

해안가지역에서 바다물침입범위를 결정하기 위한 한가지 방법

김미경, 전광수

위대한 수령 김일성동지께서는 다음과 같이 교시하시였다.

《…우리 나라의 자연환경을 과학적으로 조사하는것이 매우 중요합니다. 우리 나라 자연환경에 대한 과학적자료에 따라 리용할수 있는 온갖 조건들을 인민경제건설에 리용하며 자연부원개발사업을 널리 하여야만 우리의 인민경제를 비약적으로 발전시킬수 있습니다.》
(《김일성전집》 제14권 487페이지)

해안가지역에서 바다물침입범위를 정확히 밝히는것은 염수피해를 막고 인민경제 여러 부문과 인민생활에 절실히 필요한 물문제를 해결하는데서 매우 중요한 의의를 가진다. 우리는 지하수흐름 및 용질이동모의 프로그램인 FEFLOW(Finite Element subsurface Flow System)를 리용하여 해안가지역들에서 바다물침입범위를 결정하기 위한 한가지 방법을 제기하였다.

1. 지하수흐름 및 바다물이동방정식

지하수흐름방정식과 용질이동방정식[1]으로부터 바다물침입3차원수학모형[2, 3]을 작성할수 있다.

지하수흐름모형은 다음과 같이 표시된다.

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial}{\partial x_i} \left[K_{ij} \left(\frac{\partial H}{\partial x_j} + \eta C e_j \right) \right] = \mu_s \frac{\partial H}{\partial t} + \phi \eta \frac{\partial C}{\partial t} - \frac{\rho}{\rho_0} q \\ H(x_i, 0) = H_0(x_i) \\ H(x_i, t) \Big|_{\Gamma_1} = H_1(x_i, t) \\ -v_i n_i \Big|_{\Gamma_2} = 0 \\ -v_i n_i \Big|_{\Gamma_{2-2}} = \frac{\rho_1}{\rho} v_1 \\ -v_i n_i \Big|_{\Gamma_{2-1}} = \left(\frac{\rho_0}{\rho} W - \frac{\rho_2}{\rho} \mu_d \frac{\partial H_2}{\partial t} \right) n \\ H_2(x_i, t) \Big|_{\Gamma_{2-1}} = z \end{array} \right.$$

여기서 Γ_1 은 제1종경계, Γ_2 는 제2종경계, Γ_{2-1} 은 총상수경계, Γ_{2-2} 는 분산류출흐름경계, K_{ij} 는 려과결수, H 는 담수의 수두, x_i 와 x_j ($i, j=1, 2, 3$)는 i 와 j 에 따르는 x 축벡토르, η 는

밀도결합결수($\eta = \varepsilon/c_s$, c_s 는 용액의 농도, ε 은 밀도비), C 는 용질의 농도, e_j 는 j 번째 단위 벡토르, μ_s 는 저수율, t 는 시간, ϕ 는 공극도, q 는 흐름량, ρ 와 ρ_0 은 각각 혼합류체(염수-담수)와 담수의 밀도, H_0 은 초기수두, H_1 은 경계 Γ_1 에서 주어진 수두, v_1 은 경계 Γ_{2-2} 로 류입 혹은 류출되는 물의 러과속도, ρ_1 과 ρ_2 는 각각 경계 Γ_{2-2} 와 Γ_{2-1} 에서 물의 밀도, H_2 는 경계 Γ_{2-1} 에서의 수두, n_i 는 경계 Γ_2 , Γ_{2-1} , Γ_{2-2} 우에서 x_i 축방향의 법선벡토르, W 는 지하수공급량, μ_d 는 출수율, z 는 경계 Γ_{2-1} 우에 놓인 임의의 점의 높이, v_i 는 지하수러과 속도이다.

바다물침입에 대한 용질이동모형은 다음과 같이 표시된다.

$$\begin{cases} \frac{\partial}{\partial x_i} \left(D_{ij} \frac{\partial C}{\partial x_j} \right) - \frac{\partial (u_i C)}{\partial x_i} = \frac{\partial C}{\partial t} - \frac{q}{\phi} C_0 \\ C(x_i, 0) = C_0(x_i) \\ C(x_i, t) = C_1(x_i, t) \\ \left(D_{ij} \frac{\partial C}{\partial x_j} + u_i C \right) \phi n_i \Big|_{\Gamma_2} = 0 \\ -D_{ij} \frac{\partial C}{\partial x_j} n_i \Big|_{\Gamma_{2-1}} = \left(1 - \frac{\rho_2}{\rho} \right) \frac{C}{\phi} \mu_d \frac{\partial H_2}{\partial t} n + \frac{W}{\phi} \left(\frac{\rho_0}{\rho} C - C' \right) n \\ -D_{ij} \frac{\partial C}{\partial x_j} n_i \Big|_{\Gamma_{2-2}} = \frac{v_1}{\phi} \left(\frac{\rho_1}{\rho} C - C'' \right) n \end{cases}$$

여기서 C_0 은 초기농도, C_1 은 경계 Γ_1 에서의 농도, C' 는 경계 Γ_{2-1} 에서의 농도, C'' 는 경계 Γ_{2-2} 에서의 농도, D_{ij} 는 분자확산결수($i, j=1, 2, 3$)이다.

2. 모형작성과 결과분석

자연조건에서 담수는 바다로 흐르며 바다물은 육지로 침입한다. 해안가지역에서 담수를 취수하면 담수의 수위가 낮아져 평형이 파괴되므로 바다물이 육지로 침입하는데 이때 담수와 염수의 경계면은 육지쪽으로 이동한다. 그러므로 우리는 담수와 염수의 경계면을 결정하기 위하여 지하수흐름 및 용질이동모의프로그램 FEFLOW를 리용하였다.

먼저 모의계산구역의 크기를 200m×200m로 정하고 추공 1, 2, 3을 각각 해안가로부터 50, 75, 100m 떨어진 위치에 배치하였다.

모의구역에 놓여있는 함수층의 구조를 보면 중생대 유라기 화강암기반우에 두께가 13.5m인 제4기층이 4개의 퇴적구조층을 이루고있는데 맨 우에는 메흙과 점토로 이루어진 불투수층이 1.5m의 두께로 놓여있고 그아래에 첫번째 함수층인 세립질모래층(3m)이 놓여있다. 그리고 그아래에 불투수층(약투수층)인 분사질감탕층(3m), 중조립질모래층과 모래자갈층으로 이루어진 두번째 함수층(6m)이 풍화된 화강암기반우에 놓여있다. 모의구역의 서쪽경계는 바다이고 동쪽경계는 육지이다.

다음 3각형유한요소망을 생성한다. 이때 모의의 정확도를 높이기 위하여 추공주변에

서 망밀도를 2배로 높였다.

다음으로 매 층의 파라미터들을 다음과 같이 입력한다.

① 매 층의 높이를 입력한다.

② 초기수두와 경계수두를 입력한다.

초기수두 $H_0 = 1.8\text{m}$, 경계수두는 왼쪽(바다쪽) 경계에서는 0m, 오른쪽(륙지쪽) 경계에서는 2m로 하였다.

③ 1-4번층의 려과결수를 각각 1×10^{-7} , 2×10^{-4} , 1×10^{-6} , $3 \times 10^{-4}\text{m/s}$ 로 입력한다.

④ 기타 파라미터들을 입력한다.(표)

표. 함수층의 파라미터

| 파라미터 | 값 | 파라미터 | 값 |
|---|--------------------|---|--------------------|
| 공극도 | 0.3 | 바다물의 Cl^- 농도/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$) | 12 500 |
| 저수량/($1 \cdot \text{m}^{-1}$) | 1×10^{-5} | 분자확산결수/($\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$) | 1×10^{-9} |
| 물의 밀도/($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$) | 1 000 | 밀도비 | 0.025 |
| 바다물의 밀도/($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$) | 1 025 | 가로분산결수/m | 0.5 |
| 물의 Cl^- 농도/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$) | 200 | 세로분산결수/m | 5 |

1개 추공에서 지하수를 $500\text{m}^3/\text{d}$ 취수할 때 매 추공들에서의 Cl^- 농도변화를 측정하여 바다물의 침입범위를 결정하였다.(그림)

먼저 추공 1에서 지하수를 $500\text{m}^3/\text{d}$ 취수할 때 추공 1-3에서의 Cl^- 농도변화는 각각 3 258, 250, 250mg/L 로서 추공 1이 바다물의 침입영향을 세계 받았다.

다음으로 추공 2에서 지하수를 $500\text{m}^3/\text{d}$ 취수할 때 추공 1-3에서의 Cl^- 농도변화는 각각 10 114, 2 135, 250mg/L 로서 추공 1과 2가 바다물의 침입영향을 세계 받았다.

또한 추공 3에서 지하수를 $500\text{m}^3/\text{d}$ 취수할 때 추공 1-3에서의 Cl^- 농도변화는 각각 7 024, 4 717, 667mg/L 로서 3개의 추공이 모두 바다물의 침입영향을 받았다.

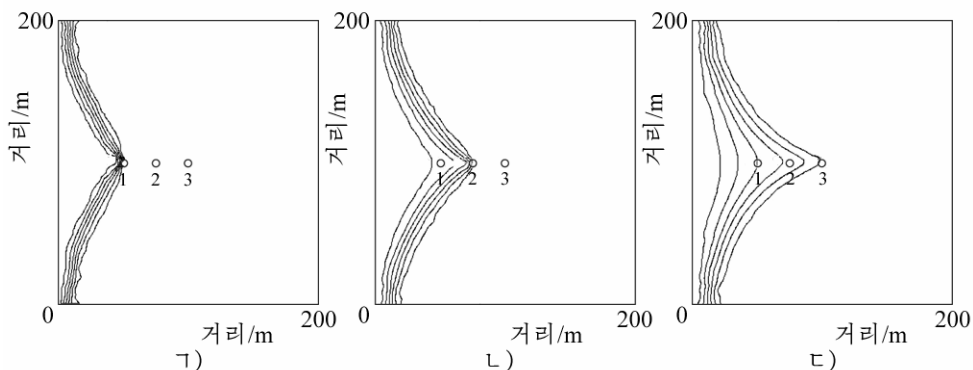


그림. 지하수를 취수할 때 바다물의 침입범위
가) - 나)는 각각 추공 1-3에서 지하수를 취수할 때

그림에서 보는바와 같이 모의구역에서 $500\text{m}^3/\text{d}$ 정도의 지하수를 취수할 때 해안가로부터 100m정도 떨어진 구역에 분포된 함수층은 바다물의 침입영향을 받으므로 이 구역안에서는 지하수를 취수하지 말아야 한다.

맺 는 말

지하수흐름 및 용질이동모의프로그램인 FEFLOW를 리용하여 해안가지역에서 바다물 침입에 대한 모의를 진행하여 해안가지역에서 합리적인 추공위치를 확정하였다.

참 고 문 헌

- [1] 리근향; 지하수동력학, 김일성종합대학출판사, 45~112, 주체98(2009).
- [2] H. F. Abd-Elhamid; Journal of Hydrology, 401, 259, 2011.
- [3] Jacob Bear et al.; Modeling Groundwater Flow and Contaminant Transport, Springer, 593~636, 2010.

주체104(2015)년 11월 5일 원고접수

A Method of Deciding Seawater Intrusion Range in Coastal Zone

Kim Mi Gyong, Jon Kwang Su

We simulated the seawater intrusion in coastal zone with FEFLOW and determinated more reasonable drilling position.

Key words: seawater intrusion, well