

## 토양 흡착에 대한 유기탄소와 온도의 영향

### Influence of Organic Matter and Temperature on the Sorption of Volatile Organic Compounds on Soil

김 희 경

서울시립대학교 환경공학부

#### ABSTRACT

The headspace method has been acknowledged as a cost-effective and convenient method to analyze volatile organic compounds(VOCs) in soil. The headspace analysis is based on equilibrium partitioning of VOCs among water, air and soil in a closed system. However, the headspace method cannot be applied to soils where most of the VOCs remain sorbed even at high temperature. In this study, it was investigated how the sorption characteristics of VOCs varied with soils with different organic carbon contents and temperature.

This study showed that all the VOCs were volatilized, not sorbed, only in the soil with 5% organic carbon at 45 °C or higher. Some fraction of VOCs remained in soil with 8% organic carbon at 65 °C or higher. Most of the VOCs remained sorbed in soil with 12% organic content even at 95 °C. This result suggests that the headspace method can be applied only to soils with little organic carbon content (less than 5%). In this case, 45 °C seems to be high enough to volatilize all the VOCs from soil.

Large particles still showed a significant sorption capacity for VOCs despite of their low level of organic carbon content. It was also shown that the organic carbon sorption coefficients ( $K_{oc}$ ) of VOCs varied with soils with different organic carbon content. This suggests that not only the organic matter content of soil but also the property of the organic matter in soil influence the sorption of VOCs to soil.

---

**key word** : sorption, soil, volatile organic compound, temperature, organic matter,  
headspace analysis

## I. 서론

휘발성 유기 화합물(VOCs: Volatile Organic Compounds 이하 VOC라 한다)은 용매나 유류성분의 주요성분을 이루고 있으며, 지하저장 탱크 등에서 누출되어 토양을 오염시키는 중요한 물질 중의 하나로 인식되고 있다.<sup>1)</sup>

일반적으로 쓰이고 있는 토양의 VOC 분석방법은 용매추출법을 사용하고 있다. 이 방법은 미국의 EPA<sup>2)</sup> 뿐 아니라 우리 나라 환경부에서도 토양오염공정시험법<sup>3)</sup> 중의 하나로 제정하고 있다. 이 방법은 토양에 잔류하는 VOC를 용매를 이용하여 직접 추출한 후, 추출된 VOC를 purge-and-trap sample concentrator로 농축하여 분석해내는 것으로써 낮은 농도까지 검출할 수 있지만, 많은 시간을 요구하고, 추출하는 과정에서 VOC의 손실을 가져올 뿐만 아니라, purge-and-trap sample concentrator가 있어야 가능한 방법이다. 또한 그 복잡함 때문에 현장에 적용하는 데에는 다소 무리가 있다.

이에 보다 간편한 방법으로 headspace방법이 제안되었다.<sup>4)</sup> 이 방법은 고온에서 토양시료를 물과 함께 밀폐된 시료용기에 넣고 교반하여 충분한 시간이 지나 평형에 도달시킨다. 그 다음, 토양 중에서 휘발하여 밀폐된 용기의 headspace안에 기체로 존재하는 VOC를 분석하는 방법이다. 이 방법은 분석시간이 짧고, 토양시료를 옮기거나 용매로 추출하는 과정에서의 VOC의 손실을 줄일 수 있다. 그러나 headspace법을 적용할 때 토양시료분석의 경우 VOCs가 토양의 성질에 따라, 특히 유기물의 함량에 따라 탈착의 정도가 달라지므로 정확한 정량 분석을 위해 몇 가지 연구가 필요하다.

따라서 본 연구의 목적은 headspace법을 통한 토양의 오염물질(VOCs)을 정량 분석할 때 필요한 1) 온도의 상승에 따라서 VOCs들의 토양흡착계수  $K_{oc}$ 가 토양의 종류에 따라 어떻게 변화하는가 2) 어떠한 종류의 토양에서 headspace법이 잘 적용되며 그 적절한 평형온도는 무엇인가 3)  $K_{oc}$ 값은 토양의 유기물 함량에 의해 영향을 받는가를 연구하는데 있다.

## II. 실험방법

유기물함량이  $11.5 \pm 0.1$  %,  $7.6 \pm 0.3$  %,  $4.7 \pm 0.2$  %인 자연 흙, A, B, C를 각각 채취하여 본 실험에 사용했다. 토양을 septa가 달린 40-ml vial에 넣은 후, VOC와 증류수를 주입하였다. 이 vial들은 25°C, 45°C, 65°C, 95°C의 네 가지 온도에서 1hr동안 Water bath(대양 Instrument)에서 200rpm으로 교반되어 평형에 이르게 한 후, vial의 포화된 headspace에서 1ml의 gas를 syringe로 이용하여 뽑아 GC에 injection한다. 입경에 따른 흡착의 차이를 알기 위해서, 건조된 토양을 표준체 10번(2.0mm), 18번(1.0mm), 35번(0.5mm), 60번(0.25mm), 140번(0.106mm), 270번(0.053mm)으로 걸러내어서 각기 따로 vial에 넣어 위의 시료들과 마찬가지로 실험하였는데, 이 때는 95 °C에서 vial을 교반하였다.

## III. 실험결과

1. 유기물 함량이 4.7%인 C토양의 경우 45°C 이상에서는  $K_{oc} \approx 0$ 이 되었다. 유기물 함량이 7.6%인 B토양의 경우 65°C 이상에서는 VOCs에 따라  $K_{oc} \approx 0$ 이 되기도 했으며 유기물

함량이 11.5%인 A토양의 경우 95℃에서도 분석대상 VOCs들의 토양에 대한 흡착이 나타나지 않았다.

2. 본 연구에서는 headspace법으로 분석이 가능한 토양의 유기물 함량이 5%이하이고, 평형 적정온도가 45℃ 정도임을 보였다.
3. 같은 온도에서는 토양의 유기물 함량이 적을수록 Koc가 감소하는 경향을 보였다. 이는 토양중의 유기물의 성질이 Koc값에 영향을 주는 것으로 보인다.
4. 유기탄소 함유량뿐만 아니라 토양의 입경과 관련한 특성이 Koc값, 즉 흡착에 큰 영향을 미칠 수 있는 가능성을 보였다.

### 참 고 문 헌

- 1) 최용수, “국내오염현황/지력회복기술”, 한국과학기술연구원 환경복원 및 재생기술 workshop 자료집 (1995)
- 2) U.S. Environmental Protection Agency, *Methods For Organic Chemical Analysis Of Municipal and Industrial Wastewater*; EPA-600/4-82-057 (1982)
- 3) 환경부, 토양환경보전업무 편람, 12000-67630-67-9613 (1996)
- 4) Voice, T., Kolb, B. “Static and Dynamic Headspace Analysis of Volatile Organic Compounds in Soils”, *Environ. Sci. Technol.*, vol.27, pp.709-713 (1993)