한국지하수토양환경학회 추계학술발표회
2002년 9월 13일~14일 부 산 대 학 교

효율적인 Bioventing 공정을 위한 모니터링 시스템 개발

문원재, 오영진, 왕성환, 박태주
부산대학교 환경공학과
e-mail: moon0953@hanmail.net

요약문

국내에서는 1990년대 이후부터 주유소 및 유류저장시설 부근의 토양 및 지하수오염에 관한 법이 제정되었으며 그와 관련된 복원 및 정화 기술개발에 관한 연구가 진행되고 있다. 그 중 미생물학적 대사를 이용하는 생물학적복원기술(Bioremediation)은 유류로 오염된 지역에서 정화 및 복원 방법으로 적용되고 있으며 또한 경제적인 대안으로 제시되고 있다. Bioremediation기법중 하나인 bioventing은 운전 및 처리비용의 감소와 효율의 향상적인 측면에서 여러 연구자들에 의해 수행되고 있다. 기존에는 오염토양에 대한 물리·화학적 분석과 미생물 활성에 미치는 인자의 측정이 주를 이루었다. 그러나, 최근에는 토양 가스내 CO_2, O_2의 측정·분석을 통한 분해율 평가와 탄화수소 분해에 대한 경과 및 복원시간을 예측하고자 하는 연구가 이루어지고 있는 중이다.

본 연구의 목표는 유류오염지역을 복원하기 위한 기술 중 생물학적 복원기술(bioremediation)의 하나인 bioventing 기술의 국내 적용가능성을 알아보고 궁극적으로 국내 실정에 적합한 bioventing공법의 개발을 목표로 한다. 이를 위해 lab-scale bioventing process를 이용하여 생부해를 최대화시키고 오염성분의 휘발을 최소화시키는 bioventing system의 최적운전 mode(연속식, 간헐식)를 개발하기 위해 공기공급량과 생분해량, 그리고 휘발되는 탄화수소양과의 관계를 평가하는 연구를 수행하였다.

1.서론

오늘날 기름 유출에 의한 지하수와 토양의 오염이 증가추세에 있는 실정이다. 이렇게 종종 발생할 수 있는 석유유출 때문에 토양에서 나타나는 결과는 심각하다. 실제로 이는 토양 표면층을 상당히 악화시키고 대·소규모의 생태계를 철저히 교란시킨다. 한국토양환경학회가 1999년 조사한 바에 따르면, 국내에는 약 5,800개의 주유소 지하저장탱크가 노후로 인하여 유류오염물이 유출, 토양이 오염되었을 것으로 예측되고 있으며, 석유 및 유독물질 관련시설 주변의 토양, 폐기물매립지, 폐광산지대, 군부대 지역등 토양오염 우려지역이 최고 7256개에 달하는 것으로 추정되고 있다.

1996년 토양환경보전법이 제정되면서 토양오염의 정화 및 복원에 대한 규제가 강화되고 복원기술에 대한 개발 및 연구가 활발히 진행되고 있다. 생물학적 복원기술은 미생물을 이용하여 유해성 유기물질을 미생물체(biomass), 이산화탄소와 물로 무해화처리하는 것이기 때문에 유류오염토양을 복원하는 기술로 많이 사용되고 있다. 생물학적 복원기술중 하나인 Bioventing은 유류오염토양에 공기를 공급하여 토양내 토착 미생물의 활동을 촉진시키고 생분해도를 높이는 생물정화기술이다. 주로 휘발성이 낮고, 생분해도가 높은 디젤, 제트류 등의 유류로 오염된 토양을 처리하는데 많이 이용되어 왔다(EPA, 1995).

본 연구의 목적은 유류오염지역에 적용된 bioventing이 보다 효율적이며 효과적인 공정이 될 수 있도록 현장에서 단기간내에 측정 및 판단을 할 수 있는 실시간 모니터링 시스템을 개발하는 것

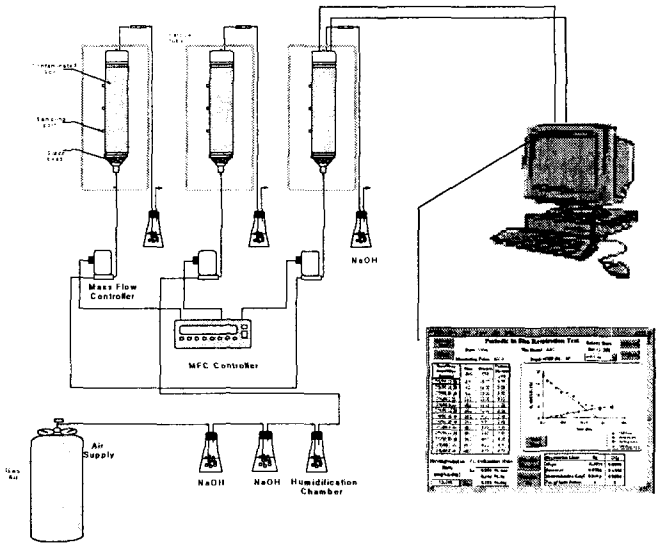
이다. 지중내 호기성 조건하에 오염물질에 대한 분해율은 bioventing공정성능에 대한 중요한 지표이므로 분해율을 모니터링 할 수 있는 on-line 시스템을 개발하려고 한다.

2. 실험재료 및 방법

본 연구에 사용된 실험장치는 크게 Lab 규모의 bioventig system과 on-line 모니터링 시스템으로 나뉘어 진다.

Bioventing system은 Fig.1과 같이 원통형 반응기, 습윤기(Humidifier), MFC & MFC 제어기, CO_2 제거장치, 활성탄튜브 등으로 구성되어 있다. 반응기는 내경 10cm, 높이 60cm이며 재질은 이중 재질의 유리이며 반응조 용적은 4.7L인 원통형 칼럼으로, 외부 샘플링포트가 대략 15.5cm간격으로 3곳이 되도록 제작되었다. 직경이 1.5cm인 일정한 유리구슬을 이용하여 높이가 60cm 칼럼내에 채워진 토양으로 일정한 공기의 주입이 이루어지도록 하였으며 칼럼의 잔여부분에 토양을 채웠다. 공급되는 공기중 CO_2를 제거하기 위하여 $Ba(OH)_2$를 통과시켰다. $Ba(OH)_2$은 공기 중 CO_2를 질량의 25-30%까지 제거할 수 있기에 이를 1차 CO_2제거 트랩으로 사용하였고 여기에서 제거하지 못한 CO_2는 4N NaOH 100mL를 이용하여 2차 CO_2제거장치에서 제거하도록 하였다. CO_2제거장치을 통과한 공기는 습윤기(Humidifier)를 거쳐 수분이 포화된 공기공급에 의해 오염된 토양의 수분이 증발되는 것을 최소화하였다. 반응기를 통과하고 나온 배가스는 활성탄튜브를 통과시켜 디젤내 휘발된 유기화합물이 포집되도록 하였다. 반응기 양 끝 부분에 칼럼을 완전히 밀폐시켜 주입되는 공기외의 다른 영향을 배제하도록 장치하였다. 주입되는 공기유량은 MFC Controller를 통해 조절될 수 있도록 설치하였으며 반응기는 25±2.5℃에서 유지되었다.

On-line 모니터링 시스템은 토양가스내 산소, 이산화탄소 농도를 측정할 수 있는 전자적 기기로 이루어진 센서부문, 센서에서 입력된 수치가 다시 컴퓨터내 데이터로 전환되어 저장되는 저장장치, 그리고 데이터 저장장치에 저장된 수치가 컴퓨터 모니터상에서 실시간 측정 및 판단할 수 있는 data-base 시스템 등으로 구성되어 있다. 샘플링 포트에서 15.5cm간격으로 각 3곳과 Off-gas가 나가는 곳으로 총 4곳을 샘플링 포트로 하여 포트를 통해 나오는 기체 속의 O_2 와 CO_2를 In Situ respiration program을 이용하여 생분해 정도를 판단한다.



3.운전 조건

연구 개발 목적		운전조건				
		Air flow rate (cc/min)	Field capacity (%)	pH	Nutrient level (C:N:P)	O_2 concen. (%) in soil
모니터링 시스템	연속식	5cc/min	60-80	채취토양 조건	100:10:1	-
	간헐식(6hr aeration/ 6hr stop)	5cc/min	60-80	〃	100:10:1	-

4.참고문헌

J. Bachman, S.M. Kanan, H.H. Patterson, 2001, "Monitoring laboratory-scale bioventing using synchronous scan fluorescence spectroscopy:analysis of the vapor phase: Environmental Pollution, 113, 155-162

G. Carbonell, M.V. Pablos, P. Garcia, C. Ramos, P. Sanchez, C. Fernandez, J.V. Tarazona. 2000. "Rapid and cost-effective multiparameter toxicity tests for soil microorganisms" , The Science of the Total Environment 247, 143-150

R, Ryan Dupont and Thimappa Lakshmiprasad. 1999. "Operation mode Impacts · on Bioventing system performance" , In Situ Bioremediation of Petroleum Hydrocarbons and Other Organic Compounds. Battelle Press, Columbus, OH, 183-188

G. malina, J.T.C. Grotenhius and W.H. Rulkens. 1999. " Cost-effective bioventing of kerosene contaminated soil" , In Situ Bioremediation of Petroleum Hydrocarbons and Other Organic Compounds. Battelle Press, Columbus, OH, 195-200

G. malina, J.T.C. Grotenhius and W.H. Rulkens. 1999. " Effective use of air during bioventing of model hydrocarbons" , In Situ and On-Site Bioremediation, Battelle Press, Columbus, OH, 195-200

M.T. Balba, N. Al-Awadhi, R. Al-Daher, 1998, " Bioremediation of oil-contaminated soil:microbiological methods for feasibility assessment and field evaluation" , Journal of Microbiological Methods, 32, 155-164