

FEFLOW를 이용한 천부지열 활용 예측 모델링

심병완, 송운호, 김형찬

한국지질자원연구원 지하수지열연구부 (boshim@kigam.re.kr)

<요약문>

An aquifer thermal energy storage (ATES) model is simulated by FEFLOW according to the scenario of heat pump operation in two layered confining aquifer. The scenario is consisted of 4 steps: 90 days pumping (west well) and waste water injection (east well: 35 °C), 90 days stop, 90 days pumping (east well) and waste water injection (west well: 5 °C), and 95 days stop. The injection of the waste water is limited in the second layer and the first layer is aquitard. The temperature distribution at the surface shows low difference with reference temperature and opposit aspect with that of the second layer because the thermal transition through the first layer is very slow. Even though the simulated thermal transition in the aquifer system have a difference with real ATES system, optimal design and operate system can be developed with field tests and operational experience.

key words: aquifer thermal energy storage (ATES), FEFLOW, heat pump, injection

1. 서론

지하수를 이용한 천부 지하 열자원 활용 시스템(Aquifer Thermal Energy Storage system)은 대부분 지하 100 m이내의 지중열로 겨울에는 난방, 여름에는 냉방을 가능하게 한다. 지하는 심도가 깊어질수록 연중 온도가 거의 일정하므로 연중 기온변화가 심한 대기와의 온도차를 이용한 활용이 가능하다. 국내에서 Heat pump를 이용한 지열활용은 1990년대 후반부터 상업화가 시작되었으나 초기 투자비 과다 문제로 아직까지 대중화가 미미하며, 미국이나 유럽 기기를 도입하고 있으나 기술의 단순 도입으로 과다설계에 의한 경제적인 비용의 증가로 냉난방 공조기의 효율 증대를 위한 노력이 필요하다. 따라서 우리나라 지질 및 지하수 부존 특성에 적합한 천부 지하 열 자원 활용 시스템 개발로 초기 시설 투자비를 절감함으로써 대중적인 활용 기반을 확대할 필요가 있다. 지열거동 모델링은 측정 자료나 실증 시험에 의한 시설 건설을 통한 지하 열 자원 활용 시스템의 성능 입증에 위한 과정으로서 경제적인 설계를 위하여 필수적이다. 본 연구는 지하 열 자원 이용에 따른 지반의 열적 거동 시뮬레이션을 통하여 대수층내 지반의 열 특성을 추정하기 위한 것으로서, FEFLOW 모델(Wasy, 2003)을 이용하여 열의 이동 과정을 몇가지 활용형태를 통하여 모사한 것이다. 비록 모델링에 의한 설계와 실제 시스템 운영에 대한 차이가 있을 수 있으나 실제 현장에 대한 실험과 시스템 운영의 경험을 이용한다면 최적화된 시스템을

구성할 수 있을 것으로 판단된다.

2. 본론

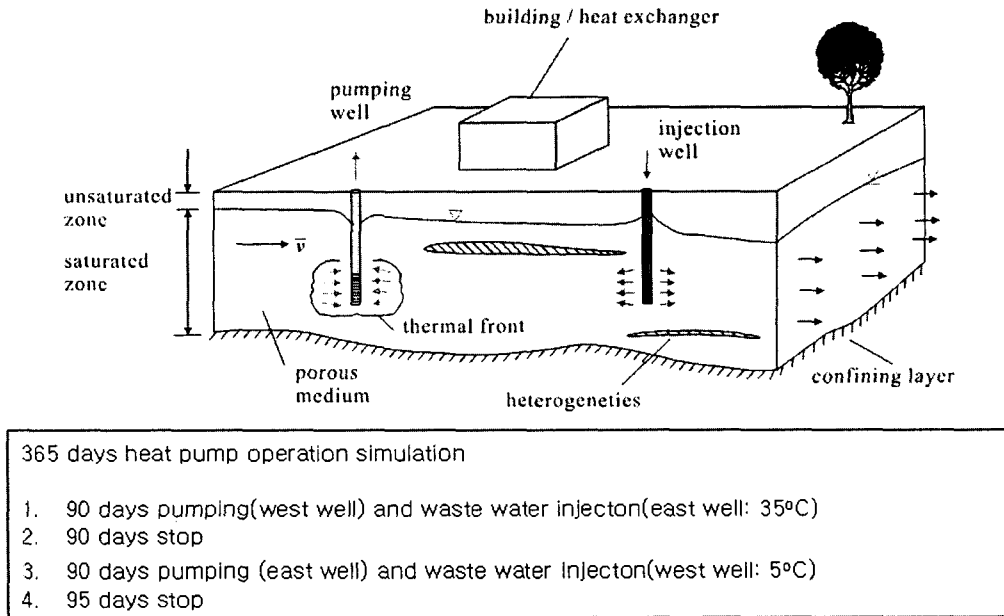


Fig. 1. A schematic model domain and a heat pump operation scenario for geothermal transport simulation.

Fig. 1은 천부 지열을 활용하는데 지하수를 이용한 형태의 heat pump를 설치한 모식도와 365일간 운영일정으로서 양수 및 주입을 두 개의 우물에서 교대로 실시하는 과정을 나타낸 것이다. 주입정과 양수 정간 거리는 20m이며, 스크린은 표고 -30 ~ -50 m 사이에 설치되어 있다. 먼저 서쪽 우물에서 양수 하여 heat pump를 운영하고 발생된 35 °C의 지하수를 동쪽우물에 90일간 주입하고, 90일은 heat pump를 중지시키고 주입정과 양수정을 바꾸어 5 °C의 물을 주입하였을 때를 가정한 것이다. 수리지질조건은 2개의 피압층으로 상부는 매우 낮은 공극율을 가진 난대수층이다. 대수층 온도의 초기조건은 16 °C이며 지하수위는 -5 m로 설정하였으며, FEFLOW 입력변수는 Table 1과 같다.

Table 1. Input parameters for the fluid and aquifer materials

Parameter	Unit	Assigned Value	
		0-30 m depth	30-50 m depth
aquifer thickness	m	30	20
porosity	1	0.01	0.2
volumetric heat capacity of the solid	10 ⁶ J/m ³ /K	2.52	2.52
heat conductivity of the solid	J/m/s/K	3.0	3.0
longitudinal dispersivity	m	5	5
transverse dispersivity	m	0.5	0.5
source(+)/sink(-) of fluid	J/m ² /d	0	0
source(+)/sink(-) of solid	J/m ² /d	0	0
In-transfer rate	J/m/d/K	0	0
Out-transfer rate	J/m/d/K	0	0

3. 결론

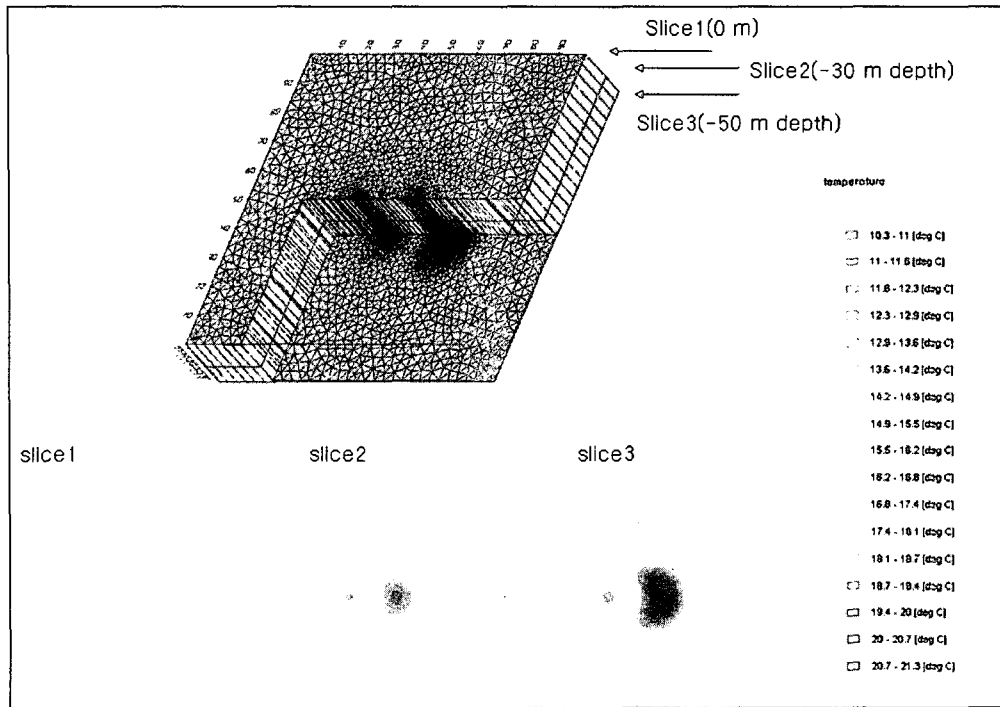


Fig. 2 The results of geothermal transport by groundwater source heat pump operation during 365 days according to the scenario.

Fig. 2에서 열적 거동은 공극율이 매우 작은 slice 1과 2 사이에서 매우 느리게 확산되고 있는 것을 알 수 있으며, slice3에서는 비교적 큰 변화가 나타났다. 지표(slice1)에서는 온도변화가 매우 미미하게 나타나며, slice2와 slice3과는 거의 역전된 형태의 온도분포를 보인다. 이것은 열적거동이 상부의 난대수층을 통과하는데 따르는 시간이 매우 큰 것으로 추정되며, 대수층내 열수와 냉수의 주입이 하부대수층에서 이루어지기 때문에 대수층내 공극율이 큰 하부대수층에서 주입수에 의한 열적거동이 크게 나타난다. 열적거동이 대수층의 경계면 특성과 조건에 따라 많은 차이를 나타내고 있으며, 양수량과 주입량에 따라 확산속도도 크게 차이를 나타낼 것으로 추정된다. 모사결과 나타난 온도범위는 약 10 ~ 22°C 사이로서 대수층의 초기조건 16 °C와는 밑으로 5 °C에서 위로는 7 °C의 차이를 보인다. 그리고 하부대수층에서 각각 주입공 주변의 온도 분포가 주입수의 온도에 따라 지배적인 분포를 가지는 것을 알 수 있다.

Fig. 3은 slice3에서 동서와 남북방향의 지열단면도를 나타낸 것이다. 동서방향에서는 동쪽우물에 먼저 35°C의 열수를 주입하여 대수층내 온도가 상승한 영향이 오랜 시간이 지나도 선명하게 나타나고 있으며, 서쪽우물도 5°C의 냉수를 90일간 주입한 영향으로 다소 낮은 온도분포를 나타낸다. 동북방향은 16°C ~ 18.3°C사이로 다소 열수의 영향을 많이 받은 것으로 보이며, 완만한 대칭적인 온도분포를 나타내고 있다. 그리고 서쪽과 동쪽 우물에서 열수나 냉수의 주입이 정지되는 순간 약 5°C 이상의 급격한 온도변화를 나타내었으나, 그 후 바로 안정화되면서 시간에 따른 낮은 온도변화를 보였다.

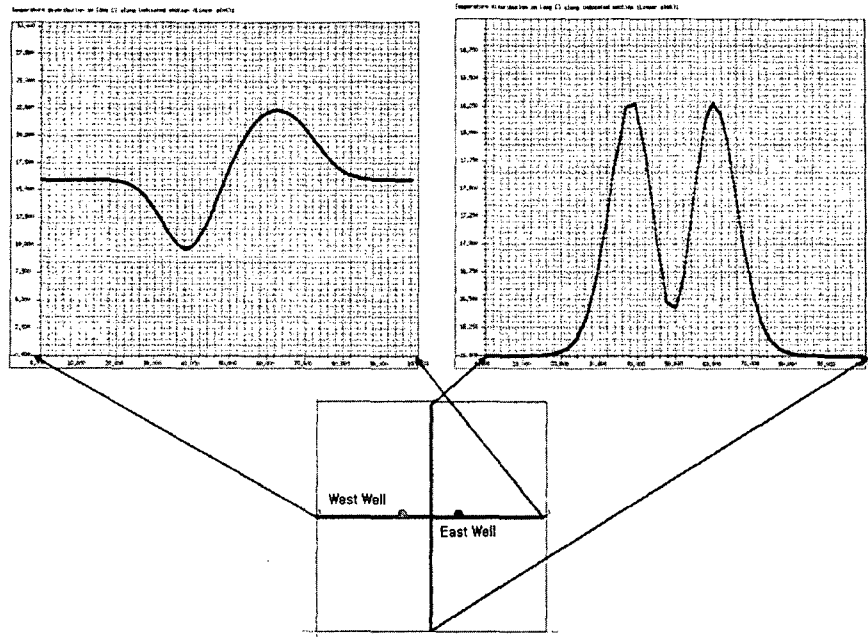


Fig. 3 Temperature sections at slice 3.

4. 참고문헌

1. Frank P. I., 2002, Fundamentals of heat and mass transfer, John Wiley & Sons Pub., 981 pp.
2. O'Sullivan M.J., Pruess K., and Lippmann, M.J., 2001, State of the art of geothermal reservoir simulation, Geothermics 30 pp. 395-429.
3. Paksoy H.O., Gurbuz Z., Turgut B., Dikici, D., Evliya, H., 2004, Aquifer thermal storage (ATES) for air-conditioning of a supermarket in Turkey, Renewable energy, 29, pp. 1991-1996.
4. Stephansson O., Jing L. and Tsang C.F., 1996, Coupled thermo-hydro-mechanical processes of fractured media, Elsevier Pub., 575 pp.
5. Wasy software, 2003, FEFLOW white papers, vol 1. 366 pp.