

수직지하열교환기의 열교환에 미치는 지하수흐름속도의 영향

전 광 수

위대한 령도자 김정일동지께서는 다음과 같이 교시하시였다.

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

단긴식지열랭난방체계를 설계할 때 지하수흐름이 지하열교환기의 열교환에 어떤 영향을 미치는가 하는것을 정확히 밝히는것은 지하열교환기를 리용하여 주변지층으로부터 추출할수 있는 열량을 결정하기 위한 중요한 문제의 하나이다.

우리는 수직지하열교환기열전달모형을 작성하고 지하수흐름속도가 수직지하열교환기 주변지층의 온도마당에 미치는 영향을 평가하였다.

1. 수직지하열교환기열전달모형

일반적으로 다공성매질의 고체골격부분에서의 열전달은 열전도가 기본이지만 공극속에 들어있는 류체에서는 열전도에 의한 열전달뿐만아니라 대류에 의한 열전달도 진행된다.[1, 2] 그러므로 우리는 수직지하열교환기열전달모형을 그림 1과 같이 작성하였다.

수직지하열교환기주변지층에서의 온도분포특성을 모의하기 위한 구역의 크기는 $12\text{m} \times 10\text{m} \times 50\text{m}$, 지층의 초기온도는 16°C 로 설정하였다.

또한 추공의 직경은 150mm 이고 U형관(PE관)의 직경은 56mm 이며 관속으로 흐르는 류체는 순수한 물이고 관입구에서의 물흐름속도는 0.4m/s 이다.

그리고 여름철 관입구물온도는 28°C , 물의 운동학적점성계수는 $0.73 \times 10^{-6} \text{m}^2/\text{s}$, 겨울철 관입구물온도는 7°C , 물의 운동학적점성계수는 $1.45 \times 10^{-6} \text{m}^2/\text{s}$ 로 설정하였다.

모의에 리용된 재료의 열물리적성질지수들은 표 1과 같다.

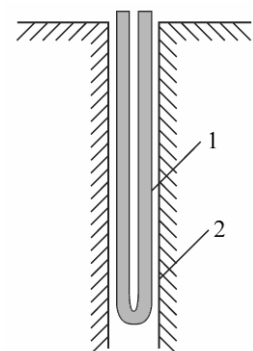


그림 1. 수직지하열교환기 열전달모형
1-U형관, 2-추공벽

표 1. 재료의 열물리적성질지수

재료명	열전도도/($\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)	밀도/($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	비열/($\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)
다공매질	2.10	1 540	1 800
충전재료	2.20	1 900	900
PE관	0.45	950	2 300

2. 지하수흐름속도가 열교환에 미치는 영향

우선 공극도가 0.32인 다공성매질에서 지하수흐름속도를 0.1~10m/d로 변화시키면서 여름철 랭방때 수직지하열교환기 주변지층에서 온도분포특성을 모의하였다.(그림 2)

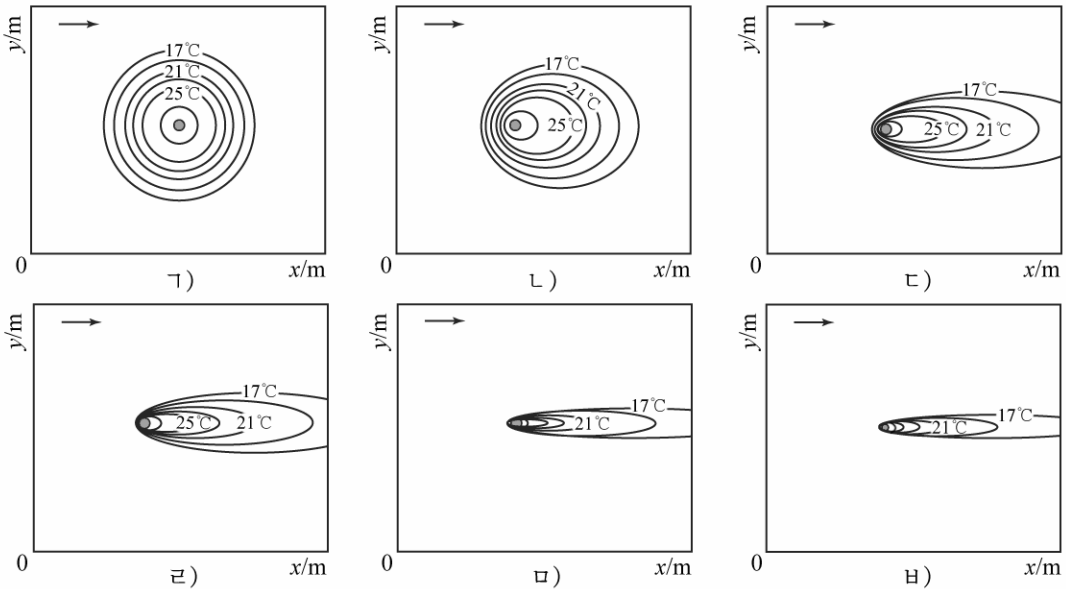


그림 2. 지하수흐름속도에 따르는 지층의 온도변화특성

㉠)~㉦)는 지하수의 흐름속도가 각각 0, 0.1, 0.5, 1, 5, 10m/d일 때; 화살표는 지하수흐름방향

그림 2에서 보는바와 같이 지하수가 흐르지 않는 경우에는 온도마당이 추공을 중심으로 대칭으로 분포되지만 지하수가 흐르는 경우에는 지하수흐름속도가 빠를수록 온도마당은 지하수흐름에 평행인 방향에서는 길게 연장되며 수직인 방향에서는 온도마당이 약하게 변화된다. 이로부터 흐름속도가 빠를수록 지하수흐름방향에서는 열이동이 활발하게 진행된다는것을 알수 있다. 그러므로 여러개의 추공들을 배치할 때 지하수흐름방향에서는 추공사이의 거리를 멀게 하고 지하수흐름에 수직인 방향에서는 추공사이의 거리를 가깝게 하여야 한다.

지층의 온도마당변화가 안정해지는데 걸리는 시간은 지하수흐름속도가 0.1, 0.5, 1m/d 일 때 각각 160, 25, 10h이다. 즉 지하수흐름속도가 빠를수록 지층의 온도마당이 안정해지는데 걸리는 시간은 짧다.

다음으로 지하수의 흐름속도가 수직지하열교환기가 설치된 주변지층의 열저항에 미치는 영향을 평가하였다.

지층의 열저항은 다음과 같이 계산한다.

$$R = \frac{T_e - T_s}{q}$$

여기서 T_e 는 추공벽의 평균온도, T_s 는 지층의 초기온도, q 는 열교환량이다.

추공주변지층의 온도마당이 안정해진 후 지하수흐름속도에 따르는 지층의 열저항을 계산한 결과는 표 2와 같다.

표 2에서 보는바와 같이 지하수흐름속도가 빠를수록 수직지하열교환기가 매몰되어있는 추공주변지층의 열저항은 작아진다는 것을 알 수 있다.

표 2. 지하수의 흐름속도에 따르는 지층의 열저항변화

지하수흐름속도/(m·d ⁻¹)	지층의 열저항/(K·W ⁻¹)
0.1	0.188
0.5	0.101
1	0.073
5	0.032
10	0.023

맺는 말

지하수가 흐르는 경우 수직지하열교환기가 매몰된 주변지층의 온도마당은 흐름방향을 따라 길게 연장되므로 여러개의 추공들을 배치할 때 지하수흐름방향에서는 추공들사이의 거리를 멀게 하고 수직인 방향에서는 가깝게 하는 것이 합리적이다.

지하수흐름속도가 빠를수록 수직지하열교환기가 매몰되어있는 추공주변지층의 열저항은 작아지며 수직지하열교환기의 열교환에 유리하다.

참고 문헌

- [1] D. Bauer et al.; Geothermics, **40**, 250, 2011.
- [2] 譚祈燕; 制冷与空调, **25**, 2, 152, 2011.

주체105(2016)년 9월 5일 원고접수

Effect of Groundwater Flow Velocity on Heat Exchange in Vertical Ground Heat Exchanger

Jon Kwang Su

Based on the numerical simulation of the single well vertical ground heat exchanger, we analyzed the effect of groundwater flow velocity on the temperature field of the soil around the vertical ground heat exchanger and thermal resistance.

Key words: vertical ground heat exchanger, groundwater