

심부지하수 수질 보호를 위한 천부포획정 공법

김강주, 박성민*, 염병우**

군산대학교 토목환경공학부 · *동명엔터프라이즈

**한국지질자원연구원 (e-mail: kangjoo@kunsan.ac.kr)

<요약문>

Nowadays, wells tapping the deep aquifers become general because water quality of the shallow groundwater has been gradually degraded over the last 30 years as a result of rapid industrialization and intensive agricultural activities. However, many of the deep wells also suffer problems of water-quality degradation in several years after the well installation, nevertheless those were properly completed and managed. It is believed that the heavy pumping from deep wells causes the downward movement of the contaminated, shallow groundwaters and introduces them into the deep aquifers. In this study, we introduce a shallow capture well system, which could effectively prevent the shallow groundwaters of poor water quality from moving into the deep aquifers by pumping of deep production wells. Even though additional costs are required to apply this system, we believe that this method could be appropriate for the deep wells that are important for the public health.

key word : capture well, water quality degradation, deep aquifer contamination.

1. 서론

지하수 오염은 보통 지표의 오염원으로부터 기인한다. 이에 따라, 우리나라에서도 지표오염원에 취약한 천층부 지하수는 상당부분 오염되어 있음이 많이 보고되고 있는 실정이다. 이같은 천층부 지하수의 광범위한 오염으로 인하여 최근의 지하수 개발은 비교적 오염에 덜 취약한 심부지하수를 주대상으로 하고 있다. 그러나, 천층부 지하수가 심각하게 오염되어 있거나, 오염원이 산재한 지역에서 깊은 우물을 개발하게 되면 일시적으로는 양질의 지하수를 얻을 수는 있으나, 몇 년이 지나면 이들 우물들도 심각한 수질저하를 경험하게 되는 일이 종종 나타난다. 이는 깊은 우물을 이용한 과도한 심부지하수 채수가 지표 근처의 오염물질이나 오염된 천층부 지하수를 지하 깊은 곳으로 이동시키는 효과가 초래하기 때문이다. 이같은 현상은 다수의 기존 연구결과에서도 관찰된 바 있다 (Graham and Parks, 1986; Parks, 1990; Lico, 1997; Kim et al., 2003).

우리는 본 연구에서 과도한 심부지하수 채수로 인한 심부대수층의 오염물 저감시킬 수 있는 포획정설치 방법을 소개하고자 한다. 본 방법의 요지는 심층부의 지하수를 채수하는 양수정 상부(즉, 천층부)에 오염물질을 포획할 수 있는 포획정을 설치하여 표층부의 오염물질(또는 오염된 지하수)이 수질이 양호한 심부대수층에 유입되는 것을 차단하도록 하는 것이다.

2. 연구 방법

본 연구를 위하여 미국지질조사소(United States Geological Survey)가 개발한 MODFLOW와 MODPATH라는 수치모델 프로그램을 이용하였으며, 모델 시험에서는 다음 사항을 모사함으로써, 천부 포획정 설치에 따른 오염물질의 거동을 관찰하였다.

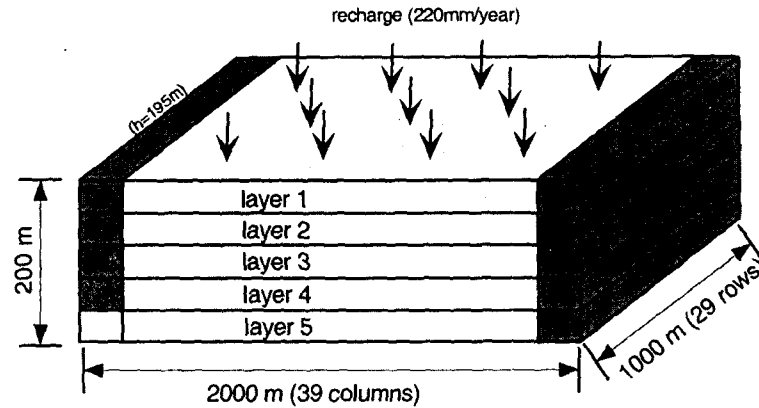


Fig. 1. 모델 설명

- (1) 심부지하수를 개발하지 않을 경우,
- (2) 단순히 양수정(pumping well)을 이용하여 심부지하수를 개발하는 경우,
- (3) 양수정 상부에 포획정을 설치하고 지하수를 개발하는 경우

본 연구에 이용된 모델은 39 column x 29 row x 5 layer의 격자를 가지며, 각 layer는 모두 40m의 두께를 갖는다고 가정하였다(Fig. 1). Row와 column의 너비는 0.2 - 100 m로 다양하게 설정하였으며, 대수층은 모두 균질하고 등방성을 띤다고 가정하였다. 대수층의 수리전도도는 3m/day로, 비산출율 및 비저류계수는 각각 0.15와 10^{-5} m^{-1} , 그리고 유효공극율은 최상부층에 대해서는 0.2로 그 하부층들에 대하여는 0.15로 설정하였다. 모델의 좌측과 우측면은 각각 수두가 195m, 185m인 등수두경계 (Constant Head Boundary)로, 최상부층은 220mm/year의 함양율을 갖는 함양경계(Recharge Boundary)로, 나머지 면은 모두 무유량경계(No Flow Boundary)로 설정하였다. 본 연구에서 오염물질은 궁극적으로 지표로부터 유입되는 것으로 가정하였다. 이러한 상황에서 모델의 중앙 지하 120-160m에서 일 2000m³을 양수하는 양수정이 있을 때와 없을 때, 그리고 양수정 상부의 지하수면 근처에서 일 200m³을 양수하는 포획정이 있다고 할 때 오염물질의 이동경로를 관찰하였다.

3. 결과 및 토의

심부지하수를 개발하지 않을 경우, 오염원이 지표로부터 유입되지만 지표부근의 지하수만 오염되고 심부지하수는 양질의 상태를 유지 할 수 있다(Fig. 2). 일 2000 m³의 심부지하수를 개발한다고 가정할 경우, 지표부근에 존재하던 오염물질이 심부의 양수정으로 유입되어 결국은 심부의 지하수 수질도 저하될 수 있는 것으로 확인되었다(Fig. 3). 그러나, 천부포획정을 설치하고 심부지하수를 개발하는 경우 (그림 4), 지표부근에 존재하던 오염물질이 대부분 천부 설치된 포획정에 포획되고 심부의 양수정에는 오염물질이 유입되지 않게 되는 것으로 모사되었다.

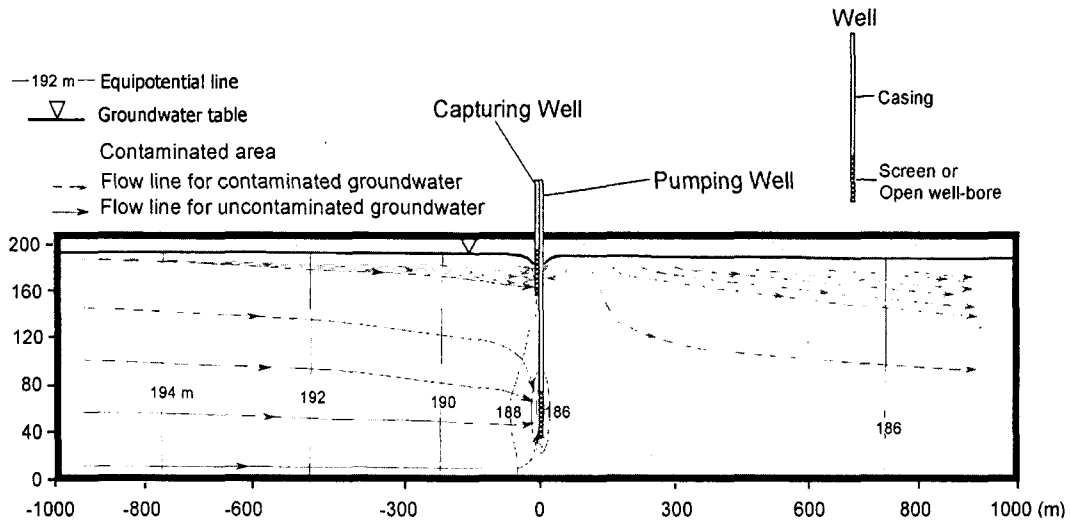


Fig. 2. 양수정 상부의 지하수면 근처에서 일 200m³을 양수하는 포획정이 있다고 할 때, 오염된 지하수는 천층부의 포획정에 대부분 포획되게 된다.

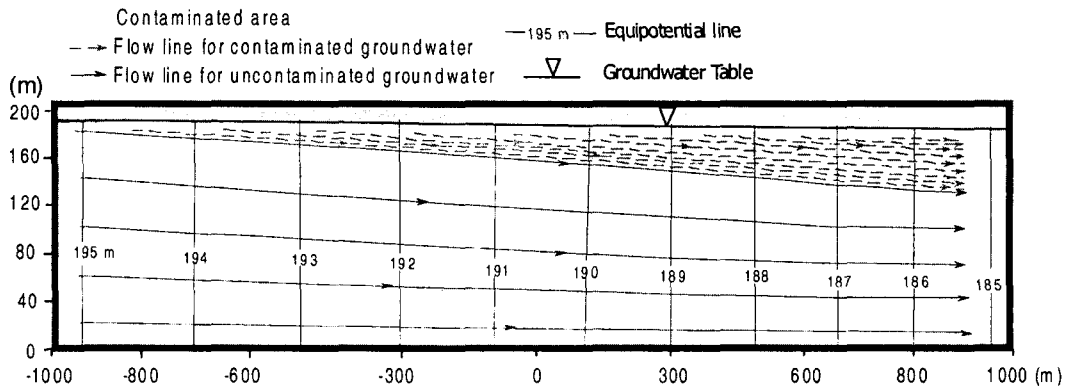


Fig. 3. 양수를 하지 않을 경우, 지표부근의 지하수만 오염되고 심부지하수는 양질의 상태를 유지 할 수 있다.

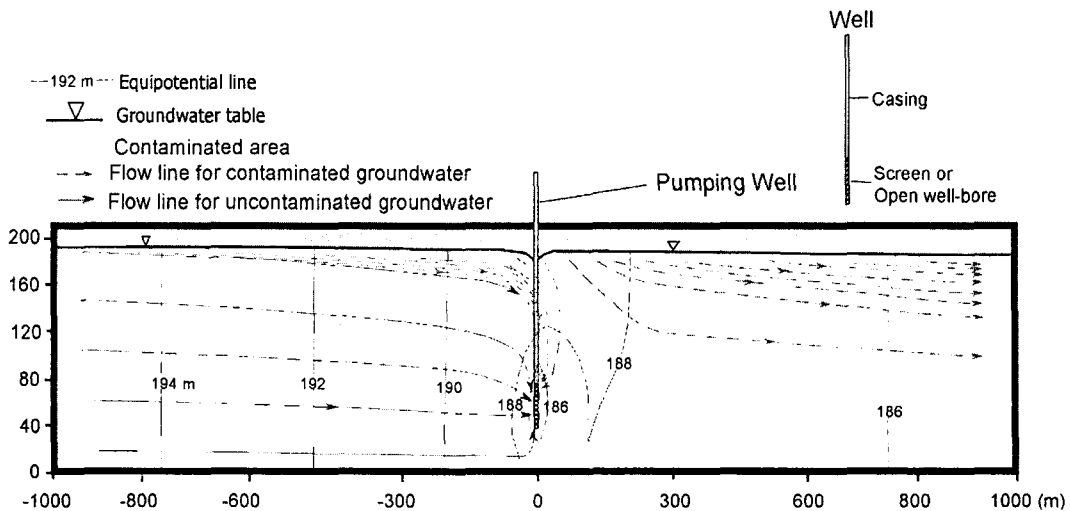


Fig. 3. 모델의 중앙 지하 120-160m에서 일 2000m³을 양수하는 양수정이 있을 때, 천부의 오염물질은 심부로 유입되어 심부지하수도 오염되게 된다.

모델시험을 수행한 결과, 심정상부에 천부 포획정을 설치하게 되면 오염물질이 심부의 양수정에 유입

되는 것을 막을 수 있어, 지속적으로 양질의 심부지하수를 확보할 수 있을 것으로 나타났다. 국내의 심부 암반대수층은 대체로 피압되어 있음을 감안할 때, 본 공법으로 인한 천부 오염물질 심부유입 차단효과는 실제 더욱 클 것으로 예상된다. 그러나, 최적의 운영을 위한 포획정의 설치심도 및 양수량은 오염원 분포상황과 지질 조건, 양수정의 양수량 및 양수심도 등에 따라 다르게 나타날 것으로 예상된다. 따라서, 양수정 인근에 대한 정밀한 수리지질조사 후 포획정의 양수량을 결정하는 것이 타당할 것으로 판단된다. 천부포획정에 오염된 지하수를 포획하게 되면 지하수의 일부가 손실되고(본 모델의 경우 약 10%), 또한, 천부포획정운영으로 인한 비용손실이 요구된다는 단점이 있으나, 심부의 지하수수질을 양호한 상태로 유지시킬 수 있으므로, 집단급수용 간이상수도나 먹는샘물과 같이 양호한 수질을 유지해야 하는 암반지하수 개발에 특히 유용할 것으로 생각된다. 천부포획정으로 양수되는 지하수는 수질 수준에 맞추어 조경용수, 화장실 용수 등으로 이용한다면 비용의 손실을 줄일 수 있을 것이다.

4. 결론

지하수 모델링 결과, 본 연구에서 제시한 방법대로 천부포획정을 설치하게 되면, 심부지하수의 수질은 취수정 인근의 오염물질에 영향을 거의 받지 않는 것으로 나타났다. 이 같은 포획정 설치후에도 경우에 따라서는 심부지하수가 취수정에서 멀리 떨어진 오염원에는 영향을 받을 수 있겠으나, 이에 의한 영향은 심각하지 않을 것으로 판단된다. 취수정에서 멀리떨어진 오염물질이 취수정에 포획되기까지는 상당히 오랜 체류시간이 소요될 것이므로, 취수정에 유입되기 전에 충분한 자연저감이 이루어질 수 있을 것이다. 따라서, 본 방법은 취수정 인근의 오염물질이 바로 취수정으로 들어가는 것을 차단하고, 멀리 떨어진 지역의 오염된 지하수는 오랜 체류시간으로 자연저감을 유도하는 방법이라고 할 수 있다. 그러나, 앞서서도 밝힌 것처럼, 포획정의 채수량은 취수정의 깊이, 지질조건, 양수량 등에 의하여 다를 수 있으므로 현장에 대한 충분한 조사후 적용하는 것이 필수적일 것이다.

5. 참고문헌

- Graham DD, Parks WS. 1986. Potential for leakage among principal aquifers in the Memphis area, Tennessee. *USGS Water-Resources Investigations Report 85-4295*.
- Kim K, Koo MH, Moon SH, Yum BW, Lee KS. 2003. Geochemistry of groundwaters in a spa area of Korea: An implication for water quality degradation by intensive pumping. *Hydrological Processes* (in review)
- Lico MS. 1997. Quality of ground water beneath urban and agricultural lands in Las Vegas Valley and the Carson and Truckee River Basins, Nevada and California--Implications for water supply. *USGS Water-Resources Investigations Report 97-4259*.
- Parks WS. 1990. Hydrogeology and preliminary assessment of the potential for contamination of the Memphis aquifer in the Memphis area, Tennessee. *USGS Water-Resources Investigations Report 90-4092, 39 p.*

6. 사 사

본 연구는 21세기 프론티어연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비지원(#3-1-1)에 의해 수행되었습니다.