대한지하수환경학회 · 한국토양환경학회
공동 심포지엄 및 추계학술대회 논문집
1998년 11월 20일 서울대학교 교수회관

공주시 유구읍 명곡리지역 천부 및 심부지하수의 지화학적 수질특성과 오염

정찬호* · 황 정* · 박충화*

*대전대학교 지질공학과

요 약 문

농촌지역인 공주시 유구읍 명곡리 지역의 천부지하수와 먹는샘물 공장의 취수정 심부 지하수을 대상으로 지화학적 특성을 밝히고, 물-암석 상호반응과 오염물질 유입에 대해서 토의하였다. 천부 지하수의 화학적 유형은 Ca-HCO_3 형에서 Ca-Cl(SO_4)형으로 전반적으로 약산성화 되어있고, K^+, Cl^-, NO_3^- 오염이 상당히 진행되어 70 %이상이 음용수로 불가능한 상태이다. 군집방법에 의하면 신선한 물과 오염된 물사이에 뚜렷한 경향의 차이를 보인다. 천부지하수의 주요 오염원은 각가정에 있는 재래식 화장식, 생활하수, 가축의 축사, 비료등으로 보인다. 심부지하수는 알카리성의 Na-HCO_3 형에서 Na(Ca)-HCO_3 형의 화학적 유형이며, 2 TU 이하의 삼중수소 함량으로 1950년대 이전에 함양된 비교적 오랜 물-암석 상호반을 거친 물로 판단된다. 반면 천부형 지하수는 1950년대 이후에 충전된 상당히 젊은 연령의 지하수로 보인다. $^{18}O/^{16}O$, D/H 환경동위원소 조성값으로 볼 때 심부지하수의 함양지역은 고도의 효과를 보인다. 이 연구결과는 농촌지역의 지하수 수질 오염에 대한 하나의 사례연구로 향후 전국을 대상으로한 농어촌지역의 지하수 오염연구에 기본방향을 제시하는데 의의가 있을 것이다.

I. 서 론

먹는물에 대한 관심이 높아짐에 따라 음용수로서 지하수에 대한 의존성이 점차 높아지고 있는 실정이다. 지하수의 수질특성은 여러 가지 요인에 의해 영향을 받는다: 유입되는 강수의 성분, 토양-물 상호반응, 물-암석 상호반응등의 자연적 인 과정과 인간활동과 관련한 인위적 오염물질의 유입에 의한 영향등이다[1].

인간활동에 기인한 지하수 수질오염은 지하수 보존측면에서 매우 중요한 환경적 문제가 되고 있다. 특히, 농촌지역에서는 농약, 퇴비, 화학비료, 재래식화장실, 가축 축사, 생활하수 등 지하수의 수질을 저하시킬 수 있는 다양한 오염원이 존재함에도 불구하고, 생활용수 및 음용수로 사용하는 지하수의 수질오염 문제는 거의 관심의 대상이 되지 못하여 왔다.

이 연구에서는 농촌지역인 충남 공주시 유구읍 명곡리일대의 가구별 생활용수와 식수로 사용하는 우물형 천부지하수와 연구지역내 개발한 먹는샘물 취수정 심부지하수를 대상으로 지하수의 지화학적 수질특성과 오염상태를 밝히고, 지하수의 지화학적 특성을 결정한 물-암

석 상호반응과 오염물질 유입관계를 규명하고자 하였다. 그리고 환경동위원소($^{2}H/^{1}H$, $^{18}O/^{16}O$, $^{3}H/^{1}H$)분석을 통하여 지하수의 함양지역 및 대재시간에 대해서도 토의하였다.

Ⅱ. 지 질

연구지역은 행정구역상 공주시 유구읍 명곡리 일대로, 이 지역의 지질은 주로 선캠브리아기의 경기편마암 복합체로 되어 있으며, 이를 관입한 백악기의 염기성 내지 중성 암맥, 석영맥이 소규모 분포한다[2]. 유구편마암은 중립 내지 조립질의 흑운모 화강암질 편마암으로 편마상 구조를 보이는 편마암, 괴상의 화강암질 편마암, 안구상 편마암등으로 세분할 수 있다. 주 구성광물은 석영, 사장석, 미사장석, 흑운모, 백운모, 세리사이트, 녹리석 등이며, 소량의 저어콘, 인회석, 녹염석, 녹니석 및 불투명 광물로 되어 있다.

Ⅲ. 연구방법

명곡리일대의 수계별 지표수, 마을 부락에서 이용하는 우물등 천부 지하수, 먹는샘물공장에서 취수정으로 개발한 심부지하수등에 대해 이화학적 현장측정, 화학조성 및 환경동위원소 조성을 분석하였다. 현장에서 물시료에 대한 pH, Eh, 전기전도도, 용존산소, 온도등의 측정되었고, 채취된 물시료는 수계별 하천수와 저수지등 지표수 11점, 우물등 천부지하수 17점, 농업용 관정지하수 1점, 먹는샘물 취수정 심부지하수 5점등 총 34점이다. 천부형 지하수공의 심도는 대략 3~40 m 정도이고, 심부 지하수공의 심도는 250~350 m 정도이다. 채취된 시료는 전처리과정등을 거쳐 이동형냉장고에 보관하여 실험실로 운반되었다. 물시료의 미량원소를 포함한 양이온 및 음이온은 AAS, ICP-AES, ICP-mass, IC 등으로 분석하였다. 지하수의 충전 및 대재시간을 알아보기 위하여 물분자의 안정동위원소와 삼중수소가 분석되었다.

Ⅳ. 결과 및 토의

1. 지화학적 수질특성

명곡리일대 지표수의 pH는 6.0~7.38, 산화환원전위(Eh)는 대부분 200 mV 내외, 용존산소량은 6.6~10.7 mg/ℓ 범위, 전기전도도는 53~153 μS/cm 범위를 보인다. 용존성분중 주요 양이온은 3~16 mg/ℓ 농도범위를 보이는 Ca^{2+}, Na^{+} 이며 일부에서는 Mg^{2+} 농도가 6 mg/ℓ 약간 높기도 하다. K^{+} 의 농도는 0.3~2.4 mg/ℓ 로 낮은 값을 갖는다. 음이온으로 HCO_3^-, SO_4^{2-} 가 주요 이온이고 하류에서는 질산성질소(NO_3)의 농도가 33 mg/ℓ 으로 높아 하류 하천수로 오염물이 유입됨을 알 수 있다.

명곡리 각 가구에서 사용하는 우물등 천부지하수는 4.7~7.5 범위를 보여 천부지하수는 전반적으로 산성화 진행되어 있다. Eh 값은 200~300 mV 의 범위, 용존산소량은 2.9~9.7 mg/ℓ 정도, 전기전도도는 59~348 μS/cm 범위를 보인다. 천부지하수의 이온성분을 보면 지표수에서 보다 Na^{+} 농도가 상대적으로 높아 4~17 mg/ℓ 정도를 보인다. K^{+} 은 0.49~15.1

mg/ℓ 의 함량을 보여 국내 화강암지역 지하수 평균 1.3 mg/ℓ 과 비교하면 상당히 높은 편이다[3]. 따라서 외부 오염원에 의한 공급 가능성이 매우 높다. 물의 경도(Hardness)를 $CaCO_3$ 로 환산하여 보면 대략 30~110 mg/ℓ 범위로 단물내지 약한 센물의 특성을 보인다. 물맛을 저하시키는 SO_4^{2-}와 Cl^-의 농도범위는 5~20 mg/ℓ 과 4~30 mg/ℓ을 각각 보여 음용수의 기준치 SO_4^{2-}의 200 mg/ℓ 이하, Cl^- 의 150 mg/ℓ 이하보다 훨씬 낮다. NO_3^- 농도는 5~66 mg/ℓ 범위를 보여 음용수의 수질기준치인 10 mg/ℓ 을 훨씬 상회하는 천부형 지하수가 상당수 존재한다.

먹는샘물 취수정 5개공 심부지하수의 pH는 8.4~8.8 범위의 알카리성이며, Eh는 PW-1 취수정에서만 환원성 환경인 -80 mV를 보이고 나머지는 42 mV 에서 110 mV 까지 산화환경에서 놓여 있다. 지하수의 용존산소량은 약 1~4 mg/ℓ 범위로 비교적 낮은 값을 보여, 측정당시 대기중 산소의 유입을 고려하면 취수정지하수는 거의 지표의 산화환경과는 상당히 격리된 것으로 보인다. 전기전도도는 186~237 μS/cm 범위를 보이다. 용존이온의 농도는 23.7~48.1 mg/ℓ 범위의 Na^+, 1 mg/ℓ 내외의 K^+, 7~15 mg/ℓ Ca^{2+}, 1.5~5 mg/ℓ Mg^{2+} 등의 양이온 함량을 보여, 가장 풍부한 양이온은 Na^+ 이다. 음이온으로 가장 우세한 성분은 112~173 mg/ℓ 농도의 HCO_3^- 이고, Cl^- 은 약 3 mg/ℓ 이하의 낮은 값을 갖는다. SO_4^{2-} 은 7~16 mg/ℓ 농도범위를 보인다. F^- 성분은 1.01~1.62 mg/ℓ 범위를 보인다.

2. 물의 화학적 유형

지표수 및 지하수의 Piper 다이아그램상[4] 화학적 유형은 우물지하수 Ca-HCO_3 형에서 Ca-Cl(SO_4) 형까지 분포한다. 취수정 심부지하수는 Na-HCO_3 형에서 Na(Ca)-HCO_3 영역에 점시된다. 천부 지하수와 심부 지하수의 사이에 물의 화학적 유형은 뚜렷한 차이를 보여주어, 이는 지화학적 진화 과정상의 차이와 천부지하수로 오염물질의 유입에 의한 것으로 볼 수 있다.

3. 환경동위원소 특성

명곡리 지표수의 산소동위원소 조성은 -9.4~-8.3 ‰을 보이고, 천부 지하수의 산소동위원소는 -9.0~-8.5 ‰을 보인다. 그리고 심부 지하수는 -8.9~-9.3 ‰ 의 비교적 좁은 범위를 보인다. 지표수의 경우 고도에 따른 동위원소비의 분명한 차이를 보인다. 수소동위원소의 조성은 지표수가 -60, -56 ‰, 천부 지하수가 -57 ‰, 심부 지하수가 -57~-61 ‰을 보여준다. 환경동위원소 특성으로부터 PW-4, PW-5 호공 지하수의 함량지역은 NE 방향의 고지대인 것으로 판단되고, 산소 및 수소동위원소의 결핍이 가장 작은 PW-2 호공의 지하수는 저지대의 함양 영향이 큰 것으로 판단된다.

명곡리 지역 지표수, 천부 지하수, 심부 지하수에 대한 Tritium 분석결과 지표수는 15.9 TU이며, 천부지하수는 11.5~9.6TU를, 심부 지하수는 0~3.5TU를 보인다. PW-2 호공을 제외하고 모두 2 TU 이하로 1950년대 핵실험이전에 충전된 물로서 판단된다. 그러나 PW-2 호공 및 천부지하수는 대재시간이 짧은 1950년대 이후에 함양된 지하수로 보인다. 이는 지하수 함양과 유동이 비교적 빠른 지질구조의 영향 때문인 것으로 보인다.

4. 물-암석 상호반응 및 인위적 오염

물-광물의 열역학적 평형관계를 WATEQ4F 프로그램을[5] 이용하여 계산해 본 결과 앨바

이트(albite)는 지표수, 천부 및 심부 지하수 모두에 대해 용해성 조건에 있고, 방해석은 심부 지하수와는 평형상태에 있고, 천부 지하수 및 지표수에서는 용해성 환경에 있다. 이차광물로 생성될 수 있는 캐오리나이트는 일부 지표수를 제외하고는 모든물에서 침전조건을 보인다. 로몬타이트는 일부 지표수와 천부지하수, 그리고 심부지하수에서만 침전환경에 있다.

연구지역 지하수의 지화학적 수질 특성에서 인위적인 오염에 의한 정도를 알아보기 위해서 군집방법(grouping approach)을 이용하여 보았다. 지표수인 발원지 계곡수의 화학성분을 물-암석 상호반응의 초기단계의 성분으로 설정하고, 심부지하수의 화학조성을 물-암석 상호반응의 후기단계의 성분으로 설정하였다. 편마암-물 상호반응에 의한 지하수의 진화단계를 pH변화로 나타내었다. 그리고 오염기원인 NO_3^-의 농도 10 mg/ℓ 기준으로 그 이하는 신선한 물(fresh water)로 그 이상은 오염된 물(contaminated water)로 설정하고, 모든 물에 대해서 pH의 함수로서 전기전도도, $\Sigma(SO_4^{2-}+Cl^-+NO_3^-)$, HCO_3/Σ음이온, K^+, Na^+, $Ca^{2+}+Mg^{2+}$ 등의 관계도를 작성하였다.

군집방법에 의하며, 신선한 물은 지표수 → 천부 지하수 → 심부 지하수로 일정한 경향의 지화학적 진화특성을 잘 보여준다. 오염된 물의 경우 NO_3^-, Cl^-가 지표오염원으로 부터 상당히 유입된 것으로 보이며, 신선한 물의 화학조성과 비교할 때 양이온중 K^+ 이 상대적으로 가장 많이 외부 오염원으로부터 유입된 것으로 보인다. 그 다음 $Ca^{2+}+Mg^{2+}$ 그리고 Na^+ 의 순으로 오염된 것으로 보인다.

V. 결 론

농촌마을인 명곡리지역의 마을주민들이 생활용수 및 식수로 사용하는 천부 지하수는 전반적으로 산성화되어 있고, NO_3^-, Cl^-, K^+ 에 의한 오염이 상당히 진행되어 약 70 % 정도가 음용수로 불가능한 상태이다. 특히 질산성질소에 의한 오염된 물을 음용할 경우 어린이에게 치명적인 녹생증을 유발할 수 있다. 천부지하수의 오염은 각가정에 있는 재래식 화장식, 생활하수, 가축의 축사, 비료에서 유출된 오염물이 충적 및 풍화대 대수층으로 유입에 의한 것으로 보인다. 그러나 취수정 심부지하수는 알카리성의 신선한 물로서 화학적 유형상 천부지하수와는 완전히 다르다. 삼중수소의 분석결과 심부 지하수는 1950년대 이전에 함양된 비교적 오랜 물-암석 상호반을 거친 지하수인 반면 천부지하수는 1950년대 이후에 함량된 상당히 젊은 연령의 물이다. 환경동위원소 조성은 지하수의 함양지역에 대한 고도효과를 잘 반영한다. 본 연구결과는 향후 전국을 대상으로한 농어촌지역의 지하수 수질오염 연구에 기본방향을 제시하는데 의의가 있을 것이다.

참 고 문 헌

1. Pacheco, F. and Weijden, C. H., "Contributions of water-rock interactions to the composition of groundwater in areas with a sizable anthropogenic input: A case study of the waters of the Fundao area, central Portugal", Water Resources Research, 32, pp. 553~570 (1996).
2. 엄상호, 이민성, "1:50,000 대흥 지질도폭 및 설명서", 국립지질광물연구소, (1963).
3. 이종운, 진효택, 전용원, "국내 화강암질암내 심부지하수의 지구화학적 특성", 지하수환경

학회지, 4권, pp. 199-211, (1997)
4. Piper, A. M., "A graphic procedurein the geochemical interpretation of water analyses", Transactions of American Geophysical Union, 25, pp. 914-923, (1944)
5. Ball, J. W. and Nordstrom, D. K., "User's manual for WATEQ4F, with revised thermodynamic data base and test cases for calculating speciation of minor, tracer and redox elements in natural waters", U. S., geolo. surv., Open File Rep. 91-183, 189p., (1992)