

# 지중오존산화시 토양유기물질과 수분이 토착미생물의 생존과 재성장 미치는 영향

손규동 · 정해룡 · 최희철 · 김수곤\* · 양지원\*\*

광주과학기술원 환경공학과 · \*한국환경기술(주) · \*\*한국과학기술원 생명화학공학과 (ah1492@kjist.ac.kr)

## <요약문>

This study was carried out to investigate the effect of soil properties, such as soil organic matter (SOM) content and water content on die-off and regrowth of indigenous microbes due to in-situ ozonation. Four different soils were collected and the soil samples applied to different ozonation time (0~360 min) were incubated during 4 weeks. Population of the indigenous microbes was monitored during incubation period. The number of indigenous microbes in all samples dramatically decreased (more than 90%) within 30 minutes of ozone injection. With increased ozonation time by 360 minutes, the number of the indigenous microbes decreased by 99.99% in all samples. Die-off of the indigenous microbes due to ozone treatment was inversely proportional to SOM and water content. Especially, sample 3 and Sample 4 containing relatively high SOM content and water content showed high regrowth rate, and this resulted from the increase of water soluble and biodegradable organic fraction in soil water after ozone treatment. Soil sample ozonated for 360 minutes showed minor increase in microbial population during 4 weeks of incubation period.

**key word:** in-situ ozonation, water content, soil organic matter (SOM), indigenous microbes.

## 1. 서론

지중 오존산화기술(In-situ ozonation)은 강력한 산화력을 가지는 오존을 오염물질이 존재하는 토양내로 주입하여 오염물질을 제거하는 기술로서 현재 그 적용성이 확대되고 있는 화학적 산화공정(In-situ chemical oxidation: ISCO)중의 하나이다. 특히 기상오존은 불포화 토양 내에서 이동이 용이하기 때문에 난분해성 유기물질로 오염된 불포화 토양을 복원하는데 효과적인 것으로 알려져 왔다.<sup>1~3)</sup> 토양미생물, 토양수분, 토양유기물 등과 토양환경은 주입된 산화제의 이동특성과 오염물질제거특성에 많은 영향을 미칠 뿐만 아니라 이들 토양환경들도 산화제에 의해 큰 영향을 받게 된다. 특히 토양미생물은 토양 생태계에서의 중요한 구성성분으로서 산화제에 의한 토양미생물의 변화특성에 대한 연구가 많은 관심을 받고 있다. Lute<sup>4)</sup> 등은 오존 주입이 토착미생물의 생존능력(viability)을 급격히 감소시킨다고 보고하였다. 생물학적 처리공정은 물리·화학적 처리공정에 비해서 경제적이기는 하나 오염물질이 고농도이거나 난분해성 물질인 경우 효과적인 제거율을 기대하기 어렵다. 따라서 화학적·생물학적 처리공정

의 조합이 보다 넓은 범위의 오염물질을 제거하는데 유용하게 이용될 수 있다. 많은 연구자들이 탄화 수소(hydrocarbon) 로 오염된 토양을 처리하는데 이들 두공정의 조합이 보다 경제적이고 효율적임을 보였다.<sup>5-6)</sup> 그러나 과도한 산화제의 주입이 토착미생물의 수에 영향을 미칠 수 있고, 이러한 미생물의 생존과 재성장을 은 토양의 구조(texture), 토양유기물(soil organic matter: SOM), 토양수분(soil water) 등에 따라 다양할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 지중 오존산화기술을 적용하였을 경우에 SOM과 토양수분이 토착 미생물의 생존과 재성장에 미치는 영향을 파악하기 위해 토양칼럼실험을 실시하였다.

## 2. 실험 방법

토양 시료는 G시 본촌산업단지내의 현장에서 토양 깊이 및 SOM 농도에 따라 채취 하였다. 실험에 사용한 토양 특성을 Table 1에 나타내었다. 채취한 토양시료는 즉시 미생물 분석을 실시하였으며, 남은 시료는 4℃냉장 보관 하였다. 토양칼럼은 길이 10 cm, 직경 2.5 cm 인 유리칼럼을 사용하였으며, 시료를 분할 충전 한 후 태핑(tapping)을 반복하여 균일한 밀도를 가지도록 하였다. 불포화 토양 내에서 토양시료에 따른 오존 이동특성을 알아 보기위하여 Fig. 1에 나타낸 것과 같은 OTC(open through column) 시스템을 구축하여 실험을 실시하였다.

Table 1. Characteristics of soil sample

Soil Property	Sample 1	Sample 2	Sample 3	Sample 4
Porosity	0.30	0.30	0.30	0.30
Water Content(w/w)	25.30	34.70	25.10	23.30
Depth(cm)	0~25	40~70	100~126	150~190
pH	5.24	5.12	4.93	4.62
Soil Texture	Silt Loam	Silt Loam	Silt Loam	Silt Loam
Carbon Content(w/w)	0.446%	0.662%	0.938%	0.927%
Nitrogen Content(w/w)	0.056%	0.072%	0.059%	0.063%
Air Permeability(cm <sup>2</sup> )	1.72E-08	7.74E-09	1.50E-08	1.33E-08
SOM	1.76	2.17	2.42	2.31

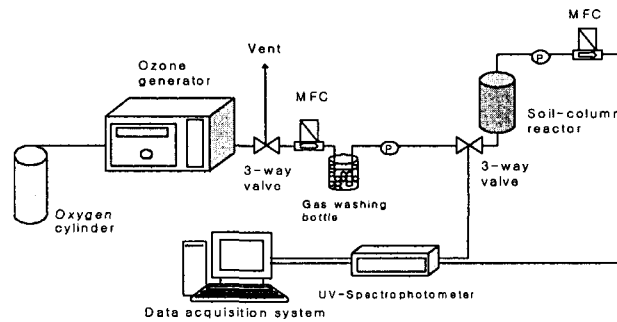


Fig.1. Schematic of the experimental setup

## 3. 실험 결과

### 3.1 오존이동에 대한 SOM과 수분의 영향

불포화 토양 내에서 오존이동에 의한 유기물 및 수분의 영향을 알아보기 위하여 오존의 파과곡선을 Fig. 2에 나타내었다. 기상 오존의 이동은 SOM이 많은 sample 3과4에서 지체되는 것을 알수 있었다.

이와 같은 결과는 SOM과 오존의 높은 반응성으로 인해 오존이 분해 되었기 때문이며, sample 2에서 빠른 파과곡선을 보이는 것은 함수율이 증가할수록 토양입자 표면에 형성된 수막이 오존과 SOM의 반응을 방해하기 때문인 것으로 판단된다. 그러나 토양수분이 증대되면, Table 1에서 보는바와 같이 공기 투과도(air permeability) 또한 급격히 감소되기 때문에 오존의 이동에 영향을 미치게 된다. 토양수분이 가장 높은 sample 2에서 공기투과도가 가장 낮은 값을 나타내었지만 본 연구에서는 SOM이 토양수분보다 기상 오존의 이동에 크게 영향을 미친 것으로 판단된다.

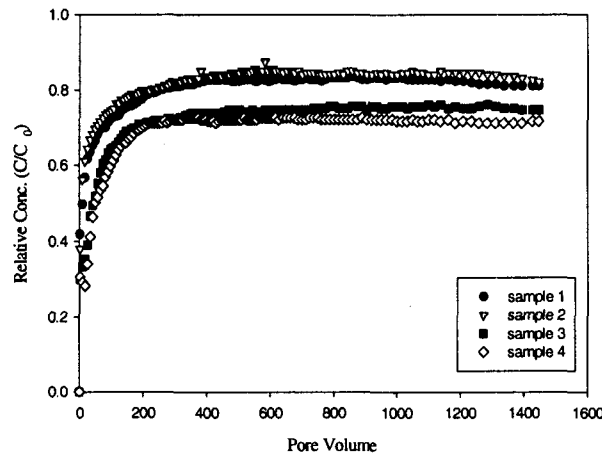


Fig. 2. BTCs of ozone in each sample as a function of pore volume

### 3.2 오존산화에 의한 미생물의 사멸율과 재성장율.

모든 sample에서 토착 미생물의 90% 이상이 오존주입 30분 이내에 감소하였으며, 토착미생물의 사멸율은 토양수분 보다는 SOM에 크게 영향을 받는 것으로 나타났다. Fig.3에서 보는바와 같이 SOM이 낮은 sample 1과 sample 2에서 가장 높은 치사율을 보였지만, 360분의 오존산화 후에는 모든 토양시료에서 99% 이상의 치사율을 나타내었다. 미생물의 재성장율에 있어서는 360분 동안 오존을 주입한 토양시료에서 가장 낮은 재성장율을 나타내었다. 그러나 180분 동안 오존을 주입한 토양시료에서는 배양기간동안 미생물수가 증가하였다. 이와 같은 결과는 오존과 SOM과의 반응으로 인해 토양수분내로 친수성(hydrophilic), 생분해 가능한 (biodegradable) 유기물질의 용출이 증가되었기 때문을 판단된다. Fig.4에서 나타난 바와 같이 SOM 함량이 높은 sample 3과4에서 높은 재성장율을 나타내었다.

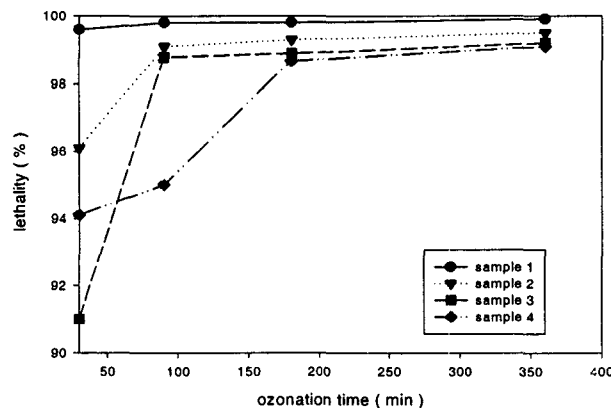


Fig. 3. Lethality of each sample

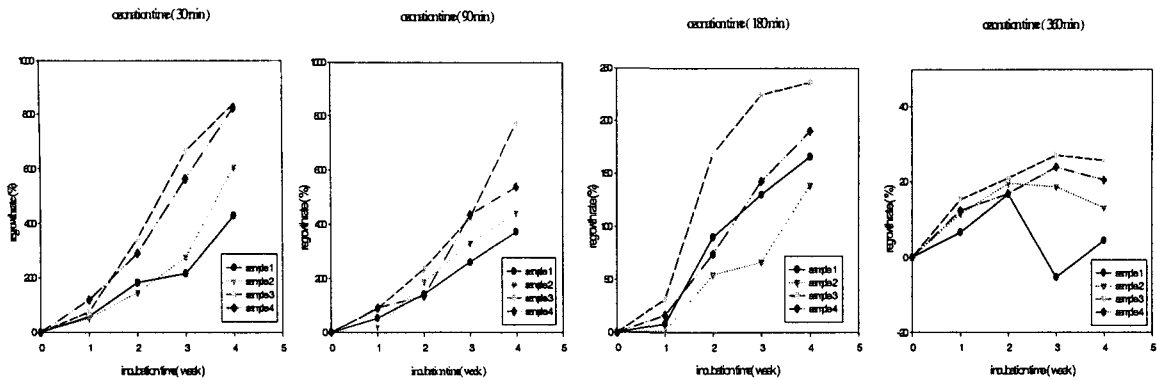


Fig. 4. The change of regrowth rate with incubation time

## 4. 결론

1) 본 연구에서는 기상오존의 이동이 토양수분보다는 SOM의 함량에 더 크게 영향을 받았는데, 이는 SOM과 오존과의 높은 반응성으로 인해 오존의 분해가 가속화되었기 때문으로 판단된다. 그러나 토양 수분함량이 필요이상으로 높으면 air permeability 가 급격히 감소하기 때문에 오존의 이동에 영향을 미칠 것으로 판단된다.

2) 수분함량과 SOM이 높은 sample에서 토착미생물의 사멸율이 낮았으며, 토양유기물 함량이 높은 sample 3과 4에서 높은 재성장율을 나타내었다. 그리고 360 분간의 오존 처리 후에 모든 sample에서 가장 낮은 재성장율을 나타내었다.

## 감사의 글

본 연구는 '2003년도 차세대 핵심환경기술개발사업'의 연구과제로 수행되었으며, 연구비를 지원해주신 환경부에 감사드립니다.

## 참고문헌

- 1) Susan J. Masten and Simon H.R. Davies: Efficacy of in-situ ozonation for the remediation of PAH contaminated soils. J.contam. Hydrology,28,pp327-335(1997).
- 2) G.Ohlenbusch., S. Hesse, F., and F.H.Frimmel: Effects fo ozone treatment on the soil organic matter on contaminated sites. Chemosphere, 37, pp 1557-1569(1998)
- 3) Lute, James R., Skladany, George J. and Nelson, Christopher "Evaluating the effectiveness of ozonation and combined ozonation/bioremediation technologies",The 2nd International Conference on Remediation of Chlorinated and Recalcitrant Compounds, Monterey, California, U.S.A., May 22-26.(2000).
- 4) Kyoungphile Nam and Jerome J.Kukor: Combined ozonation and biodegradation for remediation f mixtures of polycyclic aromatic hydrocarbons in soil, biodegradation,11p1-9
- 5) Yu Zeng., P.K. Andrew Hong, and David A.Wavrk: Chemical - Biological treatment of pyrene, water Res, 34 pp 1157-1172.