the biodegradation of the hydrocarbon.

Key words : SVE & Bioventing, biostimulation, microbial population and dynamics, biodegradation

I. 서론

오염토양 및 지하수 정화기술에 있어서 몇 가지 선택이 있는데 처리 방법 별로는 크게 in-situ 와 on-situ 또는 ex-situ 방법이 있으며 기술별로는 물리화학적 방법과 열적처리 방법 그리고 생물학적 방법으로 나눌 수 있다. 물리화학적 방법인 토양증기추출법 (Soil Vapor Extraction; SVE)은 불포화층에서의 석유제품내 존재하는 휘발성물질을 제거하는 지중복원 (in-situ remediation)기술이며, 생물학적 방법인 Bioventing은 휘발성이 비교적 낮은 물질인 디젤, 난방유, kerosene 같은 물질처리가 효과적이다.

본 연구의 목적은 디젤과 중금속으로 오염된 복합오염토양지역 JCRO의 복원을 위하여 SVE와 Bioventing기술의 복합 적용을 위해 개발한 Hybrid System을 이용하여 Pilot test를 수행하고, SVE의 적용성 여부를 쉽게 판별할 수 있는 Air permeability test와 공기추출량에 따른 오염물질 제거량과 및 공기주입량에 따른 토양내 미생물의 활성도를 증가시키는 연구를 통하여 오염물질의 처리가능성을 찾고자 하였다.

Ⅱ. 재료 및 실험 방법

1. 조사 대상 지역의 선정

토양 샘플링 장비 Geoprobe-540 M system을 사용하여 각각 5.8 ~ 6.4 m, 6.4 ~ 7.0 m 깊이에서 채취하였으며 시험 방법에 따라 pH, porosity, mass water content (θm), volume water content (θv), organic matter, particle size (%)를 분석하였다.

2. 현장 실험

현장에 적용된 pilot장치는 SVE용 추출정 2기와 Bioventing용 주입정 2기 그리고 이 주위로 감시정 7개가 설치되어 있다. 이외에 Air permeable 측정용 감시정 3개를 깊이별로 별도로 설치하였다.

가. SVE 실험

실험은 SVE 주요 영향인자인 air permeability 실험을 실시하였다. 이를 위해 추출정을 통하여 감압을 실시하고 별도로 설치된 2 m, 4 m, 6 m 깊이의 감압 감시정의 압력강하를 측정하였다. 또한 SVE 운영에 의해 처리되는 VOC 량을 산출하기 위하여 추출 증기의 VOC 변화량도 관찰하였다. VOC 의 측정은 현장에서 portable VOC meter를 이용하여 직접 측정하였다. 표 1에 초기 VOCs의 농도를 나타내었다. MW 6, MW 7이 2000 ppm 이상의 농도를 나타내었음을 알 수 있다.

Table 1. 초기 감시정에서 측정된 최대 VOCs 농도

	VOCs (ppm, Max)
MW1	1,350
MW2	1,670
MW3	1,920
MW4	834
MW5	1,560
MW6	2,140
MW7	2,400

나. Bioventing 실험

(가) Bioventing 현장 실험

오염물질의 분해 경향을 파악하기 위해 각기 다른 속도로 일정 기간 (24 ~ 48 시간) 동

안 공기를 주입한 후 7개의 감시정에서 portable VOC meter를 이용하여 VOCs의 변화를 측정하였다. 또한 Fyrite Gas Analyzer를 사용하여 O_2/CO_2농도를 감시정을 통하여 관측하였다.

(나) 미생물 제재에 의한 Bioventing 실험

미생물 제재를 투입하였을 경우 이에 따른 오염 분해 경향을 보기 위해 24 시간 동안 공기를 주입정에 3.5 ~ 4.5 m^3/h의 유속으로 주입한 후 미생물 제재 50 ml를 2,000배 희석하여 현장에 뿌렸다. 그 후 경과 시간에 따라 주변 3개의 감시정을 통하여 VOCs 및 CO_2의 변화를 측정하였다.

Ⅲ. 실험 결과

1. 조사 지역의 특성

표 2에 조사 지역의 특성을 나타내었다. 표에서 알 수 있듯이 pH는 약 7.0 부근으로 JCRO는 중성을 나타내고 있음을 알 수 있었다. 다공성 수치는 평균적으로 B지역이 A 지역의 41.93 %보다 더 높은 44.59 %를 보였고 , 유기물 함량도 B지역이 약간 더 높게 나타났다. pH가 중성을 나타내므로 일반적으로 미생물이 잘 자랄 수 있는 환경인 p H 7 ~ 8 사이에 있으므로 Bioventing 적용시 이에 따른 제한요소는 없어 보인다.

Table 2. 조사 대상 토양의 물리 화학적 특성

Site	pH	Porosity	θm (%)	θv(%)	OM (%)	Particle Size (%)		
						sand	silt	clay
A-1	7.26	45.56	11.5	16.6	2.13	82.41	10.05	7.54
A-2	7.07	38.29	10.8	17.6	1.45	80.01	9.99	10.00
B-1	6.94	47.09	13.6	19.0	2.56	77.55	14.97	7.50
B-2	7.12	42.08	12.7	19.5	1.96	77.74	14.97	7.29

가. SVE system 시험 가동중 VOC 제거량

SVE기술 적용기간동안 VOC 제거량은 실험기간 중 분당 3.6 ㎥/min의 Steady State로 3주간 SVE 처리를 실시하였고, 추출된 오염농도 기준으로 총량을 산정한 결과는 SVE system으로 총 17.42 kg의 오염물을 제거할 수 있었음을 알 수 있었다.

나. Bioventing 실험결과 및 고찰

각 유량으로 공기를 주입해준 결과 1.0 m^3 /hr로 주입했을 때 O_2 (%)의 변화량은 MW1에서 19.0 %에서 18 %로 약 1 %의 변화율이 있었으며, MW3에서는 20.0 %에서 19.5 %로서 약 0.5 %의 약간의 변화율을 보였고, MW5에서는 20.5 %에서 19.5 %로서 약 1.0 %의 변화율을 보였으므로 산소의 변화가 작다는 것을 볼 수 있다. CO_2 (%)의 경우 최대의 변화값이 0.2 %정도로서 큰 변화율을 볼 수 없었다. 또한 VOC (ppm)변화율도 크게 변하지 않음을 볼 수 있다.

4.0 m^3/hr의 유량으로 공기를 주입해 준 결과는 O_2 (%)의 경우 MW1에서 20.5 %에서 18.0 %로서 약 2.5 %의 감소율을 보였으며, MW3에서는 21.0 %에서 18.5 %로 약 2.5 %의 감소율을 나타내었고 MW5에서는 20.5 %에서 17.5 %로서 약 3 %의 감소율을 보였다. 6.0m^3/hr의 유량으로 공기를 주입했을 경우, 1, 3, 5번의 MW에서 평균 O_2는 3.0 %의 감소율을 보였으며, CO_2는 0.47 %의 증가율을 보였다.

Ⅳ. 결론

SVE기술 적용기간동안 VOC 제거량은 실험기간 중 분당 3.6 ㎥/min의 Steady State로 3주간 SVE 처리를 실시하였고, 추출된 오염농도 기준으로 총량을 산정하였을 때 총 17.42 kg의 오염물을 제거하였음을 알 수 있었다. 즉 VOC 제거를 위한 SVE 기술 적용은 타당한 것으로 평가되었다.

Bioventing기술 적용 실험에서는 실험결과 4.0 m^3/hr 유량으로 공기를 주입했을 때 미생물에 의한 활성도에 따른 생분해율이 가장 높았고, 6.0 m^3/hr 유량과 비교했을 때 큰 차이를 보이지 않았으므로 4.0 m^3/hr의 유량으로 공기를 주입했을 때의 유량이 가장 경제적인 최적의 유량이라 판단된다. 또한 미생물제재 실험에서는 공기를 일정하게 주입하면서 (4.0 m^3/hr) 제재를 일정량 투입할 경우, 기존의 토양보다 활성도가 뛰어난 것으로 판단되었다. 따라서, 미생물제재의 투입이 유류 미생물의 산화 가속화에 긍정적인 역할을 미치는 것으로 나타났다.

참고 문헌

1. 김무훈, 강순기, 정우성, 박덕신, "유류오염지역의 미생물분포 및 활성도에 관한 연구", 대한환경공학회지, 21(11), 2041 ~ 2047 (1999)
2. Kim, Moo-Hoon et. al., "The Use of DPT methodologies for the site characterization in Korea", Proceedings of 4th International Symposium on Environmental Geotechnology and Global Sustainable Development, Boston, Massachusetts, U.S.A. (1999)
3. Kim, Moo-Hoon and L.C Clesceri., "The assessment of the bioremediation potential on MGP soils", Journal of the Environmentally Conscious Design and Manufacturing, New Mexico, U.S.A. 8(2), 35 ~ 42 (1999)
4. 김무훈, 이원권, 박대원., "국내 토양오염 유발시설별 오염현황조사, ㅇㅇ매립지 오염현황조사", 한국폐기물학회지, 15(4), 889 ~ 894 (1998)
5. 김무훈, 곽무영., "국내 토양오염 유발시설별 오염현황조사, XX인근 주유소 오염 현황조사", 한국토양환경학회지, 3(1), 49 ~ 57 (1998)