

## 폐기물 매립지 근처의 지하 환경 오염에 대한 수치적 연구

신승일(학), 윤도영(정), 김민찬(정)\*

광운대학교 공과대학 화학공학과, 제주대학교 공과대학 화학공학과\*

### A Numerical Study on Contaminations of Ground Environment around Waste Disposal Sites

Seung-Il Shin, Do-Young Yoon and Min Chan Kim\*

Department of Chemical Engineering, Kwangwoon University, Seoul 139-701, Korea

Department of Chemical Engineering, Cheju National University, Cheju 690-756, Korea\*

#### 1. 서론

최근 산업의 고도화와 함께 산출되어지는 오염물의 증가로 인하여 강과 호수등의 오염은 심각한 사회 문제로 대두되고 있다. 이에따라 용수의 질에 대한 관심이 지하수에 이르게 되었다. 소비 생활의 부산물인 각종 수용성 화학물이 지하수 환경을 심각하게 위협하고 있으나, 이에 대한 대책은 실효를 거두지 못하고 있는 실정이다. 지하수의 경우 일단 오염되면 오염물의 제거는 매우 힘들다. 따라서 지하수 환경 오염은 예방이 중요하다.

지하수 환경의 오염 원인중 폐기물 매립은 중요한 부분을 차지한다. 매립지 설계 기준을 고려하지 않고 설계된 대부분의 매립지에서 유해 물질이 다량 함유된 침출수에 의한 지하수 환경의 오염은 심각한 문제로 대두되고 있다. 본 연구에서는 유한 요소법을 사용하여 폐기물 매립지 근처에서 침출수의 흐름과 오염원의 전달 현상에 대한 연구를 진행하였다.

#### 2. 지하수 오염물질 전달 기구

매립지에서 흘러나오는 침출수의 전달에 영향을 주는 인자로는 이산(advection), 분산(dispersion), 확산(diffusion), 수착(sorption), 변환(transformation)이 있다. 이산, 분산 그리고 확산은 침출수의 흐름과 오염 물질의 이동에 관련이 있고, 수착은 오염 물질 전체 농도에는 영향을 주지않고 침출수에 있는 오염 물질의 전달을 지연시키는 역할을 한다. 변환은 오염 물질의 전체량에 변화를 주는 화학 반응이나 미생물학적 작용에 의하여 일어난다. 변환은 오염물의 유해성을 감소시켜 오염 물질의 농도를 떨어뜨리고, 이로인해 오염 물질의 전달을 지연시킨다.

##### 2.1. 지하수 흐름 방정식

매립지의 침출수에 의한 지하 환경의 오염을 다루기 위해서는 침출수의 흐름을 이해하는 것이 가장 중요하다. 지하를 통한 지하수의 흐름은 비압축성 유체의 연속 방정식과 결합된 Darcy 법칙에 의하여 다음과 같은 식에 의하여 표현된다.

$$\nabla \cdot (K\nabla h) = 0$$

여기서 K는 수리 전도도, h는 수두를 의미한다.

##### 2.2. 오염물 전달 방정식

침출수 흐름에서 오염물질의 이동은 크게 확산과 분산에 의하여 지배된다. 확산은

오염물질의 농도 변화에 따라 어떠한 움직임도 없는 액체 내에서 일어나는 전달 과정으로 농도의 변화가 클수록 잘 일어난다. 지하에서의 확산 계수는 물에서의 확산 계수와 다르게 표시되는데 그 이유는 지하 토양에 의하여 확산이 방해를 받고 지하에서 존재하는 물의 양은 토양의 공극률에 의존하기 때문이다. 일반적으로 지하에서의 확산 계수는 유효 확산 계수라 불리우며 다음과 같이 표현될 수 있다[1].

$$D_{\text{eff}} = D_m \epsilon^{4/3}$$

분자 확산 계수  $D_m$  은 화학 물질의 특징에 의하여 결정되지만 공극률  $\epsilon$ 은 지하 토양에 의하여 결정된다.

침출수 내의 오염 물질은 수두에 의한 흐름의 평균속도와 같은 속도로 움직인다. 그러나 오염 물질은 수력학적으로 기대되는 물의 흐름 방향으로 부터 이탈하는 경향이 있다. 이를 분산이라 하는데 오염 물질이 주위와 섞이는 과정이다. 오염물질의 이동 속도가 작을때는 확산이 분산에 비하여 중요하며, 오염물질의 속도가 클때에는 그 반대이다. 물 흐르는 방향으로 오염물질이 퍼지는 현상을 Longitudinal Dispersion, 물 흐름과 수직 방향으로 오염 물질이 퍼지는 현상을 Transverse Dispersion이라 하며, 분산 계수와 유체의 평균속도 사이에는 다음과 같은 선형관계가 있다고 알려져 있다.

$$D_L = \alpha_L v$$

$$D_T = \alpha_T v$$

여기서  $D_L$  은 수평 분산 계수,  $D_T$ 는 수직 분산계수,  $\alpha_L$ 은 수평 분산자,  $\alpha_T$ 는 수직 분산자를 각각 나타낸다.

오염 물질은 침출수에서 토양으로 이동하기도 하고 토양에서 침출수로 이동하기도 하는데 이를 수착이라한다. 일반적으로 침출수에서 나오는 오염물질과 지하 토양과의 수착은 가역반응이고 매우 빨리 일어나고 있어 이에 대한 평형상태는 선형으로 가정되어지며, 분배 계수에 의해 침출수에서의 오염물의 농도(C)와 토양에서의 오염물의 농도(S)는 다음과 같이 선형적으로 표시될 수 있다.

$$S = K_d C$$

지하 토양에서 오염 물질의 전달은 수착에 의해서 지연된다고 잘 알려져 있다. 오염 물질의 지연은 지연인자(retardation factor)에 의하여 지배적으로 결정되는데, 이 지연인자는 분배 계수에 매우 민감하게 변화되며 지하 토양의 수리학적 인자에 의해서는 심각하게 변화하지 않는다. 균일성 포화 토양에서 지연 인자는 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$R_f = 1 + \frac{\rho_b K_d}{\epsilon}$$

여기서  $\rho_b$  는 지하 토양의 밀도이다.

만약 오염물질이 생-화학적 반응에 의해 변화하게 되면 오염 물질의 농도는 시간에 따라 감소하게 된다.이러한 반응을 다음과 같이 1차 반응으로 표현한다.

$$\left. \frac{\partial C}{\partial t} \right|_{\text{transform}} = -\lambda C$$

여기서  $\lambda$ 는 반응속도 상수이다.

위에서 언급된 사항들을 종합하면 포화된 지하 토양에서 오염 물질의 이동은 다음과 같은 식에 의하여 지배된다.

$$R \frac{\partial C}{\partial t} = D_{xx} \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + D_{xy} \frac{\partial^2 C}{\partial x \partial y} + D_{xz} \frac{\partial^2 C}{\partial x \partial z} + D_{yx} \frac{\partial^2 C}{\partial y \partial x} + D_{yy} \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} + D_{yz} \frac{\partial^2 C}{\partial y \partial z} + D_{zx} \frac{\partial^2 C}{\partial z \partial x} \\ + D_{zy} \frac{\partial^2 C}{\partial z \partial y} + D_{zz} \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} - \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{v_x C}{\varepsilon} \right) - \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{v_y C}{\varepsilon} \right) - \frac{\partial}{\partial z} \left( \frac{v_z C}{\varepsilon} \right) - \lambda RC$$

### 3. 연구 방법 및 결과

본 연구에서는 Fig. 1에 보이는 바와 같은 2차원 계를 대상으로 하여 유한 요소법으로 지하에서의 침출수의 흐름과 오염물질의 이동을 해석하였다. 해석 결과들은 Fig. 2, 3에 나타내었다. 그림에서 보듯이 침출수의 흐름은 댐 경계면에서 강하게 일어나며, 댐 하부에서는 거의 평행한 흐름이 존재한다. 분배 계수는 지하에서의 오염물질의 이동에 강한 영향을 미친다.

### 4. 결론

침출수의 흐름은 댐 경계면에서 강하게 일어난다. 따라서 침출수의 흐름을 제어하기 위해서는 댐 경계면 부분에 차수막을 설치할 필요가 있으며, 오염 물질의 이동은 지하 토양의 흡착능에 크게 좌우되므로 오염 물질의 흡착능에 대한 연구를 진행할 필요가 있다.

### 감사

본 연구는 교육부 1995년도 지역개발연구과제 지원으로 이루어졌습니다.

### 참고문헌

1. Millington, R.J. and Quirk, J.P., *Trans. Faraday Soc.*, 57, 1200 (1961).

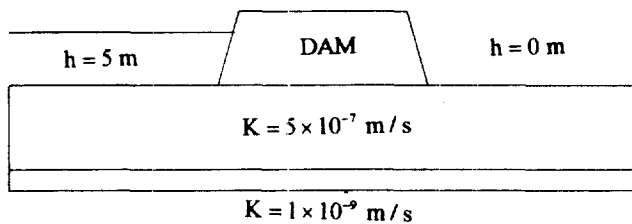


Fig. 1 대상계

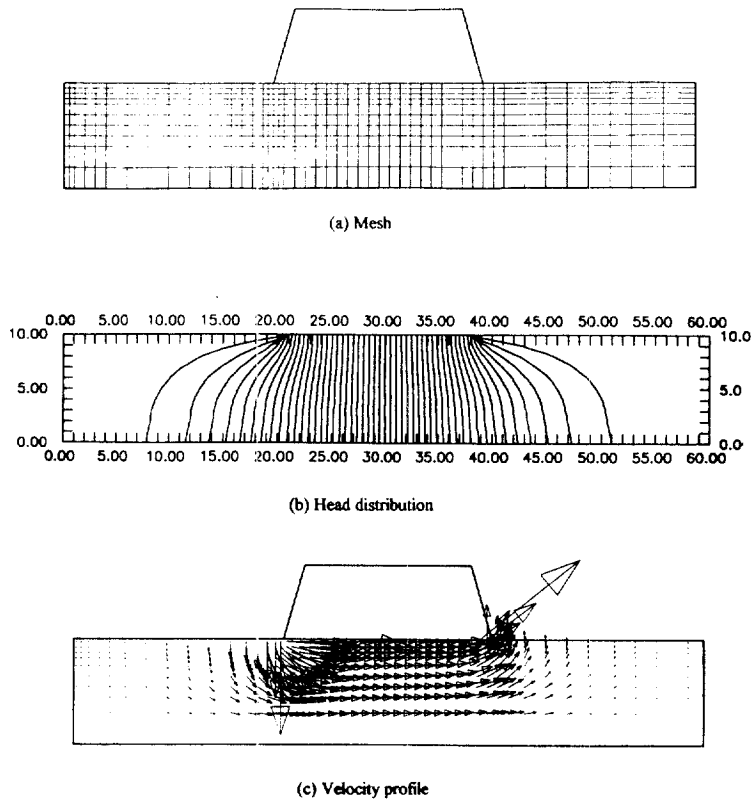


Fig. 2 속도분포

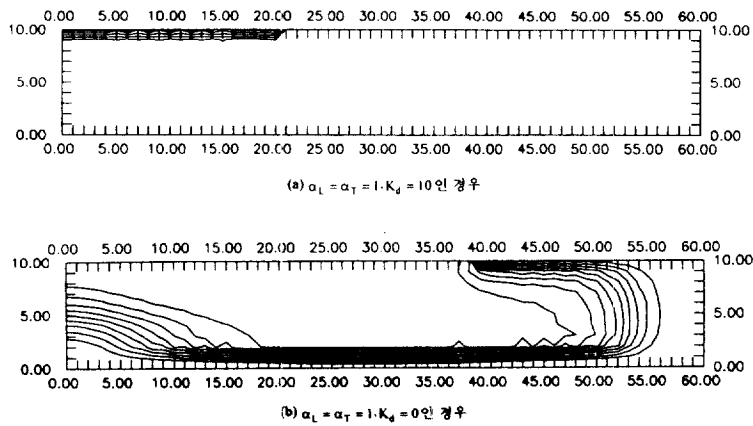


Fig. 3 20년후 오염물의 농도분포