

토양수채수기를 이용한 제주도 지하수의 함양특성 연구

이광식^{1*} · 이동림² · 김용제³ · 박원배⁴

¹한국기초과학지원연구원 · ²농업기반공사 · ³한국지질자원연구원 · ⁴제주발전연구원

<요약문>

제주대학교 시험부지에 토양수채수기를 설치하고 2002년 11월부터 2003년 6월까지 토양수의 산소와 수소 동위원소 조성을 관측하였다. 토양수의 산소와 수소 동위원소 조성은 이 지역에 내리는 강수의 동위원소 조성을 반영하고 있음이 확인되었다. 중수소과잉값(d-값)으로 볼 때 연구지역에서 지하 30cm 깊이 토양까지 강수가 도달되는데 약 2개월 그리고 60cm 깊이까지 도달되는데 약 4개월의 걸보기체류시간이 소요되는 것으로 관찰되었다.

주요어 : 토양수채수기, 토양수, 산소와 수소 동위원소, 체류시간

ABSTRACT

Using lysimeter, oxygen and hydrogen isotopic compositions of soil waters were monitored at a test site of Jeju university during November 2002 to June 2003. Oxygen and hydrogen isotopic compositions of soil waters were found to reflect those of precipitation of the study area. Based on d-values, apparent residence times of about 2 and 4 months were found for infiltration of water through the soil layer to depths of 30 cm and 60 cm, respectively.

Key words: Lysimeter, Soil Water, Oxygen and hydrogen isotopic composition, Residence time

1. 서 언

강수가 비포화대인 토양층을 통과하여 지하수로 함양되는 과정을 연구하기 위해서는 토양수를 직접 채취하여 동위원소 조성을 연구하는 것이 매우 효과적이다 (Liu et al., 1995; Maloszewski et al., 1995). 토양수의 동위원소 조성 관측을 통하여 계절별 강수의 지하수 함양특성, 토양의 특정 깊이에 강수가 도달되는데 걸리는 체류시간 관측, 토양에서의 증발효과, 토양수의 동위원소적 진화과정 등에 대한 연구를 수행 할 수 있다.

토양수의 안정동위원소 분석을 위해서는 진공증류법이나 유기용매추출법을 이용하여 토양에서 토양수를 추출하여왔다 (Revesz and Woods, 1990; Ingraham and Shadel, 1992; Liu et al., 1995). 코어로부터 회수한 토양에서 토양수를 얻는 이들 방법은 매우 좁은 간격으로 원하는 깊이의 토양수를 얻을 수 있는 장점이 있지만, 동일 지점에서 시간에 따른 토양수의 동위원소 변화를 볼 수 없는 단점이 있다. 동일지점에서 시간 경과에 따른 토양수의 동위원소 조성의 변화를 관찰하기 위해서는 원하는 깊이의 토

양에 토양수채수기(lysimeter)를 설치하여 운영하여야 한다. 토양수채수기에는 인공구조물에 토양을 채워 넣고 일정 깊이에서 흘러나오는 토양수를 채수하여 분석하는 방법(Maloszewski et al., 1995)과 자연 토양에 구멍을 뚫어 토양수채수기를 설치하여 운영하는 방법이 있다 (Wenner et al., 1991). 이 방법은 장기간 토양수를 반복해서 채취할 수 있으므로 토양수의 동위원소 계절변화를 연구할 수 있는 장점이 있지만 토양수를 채수하기 위하여 진공을 잡아야하기 때문에 자연상태에서보다 토양수의 이동을 촉진하는 결과를 가져올 수 있는 단점이 있다.

이광식 외 (2001)에 의하면 동북아시아 대륙내부에서는 강수의 동위원소 온도효과가 뚜렷하여 산소동위원소 자료만으로 계절별 강수의 지하수 함양 정도를 평가할 수 있다. 그러나 해안과 인접한 곳이나 섬에서는 온도효과와 우량효과가 복합적으로 나타나기 때문에 산소동위원소 자료가 계절변화를 보이지 않는다. 다행히도 이러한 지역에서는 중수소과잉값(d-값)이 계절변화를 뚜렷이 보이기 때문에 계절별 강수의 지하수 함양특성 연구가 가능함을 보여주고 있다. 제주도 성산에서 1995년부터 1997년에 채취한 강수의 동위원소 조성은 d-값이 겨울에 높고 여름에 낮은 주기적인 특징을 뚜렷이 보여주고 있다 (Lee et al., 2003). 이러한 동위원소 특징은 제주도 강수의 지하수 함양 연구에 효과적인 이용이 가능하다.

지하수 함양은 강수가 비포화대를 통과하여 지하수면에 도달하는 현상이다. 따라서 지하수 함양에 대한 정보를 얻기 위해서는 비포화대 토양에서의 토양수의 동위원소 조성이 강수와 어떤 관련성을 갖는지를 아는 것은 매우 중요하다. 이 연구에서는 제주도 강수와 토양수의 동위원소 특징을 비교하여 토양을 통한 지하수 함양 특성을 연구하기 위하여 시도되었다.

2. 연구지역 및 시료채취

비포화대에서 강수의 지하수 함양특성을 평가하기 위하여 제주대학교 임업시험장 부지 내에 30cm, 60cm, 80cm 깊이로 토양수채수기를 17개를 설치하였다. 연구지역은 약 45cm 깊이까지는 점토(입도분석 결과 clay 50.2%, silt 44.2%, sand 5.6%임)로 구성되어 있다. 45cm 깊이부터 약 90cm 깊이까지는 투수성이 비교적 양호해 보이는 크고 작은 수많은 호산암의 풍화암편과 이 사이를 충전하고 있는 사질 점토(입도분석 결과 clay 27.9%, silt 45.8%, sand 26.3%임)로 구성되어 있다. 토양수채수기를 2002년 9월 3일에 설치 한 후 2달 동안 자연상태에서 적응되도록 방치하였다가 11월 7일부터 토양수 채취를 시작하였다. 설치한 17개의 토양수채취기 모두에서 약 8 개월 동안 성공적으로 토양수를 채취하고 있으며, 산소와 수소 동위원소 분석을 실시하고 있다.

3. 토양수의 동위원소 조성의 계절변화

채취된 토양수의 $\delta^{18}O$ 값은 11월부터 3월말까지는 큰 변화를 보이지 않지만 4월에 들어서면서 급격한 증가를 보이다가 5월 중순에 최고치를 보인 후 급격히 감소하고 있다 (그림 1). 이와는 달리 d-값은 30cm 깊이에서 채취한 토양수에서는 2002년 12월 10일경부터 뚜렷하게 증가하는 경향을 보인다 (그림 2). 30cm 깊이의 토양수에서는 2003년 2월 중순경에 d-값이 최고치를 보이다가 감소하는 특징을 뚜렷이 보여준다. 30cm와는 달리 60cm와 80cm에서는 변화가 없는 상태가 계속되다가 2월 중순부터 뚜렷이 증가하기 시작한다. 60cm와 80cm에서는 4월 중순에 d-값이 최고치를 보이다가 서서히 감소하는 경향을 보인다.

인근 제주시 일도동에서 관측된 월강수의 강수량과 동위원소 조성도 함께 도시하였다 (그림 3). 강수의 강수량을 고려한 가중평균 d-값은 12월에서 가장 큰 값을 보이며 30cm 깊이의 토양수에서는 2월

중순에 최고점을 보이기 때문에 강수가 30cm까지 침투하는데 약 2달의 걸보기체류시간이 경과하였음을 알 수 있다.

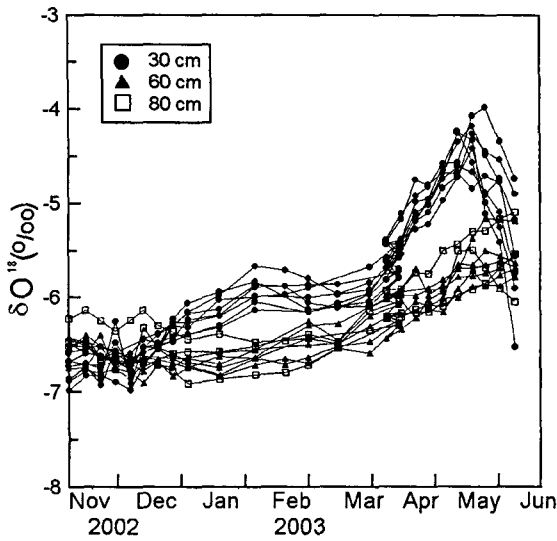


그림 1. 토양수의 산소동위원소 조성의 계절변화

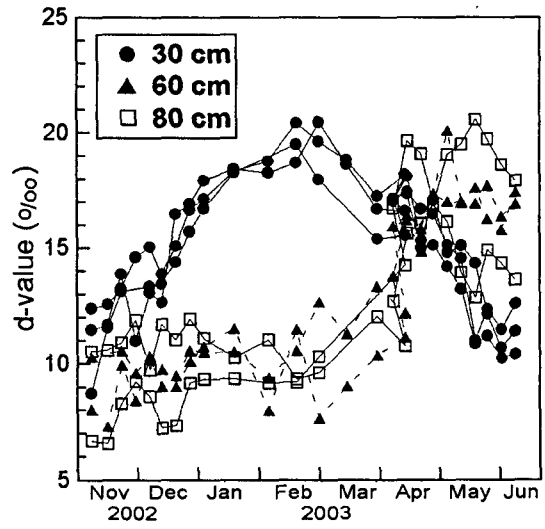


그림 2. 토양수의 d-값의 계절변화

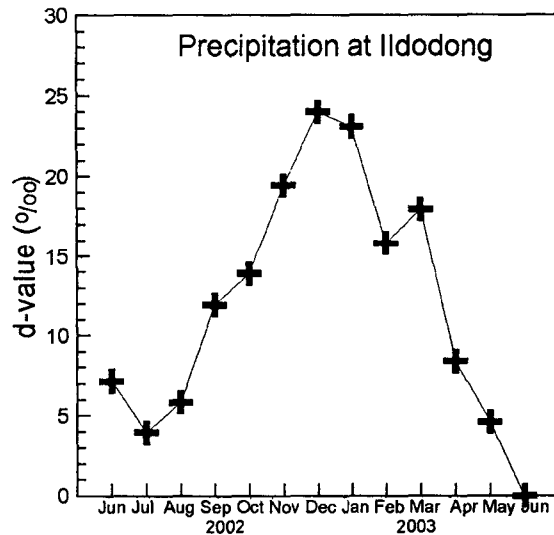


그림 3. 제주시 일도동에서 채취한 강수의 d-값의 계절변화

60cm 깊이의 토양수의 d-값의 변화는 2월 중순경부터 일어나고 있다. 이것은 이때에 겨울강수가 60cm 깊이에 영향을 미치기 시작했음을 의미하며, 이 지역에서 강수가 60cm까지 도달하는데 적어도 4개월 이상의 걸보기체류시간이 소요됨을 의미하는 것이다. 60cm와 80cm 깊이에서 체류시간에 차이가 없어 보이는 것은 지질특성이 매우 유사하고 이 구간에서는 투수계수가 높아 토양수 이동이 비교적 빠르기 때문인 것으로 판단된다. 11월부터 5월 사이에 채취된 토양수의 산소와 수소 동위원소 조성이 여름강수에서 겨울강수 쪽으로 변화되어 가는 것을 볼 수 있다. 만일 토양에서 토양수가 일부 증발되어 동위원소 분별이 일어났다면 지역순환수선보다 기온이 낮은 방향으로 동위원소 조성이 변할 것이기 때문에 이러한 경향은 증발과는 무관한 것이라 할 수 있다. 이러한 동위원소의 변화가 30cm 깊이에서 가장 먼저 일어나고, 약 2개월이 경과한 후에 60cm에서 일어나고 뒤따라 80cm에서 일어나는 것을 볼

수 있다. 30cm 깊이에서의 δD 와 $\delta^{18}O$ 값은 2003년 5월 말에 최고치를 보이다 2003년 6월에 채취한 토양수부터는 δD 와 $\delta^{18}O$ 값이 다시 낮아져 2002년 11월에 채취한 토양수와 유사한 값으로 낮아지는 특징을 보인다. 시료채취가 보다 긴 기간 이루어지면 이러한 증발효과 및 체류속도 등에 대한 보다 과학적인 정보를 얻을 수 있을 것이라 판단된다.

4. 참고문헌

- 이광식, 우남칠, 김강주, 2001, 동북아시아 강수의 안정동위원소 조성에 영향을 주는 요인들. 지질학회지, 37, 183-192.
- Ingraham, N.L. and Shadel, C., 1992, A comparison of the toluene distillation and vacuum/heat methods for extracting soil water for stable isotopic analysis, J. Hydrol., 140, 371-387.
- Lee, K.S., Grundstein, A.J., Wenner, D.B., Choi, M.S., Woo, N.C. and Lee, D.H., 2003, Climatic controls on the stable isotopic composition of precipitation in Northeast Asia, Climate Research 23, 137-148.
- Liu, B., Phillips, F., Hoines, S., Campbell, A.R. and Sharma, P., 1995, Water movement in desert soil traced by hydrogen and oxygen isotopes, chloride, and chlorine-36, southern Arizona, J. Hydrol., 168, 91-110.
- Maloszewski, P., Moser, H., Stichler, W. and Trimbom, P., 1995, Isotope hydrology investigations in large refuge lysimeters, J. Hydrol., 167, 149-166.
- Revesz, K. and Woods, P., 1990, A method to extract soil water for stable isotope analysis, J. Hydrol., 115, 397-406.
- Wenner, D.B., Ketcham, P.D. and Dowd, J.F., 1991. Stable isotopic composition of waters in a small Piedmont watershed. In: H.P. Taylor, Jr., J.R. O'Neil and I.R. Kaplan (Editors), Stable Isotope Geochemistry: A Tribute to Samuel Epstein, The Geochemical Society, Special Publication No. 3: 195-203.

감사의 글

이 연구는 21세기 프론티어연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비지원(과제번호 3-2-1)에 의해 수행되었다.