

경기도지역 온천수의 수리화학, 안정동위원소 및 영족기체특성 연구

신선호^{1)*} · 정찬호¹⁾ · 김규한²⁾ · 고용권³⁾ · 김건영³⁾ · K. Nagao⁴⁾

1. 서론

이 연구에서는 경기도 이천 및 포천지역에 분포하는 온천수와 지하수 및 지표수를 대상으로 수리지화학적 특성의 규명과 진화과정에 대한 해석을 실시하고, 환경동위원소($\delta^2\text{H}$, $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^{34}\text{S}$) 분석을 통하여 온천수의 기원과 황의 기원을 해석하였다. 또한 온천수와 온천가스 내 존재하는 비활성인 영족기체(^3He , ^4He , ^{20}Ne , ^{36}Ar , ^{38}Ar , ^{40}Ar)의 동위원소 존재비를 분석하여 온천의 열원과 온천수와 일반지하수와의 혼합관계를 규명하고자 하였다.

온천이 분포하는 지역의 지질특성을 살펴보면 이천지역의 온천은 중생대 쥐라기의 대보화강암으로 조립질 석영이 우세한 흑운모화강암이다. 포천지역의 지질은 선캄브리아기 편마암류, 중생대 쥐라기 복운모화강암, 백악기 석영맥과 암맥류, 그리고 제 4 기층 등으로 구성되어 있다. 연구대상 온천의 분포와 지질특성은 Fig. 1과 2에서 각각 보여준다.

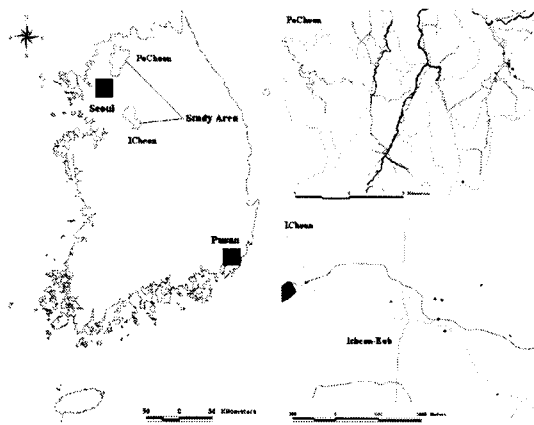


Fig. 1. Location map of the hot springs in the Gyeonggi area.

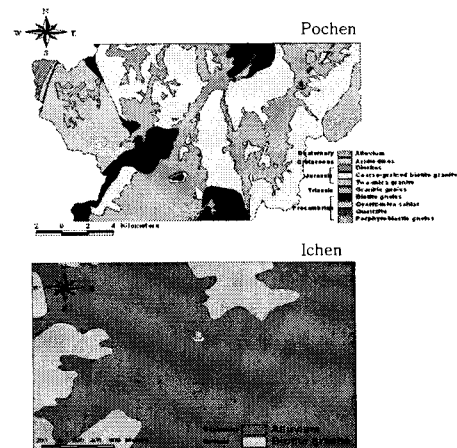


Fig. 2. Geologic map of the study area including hot spring sites.

2. 연구방법

이 연구를 위하여 경기도 이천 및 포천 지역에서 7개의 온천수, 1개의 지하수(2005년 12월) 시료와 가스성분을 채취하였고, 이후 16개의 지하수와 지표수(2006년 8월) 시료를 채취하였다. 지하수 및 지표수 시료는 온천공 주변지역에서 사용 중인 지하수공과 하천계곡수로부터 채취하였다. 온천수는 온천공에서 직접 채취하였으며, 현장에서 온도, pH, Eh, 전기전도도, 용존산소등을 측정하였다. 온천수 시료등의 알카리도는 0.05N농도의 염산을 이용하여 현장에서 산중화적정법으로 구하였다. 모든 시료는 채취 즉시, 0.45 μm 질산염막필터를 이용하여 부유물질 등

주요어: 온천수, 화학성분, 황동위원소, 헬륨가스

- 1) 대전대학교 지반설계정보공학과 (chjeong@dju.ac.kr)
- 2) 이화여자대학교 과학교육학과 (kyuhan@ewha.ac.kr)
- 3) 한국원자력연구소 방사성폐기물처분연구부
- 4) 동경대학교 지각화학연구실 (nagao@eqchem.s.u-tokyo.ac.jp)

이물질을 제거하였다. 양이온 분석을 위한 시료는 농질산을 첨가하여 pH 2 이하가 되도록 조정 후 보관하였다. 영족기체 분석용 시료는 동경대학교 지각화학연구실에서 특수 제작된 진공용기를 이용하여 대기에 노출 없이 온천공에서 직접 가스시료를 채취하였다.

온천수의 양이온 분석을 위해 원자흡광분광분석기(Unicam 989, AAS)과 유도결합쌍 플라즈마 질량분석기를 이용하였고, 음이온은 이온크로마토그래피(Dionex DX-120)를 이용하여 분석하였다. 분석의 신뢰도는 양이온과 음이온 사이에 전하균형을 계산하여 확인되었다. 산소 및 수소 안정동위원소비 분석은 한국기초과학지원연구원의 동위원소질량분석기를 이용하였다. 영족기체 분석은 동경대학교 지각화학연구실에서 특수 제작된 진공유리용기를 이용하여 채취하여 질량분석기(VG5400 MS-III)를 이용하였다.

3. 본론

연구지역에 분포하고 있는 온천수의 온도는 21.5~31.4°C의 온도 범위를 보이며 평균 온도는 25.4°C이며, 포천 온천(JI-3)이 31.4°C로 가장 높은 수온을 보였다. 온천수의 pH는 6.69~9.21의 범위를 보이며, 평균 8.0으로 약산성에서 알칼리성 범위를 나타내고 있다. 온천수의 pH가 일반 지하수에 비해 높은 알칼리성을 보이는 것은 강수의 지하침투 후 보다 긴 체류시간 동안 물-암석 반응 과정을 통하여 알칼리성으로 진화된 것으로 해석된다. 온천수의 산화-환원전위(Eh)는 -45~-178 mV의 범위로 환원성 환경을 보였다. 산화환원전위값에 의하면 온천수는 대체적으로 환원성 환경에 있고, 지하수와 지표수는 대기성분의 유입으로 산화환경을 보인다. 온천수는 천부 지하수환경에서 장석, 운모류, 탄산염광물과의 반응을 통하여 Ca, Mg 성분이 우세한 산화환경에서 심부로 이동하면서 환원성 환경과 알칼리성 환경으로 진화과정을 거치게 된다. 이 과정에서 Ca, Mg 성분은 탄산염광물 등으로 침전되고, 비반응성 성분인 Na, K 성분의 농도가 지속적으로 증가해 온천수의 화학적 유형의 변화를 보인다. 전기전도도는 온천수의 경우 310~735 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 의 범위를 보인다. 이천 온천(IC-2, IC-3)에서 700 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 이상의 높은 값을 보인다. 온천수의 용존산소는 0.03~0.31 mg/L의 낮은 값을 보인다.

온천수 주요 이온에 의한 화학적 유형은 이천지역 온천수는 Ca-HCO₃ 유형에 속하고, 포천 지역 온천수(JI-1, JI-3, SB)는 Na-HCO₃ 유형에 속한다. 이를 제외한 모든 온천수, 지하수,

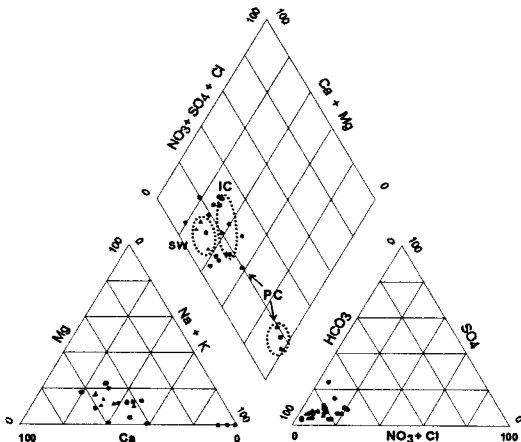


Fig. 3. Trilinear plots of chemical composition of hot spring water, groundwater and surface water samples in the study area.

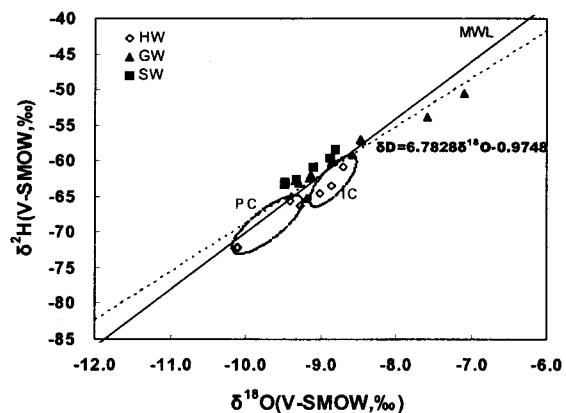


Fig. 4. Plot for $\delta^{18}\text{O}$ versus $\delta^2\text{H}$ of the hot spring water, groundwater and surface water samples from study area.

지표수 시료는 Ca-HCO₃ 유형에 속한다(Fig. 3). 이천지역은 지표수와 지하수, 그리고 온천수가 비슷한 화학적 유형을 보이고 다만 황산염등 음이온 성분에서만 다소의 차이를 보인다. 이는 온천수의 온도가 높지 않고 지하학적 진화가 충분히 진행되지 않은 온천수로 판단된다. 반면 포천지역에서의 온천수, 지하수, 지표수사이에 화학적 유형의 차이를 뚜렷이 보이는 것은 온천수의 지하학적 진화과정을 반영한 것으로 해석된다.

온천수, 지하수, 지표수의 δ¹⁸O 및 δ²H 동위원소 특성을 보면 8.45‰~-10.1‰과 -50.6‰~-72.2‰의 범위를 각각 보인다(Fig. 4). 전체적으로 순환수선을 따라 도시되므로 연구지역의 온천수는 순환수 기원임을 알 수 있다. 연구지역의 온천수는 산출지역별 위도 차이에 의한 위도 효과를 반영하고, 지표수, 지하수, 온천수로 δ²H와 δ¹⁸O의 동위원소 조성값이 낮아지는 경향을 보여 지하수 함양과 유동심도에 대한 정보를 제공한다.

경기도 이천, 포천지역 온천수의 황 동위원소 조성은 +3.30‰~+12.1‰ 범위를 보여준다. 포천 지역의 온천수는 황철석 등 황화광물의 용해에 의한 화성기원을 보여준다. 이천지역의 IC-1, IC-2 시료는 화강암 내 황철석의 용해에 의한 화성기원으로 보인다. IC-3시료의 δ³⁴S값도 12.1‰로 다른 온천에 비해 높은 값을 보인다. 이는 이천온천지역이 화강암을 모암으로 하지만 국지적인 지질조성의 차이에 기인하는 것으로 보인다(Fig. 5).

연구지역의 온천가스에 대한 영족기체 동위원소비 분석 결과 ³He/⁴He 동위원소비는 0.094×10⁻⁶~0.653×10⁻⁶ 범위를 보인다. 온천수의 ³He/⁴He 동위원소비는 대기의 1.4×10⁻⁶ 값보다 낮은 값을 보이지만 대기-지각 혼합선보다 상위에 분포한다(Fig. 6). 이천지역의 온천수는 헬륨동위원소의 대기기원의 헬륨동위원소 혼합이 우세하고, 포천지역의 헬륨동위원소는 지각기원의 헬륨동위원소 혼합이 우세하다. 또한 온천수별 동일한 기원의 혼합선상에서도 천부기원 지하수의 혼합 상태에 따라서 서로 다른 ⁴He/²⁰Ne 비를 보인다.

연구지역 온천수내 ⁴⁰Ar/³⁶Ar 동위원소비는 297.3~302.8의 범위로 대기기원의 값인 295.3과 유사한 값의 범위를 보여준다.

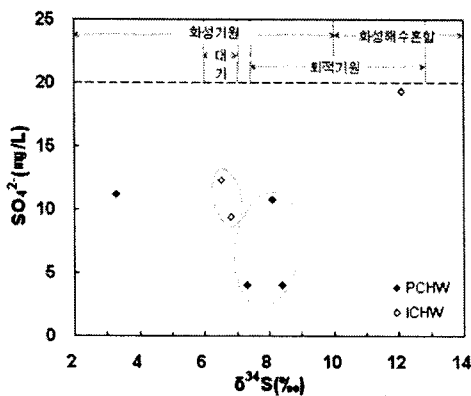


Fig. 5. Plot for SO₄ versus δ³⁴S of the hot spring water samples in the study area

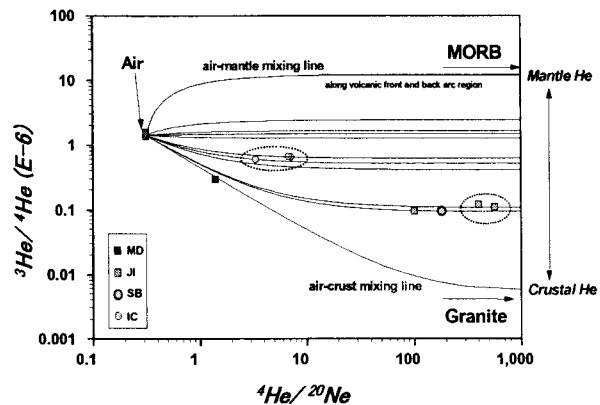


Fig. 6. He and Ne isotopic ratio of the hot spring water samples collected in the Gyeonggi area.