

재주입식지하열교환체계에서 추공배치에 따르는 지하수의 온도변화특성

전광수, 정성국, 송규주

위대한 령도자 김정일동지께서는 다음과 같이 교시하시였다.

《온천, 지하수, 지열탐사를 적극 벌려 지하수와 지열자원을 다 찾아내여 종합적으로 리용하도록 하여야 합니다.》(《김정일선집》 증보판 제14권 503페이지)

지하수가 부족한 지역들에서 지열냉난방체계를 실현하기 위하여서는 재주입방식을 리용하는것이 합리적이다. 재주입식지하열교환체계에서는 재주입되는 물에 의하여 지하수의 온도가 낮아지므로 추공배치를 합리적으로 하여야 한다.

론문에서는 지하수흐름방향에 각이하계 취수—주수추공을 배치하는 경우 함수층에서 지하수의 온도변화특성을 모의하고 합리적인 추공배치방식을 제기하였다.

1. 함수층에서 지하수흐름 및 열이동방정식[1, 2]

불균질하고 이방성이며 지하수가 3차원비정상흐름상태에 있는 함수층에서 지하수의 흐름방정식은 다음과 같다.

$$\begin{cases} \frac{\partial}{\partial x_i} \left[k_{ij} \frac{\partial H}{\partial x_j} \right] + w = S_s \frac{\partial H}{\partial t}, & i, j = 1, 2, 3 \in \Omega \\ H(x, y, z, t)|_{t=0} = H_0(x, y, z), & (x, y, z) \in \Omega \\ H(x, y, z, t)|_{\Gamma_1} = H_1(x, y, z, t), & 0 < t \leq t_0, (x, y, z) \in \Gamma_1 \\ k_{ij} \frac{\partial H}{\partial n} m|_{\Gamma_2} = q(x, y, z, t), & 0 < t \leq t_0, (x, y, z) \in \Gamma_2 \end{cases} \quad (1)$$

여기서 k_{ij} 는 려과결수텐소르, H 는 수두, t 는 시간, S_s 는 저수률, w 는 원천모임항, H_0 은 초기수두, Γ_1 은 제1종경계, Γ_2 는 제2종경계, H_1 은 제1종경계우에서의 수두분포, m 은 제2종경계의 외법선방향, q 는 제2종경계우의 단위면적을 통하여 공급되는 물량이다.

함수층에서 열이동방정식은 다음과 같다.

$$\begin{cases} [n\rho_f c_f + (1-n)\rho_s c_s] \frac{\partial T}{\partial t} + \rho_f c_f v_f \frac{\partial T}{\partial x_i} = \lambda_{ij} \frac{\partial^2 T}{\partial x_i^2} + Q_T \\ T(x, y, z, 0) = T_0(x, y, z), & (x, y, z) \in \Omega \\ T(x, y, z, t)|_{\Gamma_1} = T_1(x, y, z, t), & (x, y, z) \in \Gamma_1 \\ T(x, y, z, t)|_{\Gamma_2} = T_2(z, t), & (x, y, z) \in \Gamma_2 \end{cases} \quad (2)$$

여기서 n 은 공극도, ρ_s 와 c_s 는 암석의 밀도와 비열, ρ_f 와 c_f 는 지하수의 밀도와 비열, T 는 온도, v_f 는 지하수의 속도, λ_{ij} 는 열분산텐소르, Q_T 는 원천모임향, T_1 은 제1종경계 Γ_1 의 온도, T_2 는 추공벽경계 Γ_2 의 온도이다.

2. 추공배치에 따르는 지하수의 온도변화특성

제주입식지하열교환체계에서 취수된 지하수는 열뿔프에서 열교환이 진행된 다음 다시 함수층에 재주입된다. 지하수흐름마당, 온도마당의 변화범위는 취수추공과 주수추공주변의 일정한 구역이다. 그러므로 모의분석에서는 취수추공과 주수추공을 중심으로 하여 계산구역을 $300\text{m} \times 300\text{m}$ 로 설정하였다. 그리고 모의구역에 취수추공 1개와 주수추공 2개를 배치하였는데 추공들사이의 거리는 각각 60m이다.

우리는 지하수흐름 및 용질, 열이동모의프로 그램(FEFLOW)을 리용하여 모의를 진행하였다. 모의에 리용된 모형파라미터들은 표와 같다.

지하수는 서쪽에서 동쪽으로 흐르며 수두구배는 0.5이다.

함수층의 두께는 6m, 초기온도는 15°C , 취수되는 지하수의 온도는 15°C , 주수되는 지하수의 온도는 10°C 이다. 그리고 취수량은 $1400\text{m}^3/\text{d}$, 주수량은 $700\text{m}^3/\text{d}$ 이다. 모의기간은 120일(난방기간)이다.

지하수흐름방향에 각이하게 취수추공과 주수추공을 배치하고 120일이 지난 후 지하수의 온도변화특성을 모의한 결과는 그림 1, 2와 같다.

표. 모형파라미터	
파라미터	함수층
려과결수/($\text{m} \cdot \text{d}^{-1}$)	85
공극도	0.31
고체골격압축결수	1×10^{-4}
고체골격비열/($\times 10^6 \text{J} \cdot \text{m}^{-3} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$)	1.40
고체골격열전도도/($\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$)	2.00
세로분산결수/m	1.0
가로분산결수/m	0.3

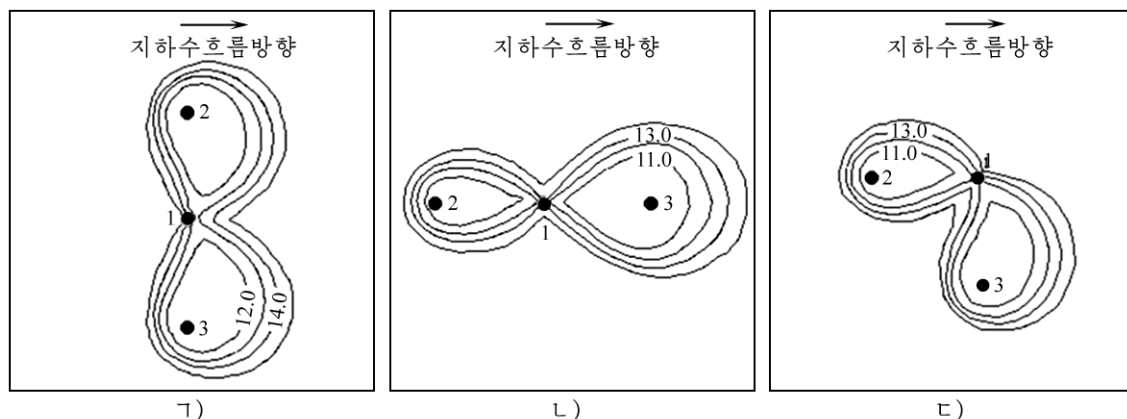


그림 1. 지하수흐름방향에 따르는 각이하한 추공(주수-취수-주수)배치

㉠) 수직으로, ㉡) 평행으로, ㉢) 직각으로;

1-취수추공, 2, 3-주수추공

그림 1에서 보는바와 같이 지하수의 온도는 지하수흐름방향에 수직으로 추공들을 배치하는 경우 13.77°C 이고 지하수흐름방향에 평행으로 추공들을 배치하는 경우에는 13.06°C 이며 지하수흐름방향에 직각으로 추공들을 배치하는 경우에는 13.07°C 이다.

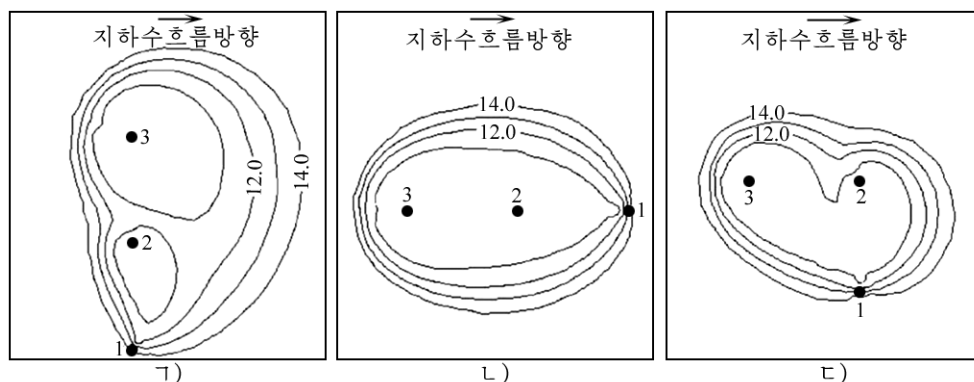


그림 2. 지하수흐름방향에 따르는 각이한 추공(주수-주수-취수)배치

ㄱ) 수직으로, ㄴ) 평행으로, ㄷ) 직각으로;

1-취수추공, 2, 3-주수추공

그림 2에서 보는바와 같이 지하수의 온도는 지하수흐름방향에 수직인 경우 13.93°C , 지하수흐름방향에 평행인 경우에는 13.33°C , 지하수흐름방향에 직각인 경우에는 12.52°C 이다.

그러므로 재주입식지하열교환체계에서 지하수흐름방향에 수직으로 주수-주수-취수 추공의 형식으로 추공을 배치하는 경우 120일 후에 취수되는 지하수의 온도변화가 제일 작다는것을 알수 있다.

맺 는 말

재주입식지하열교환체계를 설계할 때 해당 지역의 지질 및 수문지질상태를 고려하여 취수추공과 주수추공을 지하수흐름방향에 수직으로 배치하여야 지열팽난방에 필요한 지하수의 량을 보장하면서도 지하수의 온도변화를 줄여 정상운영을 보장할수 있다.

참 고 문 헌

- [1] H. J. Diersch; Computational Aspects in Developing an Interactive 3D Groundwater Transport Simulator using FEM and GIS, Estonia: IAHS Publication, 313~326, 1994.
- [2] 薛禹群; 地下水数值模拟, 科学出版社, 120~123, 2007.

주체103(2014)년 10월 5일 원고접수

Characteristics of Temperature Change of Groundwater according to the Arrangement of Boreholes in Reinjection Ground Heat Exchange System

Jon Kwang Su, Jong Song Guk and Song Kyu Ju

In this paper, we simulated the characteristics of temperature change of groundwater in aquifer and proposed the suitable arrangement of boreholes when pumping, injecting boreholes were arranged in different ways to the direction of groundwater flow in the reinjection ground heat exchange system.

Key words: reinjection ground heat exchange system, borehole