

## 토양가스추출법의 제거효율 평가

이 창 수\*

위덕대학교 건축시스템공학부 (cslee@uiduk.ac.kr)

### Abstract

When the soil vapor extraction as a remediation method of contaminated soil and groundwater has been used, the effects of curtain wall, mode of pump operation were examined by numerical simulation. Consequently, it was found that the removal rate was enhanced in case that the curtain wall was established around the extraction well with the extraction pumps operated alternatively. It was because that the removal of high density gas around the extraction well was possible.

**keywords:** removal efficiency, curtain wall, soil vapor extraction, soil-groundwater contamination

## 1. 서 론

토양오염 정화기술 중 불포화 토양중에 추출정을 설치하여 토양가스를 추출하여 처리하는 토양가스 추출법은 오염토양을 굴삭하지 않고 원위치에서 정화가 가능한 우수한 정화기술이다. 이 정화법은 대상이 불포화토양으로 제한되고, 제거한 오염물질을 활성탄 흡착 등으로 회수할 필요가 있지만, 휘발성이 높은 유기용매의 회수에는 그 적용성이 뛰어난 정화법이다. 토양가스 추출법의 정화효율을 평가할 때에는 불포화토양 중에서의 유기염소화합물 가스의 거동특성을 파악하는 것이 중요하다. 그러나 실제 정화를 실시할 경우, 토양가스를 추출하는 추출정의 위치 및 지표면의 피복조건 등의 경계조건이 정화효율에 미치는 영향이 크기 때문에 이에 대한 검토가 필요하다. 따라서 본 연구는 토양증기추출법의 효율적인 운용을 위하여, 추출공 주변에 차단벽을 설치할 경우 및 펌프가동의 연속성 등이 정화효과에 미치는 영향 등을 수치계산을 이용하여 검토하였다.

## 2. 기초방정식

### 2.1 유체이동 방정식

가스상의 비압축성과 밀도를 농도의 함수로서 고려한 경우의 불포화 다공매질의 2차원 유체의 이동방정식은 다음 식 (1)과 같이 표현된다.

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( k^* k_{xx} \frac{\rho_0 g}{\mu} \frac{\partial h^*}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( k^* k_{zz} \frac{\rho_0 g}{\mu} \left( \frac{\partial h^*}{\partial z} + \rho_r \right) \right) + Q_h = S_s \frac{\partial h^*}{\partial t} \quad (1)$$

## 2.2 물질수송 방정식

물질보존법칙에 의한 물질수송의 방정식은 식 (2)와 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial x} \left( \theta_D D_{xx} \frac{\partial C_G}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left( \theta_D D_{xz} \frac{\partial C_G}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \theta_D D_{zz} \frac{\partial C_G}{\partial z} \right) \\ & + \frac{\partial}{\partial z} \left( \theta_D D_{zx} \frac{\partial C_G}{\partial z} \right) - \theta_D v_x \frac{\partial C_G}{\partial x} - \theta_D v_z \frac{\partial C_G}{\partial z} + F = R \frac{\partial}{\partial t} (\theta_D C_G) \end{aligned} \quad (2)$$

오염원으로 부터의 휘발량 F는 Sleep와 Sykes에 의해 다음 식 (3)과 같이 표현할 수 있다.

$$\theta_D \frac{\partial C_G}{\partial t} = k_{un} (C_{Gmax} - C_G) \quad (3)$$

## 3. 수치시뮬레이션

### 3.1 해석영역 및 해석조건

계산영역의 상부는 그림 1과 같이 건물이나 도로포장 등에 의해 피복되어 있으며 다공체는 균질, 등방성상태를 가정하였다. 상세한 경계조건은 표 1과 같으며 수치계산에 이용된 변수들의 값은 표 2와 같다. 초기조건은 콘트를 불륨내에 TCE가스가 포화되어 있는 상태를 가정하였으며, 가스추출중 오염원으로 부터의 TCE가스 유입은 없는 것으로 하였다.

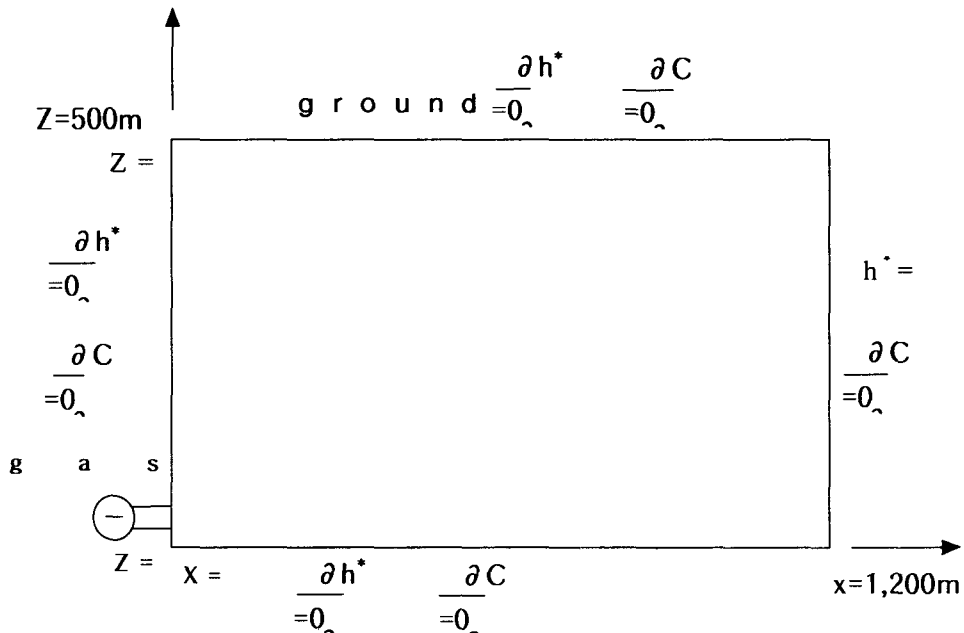


그림 1 계산영역 및 경계조건

표 1. 가스추출시의 경계조건

Equivalent Head		Concentration	
Ground Surface	$\partial h^*/\partial z = 0$	Ground Surface	$\partial C/\partial z = 0$
Left Side (cut-off wall)	$\partial h^*/\partial x = 0$	Left Side	$\partial C/\partial x = 0$
Right Side	$\partial h^* = z$	Right Side	$\partial C/\partial x = 0$
Bottom	$\partial h^*/\partial z = 0$	Bottom	$\partial C/\partial z = 0$

표 2. 수치계산에 이용된 변수들의 값

Parameter	Value
Permeability, $k$	$1 \times 10^{-10} \text{ m}^2$
Porosity, $\theta_D$	40 %
Diffusion Coefficient, $D_a$	$9 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{sec}$
Viscosity, $\mu$	$1 \times 10^{-5} \text{ Pa} \cdot \text{s}$
Longitudinal dispersion constant, $a_L$	0.15 m
Transverse dispersion constant, $a_T$	0.075 m
Specific storage, $S_s$	$4.814 \times 10^{-5} \text{ m}^{-1}$
Retardation coefficient, $R$	1.0
Flux from source, $F$	0.0

## 4. 오염물질 정화효율 검토

### 4.1 차단벽의 영향에 관한 검토

추출공의 위치의 좌표가 각각 1.5×1.5(Run 1) 및 600×1.5(Run 2)인 지점에 설치하였다. 이 때, 추출공의 직경 및 스크린의 길이는 각각 15 mm이며, 추출유량은 0.30 l/min로 추출개시 후 24시간까지 계산을 실시한 결과는 그림 2와 같다. 여기서 제거율은 (정화전 가스 총량-정화후 가스 총량)/정화전 가스 총량으로 구했다. 제거율 90%가 될 때까지의 소요시간은 추출공 주위에 차단벽을 설치한 Run 1의 경우 17.10시간이었으며, 추출공 위치가 차단벽으로부터 600 mm 떨어진 Run 2의 경우는 23.17시간으로 나타났다.

### 4.1.2 펌프가동형태에 관한 검토

펌프가동의 형태와 정화효율과의 관계를 살펴보기 위하여 실시한 수치실험은 그림 3과 같은 경계조건 하에서 추출펌프를 연속가동할 경우와 TCE가스의 제거율이 50 %이상인 후부터 펌프가동을 8시간 중단시켰다가 다시 추출을 실시하는 경우에 대하여 계산을 실시하였다. 추출공의 위치(x, y)는 좌측벽으로부터 600 mm, 15 mm인 지점이며, 추출공의 직경 및 스크린의 길이는 각각 15 mm이다. 추출유량은 0.30 l/min로 추출개시 후 24시간 경과까지에 대하여 계산을 실시하였다. 그림 3은 추출 펌프가동을 연속적(Run 1) 및 단속적(Run 2)으로 운용하였을 경우에 대한 가스 제거율을 나타내고 있다. 그림 3에서 횡축은 각 계산케이스별의 총 펌프의 가동시간을 나타내며, Run 1 경우는 8~16시간까지이며, Run 2 경우는 8시간중단 후 즉 16~24시간까지를 의미한다. TCE가스의 제거율은 가스 추출을 단속적으로 운용하였을 경우가 좀 더 좋은 결과를 나타내고 있다.

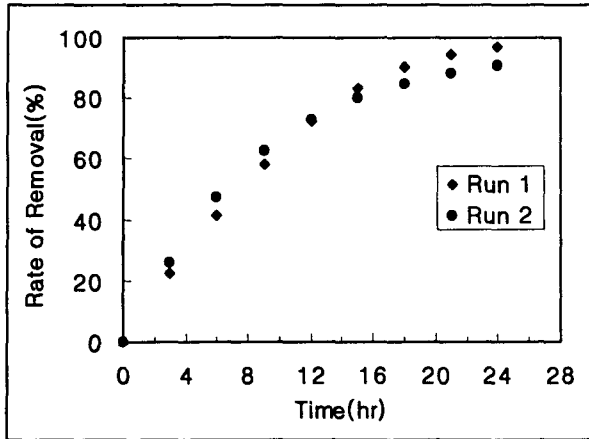


그림. 2차단벽 설치시의 제거율

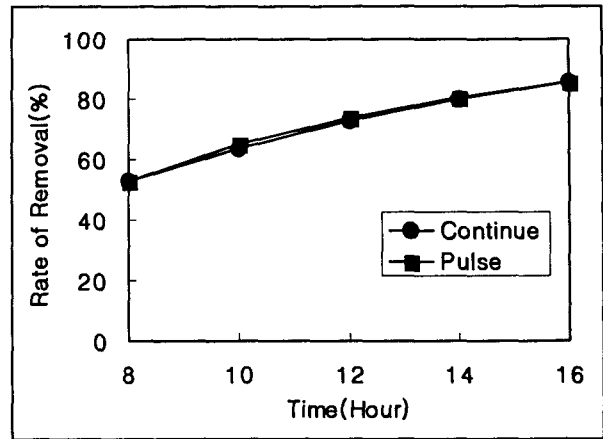


그림. 3 가스추출모드에 따른 제거율

## 5. 결론

1) 추출공 주위에 차단벽을 설치함으로써 인해 제거율이 상승함을 알 수 있었다. 이는 추출공 주변에 고농도의 가스분포를 밀집시킬 수 있어, 가스 추출시 고농도의 가스를 제거할 수 있기 때문이다.

2) 단속적인 펌프운용시점을 가스 제거율이 50%이상인 시점부터 시작한 결과, TCE 가스의 제거율은 가스 추출을 단속적으로 실시하였을 경우가 향상되었다. 이는 추출에 의해 저하되어 있던 추출공 주위의 농도분포가 펌프가동을 중단하고 있을 동안에 분자확산에 의해 그 밀집의 정도가 높아졌고 다시 고농도 가스의 추출이 가능하였기 때문이다.

## 참고문헌

Sleep B. E. and Sykes J. F. (1989). "Modeling of transport of volatile organics in variably saturated media", *Water. Resour. Res.*, 25(1), pp. 81-92.