

지열랭난방체계에서 주수를 진행하는 경우 함수층에서의 열이동특성

송규주, 리길상

위대한 령도자 김정일동지께서는 다음과 같이 지적하시였다.

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

선행연구[1]에서는 지하수를 리용한 지열난방체계에서 지하수를 취수만 하는 경우 함수층에서의 열이동상태를 고찰하였다.

지하수를 계속 취수만 하는 경우 필요한 지하수를 계속 보장하는것이 힘들뿐아니라 지반침하와 같은 생태환경을 파괴하는 현상들이 많이 나타난다. 그러므로 우리는 지열랭난방체계에서 리용되고 퇴수된 물을 다시 함수층에 주입하는 경우 함수층에서의 열이동상태를 해명하였다.

연구지역은 평양시 대동강구역 옥류동의 강안에 위치하고있는데 서쪽으로 대동강이 흐르며 지열랭난방체계에서 리용되는 지하수를 보장하기 위한 추공들은 강안의 평탄한 곳에 배치되어있다.

연구지역에는 중생대 송림산주층사암을 기반암으로 하여 그위에 제4기 자갈층과 모래진흙층이 놓여있다. 모래진흙층의 평균두께는 6~7m이고 황갈색을 띠는 메흙성분이 많으며 모래자갈층은 황갈색이다. 모래자갈층은 기본함수층으로서 평균두께는 6m정도이다. 사암층 역시 황갈색을 띠는데 맨위에 풍화대가 0.3m정도의 두께로 놓여있으며 그 아래에는 피상풍화대가 있다. 양수시험을 진행한 결과 모래자갈층의 려과결수는 $K=85\text{m/d}$ 이다.

연구지역에는 3개의 추공이 있는데 그가운데서 량쪽에 있는 2개의 추공에서 지하수를 취수하고 가운데 있는 1개의 추공은 리용하지 않는다. 취수추공들에서 취수량은 평균 $700\text{m}^3/\text{d}$ 이고 매 추공들사이의 거리는 각각 100m이다. 따라서 우리는 가운데 추공에 지열랭난방체계에서 리용하고 퇴수되는 물을 다시 주입하려고 한다. 연구지역의 지표면의 해발높이는 12.1m이다.

우리는 연구지역의 지질도로부터 계산구역을 추공들을 중심으로 하여 동서 500m, 남북 500m의 등방성구역으로 설정하고 계산구역에서 유한요소분할을 진행하면서 수위 및 열이동상태를 더 세밀하게 고찰하기 위하여 하천경계와 추공주변에서 요소분할을 세밀하게 하였다.[1]

연구구역에 설치된 지열랭난방체계는 겨울철(11월 중순—다음해 3월)에 난방을 보장하고 여름철(5월 중순—10월 중순)에 냉방을 보장하기 위하여 2012년 8월 1일부터 운영을 시작하였는데 정상운영을 보장하기 위하여 현재 2개의 추공에서 지하수를 취수하고 있다.

연구지역 지열랭난방체계의 정상운동을 위하여 우리는 함수층에서의 지하수의 열이동 상태를 열이동모의프로그램(《FEFLOW》)을 리용하여 평가하였다.

다공성매질에서의 열이동방정식은 다음과 같다.[2]

$$\left(\frac{\rho_m c_m}{n \rho_f c_f} \right) \frac{\partial T}{\partial t} = \text{div} \left[\left(\frac{\lambda_m}{n \rho_f c_f} + \alpha v_\alpha \right) \text{grad} T \right] - \text{div}(v_\alpha T) + \frac{q_h}{n \rho_f c_f}$$

$$\rho_m c_m = n \cdot \rho_f c_f + (1-n) \cdot \rho_s c_s, \quad \lambda_m = n \lambda_f + (1-n) \lambda_s$$

여기서 첨자 f와 s는 각각 류체와 고체상을 의미한다. 그리고 λ_m 은 유효열전도도, c 는 비열, ρ 는 밀도, n 은 공극도, v_α 는 지하수의 흐름속도, q_h 는 원천모임항이다. 다공성매질에서 류체상과 고체상의 온도가 같다고 가정한다. ($T = T_s = T_f$)

열뿔프에 대한 운영을 시작해서부터 2013년 12월 15일까지(500d) 취수하는 지하수의 온도에 대한 측정값과 모의값은 그림 1과 같다.

그림 1에서 보는바와 같이 열이동모의를 통해 얻은 모의자료와 관측자료가 거의 일치한다. 이로부터 우리는 열이동모의에서 설정한 수문지질 및 열이동파라미터들과 경계조건들이 해당 지역의 수문지질 및 열력학적특성을 비교적 정확히 반영하였다는것을 알수 있다. 그러므로 이 파라미터들(표)을 지열랭난방체계의 정상운동을 보장하기 위해 열뿔프에서 리용되고 퇴수된 물을 다시 주입하는 경우 함수층에서의 열이동상태를 예측하는데 리용하였다.

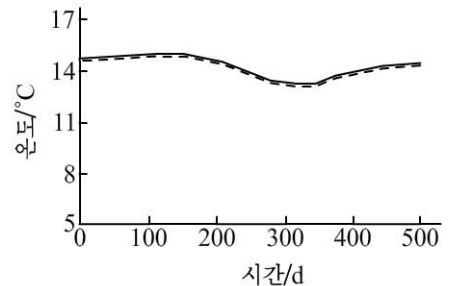


그림 1. 취수추공 1에서 시간에 따르는 지하수의 온도변화
... 모의온도, — 측정온도

표. 열이동모의프로그램에서 리용한 파라미터

지층	공극도	체적비열 (J·m ⁻³ ·°C ⁻¹)	열전도도 (J·m ⁻¹ ·s ⁻¹ ·°C ⁻¹)	가로분산도 /m	세로분산도 /m
모래진흙층	0.30	2.20×10 ⁶	2.5	5	0.5
모래자갈층	0.25	2.52×10 ⁶	3	10	1

2개의 취수추공사이에 배치한 주수추공을 리용하여 랭방운영때(150d) 200m³/d의 물을 함수층에 주입하는 경우 함수층에서의 지하수의 열이동상태를 모의하였다.

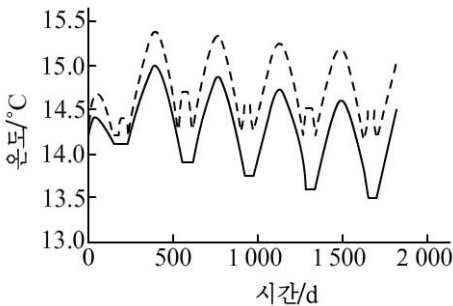


그림 2. 5년동안 운영하는 경우
지하수의 온도변화

... 주수하는 경우, — 취수만 하는 경우

2013년 11월 1일부터 5년동안 취수만 하는 경우와 주수하는 경우 지하수의 온도변화는 그림 2와 같다.

그림 2에서 보는바와 같이 지하수를 계속 취수하는 경우 지하수의 온도는 점차 낮아진다. 그리고 열뿔프에서 리용하고 퇴수된 물을 다시 주입하는 경우 지하수의 온도는 0.4°C정도 증가한다. 즉 랭방운영때 20°C의 폐수를 하루에 200m³씩 함수층에 주수하는 경우 취수하는 지하수의 온도변화는 크지 않다.

맺 는 말

연구지역의 지열팽난방체계가 생태환경을 파괴하지 않고 정상운영될수 있게 열뿔프에서 리용하고 퇴수된 물을 다시 주입하는 경우 함수층에서의 열이동상태를 해명하였다.

참 고 문 헌

- [1] H. Davarzani et al.; International Journal of Heat and Mass Transfer, **53**, 1514, 2010.
- [2] H. J. G. Diersch; WASY Software FEFLOW-Reference Manual: Part II, Applications, WASY Ltd, 13~51, 2002.

주체103(2014)년 3월 5일 원고접수

**Thermal Transport Characteristics of Aquifer in Geothermal
Cooling and Heating System with Injection**

Song Kyu Ju , Ri Kil Sang

We clarified thermal transport state of aquifer when an injection of warmer water in geothermal cooling system's operation by using heat transfer modelling FEFLOW is injected to aquifer.

Key words: geothermal systems, heat transport simulation, FEFLOW