

# 지하수오염물질 거동해석시 격자 및 시간 이산화에 따른 영향분석

정재열<sup>1\*</sup>, 윤정현<sup>1</sup>, 이치형<sup>2</sup>

<sup>1</sup>한국원자력환경공단, 대전광역시 유성구 가정로 168번길

<sup>2</sup>(주)인텔리지오, 서울특별시 구로구 구로동 212-8

\*jjy@korad.or.kr

## 1. 서론

지하 지하수 포화대 아래에 건설된 인공구조물이 시간의 경과에 따른 지하수로 포화되고, 이후 인공 구조물 내의 물질이 지하수에 의해 외부 지질환경으로 유출되는데 소요되는 시간과 농도를 알아내기 위하여 지하수오염물질 이동모델링을 실시하였다.

지하수모델링은 수치적인 방법(Numerical method)을 이용하여 지하수위와 오염물질의 농도를 계산하는데, 일반적으로 전체흐름장(Flow field)을 격자로 세분한 후 편미분방정식을 t시간의 수두 및 농도와 t+Δt시간의 신규 예측 값사이의 차이를 이용하여 근사적으로 해를 구한다. 격자의 크기 혹은 시간의 간격을 어떻게 세분할 것인가를 결정하는 것을 이산화(Discretization)이라고 하는데, 사용되는 격자와 셀의 크기에 따라 수리특성인자나 대상지역의 경계조건, 사용할 모델의 형태, 전산모델의 제한성, 자료처리의 제한성 및 전산 소요시간 등 여러 요인을 좌우하게 된다. 또한, 시간 간격의 경우, 모델링시 단위격자는 화학적 평형(Chemical equilibrium)상태인 것으로 가정하는데, 이러한 가정에서 발생하는 문제로 시간의 간격(Delta t)과 상관없이 화학적 평형 상태를 가정하다 보니, 시간간격이 크거나 혹은 작던 간에 화학반응에서 차이가 발생하는 않는 현상이 일어난다. 이 문제를 해결하기 위해서는 delta t를 최대한 줄여서 실제 발생할 결과 예상되는 반응을 모델링을 해야 한다. 하지만, 이러한 방법은 이류방정식에 대한 모델링시 큰 문제를 야기 할 수 있다. 따라서, 이류방정식과 화학반응 방정식 사이에서 발생하는 시간간격 문제에 대한 최적 조건을 찾아내는 것이 reactive transport modelling의 핵심조건이라 할 수 있다 (Ortoleva, et al. 1987). 본 연구에서는 인공구조물의 방벽에 해당하는 1 m 두께의 콘크리트를 모델링시 하나의 격자 혹은 다중의 격자로 이산화할 때 오염물질이 외부로 방출되는 시간에 대한 차이를 알아보고자 격자 및 시간 이산화에 따른 민감도 분석을 수행하였다.

## 2. 본론

### 2.1 지하수모델링 개요

지하수모델링은 복잡한 지하수 유동계의 지하수 유동계를 단순화시켜 모사한 것으로 대상지역의 대수층에 적합한 모델을 적용하여 실제 대수층내 지하수 거동을 재현하며, 장래 발생할 수 있는 지하수계의 변화를 예측하는 것이다. 따라서 지하수모델링은 지하수 변화를 제어하고 조절 또는 예측하거나, 지하수자원의 관리, 예측 및 지하수오염 방지에 매우 유용하다.

지하수 수치모델은 불균질 대수층과 같은 복잡한 지층 및 지질 구조 처리가능하고, 불규칙한 경계조건 처리가 가능한 장점을 가지고 있으나, 모델이 복잡하며 근사해에 따른 오차가 발생한다는 단점을 가진다.

현재 전세계적으로는 PM, MS-VMS, GMS, GW-VISTAS, ARGUS 및 MODFLOW와 같은 유한차분법 모델이 있으며, FEMWATER, FEFLOW, AQUA3D, NAPSAC, NAMMU, FRACMAN 등의 유한요소법 모델이 있으며, 전세계적으로 가장 널리 쓰이고 있는 모델은 MODFLOW(McDonald와 Harbough, 1983, 1988)이다. MODFLOW는 다공질 포화매체내에서 지하수흐름을 모사하기 위한 유한차분법 지하수 유동모델로서 Visual MODFLOW, GMS, PMWIN 등의 상용 소프트웨어로 시판되고 있다. MODFLOW에서 대수층은 균질하고, 지하수위 변화는 선형적이며, 대수층의 영역은 사각형 셀로 근사화하며, 지하수 온도와 밀도는 일정하다고 가정한다.

### 2.2 모델 대상

지하수오염물질 이동모델링은 인공구조물 중 폐기물이 적재되는 사일로를 대상으로 개념모델을 구성하였다. 본 연구에서는 사일로 벽을 통한 오염물질의 이동 시간을 비교하는 것이 목적이므로, 모델링의 실행 시간을 줄이기 위해 1개의 사일로에 대해 직육면체로 가정하여 격자를 구성하였다. 모델 영

역은 가로 100 m, 세로 100 m, 깊이 150 m에 대해 기본적으로 10 m 당 하나의 격자를 설정하여 가로 10행, 세로 10열, 15개의 층으로 이루어진다(Fig. 1). 이후 모델의 주 관심대상인 사일로 외벽이 1 m이므로, 최소하나의 격자를 위치시키기 위해 사일로 주변을 세분하였다.

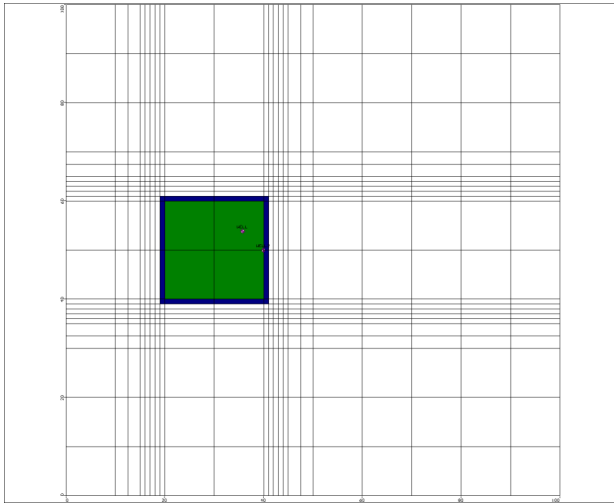


Fig. 1. Distribution of grid and conductivity.

### 2.3 입력자료

연구지역 모델의 수리전도도는 Fig. 1에서 녹색부분에 해당하는 사일로 내부  $1 \times 10^{-4}$  m/sec로 설정하고, 파란색부분에 해당하는 사일로 외벽인 콘크리트  $3 \times 10^{-11}$  m/sec, 흰색부분인 암반은  $3 \times 10^{-7}$  m/sec를 입력하였다. 공극률은 사일로 내부 0.3, 콘크리트 0.15, 암반 0.001으로 설정하고, 밀도는 사일로 내부  $1,890 \text{ kg/m}^3$ , 콘크리트  $2,389 \text{ kg/m}^3$ , 암반  $2,590 \text{ kg/m}^3$ 으로 설정하였다. 또한, 모델 전 영역에 걸쳐 연 평균 함양량은 연 평균 강우량의 20%에 해당하는  $200 \text{ mm/year}$ 을 입력하였다. 각 매질의 분산지수는 사일로 내부  $6E-10$  m, 콘크리트  $1E-11$  m, 암반 30 m(오염원 길이의 1/10)으로 설정하였다. 사일로 내 오염물질은 흡착능이 적은 C14를 대상으로 하였으며, 초기 농도는  $4.76 \times 10^{-4} \text{ mg/l}$  ( $4.24E+13(\text{Bq})$ )를 가정하고 분배계수는  $1.43 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{kg}$ 을 적용하였다.

### 2.4. 지하수위 변동 및 오염물질 이동 시간 분석

1 m 두께의 콘크리트에 해당하는 격자를 각각 1 m 격자 하나로 구성할 때와 0.5 m 격자 두 개로 구성할 때, 0.2 m 격자 다섯 개로 구성하여 총 세 가지 경우에 대하여 비교하였다.

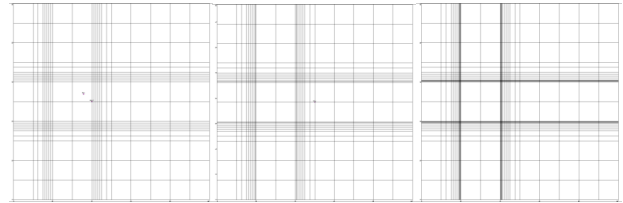


Fig. 2. 1m, 0.5m, and 0.2m grid size discretization of concrete wall area.

심도 -90 ~ -100m 에 해당하는 깊이에서 시간에 따른 농도변화를 살펴보았으며, 하류방향으로 오염물질이 유출되는 시간을 각각 비교하였다(Table 1).

Table 1. Simulation result of grid discretization

Grid width (m)	Release time (days)
1	10
0.5	2000
0.2	30000

## 3. 결론

공학적 방벽(지하구조물)을 통한 오염물질의 이동을 해석하기 위하여 3차원 지하수오염물질이동모델링을 수행하였다. 공학적 방벽에 해당되는 격자를 이산화함에 따라 공학적 방벽을 통한 오염물질 이동시간이 3,000배 정도 차이가 발생되며, 이는 격자의 이산화가 유동해보다는 오염해에 영향을 미치는 것을 의미하는 것으로서, 수치적 분산(Numerical dispersion)에 의한 것으로 판단된다. 따라서, 전산코드를 이용하여 지하수를 통한 오염물질 거동평가기 공학적 방벽의 격자이산화에 대한 민감도 분석을 수행하여 적합한 격자 크기를 선정하는 과정이 선행되어야만 이들에 의한 오차를 최소화할 수 있을 것으로 판단된다.

## 4. 감사의 글

본 연구는 2012년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다(No. 2012171020001A).