

오염지하수 TCE 농도와 휘발계수와의 관계

A Correlation Concentration of Contaminated Groundwater with Volatilization Coefficient

이 창 수

위덕대학교 환경과학과
(cslee@mail.uiduk.ac.kr)

ABSTRACT

To understand the gaseous behaviour of volatile organic compounds in the unsaturated zone, their volatilization coefficient k_{Lg} is evaluated. An experiment is conducted to examine the dependence of k_{Lg} on the concentration of the dissolution, presence of unsaturated zone and depth of the unsaturated zone. The results show that the volatilization coefficient is not dependent on the concentration under the constant temperature and pressure. It is also find that k_{Lg} depends on the presence of the unsaturated zone rather than its depth.

Key words : groundwater contamination, unsaturated zone, volatile organic compounds, trichloroethylene, volatilization coefficient

I. 서론

TCE 등의 유기염소화합물에 의한 지하수오염은, 그 물질이 높은 휘발성을 띠고 있기 때문에, 오염원으로부터의 휘발로 인한 불포화대의 오염과정을 예측하기 위해서는 오염물질의 가스화 과정을 파악하는 것이 중요하다. 즉 오염의 장기화를 예측한다든지, 정화대책을 강구함에 있어서, 오염원으로부터 휘발에 의한 다공체 중으로의 유입플럭스를 산정하는 것이 중요하다.

본 연구에서는, 오염된 지하수로부터의 휘발로 인해 불포화 다공체중으로의 유입플럭스를 산정하기 위해서, 오염원으로부터 휘발계수의 평가 및 휘발계수의 초기농도에 대한 의존성을 검토하였다. 그리고, 불포화대가 존재함으로 인한 수용액상에서 불포화 다공대 기상에의 휘발에 미치는 영향을 검토하기 위하여, 기초실험을 실시하였

다.

II. 실험방법 및 결과

2.1 수용액상에서 기상으로의 휘발계수 산정 및 초기농도에 대한 의존성

오염된 지하수상으로부터 불포화 다공대 기상으로의 휘발계수의 평가 및 농도에 대한 의존성을 검토하기 위하여 1l의 이온수와 적당량의 TCE용액을 플라스크에 넣고 밀폐후, 혼합기(stirrer)로 24시간 혼합하여 15.29 mg/l, 38.35 mg/l, 51.24 mg/l, 88.43 mg/l, 174.94 mg/l, 465.51 mg/l의 초기농도용액을 만든 후 휘발로 인한 용액의 농도 변화를 용액 주입후 1, 2, 4, 6, 9, 12, 24시간후의 측정했다. Table 1은 각 초기농도에 대해 실시한 실험결과를 Mackay¹⁾ 등에 의해 제안된 다음 식 (1)을 이용하여 구한 휘발계수를 정리하였다.

Table 1 Volatilization Coefficient for Each Concentration

Initial Concentration(mg/l)	15.29	38.35	51.24	88.43	174.94	465.51
Volatilization Coefficient(sec ⁻¹)	1.05×10^{-4}	1.14×10^{-4}	1.01×10^{-4}	1.12×10^{-4}	1.08×10^{-4}	1.18×10^{-4}
Relative Coefficient	0.986	0.967	0.973	0.988	0.985	0.973

$$C_L = C_0 e^{(-k_{Lg}t)} \quad (1)$$

여기서, C_L 은 임의시간 후의 수용액 농도(mg/l), C_0 는 초기농도(mg/l), k_{Lg} 는 수용액상에서 기상으로의 휘발계수(sec⁻¹), t 는 경과시간(sec)이다. 휘발계수 k_{Lg} 는 용액의 초기농도의 크기와는 상관이 없었으며, 전 실험 데이터를 최소자승법을 이용하여 구한 휘발계수는 1.10×10^{-4} sec⁻¹로 산정되었다.

2.2 불포화 다공대높이에 대한 의존성

지하수면상에 불포화 다공대가 존재함으로 인해 휘발에 미치는 영향 및 불포화 다공대의 높이에 따른 영향을 살펴보기 위해서 불포화대의 높이를 10 cm, 30 cm, 50 cm로 변화시켜서 휘발실험을 실시하였다. 이때 용액의 농도는 각각 22.75 mg/l, 18.51 mg/l, 25.62 mg/l 이었다. 실험은 불포화 다공대의 높이를 조절할 수 있도록 직경 10 cm, 높이 5 cm 또는 10 cm의 황동제 원통형의 작은 칼럼을 이용하였으며, 각 칼럼에는 완전건조상태의 글래스 비즈(glass beads, 입경=1mm, 간극율=0.4)를 최상단까지

充填하였다. 그리고, 오염원을 설정하기 위하여 높이 1cm, 직경 10cm의 칼럼에 일정 농도의 용액을 주입하였다. 용액 주입후 불포화대와 오염원인 포화대를 접촉함으로써 실험이 개시되며, 휘발에 의한 용액농도의 변화를 측정하기 위해 실험개시 후 1, 3, 6, 12, 24시간후의 용액을 sampling하여 농도분석을 실시하였다. 농도분석은 n-Hexane고정법을 이용하여 수용액 중 TCE를 추출한 후 가스크로마토 그래프(ECD, FID)를 이용하여 분석하였다. 불포화 토양대의 높이가 10cm, 30cm, 50cm인 경우의 휘발계수는 실험결과를 Rathbun²⁾에 의해 제안된 식 (2)를 이용하여 구하였으며, 그 결과는 Table 2와 같다.

$$C_L = K_{Lug} (C_E - C_0) \quad (2)$$

여기서, C_E 는 기상과 평형이 될 때의 액상농도(mg/l)이며 식 (3)과 같이 표현 될 수 있다. K_{Lug} 는 수용액상에서 불포화대 기상으로의 휘발계수(sec^{-1})이다.

$$C_E = \frac{C_G}{H} \quad (3)$$

여기서, H 는 무차원 Henry 정수, C_G 는 기상중의 가스농도(mg/l)이다.

Table 2. Volatilization Coefficient for each Unsaturated Zone Depth

Unsaturated zone Depth(cm)	10.0	30.0	50.0
Volatilization Coefficient(sec-1)	3.99×10^{-5}	4.13×10^{-5}	3.83×10^{-5}
Relative Coefficient	0.930	0.998	0.996

휘발계수 k_{Lug} 는 불포화 다공대 높이와는 상관없이 없었으며, 전 실험 데이터를 최소 자승법을 이용하여 구한 휘발계수는 3.95×10^{-5} 으로 산정되었으며, 불포화 토양대의 존재여하는 휘발계수에 영향을 미치지 않지만, 이번에 실시한 높이의 범위내에서는 불포화 다공대의 높이는 영향을 미치지 않는다는 것을 알았다.

III. 결론

1. 용액의 초기농도 15.29-456.51 mg/l 의 범위에 대한 용액상에서 기상으로의 휘발계수는 1.10×10^{-4} 1/sec이며, 휘발계수 k_{Lg} 는 일정온도, 일정압력하의 조건에서는 초기 농도의 변화에 의존하지 않는다는 것을 알았다.

2. 용액상으로부터 휘발계수는 기액계면상에 불포화 다공체의 존재유무에 영향을 받지만, 그 높이의 고저에는 영향을 받지 않는다는 것을 알았다. 용액상에서 불포화 다공체 기상으로의 휘발계수 k_{Lug} 는 용액상으로부터 휘발계수 k_{Lg} 와 용액상과 접촉하는 불포화 다공체의 간극율을 이용함으로써 표현이 가능하다는 것을 알았다.

참 고 문 헌

1. Mackay, D., and Leinonen, P. J., "Rate of evaporation of low solubility contaminants from water bodies to atmosphere", *Envir. Sci. and Technol.*, 9(13), 1178-1180, (1975).
2. Rathbun, R. E., and Tai, D. Y., "Volatilization of organic compounds from streams", *Jour. Environ. Engr. Div. ASCE*, 108(5), 973-989, (1982).