

제주도지역 대수층들의 수직적 분포와 수리적 연결성

고동찬, 이대하, 박기화
한국지질자원연구원
dckoh@kigam.re.kr

요 약 문

The environmental tracers of ^3H and NO_3 were investigated in terms of vertical connections between basaltic aquifers and underlying sedimentary formations of Seoguipo formation that is not found in eastern coastal area and U formation. In western coastal area, ^3H shows values less than 0.5TU in the wells completed in Seoguipo formation whereas it is greater than 2TU in other area. For the wells in western area, NO_3 concentrations are below background level though the nearby land uses are mainly agricultural. The groundwater heads are much lower in eastern coastal area than western area in spite that recharge rate of eastern area is 1.7 times higher than that of western area. The basaltic aquifer is thicker by 70m in eastern coastal area than in western coastal area, which is insufficient to explain much lower groundwater heads in eastern area. These hydrogeological characteristics suggest that for the basaltic aquifers, the Seoguipo formation acts as a lower boundary which could limit downward groundwater flow in basaltic aquifers whereas the U formation is unlikely.

key word : aquifer boundary, tritium, nitrate, groundwater head

1.서론

제주도 지역은 육지지역과 달리 지표수계의 발달이 미약하여 필요한 수자원의 대부분을 지하수에 의존하고 있으며, 개발되는 지하수의 대부분은 지표에 분포하는 현무암류대수층에서 공급되고 있다. 현무암류 대수층은 산출량이 육지지역의 파쇄암반대수층에 비해 상대적으로 커서 투수량계수가 $29,300\text{m}^2/\text{일}$ 에 이르며, 지하수 함양량은 강수량의 44%에 이르는 것으로 알려져 있다 (한정상 외, 1994). 현무암류의 하부에는 고결 내지 준고결의 화산쇄설성퇴적암류인 서귀포층이 분포하고, 이 층의 하부에는 미고결의 U층이 분포하고 있다. U층은 제주도 전역에 걸쳐 분포하는 것으로 알려져 있으나, 서귀포층은 동부 해안 일부지역에는 분포하지 않는다 (오진용 외, 2000). 제주도의 기반암은 용결 응회암과 화강암으로 구성되어 있으며 심부 시추시에 이 암석들의 존재가 확인되고 있다. 일부 온천개발용 관정들은 기반암의 파쇄대를 대수층으로 하기도 하지만, 대부분의 지하수관정들은 서귀포층 상부까지만 굴착되며, 그 하부는 대수층으로 이용되지 않는다. 여기서는 제주도 지역의 지하수에 대해 실시한 ^3H 과 NO_3 의 공간적 분포에 대한 조사결과 및 지하수위의 분포를 이용하여 이러한 특성을 파악하고자 하였다.

2.본론

제주도 지역 대수층의 수직적 분포에서 현무암류와 하부층과의 관계는 제주도의 수리지질학적인 특성을 밝히는데 중요한 단서를 제공할 수 있다. 지표에서 함양되는 지하수가 지하로 이동할 때 수직적으로 어느 정도의 규모로 순환하는가는 제주도의 전체 물수지에 대한 중요한 특성이 되기 때문이다. 이러한 관점에서 가장 중요한 부분 중의 하나는 현무암류와 접촉하는 서귀포층 및 U층의 분포 및 수리지질학적인 특성이다. 서귀포층은 고결 내지 준고결된 화산성 역질사암, 사암, 사질이암, 이암 및 유리질 쇄설암으로 구성되어 있고, 패류화석 및 성게, 유공충, 완족류, 개형충 등의 화석이 다량 포함되어 있는 해성층으로 북촌-표선선의 서쪽지역의 지하에 광범위하게 분포하며 그 두께는 평균 100m 정도이다. 이 층의 하부에는 과거에 세화리층으로 불리우던 미고결의 U층이 분포하는데 이 층은 화산성유리질이나 패각등이 포함되어 있지 않아 교결이 진행되지 못한 것으로 보인다 (고기원, 1997). 이러한 지질학적인 특성을 고려하면 서귀포층은 불투수층으로 볼 수 있으며, U층은 대수층으로 평가할 수 있다. 이러한 수리지질학적인 특성은 ^3H 을 이용한 지하수 연령측정 결과와 일치하고 있다. ^3H 측정결과 대부분의 지하수에서는 2TU이상의 ^3H 이 검출되었으나 서귀포층에 위치한 지하수 관정에서는 0.5TU이하의 매우 낮은 ^3H 값을 보여주었다. 북반구에서 0.5TU이하의 ^3H 은 1950년대 이전에 함양되었음을 지시한다 (Plummer et al, 1993). Vogel의 모델의 의하면 대수층의 하단부에 접근할수록 지하수의 연령은 급격히 증가하게 된다 (Appelo and Postma, 1993). 반면, U층에 설치된 지하수 관정은 2TU이상의 ^3H 값을 보여줌으로써 U층은 상부의 현무암층과 수리적으로 연결되어 있음을 시사하고 있다. NO_3 의 분포 또한 이를 뒷받침하고 있다. 대부분의 해안지역의 지하수들은 배경농도 이상의 상당량의 NO_3 를 포함하고 있다. 이것은 해안지역의 활발한 농경활동과 밀접한 관계가 있다. 제주도 지역 지하수내의 NO_3 는 그 근원의 상당부분이 화학비료로 알려져 있다 (송영철 외, 1999). 우리나라에서 화학비료는 1960년초 이후에 본격적으로 사용되기 시작하였으므로 핵실험에 의한 ^3H (bomb ^3H)과 유사한 시간체계를 가지고 있다고 할 수 있다. 제주도 지역 지하수는 대부분 용존산소를 포함하는 호기성환경이다 (제주도, 2001). 탈질화작용 (denitrification)은 혐기성환경에서만 진행되므로 이러한 작용에 의한 NO_3 의 손실은 일어나기 어렵다 (Canter, 1997). 0.5TU 이하의 ^3H 이 검출되었던 지하수에서는 주변에 분포하는 넓은 농경지역에도 불구하고, NO_3 역시 배경농도 이하의 작은 농도를 보여주었다. 안정동위원소조성으로부터 이 지하수는 산악지역이 아니라 주변에서 함양되었음을 알 수 있다. 따라서 이러한 NO_3 의 분포 특성은 상대적으로 지하수 연령이 큼을 보여주며, ^3H 의 결과와 잘 일치한다고 할 수 있다. 동부 지역의 관정에서는 2TU이상의 ^3H 을 가지는 지하수에서 배경농도이하의 NO_3 가 나타나는 관정이 있는데, 이것은 이 관정 주변이 자연초지나 산림으로 이루어져 NO_3 오염원이 존재하지 않기 때문이다. 이와 같은 환경추적자들의 분포특성은 서귀포층이 현무암류대수층에 대한 하부불투수층의 역할을 하는 것을 지시한다. 그러나, U층은 현무암류대수층과 수리적으로 연결되어 현무암류대수층과 유사한 정도로 대수층의 역할을 하거나 최소한 상당량의 지하수 유동이 하부의 U층으로 진행됨을 시사한다고 할 수 있다.

이와 같은 수리지질학적인 특성은 지하수위의 분포에서도 잘 나타나고 있다. 제주도 해안지역의 지하수위의 공간적인 분포를 살펴보면, 동부 해안지역이 나머지 지역에 비해 상대적으로 지하수위가 낮고, 동수구배가 작다. 북부 및 남부지역은 지형적으로 지하수위가 높을 수 있으나, 서부지역은 동부지역과 유사한 정도로 완만하므로 지형적인 효과로는 지하수위분포 특성의 설명이 어렵다. 지하수 함양 또한 동부지역이 서부지역에 비해 상대적으로 큼에도 불구하고, 동부 지역에서 지하수위가 상대적으로 낮은 것은 대수층의 투수성이 크다는 것을 시사한다고 할 수 있다. 제주도지역의 현무암류의 수리지질학적인 특성이 공간적으로 크게 다르지 않다고 가정할

다면, 이것은 동부지역의 대수층의 두께가 크다는 것을 지시한다. 서부해안 지역의 경우, 현무암류와 서귀포층의 경계는 해수면하 평균적으로 43m이고, 서귀포층이 존재하지 않는 동부해안지역에서의 현무암류와 U층의 경계는 해수면하 115m이므로 70m정도의 현무암류층의 두께 차이가 있다 (고기원, 1997). 그러나, 현무암류층의 두께 차이만으로는 서부와 동부지역의 지하수위 차이를 설명할 수 없다. 동부지역의 함양량이 서부지역에 비해 1.7배에 이르지만 지하수위는 동부지역이 월등히 낮기 때문이다 (제주도, 2000). 따라서, 환경추적자 및 지하수위의 분포 특성은 서부지역에서는 하부의 서귀포층이 대수층으로서의 역할을 할 수 없지만, 동부지역에서는 현무암류하부의 U층이 대수층역할을 하거나 수리적으로 현무암류와 연결되어 있으므로 대수층의 두께가 상대적으로 큰 점에 기인한다고 할 수 있다. 이와 같은 수리지질학적인 특성은 해안지역에서의 지하수에 대한 해수에 의한 영향을 좌우하고 있다. 동부지역은 서부지역에 비해 지하수에 대한 해수의 영향이 쉽게 나타난다 (부성안, 정교철, 2000). 이러한 현상은 서귀포층과 U층의 수리지질학적인 차이로 설명될 수 있다. 즉, 서부지역에서는 상대적으로 높은 지하수위가 이 지역의 많은 지하수이용량에도 불구하고 해수의 영향을 차단하고 있으나, 동부지역에서는 낮은 지하수위로 인해 해수와 지하수의 점이대가 지하수의 양수에 직접적으로 영향을 미치게 된다. 그러나 제주도의 수리지질특성을 제대로 파악하기 위해서는 제주도의 지하층서에 대해서 추가적인 조사 및 연구가 필요하다. 지하에 분포하는 지층의 경계는 지역에 따라 변동이 심하고, 그 동안의 시추자료에 대한 체계적인 평가가 이루어지지 않았기 때문이다.

3. 결론

제주도의 주요 대수층을 이루고 있는 현무암류 대수층과 그 하부의 퇴적암류와의 관계를 ^3H 및 NO_3 의 환경추적자의 분포 및 지하수위의 분포를 이용하여 평가하였다. 환경추적자의 분포는 현무암류 하부에 서귀포층이 존재하는 서부지역이 그렇지 않은 동부지역에 비해 지하수의 연령이 상대적으로 크다는 것을 지시한다. 동부지역에서 서부지역에 비해 상대적으로 큰 함양량에도 불구하고 지하수위가 낮은 점도 이 지역에서 대수층의 두께가 크다는 것을 보여주고 있다. 이러한 수리지질학적인 특징은 서귀포층은 불투수층으로 현무암류대수층의 하단을 형성하지만 U층은 현무암류와 수리적으로 연결되어 있음을 시사한다.

4. 사사

본 연구는 21세기 프론티어연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비 지원 (과제번호 3-2-1)에 의해 수행되었습니다.

5. 참고문헌

- Appelo, C.A.J., Postma, D., 1993. *Geochemistry, Groundwater and Pollution*. A.A. Balkema, Rotterdam, 536p.
- Canter, L.W., 1997. *Nitrates in Groundwater*. CRC Press LLC, Boca Raton, 263p.
- Plummer, L.N., Michel, R.L., Thurman, E.M., Glynn, P.D., 1993. Environmental tracers for age dating young ground water. In: Alley, W.M. (ed.) *Regional Ground-Water Quality*. Van Nostrand Reinhold, New York, pp. 255-294.
- 고기원, 1997. 제주도의 지하수 부존특성과 서귀포층의 수문지질학적 관련성. 부산대학교 이학박

- 사 학위논문. 325p.
- 부성안, 정교철, 2000. 제주도 동부권역 담지하수 대수층에서의 염수침입. 지질공학회지, 10. 115-130.
- 송영철, 고용구, 유장걸, 1999. $\delta^{15}\text{N}$ 을 이용한 제주도 지하수 중의 질산염 오염원 조사. 지하수 환경학회지, 6, 107-110.
- 오진용, 이성숙, 윤선, 고기원, 윤혜수, 이종덕, 2000. 제주도 지하층서. 지질학회지, 36. 181-194.
- 제주도, 2000. 제주도 지하수보전·관리계획 보고서. 103p.
- 제주도, 2001. 제주도 수문지질 및 지하수자원 종합조사(I). 378p.
- 한정상, 한규상, 김창길, 김남중, 한찬, 1994. 제주도 지하수자원의 최적 개발가능량. 지하수환경 학회지 1. 33-50.