

위생과 환경

**디젤류가 오염된 토양에서 공기주입법으로 처리한
토양 판별 인자들의 변화**

김영암* · 노종수** · 이동선*** · 이용희****

(주)한신환경* · 동의과학대학 의무행정과** · 건강미용계열***

동의대학교 기초과학연구소****

〈초록〉

인공적으로 디젤류에 오염시킨 5kg의 토양이 충전된 두 개의 실험 column을 이용해서 외부 온도변화 효과를 최소화하기 위해서 $25^{\circ}\text{C}\pm 2.5$ 로 유지시켰으며, 유량속도도 10 ml/min로 일정하게 유지시켰다. 또한 수분은 활동범위 능력의 60~80%에서 유지시켰다. 따라서 연속식과 간헐 주입식 모드를 운전비용의 감소 및 효율의 향상 측면에서 모드의 평가를 위한 방법으로 이용 기간 동안 총세균 수, 유류분해균 수의 변화, 탈수소효소 활성도의 변화 추이 분석을 하였다. 두 venting 모드별로 본 총 중속영양균 수와 유류분해균 수는 모두 대등한 성장률을 보였으며, 반응일 수에 따라 비교된 탈수소효소 활성도 반응 90일 동안 비슷한 활성을 유지 했다.

1. 서론

환경오염은 물, 공기 뿐만 아니라 토양에 이르기까지 다양한 경로를 통하여 생태계에 영향을 미치게 된다. 토양오염은 환경에 대한 그 영향이 느리게 나타나는 특성 때문에 주유소, 지하 유류저장소 및 군부대로부터 유출되는 각종 유류가 토양에 흡착되거나 비수용성 액체상태로 남아 토양과 지하수에 장기적인 오염원이 되고 있다. 이러한 유류오염물 중에서도 토양오염의 주된 원인이 되고 있는 디젤(diesel)은 휘발성과 용해도가 낮은 것에 비해 생분해도가 높기 때문에 생물학적 처리법이 많이 이용된다. 그래서 이러한 생물학적 정화기술의 연구개발이 현재 활발하게 진행되고 있다. 퇴비화(composting)나 토양경작법(landfarming)에 대한 연구들이 많이 진행되고 있다. 그러나 이러한 공법들은 모두 오염토양을 굴착하여 처리하는 지상(ex-situ) 기술로서 토양을 굴착하는 데에 많은 토공비가 소요될 뿐만 아니라 넓은 부지의 오염토양이나 건축 구조물들이 들어서 있는 주 요소에 적용하는 데에는 한계가 있다. 그러므로

오염부지를 굴착하지 않고 처리하기 위한 지중(in-situ) 기술들에 의한 정화가 필요하다. 본 연구에서는 비휘발성 유류물질인 디젤을 지중에서 비교적 빠른 시간에 효과적으로 처리할 수 있는 대안기술을 개발하기 위해 bioventing공법을 이용해서 venting mode에 대한 비교를 수행했다. 그리하여 경제적이고 효율적인 모드를 제시하여 실제 유류오염지역에 대한 적용성에 대한 기초자료로 삼고자 한다.

2. 재료 및 방법

사용된 실험장치는 Fig. 1과 같다. 그리고 운전조건은 Table 1과 같이 했다. 이때 연속식의 측정간격은 15일 간격, 간헐식은 30일 간격으로 측정하였으며, venting 모드에 따른 복원판별 인자의 변화를 보기 위해 반응 90일 동안 유류분해균수의 변화를 관찰하였다. 사용된 실험토양의 특성은 Table 2와 같으며, Table 3은 질소 및 인 성분의 기타 영양원이 존재하는 지를 알아본 것이다. 인공배양된 미생물 첨가의 영향을 살펴보기 위하여 토양에서 분리해 낸 미생물(*Acinetobacter clacoaceticus*)를 10ml의 LB배지에 접종하여 180rpm, 30°C에서 1일 배양 후, 1000ml의 LB배지에 10ml의 배양액을 재접종하여 배양시켰다. 배양된 미생물의 농도를 OD600=0.2로 맞추어 수분함량 조절과 동시에 토양에 주입하였다. 토양내 CFU측정은 동일 배지를 사용하여 1 주일간 배양 후 균수를 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

1. 총종속 영양균수의 변화 - Figure 2에서 연속식은 반응 15일 이후 빠른 성장률을 보였으며, 60일 이후로는 성장률이 둔화되는 경향을 보이고, 간헐식의 경우는 반응 초기 이후부터 급격한 성장률을 보이다가 60일 이후 연속식과 마찬가지로 성장률이 둔화되었다. 이것으로 반응 60일 까지는 미생물의 순응도와 탄화수소 분해능력이 계속 진행되다가 이후 영양염이나 기질의 부족으로 성장률이 둔화된 것으로 생각된다. 전체적으로 간헐식이 연속식과 비교해서 대등한 성장률을 보였는데 이것으로 두 모드(연속식, 간헐식)에서 복원모니터링인자로서 총종속영양세균수에 대한 결론을 내리면 두 모드에서 반응초기 값을 제외하고 반응 30일 이후부터는 두가지 venting 모드에서의 값들이 거의 비슷한 값에 수렴하였다.
2. 유류분해균수의 변화 - Figure 3에서의 결과는 유류분해균수도 총종속균수와 마찬가지로 반응 60일까지 성장률이 증가하다가 이후 둔화되는 경향을 보였는데 이는 영양염이나 기질의 부족에 기인한 것으로 생각되었다. 이상으로 두 모드에서 복원모니터링인자로서 유류분해균수에 대한 결론을 내리면 두 모드에서 반응초기 값을 제외하고 반응 60일 이후부터는 두가지 venting 모드에서의 값들이 거의 비슷한 값으로 감소되는 것으로 관찰되었다. 그리고 앞에서 제시한 그림인 총종속영양세균수에서 마찬가지로 하루에 12시간씩(6hr injection/6hr rest)를 주입한 간헐식 venting 모드를 적용하여도 bioventing 공정에

큰 영향을 끼치지 않았다.

3. 탈수소효소 활성도(dehydrogenase activity)의 변화 - Figure 4는 전체적으로 탈수소효소 활성도가 앞에서 측정한 총종속영양균수나 유류분해균수와 대칭적인 형태를 보여주고 있다. 또한 venting 모드 별로 비교해 보면 반응 90일동안 두 모드는 비슷한 활성을 보였다. 영양염이 첨가된 조건에서 이와같이 생물학적 활동이 감소되는 것은 미생물에 의해 이용될 수 있는 기질과 영양염등의 부족에 기인한다고 생각된다.

4. 결론

본 연구에서는 효과적인 venting 모드를 개발하기 위해 bioventing 공법을 연속식, 간헐식으로 나누어서 운전한 후, 그 결과를 비교했다. 두 venting 모드의 분해속도상수를 비교해보면 간헐식이 연속식에 비해서 상대적으로 높았고, 총종속영양균수와 유류분해균수는 모두 대등한 성장률을 보였다. 또한 venting 모드 별로 반응일 수에 따라 비교된 탈수소효소 활성은 반응 90일 동안 비슷한 활성을 유지했다.

<참고문헌>

1. R. C. Sims, Soil remediation techniques at uncontrolled hazardous waste sites; a critical review. Journal of the air & waste management association, vol. 40, No. 5, pp.704-732, 1990.
2. K. S. Jorgensen, J. Puustinen, A. M. Suortti, Bioremediation of petroleum hydrocarbon contaminated soil by composting in biopiles. Environmental Pollution, Vol. 107, pp.245-254, 2000.
3. M. M. Lame, J. Haario, K. S. Jorgensen, Microbial functional activity during composting of chlorophenol contaminated saw mill soil. J. Microbiological Methods, Vol. 30, pp.21-32, 1997.

Fig 1

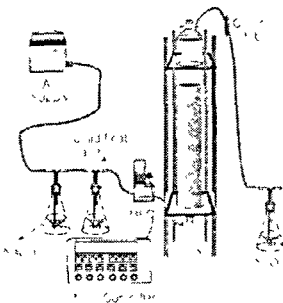
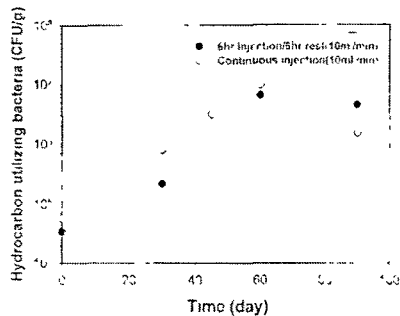


Fig. 2



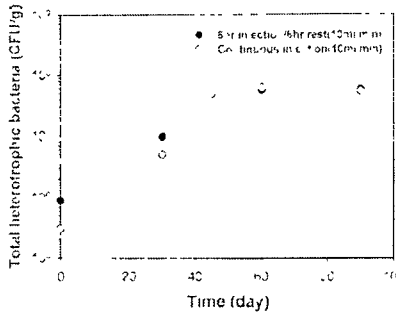


Fig. 3

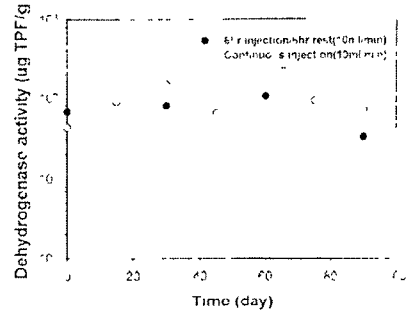


Fig. 4

Table 1. Operation conditions in continuous and intermittent mode.

Operation mode	Operation condition				
	Initial TPH Concentration (mg/kg)	Temperature (°C)	Field Capacity (80%)	Nutrient (C : N : P)	Electron acceptor
Intermittent (10 ml/min)	7,345	25	60-80	100:10:1	Air
Continuous (10 ml/min)	7,064				

Table. 2 Characteristics of the experimental soil samples

Parameter	Sample soil
Soil Texture	Sand (Sand: 94.5%, Salt: 5.5%)
Soil pH	6.8±0.3
Field Capacity (cm/m, %)	15.5~16.5
Soil Porosity(%)	46.5~49.3
Organic matter(%)	2.16~2.38
Particle Density(g/cc)	2.13
Bulk Density (g/cc)	1.14
N(g/kg)	0.05g/kg
P(g/kg)	0.26g/kg

Table 3. Chemical composition of the soil by x-ray fluorescence spectrometer.

Constituent	Value(%wt)	Constituent	Value(%wt)
S_iO_2	61.235	T_iO_2	0.512
Al_2O_3	22.541	Y_2O_3	D
Fe_2O_3	4.124	S_rO_2	D
M_nO	0.123	Y_2O_3	D
C_aO	0.745	Z_nO	D
M_gO	0.654	Z_rO_2	0.12
K_2O	3.156	Rb_2O	D
Na_2O	3.654	SUM	99.98
P_2O_5	0.089	L.O.I.	3.026