

논산군 수락리 일대에 부존하는 심부 및 천부 지하수에 대한 수리지구화학적 연구

안 민 · 장호완

서울대학교 지질과학과

1. Introduction

이 연구는 충청남도 논산군 벌곡면 수락리 일대에 분포하는 변성퇴적암층과 석영반암층 내의 심부지하수 및 천부지하수에 대한 수리지구화학적 특징을 규명하는데 목적을 두었다.

이를 위해서 총 27개의 시료채취가 시행되었다. 주원소·미량원소 분석을 위해 각 지점에서 30ml polyethylene bottle 3개에 시료를 채취하였고, 모든 시료는 0.45 μ m membrane filter를 사용하여 filtering을 수행하였으며, 주원소 양이온과 미량원소 분석을 위한 시료는 20% 질산으로 산처리를 실시하였다. 또한, 온도, pH, Eh, 전기전도도가 현장에서 측정되었고, 알칼리도(Alkalinity)와 free CO₂는 적정법에 의하여 측정되었다.

주원소 양이온 중 K, Ca, Mg, Si, Fe는 유도결합플라즈마 원자방출분석기Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometry(ICP-AES), Na은 원자흡수분석기Atomic Absorption Spectrometry(AAS)을 이용하여 분석을 실시하였으며, 음이온 F, Cl NO₃, SO₄는 이온크로마토그래피Ion Chromatography(IC)을 이용하여 분석을 실시하였다.

온도검층에 의해서 평균중온율과 온도 단면도(temperature profile)를 도시하였다. 주원소 분석자료와 온도, pH 등의 현장측정 자료들을 이용하여 수용액 상에 존재하는 각 화학종의 농도와 광물상에 대해서 수용액 내의 포화지수 등을 구하고자 geochemical computer code인 MINTEQA2가 사용되었다.

2. General Geology and Hydrogeology

2-1. General Geology

연구지역은 충청남도 논산군 벌곡면 수락리 일대로서 금산도폭의 북서부에 해당된다. 이 지역의 지질은 시대미상의 변성퇴적암층과 중생대 백악기 퇴적암류, 화성암류 그

리고 제4기 충적층이 분포하고 있다. 변성 퇴적암층은 옥천계의 마전리층, 창리층 등이 분포하고 있다. 이들 층들의 암상을 살펴보면 다음과 같다.

마전리층의 주 구성암석은 석회암으로 대부분 회색 내지 암회색의 결정질 암석이며, 입도는 중립질 내지 조립질이다. 구성광물은 대부분 방해석이며 석영, 백운모, 불투명 광물 등으로 되어 있다. 창리층은 연구지역 전반에 걸쳐 분포하며, 주 구성암석은 흑색 천매암 내지 흑색 점판암이다. 부분적으로 함탄대(Coal Measure)를 가지고 있다. 이층은 흑색 변질 셰일, 탄질 셰일, 담회색 결정질 석회암, 각석암, 운모질 천매암, 운모편암등을 부분적으로 포함한다. 구성광물은 석영, 장석, 흑운모, 각섬석, 녹염석, 견운모, 탄질물, 불투명 광물 등으로 되어 있다. 전체적으로 미립 조직으로 운모류가 압연 배열된 엽리를 보여준다.

백악기 퇴적암류인 서대산 응회암은 주로 석질 응회암(Lithic Tuff)으로 되어 있고, 부분적으로 용결 응회암, 퇴적암류 등으로 구성되어 있다. 석질 응회암은 회색 응회암질 바탕에 원상(round)의 동원(Cognate)의 역들과 그 사이에 가끔 안산암, 유문암 등의 암편을 포함한다. 용결 응회암은 포함된 암편들이 길쭉하게 용결(welded)된 렌즈상을 보이며 부분적으로 결정질 또는 유리질인 것도 있다. 전반적으로 치밀하며 석영, 장석, 녹염석, 녹니석, 각섬석 등으로 되어 있다. 백악기 화성암류로는 석영반암이 분포하며, 이층은 북북동 대상으로 분포, 세립질 바탕(Matrix)에 3mm 정도의 석영 또는 장석 반정으로 가지고 반상조직을 보인다.

2-2. Hydrogeology

온도검층은 OYO 사의 Geologger Model 3400이라는 logging apparatus가 사용되었다. 검층은 분당 2~3m 정도의 일정한 속도로 진행되며, digital signal이 연속적으로 자동 측정된다. 측정된 온도는 조사공 내에서 암석과 물사이의 열전도시 암석의 것을 의미한다. 따라서, 높은 온도증온율은 상부로의 물의 대류를 보여준다. 온도 단면도는 우리나라 평균 온도증온율(26.7 °C/km)보다 낮은 기울기(12.81-19.91 °C/km)를 보이고 있으며, 모두 자분정이다. 한편, 일정 심도에서 온도의 jumping 현상이 관찰되는데, 이는 파쇄대로 보여지며 결정질 암석을 기반암으로 하는 지역에서는 큰 단층이나 절리, 파쇄대가 대수층의 역할을 하는 것이 일반적이다.

3. Hydrogeochemistry

심부지하수 및 천부지하수의 화학조성은 지하수의 recharge와 discharge에 관련된

evolutionary history를 반영한다. 국내의 지하수 및 지표수는 대부분 meteoric water 기원을 가지며, 여러 단계의 진화경로evolutionary path나 순환과정circulation process를 거치면서 물과 광물사이의 반응을 통해 용해되거나 치환된 성분이 지하수에 유입되어 다른 조성을 보인다. 따라서, 지하수 및 지표수에 대한 수리지구화학적 연구는 물의 순환과정 및 광물과의 평형시 화학조성에 대한 정보를 제공한다.

측정된 pH와 Eh 값을 가지고 pH-Eh 도diagram을 도시해 본 결과, 심부 지하수(open square)는 지하의 환원환경 하에 있음을 알 수 있고, 천부 지하수(closed square)와 지표수(open circle)는 예외적으로 한 시료만이 산화·환원 환경의 점이대에 위치할 뿐, 모두 산화환경에 있음을 알 수 있다. 또한, 주원소 자료를 이용하여 Piper diagram을 도시해 본 결과, 연구지역의 심부 지하수는 Na-HCO₃ type을 보이며, 천부 지하수와 지표수는 Ca-HCO₃ type을 보인다.

주원소 사이의 변화도variation diagram을 통해 원소들간의 상관관계를 고찰하여 보았다. 심부 지하수는 SiO₂, Na, F가 상대적으로 보다 많이 농집되어 있고, 천부 지하수는 Ca, Mg, Cl이 농집되어 있다. 심부지하수에서의 Na과 SiO₂ 농집은 사장석plagioclase의 용해dissolution에 기인한다고 여겨진다. 또한, F의 농집은 fluorite의 dissolution에 기인한다고 보여진다. Ca, Mg 등의 공급원source로 작용한 것은 도처에 소규모로 분포하는 석회석limestone내의 방해석calcite, 돌로마이트dolomite의 용해dissolution에 의한 것으로 보여지며, 방해석calcite가 주된 공급원source로 보여진다. 천부지하수의 심도에 따른 변화를 살펴보았다. 지표수와 같이 도시되었을 때 좋은 직선관계를 보여주고 있다. 이는 지표수의 유입으로 인해서 지하수의 혼합mixing 현상이 나타난 것으로 보인다.

4. Solubility Equilibria

지하수의 용존성분은 암석내의 구성광물의 용해도에 따라 영향을 받는다. 대상광물에 대해서 용해도에 따른 평형상태를 알아보기 위해 포화지수Saturation Index(S.I.)를 이용하였다. S.I.는 이온활동도ion activity products(AP)와 평형상수equilibrium constant(KT) 비의 log scale로 표현되는 값이며, S.I.가 양의 값을 가지면 그 광물에 대하여 과포화oversaturation 됐음을 의미하고 광물의 침전을 생각할 수 있다. 반대로 음의 값은 불포화undersaturation 상태를 말하며, 광물의 침전은 일어나지 않는다. 0의 값을 갖는 경우는 평형상태로 볼 수 있다. 연구지역의 지하수에 대한 S.I. 값을 구하기 위해서 MINTEQA2라는 computer code가 사용되었다. 연구지역의 심부 지하수는 calcite에 대해서 saturation되어 있으며, 천부 지하수에 비해서 Ca와 HCO₃의 결핍을 보여준

다. 따라서, 이 현상은 calcite 침전이 영향을 준 것으로 생각된다. 천부 지하수는 calcite에 대해서 undersaturation되어 있으며, dolomite에 대해서는 심부 및 천부 지하수 모두 undersaturation되어 있다. Quartz에 대한 S.I. 값은 심부 및 천부 지하수 모두 supersaturation 되어 있음을 보여 주며, chalcedony는 S.I.가 0 값을 갖는 주변에서, amorphous silica는 undersaturation되어 있음을 보여준다. 일반적으로 SiO₂는 장석의 분해산물이며, 생성된 SiO₂는 이차광물secondary mineral 침전에 의해 영향을 받는다. 심부 및 천부 지하수는 fluorite에 대해서 모두 undersaturation되어 있으며, 심부지하수는 F의 농도가 증가하면서 S.I. 값이 증가하여 saturation에 가까운 값을 가진다. 이는 심부지하수 내의 F 농도가 형석fluorite에 의해서 조절control되고 있다고 여겨진다.