

3

땅속의 물

숨어있는 담수 116.7억m³

글_ 이강근 서울대학교 지구환경과학부 교수 kkleee@snu.ac.kr

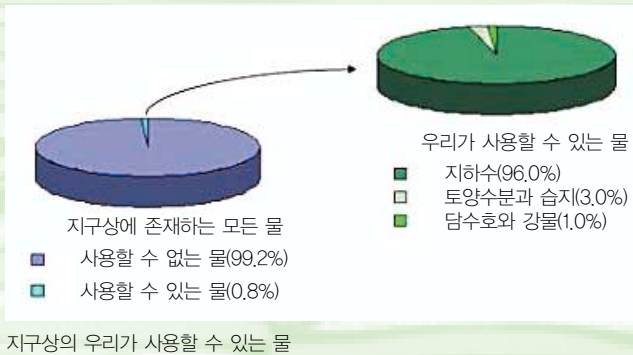
‘**땅**속에는 물이 어디에 얼마나 있을까?’에 대한 대답이 쉽지 않다. 왜냐 하면 땅속은 너무나 가깝지만 그러나 보이지 않는 신비의 세계이기 때문이다. 땅속에는 물도 있고, 석유도 매장되어 있으며, 무수히 많은 미생물들이 살아가고 식물의 성장 터전이 되는 또 하나의 복잡하고 다양한 세계이다. 땅속 세상을 더 다양하게 만드는 것이 바로 땅의 구조이다. 다양한 색깔과 크기와 구조를 가진 토양, 거의 절리가 없는 암반의 형태를 이루지만 어떤 지점에서는 마구 깨져서 물을 많이 품고 있는 암석, 시원하고 담백한 생수를 만드는 지층, 오색약수와 같이 맑은 물을 만드는 지층, 초정약수와 같이 탄산수를 만드는 지층 등 땅속의 물을 담는 그릇에 따라서 지하수의 수질도 달라지고 저장하고 있는 물의 양도 달라지게 된다.

인류는 지구상의 물 0.3%에 의존

세계기상기구 WMO(World Meteorological Organization)의 기초 자료에 의하면, 지구상의 수자원 중에서 대부분 바닷물과 같은 짠물이 97.5%를 차지하고 있으며, 우리가 바로 사용할 수 있는 민물의 형태나 녹이면 민물이 되는 수자원(빙하나 만년

설의 형태로 존재하는 것 포함)으로 존재하는 것은 총 부피의 2.5%에 불과하다. 이 2.5%의 담수 수자원만을 떼어서 보면, 이 중에서 69.9%는 빙하나 계속 눈으로 존재하는 만년설의 형태로 있고, 담수호나 강물은 놀랍게도 불과 0.3%에 불과한데 우리 인류는 지금까지 이 수자원에 크게 의존해 왔다. 토양수분이나 습지 등의 형태는 약 0.9%에 해당한다. 나머지 전체 담수 수자원의 약 1/3에 해당하는 28.9%가 땅속에 지하수로 존재한다. 그리고 극히 일부분이 대기 중의 수증기와 인체나 생물체내의 물로 존재한다. 액체상 물의 형태로 존재하는 수자원만 대상으로 하면 그것의 96% 가량이 지하수의 형태로 존재한다. 빙하나 만년설이 인류가 생활하는 공간과 많은 거리를 두고 있음을 생각하면 우리 주변의 거의 대부분의 담수 수자원은 놀랍게도 우리 눈에는 보이지 않는 땅속에 있다는 말이 된다.

그렇다면 우리 나라의 땅속에 있는 지하수의 총량은 얼마나 될까? 이것을 계산하기 위해서는 지층에서 물을 저장할 수 있는 미세한 빈틈인 공극의 비율과 깊이에 따른 변화, 암석의 종류 등을 고려하여야 하며, 땅속으로 깊이 들어갈수록 지중 압력의 증가에 따른 공극의 닫힘 현상들도 고려해야 한다. 그러나 일반적으로 지하수가 존재하는 한계 깊이를 약 4km 정도로 보고, 공극률과 심도에 따른 변화를 아주 넓은 범위로 개략적으로 추정할 수 있고, 지하수의 평균 체류시간을 안다면 연평균 함양량을 기준으로 지하수 총량을 계산할 수 있다. 전지구적 규모로 볼 때 지하수가 지표에서 지하 약 800m까지 절반의 저수량, 그리고 나머지 심도에서 약 4km까지 나머지 절반의 지하수가 부존된 것으로 분석된다. 우리 나라의 경우 지하 매질에 대한 심도별 정보가 아직 많이 확보되지 못해서 정확도가 떨어지는 추정값이긴 하지만 지하수 평균 체류시간을 100년으로 잡으면 약 1조 5천억m³ 내외의 물





소양강댐

이, 500년으로 잡으면 약 7조~8조 m^3 의 물이 지하에 저장되어 있다고 볼 수 있다. 적게 잡아도 1조 m^3 이상의 지하수 부존량을 산정할 수 있다. 우리 나라 소양호의 저수량이 약 29억 m^3 인 것을 참고하면 얼마나 많은 물이 우리 나라의 땅속에 있는지 짐작할 수 있다.

그런데 여기서 오해하지 말 것은 지하수의 저장량은 우리가 개발해서 이용할 수 있는 양이 아니라는 것이다. 지하수는 땅속에서 고체상의 암석이나 퇴적물과 상호 협력하여 그 상부의 지층이나 구조물을 지탱하는 역할을 하고, 하천수나 강물과 상호 교환되면서 저장량을 주고받는 역할을 하며, 대부분은 우리가 뽑아내기도 어렵다. 즉, 땅속에 있는 물은 땅을 지탱하는 중요한 요소라고 생각하면 된다. 2002년 발행된 건설교통부의 지하수기본관리계획상의 분석에 의하면 땅을 지탱하는 이러한 지하수 고유의 기능을 유지시키면서 개발·이용할 수 있는 개발가능량은 총저

장량의 1%에 못 미치는 116.7억 m^3 정도로 분석된다. 여하튼 2003년 현재 우리 나라 수자원 총이용량이 331억 m^3 , 지하수 이용량이 37억 m^3 인 점을 감안하면 앞으로 지하수가 물의 부족 시대에 얼마나 중요한 역할을 할 수 있으며, 물의 부족을 해결할 수 있는 가장 중요한 대안 중의 하나임을 짐작할 수 있다.

위성사진 분석, 전자파 쏘아 땅속 모습 영상화

그렇다면 지하수를 많이 이용할 수 있는 곳은 어떤 곳이며, 그것을 어떻게 찾을 수 있을까 하는 문제는 과학기술이 해결해야 할 부분이다. 지하수의 땅속 분포와 흐름, 그리고 지하수 오염의 진단과 정화를 위한 과학적 방법은 우리 몸을 대상으로 검진과 진단을 하는 의사들의 방법론과 개념적으로 비슷한 것들이 많다. 내과 진찰을 하듯이 지형과 지질의 특성을 조사하고, 의사의 육안 검진과 초음파 촬영이나 정밀 진단 촬영 과정과 비슷하게 땅

속의 물 탐사에서는 우선 지표 지질을 조사하고, 가시광선 영역 이외의 파장영역에서 다양한 인공위성 영상을 분석하며, 땅속에 전자기파를 보내 땅속의 모습을 보는 지구영상화 기법을 동원한다. 병원에서 피검사를 하듯이 지하수를 채취하여 그 속에 있는 여러 성분들을 검사하여 어디서 얼마나 빨리 흘러서 온 물인지 파악한다. 핏속의 어떤 성분이 어떤 질병의 지시자가 되듯이 땅속의 물에 있는 특정 성분들은 지하수의 기원과 흘러온 역사에 대한 지시자이며, 이것으로부터 땅속에서 물의 분포와 흐름에 대한 정보를 취득한다.

'땅속의 어디에 개발이 가능한 지하수가 많이 있는가?'의 문제는 아직 지구과학적 기술이 정확히 해결하지 못하고 있는 문제 중의 하나인데, 이로 인해 일반인들은 아직도 나뭇가지나 추 또는 금속 막대를 이용한 소위 '수맥탐사'에 관심이 많기도 하다. 물은 땅속의 빈틈을 채우고 있으면서 미세한 틈을 따라 존재하는 포텐셜에너지의 차이로 인해 땅속에서 흐름이 발생하게 되는데, 땅속 물의 흐름을 만드는 에너지를 제공하는 원천은 태양에너지와 지구의 열에너지이다. 땅속에서의 물의 흐름이 있기 때문에 땅속에서 물이 많이 모여 흘러가는 길목을 찾아 지하에 관정을 뚫으면 땅속의 물을 많이 얻을 수 있다. 즉, 땅속의 어떤 지점이 물이 많이 모여서 흘러가는 곳인지를 찾으면 되는데 이는 결국 땅속 지질구조를 알아내는 문제로 연결된다.

지표수의 동위원소 분석, 지하수의 기원 추적

그러면 어떻게 땅속 지질구조를 잘 알 수 있을 것인가? 땅속은 우리가 직접 가서 눈으로 볼 수 있거나 카메라로 촬영할 수 없는 곳이다. 따라서 땅속이 방출하는 무엇인가를 검출하여 그 상태를 알아내거나 땅속의 지질 분포가 변화시키는 전자기장의 변화, 중력장의 변화를 측정하기도 한다. 인공위성 영상을 분석하여 지표 면상에 나타나는 대형 지질구조의 흔적을 찾아서 정밀 탐사의 범위를 결정한다. 또는 위성 영상이나 항공기 탑재 장비를 이용하여 얻은 다양한 파장영역의 영상들을 분석하여 지표면 근처의 토양 수분의 공간적 분포를 분석하여 지하수가 산출될 가능성이 높은 지역을 선정한다. 이런 과정을 거쳐서 정밀 조사 대상 영역이 결정되면 지층 자체의 전기 저항에 비해서 물의 전기 저항이 상대적으로 낮은 특징을 이용하여 땅속에서 물의 분포와 관련된 영상을 얻는다.

이렇게 점차적으로 대상 지역을 좁혀 들어가서 좀 더 직접적으로 지하수를 대상으로 분석하게 되는데, 대상 지역의 지하수 관정으로부터 지하수를 채취하여 물의 순환 능력과 저장능력을 분석한다. 관정에서 지하수위의 변화폭과 변화속도를 측정하여 지하수가 계절적으로 얼마만큼 보충되는지를 판단한다. 지하수가 얼마나 떨어진 곳에서부터 이동해 왔는가를 알기 위해 물 속에 극미량 존재하는 환경동위원소를 이용한다. 예를 들어 산소나 수소의 동위원소 비율, 질소 동위원소의 비율, 황동위원소의 비율 등으로부터 지하수의 기원을 추적하며, 방사성 동위원소의 붕괴로 인한 농도 변화를 추적하여 지하수의 나이와 속도를 분석한다. 이런 분석을 종합하면 어떤 지역의 지하수가 얼마나 빨리 순환하며 얼마나 넓은 영역에서 모이는 지하수라는 것을 파악할 수 있기 때문에 적절히 개발하여 이용할 수 있는 지하수의 양적 범위가 계산된다.

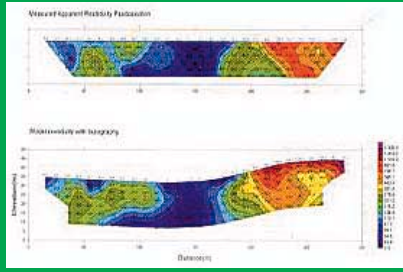
지하수 개발보다 '지표환경 파괴' 우선 고려

일단 대상 지역과 개발 지점을 정한 후 설치한 지하수 관정에서 지하수의 고갈을 일으키지 않고 이용할 수 있는 '적정이용량'을 결정하기 위해서는 시험 시추공에서 실제로 물을 양수해 보는 현장 실험을 하고 그 자료를 분석하여 이용량의 한계를 정하게 된다. 지하수를 어느 정도의 양으로 개발해서 이용할 때 향후 주변에 초래하는 변화와 영향에 대해서는 고성능 대형 컴퓨터를 이용하여 지층의 상태와 유체 이동에 관한 모델링을 수행하여 예측한다. 그러나 위에서 언급한 일련의 과정들은 자연 상태의 여러 조건들을 충분히 반영하기 어렵거나 자연 상태에 대한 복잡한 현상들에 대해 모르는 영역이 아직 많기 때문에 현재까지의 첨단 과학 기술력을 총동원해도 지하수 개발지점 선정에서 실패할 확률이 비교적 높은 편이고 따라서 획기적인 기술의 개발이 필요하다.

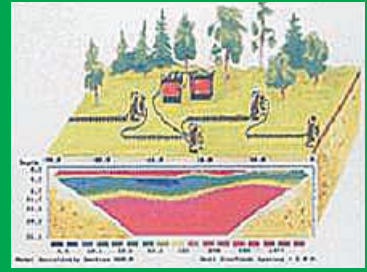
땅속의 물을 확보하는 면에서 가장 중요한 점은 지하수를 우리 세대뿐만 아니라 후속세대에도 영구적으로 온전한 상태로 물려주면서 사용하기 위해서는 국지적으로나 지역적으로 과잉 이용에 의한 시스템 파괴를 방지해야 한다는 것이다. 땅속을 지하수를 담은 저장탱크라고 할 때, 빗물의 일부가 땅속으로 들어오는 것은 저장탱크로 물이 들어오는 것이고, 지하수를 양수하는 것과 다른 지역으로 흘러나가는 것은 저장탱크에서 물이 나가는 것이



땅속 구조 탐지를 위한 물리탐사



탐사 자료의 해석 모식도



탐사자료 해석에 의한 지하수 개발 가능지점 선정

다. 따라서 저장탱크에서 나가는 물의 양이 많으면 궁극적으로 저장탱크의 물은 고갈될 것이다.

이런 현상이 지하수 고갈이며 이 때 우물의 수위가 떨어져서 물이 마르게 된다. 지하수를 너무 많이 양수하면 지하수위가 내려가고 그 결과 상부 지압을 견디지 못한 지층이 침하하면서 물을 저장할 수 있는 빈틈이 닫히면서 물을 저장할 수 있는 능력이 떨어진다. 즉 물을 담는 지층인 대수층의 파괴를 가져와 땅속은 더 이상 지하수를 공급하지 못하게 된다. 최근에는 땅속의 물을 탐지하는 기술보다는 땅속이 물을 공급하는 기능을 유지하기 위한 모니터링 기술과 문제 발생을 초기에 감지할 수 있는 경보시스템을 개발하는데 더 많은 과학적 연구들이 진행되고 있다.

‘땅속의 물’은 미래를 위한 수자원 최후의 보루

전지구적으로나 우리 나라의 입장에서 21세기는 물의 위기를 겪을 것으로 예상되는 시기이다. 21세기를 여는 전망에서 많은 언론 매체나 해외의 전략적 분석가들은 물과 관련된 국가간의 전쟁을 예상하기도 하였다. 이런 시대적 상황에서 지하수는 인류에게 어떤 의미를 가지고 있는지를 살펴볼 필요가 있다.

IAH(국제수리지질학자연맹)의 지하수 비전에 의하면 지하수의 일반적인 중요성을 다음과 같이 언급하고 있다. 첫째, 앞에서도 언급한 것이지만, 빙하로 갇혀 있는 담수자원을 제외하면 액체의 형태로 존재하는 전세계 민물의 96% 가량이 지하수이다. 둘째, 지하수는 현재 약 15억 명, 또는 그 이상의 지구촌 주민들에게 물을 공급하는 수원이 되고 있다. 셋째, 상수도 관로 설치가 용이하지 않거나 비용면에서 경제적이지 못한 농촌이나 시골에서 지하수는 적은 비용으로 물을 공급하는 수원으로서 유일한 대

안이다. 넷째, 대규모나 소규모의 관개 농업에 이용이 증대되고 있으며, 지구상의 인구 증가와 더불어 앞으로 관개 농업에서 지하수의 수요는 계속 증대될 것으로 예상된다. 다섯째, 지하수는 대규모의 저장 능력 때문에 가뭄기간에 물 공급을 의존할 수 있는 수자원이다. 여섯째, 지하수는 전지구적으로 대부분의 지역에 부존되어 있고 수질도 비교적 양호하므로 값싸게 개발·이용할 수 있는 수자원이다. 일곱째, 지하수는 예기치 못한 대규모 댐이나 수도의 수질 오염 사고 등의 비상사태에 물을 확보할 수 있는 대안이다. 이러한 이유들로 인해 지하수는 21세기에도 그 중요성이 증대될 수밖에 없으며, 우리 나라도 국가적으로 지하수 자원의 보전, 관리에 가일층 노력해 나가야 한다.

1992년 제47차 유엔 총회에서 매년 3월 22일을 ‘세계 물의 날’로 제정, 선포하고 점차 심각해지는 물부족과 수질 오염을 방지하기 위해 각종 회의, 전시회, 홍보물 제작 등 물 관련 행사를 주선하고 있다. 매년 물에 대한 전지구적 관심을 불러일으키고 있는 세계 물의 날(매년 3월 22일) 행사에서 지하수가 가장 중요한 의제로 선택되기도 하였다. 1998년의 세계 물의 날 주제는 ‘지하수: 눈에 보이지 않는 자원’이었는데, 이런 면에서 본다면 지하수 고갈과 오염 문제는 더 이상 방지할 수 없는 인류 공동의 과제가 되었다. 그러나 이렇게 소중한 수자원을 보전하는 일은 구호와 열정만으로 잘 될 수 없으며, 복잡한 땅속에서 물의 흐름과 수질의 변화를 탐지하고 제어할 수 있는 과학기술력이 바탕이 되어야 가능하다. ㉔



글쓴이는 미국 퍼듀대학교에서 지구 및 대기과학과 박사 학위를 받았다. 한국지하수토양환경학회 총무이사, 서울대학교 기초과학연구원 지질환경연구소 소장을 겸임하고 있다.

땅속의 물

제주도 지하수의 나이는 50세

글_ 김용제 한국지질자원연구원 선임연구원 yjkim@kigam.re.kr

‘화’성에 착륙한 탐사 로봇 스피릿이 물의 흔적을 찾고 있다. 이는 뉴스를 본 적이 있을 것이다. 생명이 존재하기 위해서는 물이 꼭 필요하기 때문에 과학자들은 화성에 생명체가 살 수 있는 가능성을 물의 존재로 연구하고 있다. 물은 이렇게 생명의 근원이다. 그러나 우리는 물이 풍부한 ‘물의 행성’ 지구에 살고 있기 때문에 물의 소중함을 잊고 지내는 경우가 많다.

산에 오르면 풍풍 솟아나오는 샘물을 흔히 볼 수 있다. 그럼 샘물에서는 어떻게 물이 계속 솟아나올 수 있을까? 그것은 빗물이 땅속으로 스며든 후에, 땅 위를 흐르는 하천과는 달리 아주 천천히 흘러나오기 때문이다. 땅속의 물을 연구하는 사람들은 이렇게 지하에 스며든 물을 ‘지하수’라고 부른다. 흐름이 느리고 빠른 차이는 있지만 땅속에는 어느 곳이나 물이 존재하고 있다. 그래서 지하수를 ‘숨겨진 바다’라고 부르기도 한다.

프레온 가스 농도로 지하수 나이 측정

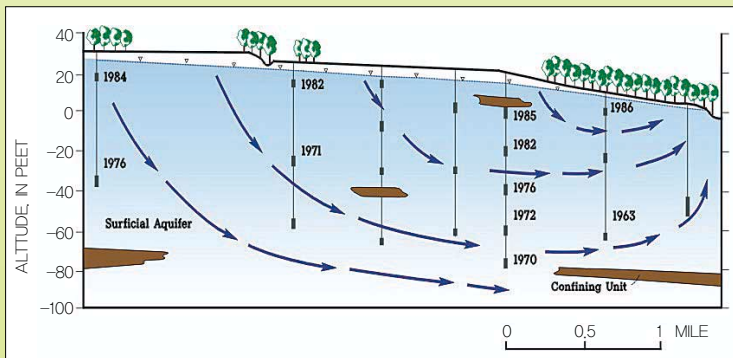
‘지하수도 나이가 있을까?’ 이런 질문을 하면 물에 무슨 나이가 있느냐고 반문하는 사람이 많을 것이다. 나이는 주로 생

명체가 태어난 이후에 흐른 시간을 의미한다. 무생물도 의인화해서 나이를 따지기도 한다. 그러나 어떤 경우든 생성된 이후에 지나간 시간을 의미하는 것은 같다고 할 수 있다. 그렇다면 지하수의 나이는 무엇을 의미할까?

지하수는 앞서도 말한 것처럼 빗물이 땅속에 스며들어만 들어진다. 땅속은 우리가 쉽게 접하는 흙이나 돌 등으로 이루어져 있다. 자갈층처럼 입자가 크고 균일한 층에서는 물은 방해물을 적게 받아 매우 빠른 속도로 흐를 수 있고, 진흙층처럼 입자가 매우 작은 층에서는 물이 흐를 수 있는 공간이 작아져 흐름도 느려진다. 따라서 샘물에서 솟아나는 물은 오늘이나 어제 내린 빗물이 아니고 몇 달 전 아니면 몇 년 전에 내린 빗물이 땅속으로 스며들었다가 나온 것이라고 할 수 있다.

지하수의 나이는 여기에서 출발한다. 지하수의 나이는 빗물이 지상에서 땅속으로 스며들어 ‘지하수’가 된 후에 흐른 시간을 의미한다. 즉 이것은 물이 땅속에 얼마나 오랫동안 머물러 있었느냐는 질문에 대한 답이라고 할 수 있다. 그러나 매우 단순해 보이는 이 질문에 대한 답은 유감스럽게도 쉽지 않다. 땅속은 우리가 생각하는 것보다 훨씬 더 복잡해서 물의 흐름도 단일하게 규정할 수 없기 때문이다.

최근에 환경추적자인 CFCs(Chlorofluorocarbons)를 이용해서 제주도 지하수의 나이를 조사했다. 프레온 가스라고 알려진 이 화학 물질은 우리가 일상 생활에서 흔히 사용하는 냉장고의 냉장·냉동 장치에 주로 이용되는 물질이다. 이 물질은 안정하기 때문에 자연적으로는 잘 붕괴되지 않지만 계속해서 증가한 대기 중의 농도를 이용하면 지하수의 나이를 결정할 수 있다. 지하수의 프레온 가스 농도를 측정하고 그 농도를 지상에서 유입된



(그림 1) CFCs를 이용하여 측정된 지하수의 나이 분포도



〈그림 2〉 지하수의 CFCs 현장 시료 채취 모습(A), 분석장비(B) 및 제주도 지역의 지하수 나이(C)

물이 접촉하고 있던 당시의 대기 중의 프레온 가스 농도로 환산하면 물이 어느 시기에 지상에서 땅속으로 스며들었는지를 알 수 있다.

〈그림 1〉은 미국 동부 지역에서 CFCs를 이용하여 모래와 자갈로 이루어진 지표와 가까운 대수층의 지하수 나이를 측정할 자료이다. 그림에 표시된 연도는 물이 지상에서 지하로 유입된 시기를 의미한다. 화살표는 지하수의 흐름을 나타내는데 길이가 길수록 오래 전에 지하로 유입된 것이다.

땅속 깊이에 따라 물 이동속도 달라

〈그림 2〉는 제주도 지역에서 조사한 지하수 나이를 나타낸 것이다. 지표 부근의 현무암층에서 채취한 지하수의 나이는 대부분 20년 이내의 범위를 보여 준다. 반면에 해안에 가까운 지역에서 깊이 100m 내외의 땅속에서 얻은 지하수에서는 50년 이상의 나이가 측정되었다. 일반적으로 깊은 곳으로 갈수록 지하수의 나이는 증가하고 연속적이다. 그러나 이와 같은 불연속적인 나이 분포 결과는 하부의 지하수가 상부의 지하수와 다른 특성을 가진다는 것을 의미한다. 그렇다면 상부와 하부의 지하수가 왜 이렇게 다른 것일까? 제주도 현무암층 하부에 수성 화산 활동으로 형성된 응회암층이 존재하는데, 응회암층은 현무암층에 비해 상대적으로 물을 잘 통과시키지 않는다. 따라서 응회암층이 존재하는 하부에서는 나이가 많아진 것이다. 수성 응회암층은 용천수 폭포들과도 관련이 있다. 즉, 현무암층과 수성 응회암층의 경계부를 따라 지하수가 용천수 형태로 흘러나와 해안에서 폭포를 형성하는 것이다.

제주도 지하수의 나이가 다양하게 분포한다는 사실은 물이 땅속에서 한덩어리로 같이 움직이는 것이 아니라, 지역이나 깊이에 따라 서로 다른 경로와 이동 속도를 갖는다는 것을 의미한다. 나이가 오래된 지하수는 지상에서 일어나는 홍수나 가뭄 같은 기상 변화에 큰 영향을 받지 않고, 오염 물질들이 다양한 자연 정화 작용을 거칠 수 있는 시간이 있다는 점에서 상대적으로 보존 가치가 높다고 할 수 있다. 그러나 불량한 지하수 관정의 설치 등으로 인해 지상과 연결되는 빠른 통로가 인위적으로 생기면, 위와 같은 장점은 모두 사라져 버린다. 또한 느린 흐름 때문에 훼손된 지하수가 복구되는 데에도 상대적으로 엄청난 시간과 돈이 소요된다. 우리 눈으로 직접 볼 수 있는 주변 자연 환경을 보존하는 것도 중요하지만, 직접 볼 수 없는 지하 환경도 우리가 아끼고 보존해야 하는 대상이다.

지하수의 흐름과 나이가 지하에 분포하는 매질의 특성에 의해 크게 좌우된다는 것을 알았다. 땅속을 유리알처럼 들여다볼 수는 없지만, 지하수의 나이 연구를 통해 땅속에서의 물의 흐름에 대한 귀중한 정보를 얻을 수 있다. 지하수의 나이라는 개념에서 한 가지 생각해 볼 것은 시간이다. 지하수가 지하에서 오랫동안 머물러 있다가 지표로 나온다는 사실은, 우리가 지금 오염시킨 환경에서 만들어진 지하수가 오랜 시간이 흐른 후에 이 땅에 살고 있는 우리 후손들에게 영향을 미칠 것임을 의미한다. **ST**



글쓴이는 미국 텍사스 A&M 대학교에서 환경수리지구화학 박사 학위를 받았고, 한국지질자원연구원 지하수지열연구부 지하수자원연구실장으로 재직중이다.

땅속의 물

해안지역의 지하수 개발

글 _ 박남식 동아대학교 토목공학과 교수 nspark@mail.donga.ac.kr · 홍성훈 동아대학교 건설기술연구소 연구원 wghsh72@donga.ac.kr

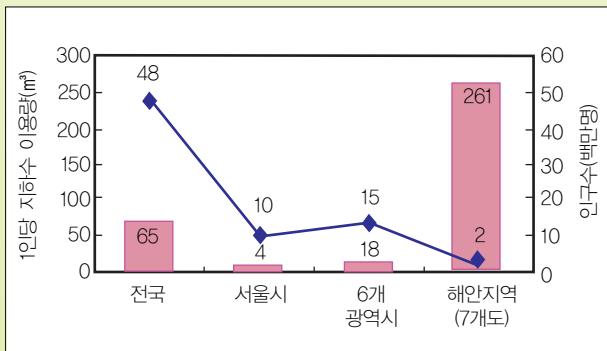
국토의 삼면이 바다와 접한 우리나라는 25% 정도의 행정 구역(시, 읍, 면)이 해안선을 가지고 있다. 부족한 지하수자원으로 인하여 해안지역의 급수율은 전국 평균 급수율의 절반 정도인 40%대에 그치고 있으며, 가뭄시에는 상습적으로 급수가 제한되고 있다. 인구 1인당 지하수 이용량은 전국 평균의 4배에 달할 정도로 해안지역에서는 지하수에 대한 의존도가 매우 높다. 높은 지하수 의존도는 적절한 관리 시스템이 없는 경우 지하수 난개발로 연결될 수 있음을 의미한다. 실제 여러 지역에서 많은 지하수 우물들이 해수침투 등의 오염으로 인하여 사용이 불가능하게 되고 있다.

하천의 물이 바다로 흘러가듯 지하수도 바다로 흐른다. 해안지역의 땅속에는 담수뿐 아니라 해수도 존재한다. 해수에는 여러 가지 광물질이 녹아 있기 때문에 해수는 담수보다 약 2.5% 정도 더 무겁다. 해수와 담수는 서로 섞이는 액체지만 강제로 섞지 않으면 무게 차이 때문에 가벼운 담수가 무거운 해수 위로 뜨는 경향이 있다.

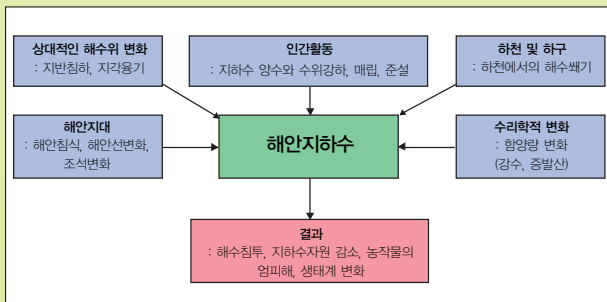
담수와 해수, 무게 차이로 나뉘어 흘러

그래서 해안지역의 땅속에서는 담수 지하수가 해수 지하수의 위로 흐르는 흥미로운 형태의 지하수 흐름이 발생한다. 면적이 큰 유역의 땅속에서는 해수가 한 쪽에서만 침투하며 해수가 썰기의 형태를 가진다. <그림 1>은 동아대학교 수자원시스템실험실에서 제작한 모형에서 발생시킨 해수썰기이다. 면적이 작은 섬 같은 곳에서는 해수가 모든 방향에서 침투하며 담수는 해수 위에 떠 있게 되는데 그 형태가 렌즈(lens)처럼 생겼다 하여 담수렌즈라 부른다.

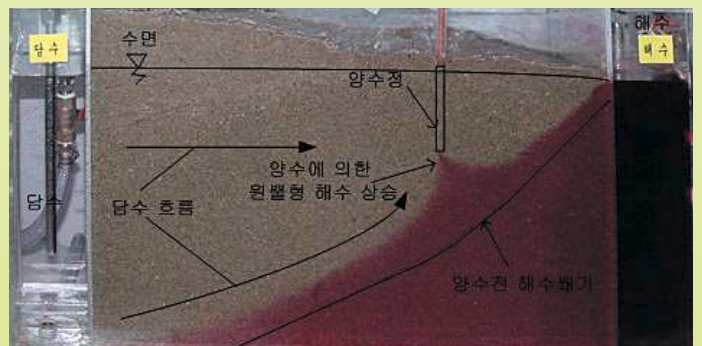
해안지역의 우물에서 지하수를 개발하면 바다로 흘러 나가는 담수량이 감소하며 이로 인하여 해수가 내륙으로 더 밀려들



지하수 이용량 비교(수자원공사, 2001)



해안지하수의 특징들



<그림 1> 지하수 양수에 따른 해수썰기의 반응 - 상승추 현상



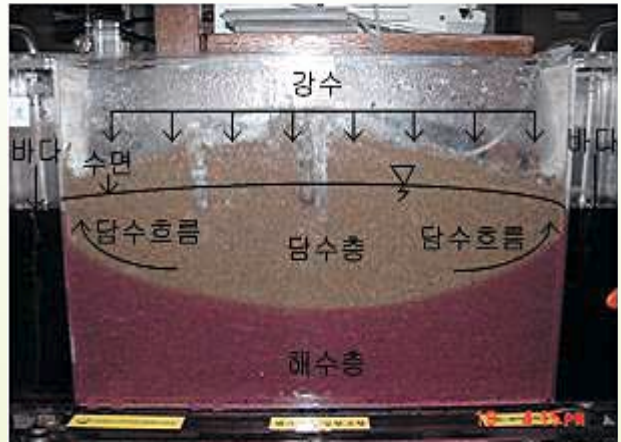
어오게 된다. 이 때 지하수 개발량이 과다하면 해수가 우물에 도달하게 되어 우물을 오염시킨다. 해수가 담수 영역을 침범하는 형태는 크게 두 가지로 구분된다.

내륙에 위치한 우물에서 지하수를 양수하면 해수뺀기가 내륙쪽으로 확장된다. 해수뺀기의 위에 위치한 우물의 양수는 해수뺀기를 원뿔의 형태로 상승시킨다. 담수렌즈의 지하수를 양수하면 우물 부근의 담수렌즈가 수축된다.

바다 방류 지하수 활용이 관건

해안지역에서는 해수가 지하수 사용에 제약을 미칠 수 있기 때문에 우물의 위치와 사용량 분포에 따라 사용할 수 있는 지하수량에 커다란 차이가 생길 수 있다. 따라서 해안지역의 지하수 사용량을 최대화하기 위해서는 우물의 위치와 사용량을 적절히 분포시켜야 한다. 연구자들이 수행하고 있는 연구(수자원의 지속적 확보기술개발 사업단의 연구비 지원)에서는 해안 지하수에 대한 평가와 최적배치기술을 포함한 적정관리기술을 개발하고 있다.

내륙지역의 과다한 지하수 개발은 하류 유역에 영향을 미칠



(a)



(b)

담수렌즈에서 지하수 양수에 따른 해수뺀기의 반응 (a) 양수 전, (b) 양수 후

수 있으나, 해안지역에서는 그러한 우려가 상대적으로 적다. 따라서 바다로 방류되는 지하수를 최대한 활용하면 빈약한 지표수자원으로 곤란을 겪고 있는 해안지역의 물부족 문제에 크게 기여할 수 있다. ㉔



글쓴이 박남식은 코넬대학교 토목환경공학과 공학박사, 부산지방 국토관리청 설계심의 위원, 부산광역시 재해영향평가심의 위원 등을 역임했다.



글쓴이 홍성훈은 동아대학교 토목공학과 박사수료, 동아대학교 토목공학과 시간강사, 현재 동아대학교 건설기술연구소 특별연구원이다.