

2-Chlorophenol에 오염된 토양을 현장에서 처리하기 위한 Ozone-Venting 공정

김정선, 하현정, 김현승, 김일규
부경대학교 환경공학과
kijusun@msn.com

요 약 문

The feasibility of treating 2-chlorophenol (2CP) contaminated soils with ozone venting was investigated in this research. Adding ozone to the existing air-venting process provides an alternative to achieve a complete in-situ treatment by oxidizing the contaminant in the process. A column study with artificial soil was used to simulate the venting process. Ozone concentrations at 2.4, 7.6 and 19.4 mg/L, and flow rates at 100 and 150 mL/min were used. The reaction times were 10, 20, 50, and 60 minutes. Blank samples using air venting were also run for comparison. It is obvious that ozone-venting had a much faster removal rate than air-venting. As higher concentration of ozone is applied, the reaction rate increased significantly. As higher concentration was applied, the flux of ozone to the liquid film increased. This also increased the removal rate of 2CP and therefore the breakthrough curve came out earlier.

key word : 2-Chlorophenol(2CP), Ozone-venting, air-venting, breakthrough curve

1. 서론

Ozone-Venting방법은 현장 처리 방법으로서 air-venting 방법보다 더 효과적인 산화방법으로 알려져 있다. air-venting 방법의 효율은 기체상과 액체상 사이에 물질 전달에 의해서 제한되는데, 화학적 조성과 공기 유량이 반응의 물질 전달에 큰 영향을 주는 영향인자이다. 오존은 매우 강력한 산화제로서 매우 많은 종류의 유기화합물과 반응을 일으킬 수 있다. 오존의 산화반응은 2가지로 나뉘어진다. 첫째 반응은 직접적인 오존 산화 방법이고 둘째 반응은 오존 분해과정 시 발생하는 자유 래디칼 반응이다. 직접적인 오존 산화 반응은 매우 선택적인 화학반응이며 느린반응이다. 그런 반면 오존 분해반응 동안 생성되는 OH 래디칼은 유기 화합물과 매우 빠르게 반응하며 직접적인 오존 반응보다 매우 많은 화합물과 반응한다. 지금까지 많은 종류의 유기화합물과 오존과의 반응이 연구되어 왔다. 많은 종류의 연구 중에서도 오존은 2CP 용액과의 반응에서 매우 큰 반응 상수를 가지는 것으로 보고되었다. 기존의 air-venting 시스템에 오존을 첨가함으로써 air-venting 시스템의 단점을 극복할 수 있다고 예상된다.

오존 반응에서 가장 주된 반응은 산화반응이다. 오존 반응에서 주된 물질 전달은 가스상에서 액상인데 반해 air-venting에서의 물질 전달은 주로 액상에서 가스상으로 된다. 가스 유포확산 이론에 따르면 액체 필름에 존재하는 2CP와 오존의 빠른 반응은 물질 전달을 크게 증가시킬 수 있다. 이 연구에서 우리는 Ozone-venting 공정의 효율성을 입증하기 위해 칼럼 실험을 수행하였다.

2. 본론

실험에 사용된 토양 샘플, 2CP, 오존에 관한 정보는 Table 1.에 소개되어 있다. 실험에 사용된 토양은 표준 체 #20(0.031 inch opening)으로 체질하여 90%의 모래(Quikrete Co.)와 10%의 고히토(Georgia Kaolin Co.)를 사용하였다. 2CP는 Aldrich 회사로부터 구입하였다. 토양은 사용하기 전에 수분을 제거하기 위해 100°C 오븐에 하루 동안 건조시킨다. 잘 혼합된 시료 샘플을 얻기 위해서 1g/l의 2CP 용액과 건조된 토양을 유리 시료 병에서 잘 섞은 후 전체 시료의 수분 함유량이 12%가 되도록 조절하였다. 실험 전에 임의로 샘플을 분석하여 2CP가 토양에 골고루 분포하였는지 조사하였다. 토양 안에 2CP의 양을 분석하기 위하여, 3g의 토양을 시험관에 넣고 1N H₂SO₄용액 3ml와 헥산 9ml를 넣는다. 샘플을 하루동안 셰이커로 혼합하여 토양으로부터 2CP를 추출하고 헥산층을 255nm UV를 사용하여 분석하면 2CP 농도를 얻을 수 있다. 오존 발생기는 Welsbach 회사에서 구입하였고 수냉식 시스템을 가지고 있다. 오존 압력과 유량은 발생기로 조절 할 수 있다. 실험 장치는 아래에 있는 Fig 1.에 서술하였다. 칼럼의 입구와 출구의 오존 농도는 요오드 법에 의해서 측정되었다. KI용액이 담긴 흡수병을 이용하여 오존을 포집하여 분석하였다. 대부분의 실험은 100ml/min의 유량을 주로 사용하였고, 다른 유량도 사용하여 실험해보았다. 미리 계산된 시간 간격에 따라 각기 다른 칼럼 깊이에서 토양 샘플을 채취 하여 2CP의 농도를 분석하였다

Parameter	Value
Interfacial areal	34.45 cm ² /cm ³
Henry ' s constant of 2CP	10 ^{-3.14}
Reaction rate constant	37.88(mol/L) ⁻¹ s ⁻¹
Diffusion coeff. Of O ₃	1.712×10 ⁻³ cm ² /s
Diffusion coeff. Of 2CP	0.932×10 ⁻³ cm ² /s
Henry ' s constant of O ₃	4570 atm mole-fraction ⁻¹

Table 1. 토양, 오존, 2CP의 중요한 변수

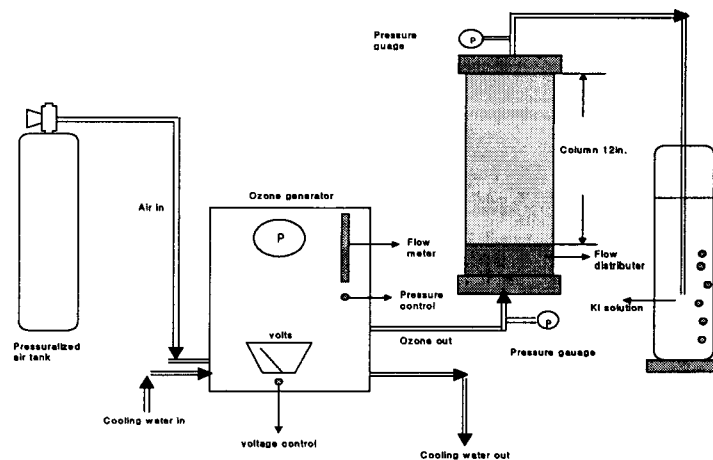


Figure 1. 실험장치

3. 결론

각기 다른 칼럼 깊이에서 얻은 토양을 분석하면 Fig 2.에 나타난 것과 같은, 전형적인 2CP의 농도 profile을 얻을 수 있다. 실험 초기 단계에서는 2CP의 칼럼에 균등하게 포집되어 있는 것을 알 수 있다. 그러나 오존 반응 시간이 증가하면서 농도 곡선은 수직축 가까이 접근한다. 시간에 따른 잔류 2CP의 양은 시간의 함수로 나타날 수 있다. Fig 3.은 유량 100ml/min일 때 오

존농도 변화에 따른 잔류 2CP의 양을 나타낸 것이다. Ozone-venting이 air-venting에 비해 훨씬 빠르게 2CP를 분해시키는 것을 알 수 있다. 오존 농도가 높아질수록 반응속도도 매우 높아짐을 알 수 있다. Fig 4.는 동일한 오존농도 조건에서 변하는 기체 유량의 영향을 나타내고 있다. 기체 유량이 증가할수록 제거율도 증가하는 것을 알 수 있는데, 이것은 기체 유량이 빠르면 빨라질수록 가스상과 액상에 2CP의 농도차가 커지기 때문이다. 또한 공기의 흐름이 빨라질수록 토양 입자 위의 2CP의 증발이 빠르게 일어난다. Fig 5.는 오존의 breakthrough point를 나타내는 것인데 오존의 breakthrough curve는 칼럼 출구에 오존농도를 분석함으로써 구할 수 있다. 높은 농도의 오존이 칼럼에 주입될수록 액상으로의 오존 전달이 증가함을 알 수 있다. 따라서 토양 입자에 존재하는 2CP의 제거율이 커지고 breakthrough point에 도달시간은 단축됨을 알 수 있다.

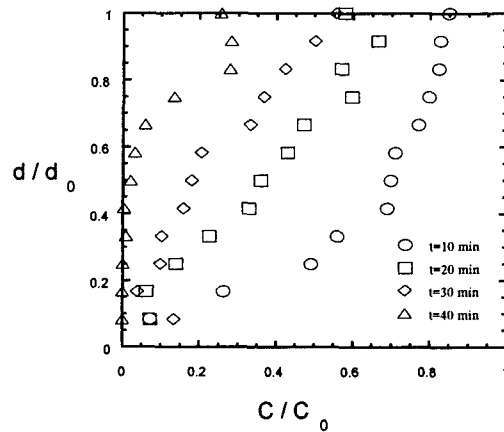


Figure 2. 칼럼 깊이에 따른 2CP의 농도 Profile

(유량 :100ml/min, 기체 흐름속 오존농도 :7.6mg/l, c₀ :2CP 초기농도, d₀ :칼럼 깊이)

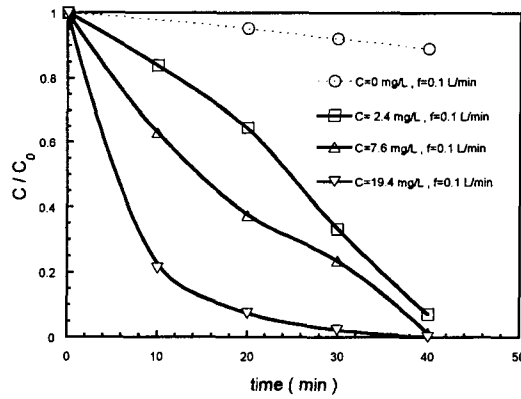


Figure 3. 각기 다른 농도에서의 2CP 잔류량

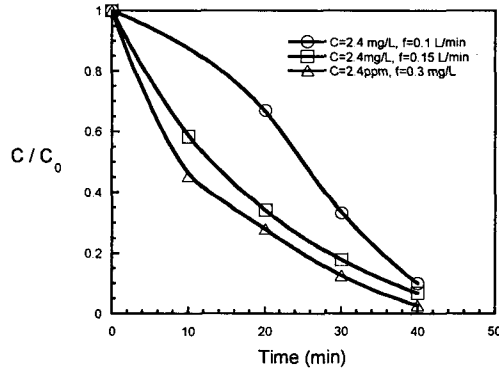


Figure 4. 각기 다른 유량에서의 2CP 잔류량

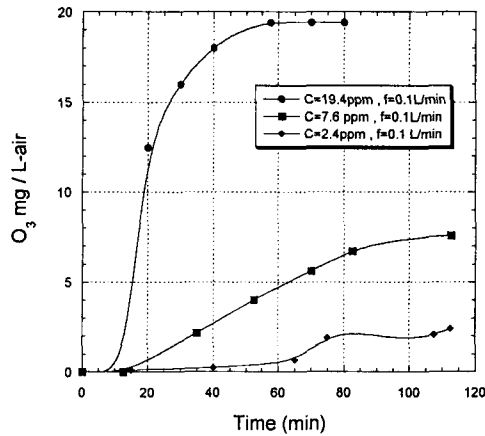


Figure 5. 오존 breakthrough curve

4. 참고 문헌

- (1) Chawla, R. C.; Diallo, M. S.; Cannon, J. N.; Johnson, J. H.; Porzucek, C. In-situ Treatment of Soils Contaminated With Hazardous Organic Wastes Using Surfactants: A Critical Analysis. *Solid/liquid Separation: Waste Management and Productivity Enhancement*. Battelle Press, Columbus, Ohio. 1990, 355
- (2) Hoigne, J.; Bader, H. The Role of Hydroxyl Radical Reactions in Ozonation Processes in Aqueous Solutions. *Water Research*. 1976, 10(5), 377
- (3) Khan, S. R.; Huang, C. R.; Bozzelli, J. W. Oxidation of 2-Chlorophenol Using Ozone and Ultraviolet Radiation. *Environmental Progress*. 1985, 4(4), 229