

<연구노트>

### 제주 한동-송당 지구 해수침투 관측정 지하수의 층별 동위원소 및 지화학적 특징

송성준 · 고기원<sup>1)</sup> · 박윤석<sup>1)</sup>

제주대학교 방사선응용과학연구소,

<sup>1)</sup> 제주도 광역수자원관리본부

### Isotopic and Geochemical Properties of Groundwater from the Different Depths of Observation Well for Monitoring Seawater Intrusion in Handong-Songdang Area, Jeju, Korea

Song Sung-Jun, Koh Ki-Won<sup>1)</sup> and Park Yoon Seok<sup>1)</sup>

Applied Radioisotope Research Institute  
Cheju National University and <sup>1)</sup>Jeju  
Provincial Water Resources Management  
Office, Jeju 695-811, Republic of Korea

#### Abstract

Isotopic and geochemical analyses of the groundwater sampled from the different depths of observation wells developed for monitoring seawater intrusion were done. The concentration of Cl and SO<sub>4</sub> existed in the aquifer by mixing the fresh water with the saline one diffused from its lower layer and the ratio of Cl/SO<sub>4</sub> of saline groundwater had the same value as those of seawater, representing the basal groundwater which is often found in the coastal area. The upward diffusions of Cl and SO<sub>4</sub> from

the lower layer of well was observed even at the well 5.2 km away from seashore. <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr signature gave the evidence that the seawater intruded to inland exists in the bottom layer of the aquifer and the compositions of <sup>34</sup>SSO<sub>4</sub> and <sup>18</sup>Oso<sub>4</sub> indicated the present seawater.

제주 동부지역에서 해안지역으로 갈수록 지하수의 염분함량이 높은 이유에 대한 다양한 설이 주장되어 왔으나<sup>1,5,6,11)</sup> 그 중 해수 침투의 가능성을 가장 큰 원인으로 보고 있다.<sup>9)</sup> 이러한 염 지하수의 분포는 동부지역의 수자원 확보와 개발에 장애요인으로 작용하고 있으며, 과잉 채수로 인한 대수층의 교란은 해수침투의 확대로 이어 질 수 있다. 따라서, 대수층에 대한 깊이별 지화학적 및 동위원소적인 조성을 조사하는 것은 현재 대수층의 특성을 이해하고 차후 그 변화를 예측하는 기본 자료로 활용하기 위해 필요한 일이다. 그러므로, 본 연구에서는 한동-송당지구 에 해발별로 해수침투 관측을 위해 굴착한 관정에서 심도별로 지하수를 채취하여 해수 침투와 관련있는 Cl, SO<sub>4</sub>, D, <sup>18</sup>O, <sup>34</sup>SSO<sub>4</sub>, <sup>18</sup>Oso<sub>4</sub> 함량 그리고 <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr 비를 조사하였다.

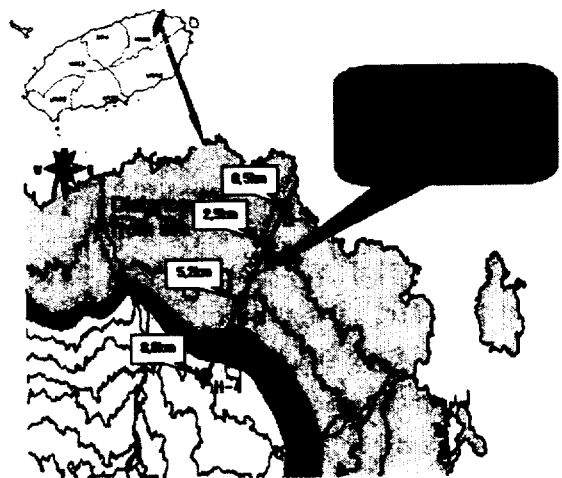


Figure 1. Sampling locations of Handong-Songdang area in the eastern part of Jeju Island.

제주 한동-송당지구 4개 관정(H1, H2, H3, H4)(figure 1)에서 물 시료를 깊이별(해수면하 -5, -25, -45, -65, -85m)로 채수하여 Nalgen병에 보관하였다. 산소동위원소 분석용을 제외하고 실험실에서 0.45 um membrane filter로 여과하여 4℃에 저장하였다. Cl과 SO<sub>4</sub>는 이온크로마토그래프(Dionex DX-500, USA)로 분석하였고 δD, δ<sup>18</sup>O, δ<sup>34</sup>S<sub>SO4</sub>, δ<sup>18</sup>O<sub>SO4</sub>는 파스키탄의 PINSTECH에 의뢰하여 질량분석방법으로 분석하였다. 물 시료중의 δD은 물에 촉매(Zn)를 가하여 고온에서 환원반응을 일으켜 수소(H<sub>2</sub>)를 발생시킨 뒤 이를 질량분석법으로 측정하였고 V-SMOW를 reference물질로 사용하였다.<sup>3)</sup> δ<sup>18</sup>O은 CO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O equilibrium 방법(H<sub>2</sub><sup>18</sup>O + CO<sub>2</sub> ↔ H<sub>2</sub><sup>16</sup>O + C<sup>18</sup>O<sup>16</sup>O)으로 H<sub>2</sub><sup>18</sup>O를 C<sup>18</sup>O<sup>16</sup>O로 변환시킨 뒤 질량분석을 행하였고 V-SMOW를 reference물질로 사용하였다.<sup>3)</sup> 또한, δ<sup>34</sup>S<sub>SO4</sub>와 δ<sup>18</sup>O<sub>SO4</sub>는 물 시료를 염산(1:1)으로 산성화시킨 뒤 BaCl<sub>2</sub>를 첨가하여 BaSO<sub>4</sub> 형태의 침전을 얻어 질량분석법으로 측정하였다. 이때 reference물질은 CDT와 V-SMOW를 각각 사용하였다. δD, δ<sup>18</sup>O, δ<sup>18</sup>O<sub>SO4</sub>와 δ<sup>34</sup>S<sub>SO4</sub>의 분석오차는 각각 ±1‰, ±0.1‰, ±0.1‰, ±0.15‰였다. <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr은 한국기초과학분석지원센터에서 Sr 분리용 양이온 교환수지로 Sr를 분리한 뒤 mass spectrometry 방법으로 측정하였다.<sup>10)</sup> NBS987 표준물질에 대한 <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr 분석오차는 0.710228 ± 0.000015 (N=22, 2s standard error) 범위였다.

수문지질측면에서 한동-송당지역의 대부분의 지표는 파호에호에 및 아아용암류, 분석구등으로 이루어져 투수성이 양호하여 지하로의 강수 유입이 신속하다.<sup>6,7)</sup> 지질학적인 구조를 보면 U층 상부에 서귀포층 그리고 휘석감람석현무암(Augite Olivine Basalt; AOB), 침상장석감람석현무암(Acicular Feldspar Olivine Basalt; AFOB)<sup>8)</sup>등이 화산활동에 따라 반복적인 층매의 특징을 갖고 있다(Figure 2).

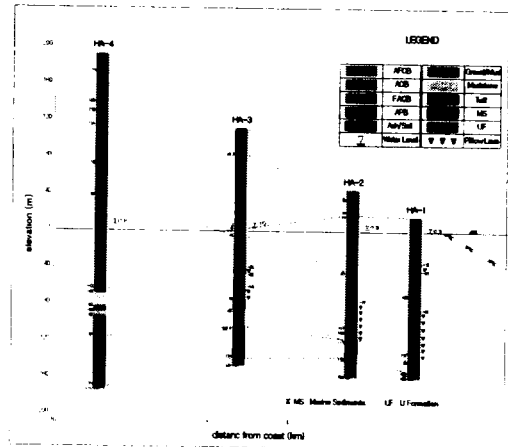


Figure 2. Geological profiles of observation wells in study area (after Koh,).

용암류와 용암류 사이에는 지하수의 흐름이나 저류에 영향을 미치는 고토양층 등과 같은 투수성이 낮은 지층의 발달이 빈약할 뿐만 아니라, 해수면 하부에 유리쇄설성 각력암층도 발달하고 하고 있어 해수가 내륙 쪽으로 유입할 수 있는 좋은 조건을 갖추고 있다<sup>7)</sup>. 동부지역의 경우에는 기저지하수가 잘 발달된 것으로 알려져 있고 대수층의 담수렌즈·두께가 이론적인 G-H비(1:40)의 50% 보다 적은 비교적 얇은 특성을 가지고 있다<sup>7)</sup>.

해안에 가장 인접한 0.5 km에 있는 H1 관정의 Cl 함량은 해수면하 -5m 와 -25m 지점에서 채수한 지하수는 음용수 수질기준인 250 mg/L를 육박하거나 상회하였고 -45m 지점부터는 해수의 Cl 함량과 거의 동일한 값을 보이는 대수층이 형성되고 있다. H-2와 H-3관정으로 갈수록 점차 그 경계면은 점차 더 깊은 심도에서 형성되었으며, 해안에서 8.8km 떨어진 H-4관정에서는 염수체가 전혀 발견되지 않았다. SO<sub>4</sub> 함량의 경우도 Cl과 비슷한 경향을 보였다. 배경지하수 수질을 갖고 있는 H-4 관정 지하수의 Cl/SO<sub>4</sub> 몰농도 비는 0.078~0.083이나, 염 지하수의 비는 0.051~0.060 범위를 나타내어 해수의 0.05 값<sup>4)</sup>과 비슷한 경향을 나타냈다(Figure 3). 한편, δD와 δ<sup>18</sup>O 함량은 Cl과 SO<sub>4</sub> 함량이 상당히 높은 경우에는 해수의 조성에

가까운 값을 보였으나, 그 함량이 낮은 경우에는 배경지하수의 경우와 비슷한 조성을 나타냈다(Figure 4). 해수와 담수의 단순혼합이라면  $\delta D$ 와  $\delta^{18}O$  함량이 혼합 라인 선상에 있어야 하나 해안에 가장 많이 떨어진 배경 지하수 수질을 갖는 H-4 관정에서 그 값이 높은 것은 강우가 지표면에서 함양할 때 증발효과 등과 같은 다른 요인에 의해 영향을 받은 것으로 사료된다.

일반적으로 현무암의  $^{87}Sr/^{86}Sr$ 비는 0.704 ~ 0.705 이므로 이러한 지질 환경하에 진화된 지하수의 그 비도 유사한 값을 지니게 되는데 다른 기원의 물과 섞이면 그 비가 변하게 되며 섞이는 정도에 따라 두 end members 값의 라인선상에 속하게 된다. 그러므로, 해수( $^{87}Sr/^{86}Sr$ 비=0.70915)<sup>5)</sup>의 영향을 받게 된다면 그 비가 해수의 조성쪽으로 향하게 된다. Cl과  $SO_4$  함량이 높고 Cl/ $SO_4$  비가 해수의 값과 유사한 경우에 하부 염수체와 섞이는 정도에 따라  $^{87}Sr/^{86}Sr$ 비가 해수의 값으로 향하였고 H-1, H-2 관정의 대수층 하부 수질의  $^{87}Sr/^{86}Sr$  비가 해수의 조성을 가지고 있는 것은 도서 또는 해안 지역에서 흔히 볼 수 있는 담수와 해수간의 경계면을 갖는 기저지하수체임을 나타내는 증거이다. 염지하수의  $\delta^{34}S_{SO_4}$ 가 20 ‰ 범위에 있으며  $\delta^{18}O_{SO_4}$  함량이 9 - 10 ‰ 범위에 있는 것은 현생해수의 혼합임을<sup>2)</sup> 시사하고 있다(Figure 3, 5).

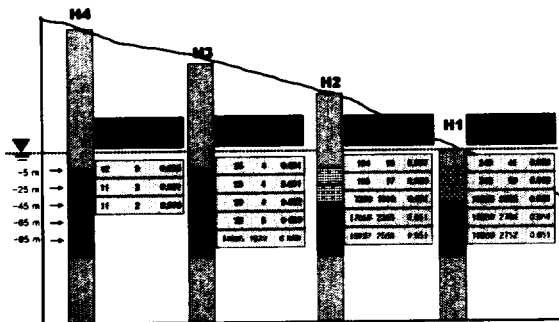


Figure 3. Cl and  $SO_4$  concentrations and molar ratio of Cl and  $SO_4$  of water samples from the different depths of observation wells in the study area.

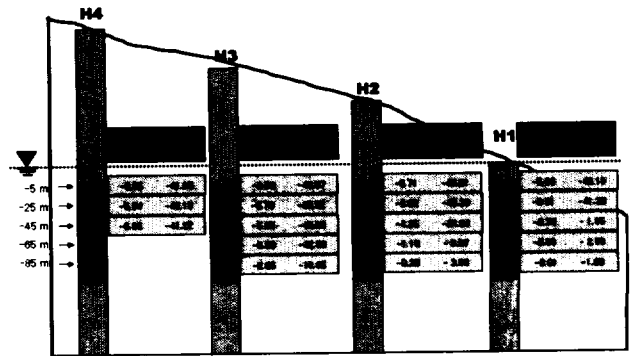


Figure 4.  $\delta D$  and  $\delta^{18}O$  of water samples from the different depths of observation wells in the study area.

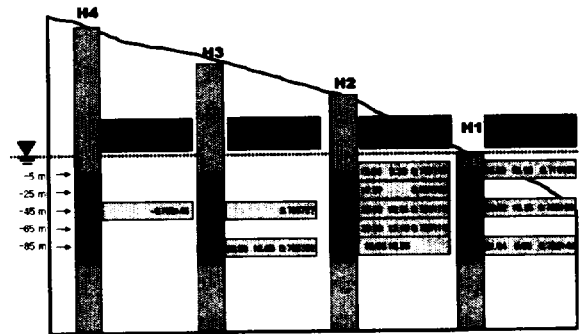


Figure 5.  $\delta^{34}S_{SO_4}$ ,  $\delta^{18}O_{SO_4}$  and  $^{87}Sr/^{86}Sr$  of water samples from the different depths of observation wells in the study area.

이상의 결과에서 보듯이 한동 지구의 지하수 담수층은 해수와 경계면을 이루는 전형적인 기저지하수이며, 해안에 가까운 경우에는 전이대가 낮은 심도에 형성되어 있어 담수 지하수의 확보에 어려움을 주고 있으며, 양질의 지하수는 해안에서 5 km 이상 떨어진 거리에서 확보할 수 있는 것으로 사료된다. 본 실험을 통해 얻은 동위원소적 및 지화학적 자료는 추후 대수층의 변화여부를 조사할 때 기초자료로 활용할 수 있을 것으로 사료된다.

## 참고문헌

1. Choi, S.H., Y.K.Kim, and D. Y. Lee. 1991, Seawater intrusion in the coastal area of Cheju volcanic island, Korea, J. Inst. Mining Geol., 24: 319-327.
2. Clark, I.D. and P. Fritz, 1997, Environmental isotopes in hydrogeology, Lewis Publishers, New York, pp.111- 122.
3. Hartley, P.E., 1980, A rapid mass spectrometer method for determination in water at natural level, Anal. Chem., 52:2232.
4. Jones, B.F., A. Vengosh, E. Rosenthal, and Y. Yechieli, 1999, Geochemical investigation, In:J. Bear, A. H.D. Cheng, S. Sorek, D. Quazar and I. Herrera(eds.), Sea Water Intrusion in Coastal Aquifers- Concepts, Method and Practice, Kluwer Academic Publishers, p. 51-71.
5. Kim B. K., K.S. Woo, and Y.K. Sohn, 2001, Sr isotopes of the Seoguipo Formation(Korea) and their application to geologic age, J. of Asian Earth Sci., 19:701-711.
6. 고기원, 1997, 제주도 지하수 부존특성과 서귀포층의 수문지질학적 관련성, 부산대학교 대학원 박사학위 논문.
7. 고기원, 박윤석, 박원배, 강봉래, 2003, 제주도 동부지역의 수문지질에 관한 연구(II), 한국지하수 토양환경학회 2003년도 총회 및 추계학술발표회 초록집, pp. 67-72.
8. 고기원, 박윤석, 강봉래, 김봉석, 2005, 제주도 동부지역의 지하지질과 화산활동, 제13회 세계 물의 날 기념 학술세미나 프로서딩, 제주 의 물· 세계의 물 제주의 자산, pp. 3-44
9. 유장걸, 안종성, 정창조, 송성준, 1986, 동위원소를 이용한 제주지역 수자원에 관한 연구 (III), KAERI/RR-527/86.
10. Vengosh A., J. Gill, M.L. Davission, and G.B. Hudson, 2002, A multi-isotope (B, Sr, O, H, and C) and age dating ( $^3\text{H}$ - $^3\text{He}$  and  $^{14}\text{C}$ ) study of groundwater from Salinas Valley, California: hydrochemistry, dynamics, and contamination processes, Water Resour. Res., 38(1), 9-1 ~ 9-17.
11. 윤정수, 1986, 제주동부지역 지하수의 고염도 요인에 관한 연구, 제주도연구 3, pp. 309-326.