

부산 동래온천수의 심부환경

고용권 · 김건영 · 김천수 · 배대석 · 성규열*

한국원자력연구소

*부경대학교

nykkoh@kaeri.re.kr

<요 약 문>

부산 동래지역 지열수에 대한 지화학적 진화과정을 밝히기 위하여 지열수, 지하수 및 해수에 대한 수리화학 특성과 이들의 연관성을 고찰하였다. 또한 심부환경에서의 지화학 특성을 규명하기 위하여 각종 이온지질온도계와 다성분 지질온도계를 적용하였으며, 동위원소특성과 함께 지화학 모델링을 통하여 심부환경에서의 온천수의 지화학특성을 밝히고자 하였다. 동래 지열수의 수리화학적 특성은 해수의 영향을 받아 높은 이온함량을 보이며 Na-Cl형을 보여준다. 지열수는 주변 지하수와 크게 혼합된 양상을 나타낸다. 지화학 모델링에 따르면 지열수는 심부에서 약 5% 영향을 받은 것으로 추정된다. 즉, 심부로 순환하는 지열수가 해수와 혼합되며, 이들이 지열에 의해 가열되면서 광물의 용해 및 침전, 이온 교환 반응 등 물-암석 반응을 거치면서 심부지열수를 형성하였으며, 지열수가 천부환경으로 상승하는 과정에서 동래지역 주변 천부지하수와 다양하게 혼합되면서 현재 동래온천수의 화학조성을 갖는 온천수를 형성하는 것으로 지열수의 진화 과정을 설명할 수 있다.

주제어 : 동래온천수, 동위원소, 지질온도계, 지화학모델링, 심부환경

1. 서 론

국내에서 높은 염분을 함유하는 것으로 알려진 부산지역 온천수에 대한 수리 및 지화학 특성은 온천 조사보고서외에도 몇몇 연구자들에 의해 타지역에 비해 많은 연구가 수행된 바 있다 (한석종 등, 1999; 성규열 등, 2001). 그러나 이의 해석 결과들은 동래 온천수의 심부환경, 물-암석 반응 및 온천수의 진화 특성을 명확히 이해하는데 부족하다. 본 연구에서는 그간 수행된 동래 온천수의 지화학적 연구를 토대로 지열수에 대한 지표환경이 아닌 궁극적인 관심인 심부환경을 모사하고 지열수가 지표로 상승하는 과정에서 일어나는 물-암석 반응 및 지열수의 지화학적 진화과정을 제시하고자 하였다.

2. 본 론

가. 지질 및 시료채취

동래 온천수 지역은 동래단층 계곡에 위치하며, 서측부에 금정산 (790m)과 동측부에 장산 (450m)이

위치한다. 동래온천수는 백악기 화강암류에서 산출되며, 아다멜라이트로 명명된 화강암류는 인접한 안산암과 화강섬록암, 각섬석화강암들을 관입해 있다. 본 연구를 위하여 2000년 10월에서 2002년 3월에 걸쳐 11개 지점에서 온천수, 지하수, 해수를 포함하여 총 28개의 시료를 채취하였다. 온천수는 대부분 110~150m 심도를 가지며, pH, Eh, 온도, DO, EC 및 알칼리도가 현장에서 측정되었고, 주요화학조성이 및 동위원소조성 ($\delta^{18}\text{O}$, δD , 3H)이 분석되었다. 지화학모델링은 SOLVEQ (Reed, 1982)를 이용하였다.

나. 수리화학특성

동래 온천수의 pH는 온도와 뚜렷한 상관관계를 보이지 않지만, EC는 온도가 증가함에 따라 뚜렷하게 증가하는 경향을 보여준다 (그림 1). 이러한 온도와 전기전도도의 뚜렷한 정의 관계는 높은 이온함량과 높은 온도를 갖는 온천수와 상대적으로 낮은 이온함량을 갖고 있는 주변지하수와의 혼합현상으로 설명될 수 있다.

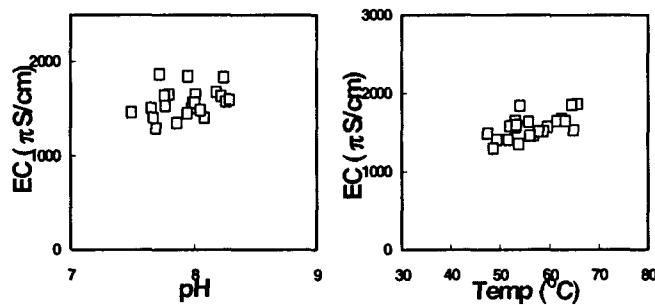


그림 1. 동래온천수에 대한 pH vs EC 및 EC vs Temp.

동래온천수의 Cl 함량과 주요이온과의 상관관계를 해수 혼합선 (Mixing line)과 함께 도시하였다 (그림 2). Na를 위시하여 Ca, SO_4 , Br 등이 Cl 함량이 증가함에 따라 함께 증가하는 경향을 보여준다. 특히, Cl과 함께 해수의 혼합의 지시자로 이용되는 Br과 Cl과의 상관관계는 해수 혼합선상에 동래 온천수가 도시되고 있어, 동래 온천수의 높은 염분함량은 해수로부터 유래되었음을 명확히 보여주고 있다.

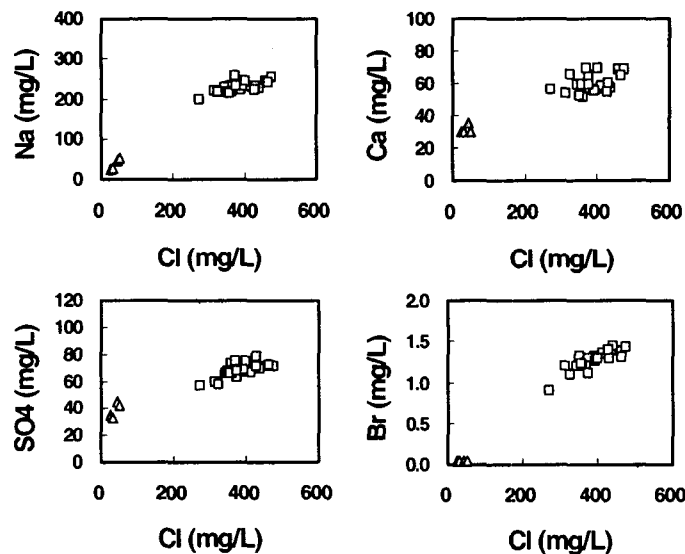


그림 2. 동래온천수의 Cl함량과 Na, Ca, SO_4 및 Br함량과의 상관관계

Na의 경우 해수혼합선상 보다 약간 아래쪽에 도시되는 반면, Ca 함량은 해수혼합현상 보다도 높은 쪽으로 도시된다. 이는 온천수가 해수와 혼합된 후 물-암석 반응을 겪은 것으로 해석될 수 있다. Ca의 증가와 Na의 감소는 일반적으로 해수침투지역에서 관찰되는 Na-Ca 양이온 교환반응으로 설명될 수 있다. SO₄의 경우는 해수혼합선에 비해 낮은 함량을 보여주고 있다. 이는 동래 온천수가 심부환경에서 환원 조건에 놓이게 되어 황산염 환원반응에 의해 온천수로부터 심부에서 제거될 수 있으며, 또한, 해수의 영향을 받은 온천수가 높은 Ca와 SO₄ 함량을 갖게 되고, 저온환경에서 높은 용해도를 갖는 경석고가 고온환경 (150℃)에서 용해도가 급격히 감소하게 되므로, 심부에서 온천수가 고온으로 가열된다면 온천수 내 SO₄는 제거될 수 있다.

다. 동위원소특성

산소와 수소동위원소 조성은 그림 3에 도시되었으며, 동래온천수는 지구순환수 (Meteoric water) 기원을 보여주고, 주변지하수에 비해 낮은 동위원소조성을 보이는 지열수는 충진고도가 지하수의 함양지역보다 높은 지역이었을 것으로 추정된다. 앞서 지열수의 지화학자료는 동래온천수가 해수와의 혼합현상을 뚜렷이 보여주는 반면, 산소 및 수소 동위원소 상관관계는 혼합현상을 뚜렷하게 보여주지 못하고 있다. 이는 해수의 혼합정도가 매우 미약하여 동위원소 조성에 큰 영향을 주지 못하였기 때문이다. 산소동위원소와 Cl 함량과의 상관관계 (그림 3)는 지하수와 온천수가 뚜렷이 구별되며, Cl 함량이 증가함에 따라 산소동위원소 조성이 다소 감소하는 경향을 보여주고 있어, 심부환경에서 동래 지열수는 높은 Cl 함량과 낮은 동위원소조성을 가진 것으로 해석될 수 있다.

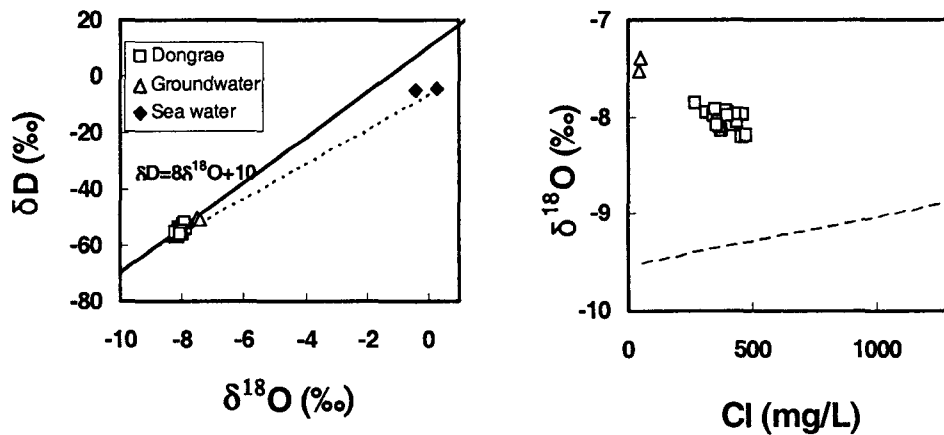


그림 3. 동래온천수의 δ¹⁸O vs δD 및 δ¹⁸O vs Cl함량

라. 지질온도계

동래온천수에 대한 이온지질온도계의 적용결과는 Na-K, Na-K-Ca지온계 및 실리카 지온계를 적용한 심부지열수의 온도조건은 65~119℃로 산출되었다. 그러나 앞서 기재된 바와 같이 동래온천수는 심부지열수와 천부지하수가 혼합된 특성을 보이고 있어, 동래온천수의 화학조성을 그대로 적용할 수 없다. 그림 4에서와 같이 동래온천수의 화학조성을 다성분 지질온도계에 적용한 결과, 대표적인 광물들의 포화상태가 수렴되지 못하고 있음을 보여준다. 그러나 이온함량이 매우 적은 지하수가 혼합되는 것을 고려하여 동래온천수의 화학조성으로부터 약 50%의 희석효과를 고려하였을 경우는 광물들에 대한 포화상태가 분산되지 않고 150℃에 인접하여 수렴하고 있음을 보여주고 있다 (그림 4). 즉, 동래온천수에 대한 심부저장지의 온도로서 150℃±20℃를 적용할 수 있다.

3. 결론

동래온천수의 수리화학특성, 동위원소 특성 및 지질온도계의 적용 결과로부터 동래온천수의 진화과정을 설명하며, 동래온천수는 심부에서 해수의 영향으로 높은 이온함량을 갖고, 지열에 의해 가열되면서 물-암석반응을 거쳐 천부로 상승하면서 동래지역 지하수와 크게 혼합되어 동래 온천수를 형성하는 것으로 간단히 요약될 수 있다.

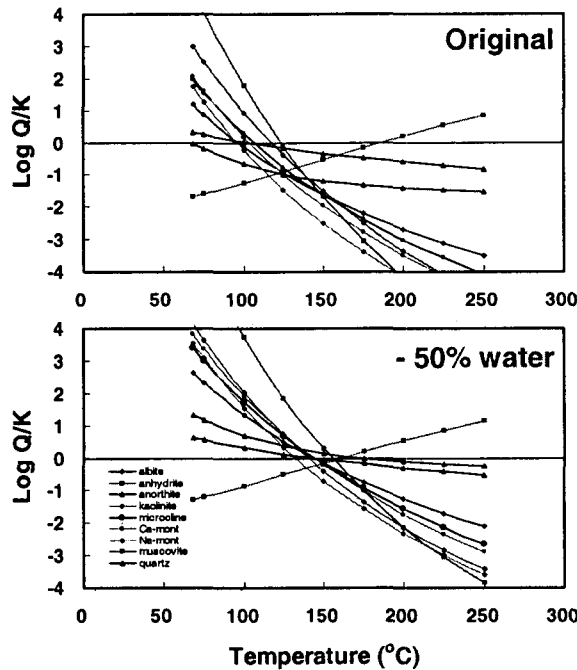


그림 4. 동래온천수에 대한 다성분지질온도계의 적용.

4. 참고문헌

- Reed, M. H., 1982, Calculation of multicomponent chemical equilibria and reaction processes in systems involving minerals, gases and an aqueous phase. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 46, pp. 513-528.
- 한석종, 함세영, 성익환, 이병대, 조병욱, 조명희, 1999, 동래온천지역의 지열수와 지하수의 지화학적 특성, *지질공학* 9권 3호, pp. 207-225.
- 성규열, 박맹언, 고용권, 김천수, 2001, 부산지역 지열수의 기원과 진화: I. 가열된 해수-암석 반응과 지하수의 혼입에 따른 회석과 냉각, *자원환경지질* 34권 5호, pp. 447-460.