

B과 Sr 동위원소를 이용한 지하수 수질 특성 연구

고경석^{1*} · 염병우¹ · 하규철¹ · 류종식² · 고동찬¹ · 배광욱³

¹한국지질자원연구원, ²한국기초과학지원연구원, ³서울대학교
e-mail: kyungsok@kigam.re.kr

요 약 문

본 연구는 농경활동이 활발한 만경강 하천부지에서 지하수의 수리지질 및 수리지화학적 특성을 고찰하고 B과 Sr 동위원소를 이용하여 지하수 수질 변화에 영향을 미치는 요인을 알아보고자 하였다. 연구 결과 만경강 하천부지는 지표로부터 실트질 모래층, 자갈모래층, 풍화대로 크게 3등분되며 투수성은 모래자갈층에서 가장 좋고 그 다음으로 풍화대, 실트질 모래층 순이었다. 화학성분 검층과 $\delta^{11}\text{B}$, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 동위원소 분석결과 지하수 조성은 해수와 농업 활동에 의한 영향을 크게 받는 것으로 나타났다. 화학성분 검층 결과 해수 영향은 하천과 도로제방 사이 중간정도 까지인 것으로 사료되었으며 $\delta^{11}\text{B}$ 분석 결과 자갈모래층과 풍화대 지하수는 해수의 영향을 받는 것이 확인되었다. 본 연구지역 지하수는 지층 특성에 의한 영향으로 천층지하수는 토지이용에 따른 농업 활동의 영향을 받으며 지표하 10m 이하의 지하수는 해수의 영향을 받는 것으로 사료되었다.

Key words: 화학성분 검층, $\delta^{11}\text{B}$, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, 해수 영향

1. 서언

지하수와 지표수와의 물리적, 화학적, 생물학적인 상호작용을 해석하기 위해서는 하천부지 주변의 지하수시스템에 대한 연구가 요구된다. 이러한 하천부지의 경우 지층과 지하수의 수리지화학 및 생물학적 반응에 의해 오염물질의 분해, 이동 및 확산 등이 활발하게 발생된다. 뿐만 아니라 하천 주변에는 농경지가 넓게 발달된 경우가 많아 농경활동에 의해 생권으로 이동하는 질산염같은 비점오염원에 대한 평가에 매우 중요한 역할을 한다. 최근 들어서는 강변여과수나 지하담을 통한 이러한 연구가 수자원 확보에 널리 이용되고 있다.

지하수 오염에 대한 질산염의 기원에 대해서는 $\delta^{15}\text{N}$ 동위원소 연구 등을 수행함으로써 활발한 연구가 진행되어왔으며 최근 들어서는 $\delta^{11}\text{B}$ 과 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 을 이용하여 해석하고자 하는 연구가 진행되고 있다(Widory et al., 2004). 본 연구에서는 농경활동이 활발한 만경강 하천부지에서 지하수의 수리지질 및 수리지화학적 특성을 고찰하고 B과 Sr 동위원소를 이용하여 지하수 수질 변화에 영향을 미치는 요인을 알아보고자 하였다.

2. 연구방법 및 결과

2.1. 부지특성 및 수리지질

연구지역은 전주시 덕진구 도덕동 만경강 하천부지에 위치한 범람원 지역으로 과거에 사행천이었다가 하천제방공사를 하면서 하천을 곧게 만들고 제방을 쌓아 형성된 곳이다(그림 1). 이 지역은 현재 논, 밭, 시설영농 등 농업활동이 활발한 지역이다. 북쪽으로부터 익산천이 합류하고 있고, 연구지역에서 서쪽으로 만경강 6km 하류에는 조석에 의하여 해수의 침투를 막기 위한 갑문이 설치되어 집중 호우시에는 개방하고, 평시에는 닫아 놓음으로써 유량조절 및 관개시설의 기능을

한다.

연구지역의 수리지질 특성을 알아보기 위하여 다중심도의 관측공 및 기존 농업용관정 등에 대한 수위 측정을 하고 수리지화학적 특성을 조사하였다. 시추코아의 자료를 종합하여 지하수 흐름 및 대수층의 지층 구조에 대한 연구를 수행하였다. 연구에 사용된 관정의 위치는 그림 1에 나타나 있다.

2.2. 시료 채취 및 분석

연구지역의 수리지화학 특성을 알아보기 위하여 총 다중심도 관정 6개를 포함한 12개와 농업용관정 15개에서 지하수 시료를 채취하여 분석을 수행하였으며, 만경강 강물 시료도 두 지점에서 채취하였다. 시료는 현장에서 온도, pH, DO, EC를 측정 후 주요 양이온 및 음이온 분석을 위한 시료는 0.45 μ m 멤브레인 필터로 여과하여 채취하였다. $\delta^{11}\text{B}$ 과 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 동위원소 분석용 시료는 같은 방법으로 채취하여 한국기초과학지원연구원의 MC-ICPMS (Axiom, VG Elemental)를 이용하여 분석하였다. 지층 특성과 수리지화학적 변화에 대한 상관관계를 알아보기 위하여 수질모니터 측정기(Troll 8000)을 이용하여 A-1 및 A-2 관측정에 대하여 수질검증을 수행하였다.

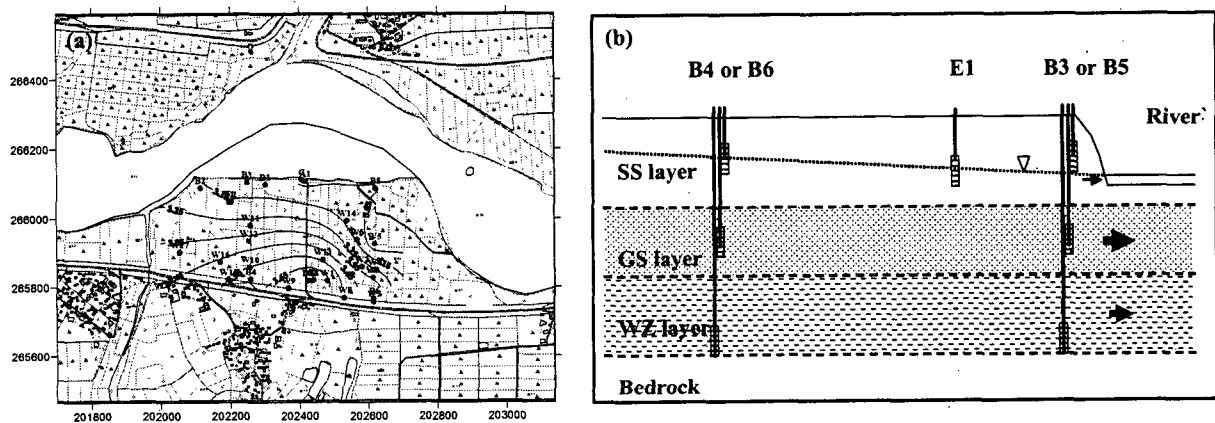


그림 1. 연구지역의 (a) 관측정 위치 및 지하수 흐름도와 (b) 대수층의 단면모식도.

3. 연구 결과 및 토의

3.1. 대수층의 수리지질학적 특성

연구지역인 만경강 하천부지는 대부분이 사질토로 구성되어 있으며, 실트질 또는 점토질 층들이 협재되어 있는 것으로 보아 전체적으로 유수에 의해 퇴적된 충적층(alluvium)으로 해석되며 점토질이나 실트질층들은 홍수에 의하여 또는 농경을 위한 지층의 교란 등의 분급작용에 의해 나타나는 것으로 생각된다. 충적층의 깊이별 분포를 보면 지표로부터 5.3 내지 9.0m 두께를 가지는 점토 및 실트질 토양이 협재하는 실트질 모래층(Silty sand layer, SS layer), 그 아래에 4.0 내지 6.7m 두께의 자갈과 모래로 이루어진 자갈모래층(Gravel and sand layer, GS layer), 그리고 기반암인 화강암의 풍화대 지역 (Weathered zone layer, WZ layer)으로 크게 3등분하여 지층의 상태를 표현할 수 있으며, 수리적으로는 지하수의 유동이 가장 클 것으로 생각되는 부분은 자갈모래층이다.

양수시험 결과 자갈모래층은 4.8-21.4m/day로 가장 투수성이 높고, 풍화대는 2.9-6.6m/day로 자갈모래층보다는 낮은 값을 보여주나 0.03-4.8m/day의 실트질모래층보다는 투수성이 좋음을 알 수 있었다. 따라서 모래자갈층과 풍화대가 연구지역 대수층 역할을 하고 있음을 알 수 있었다. 지하수 흐름을 분석한 결과 남쪽의 제방에서 하천으로 구배가 형성되어 있는 것으로 확인할 수

있었다(그림 1).

3.2. 화학성분 검층

대수층 특성과 수질 변화와의 관계를 알아보기 위하여 하천변의 A-1 관측정과 도로 제방쪽의 A-2에 대하여 화학성분 검층을 수행하였다(그림 2). 그림 2에서 볼 수 있는 바와 같이 지표에서 A-1은 10m, A-2는 15m 이하에서 일정한 온도값을 나타낸다. pH의 경우 두 공 모두 10m 내에서는 지표로부터 유입되는 농업활동 및 강우 등에 의해 유발되는 변화가 관찰된다. 그러나 12-13m 하부에서는 A-1은 EC의 증가와 더불어 급격한 pH 증가를 나타냈다. A-1에서 가까운 C-1 관정에 대한 EC 검층에서도 동일한 특징을 보여주며 이 부분은 투수성이 좋은 자갈모래층과 풍화대가 만나는 곳이다. A-1, C-1, B3의 14, 16m 지점의 수질 분석결과를 보면 Na는 135-309 mg/L, Cl은 106-363mg/L, 그리고 해수에서 특징적으로 관찰되는 Br이 0.09-0.93 mg/L로 하천변 12m 이하 지하수내 전기전도도의 증가는 해수와 영향이 있는 것으로 사료된다. 만경강하류·갑문이 만들어지기 전까지는 이 지역에까지 해수의 영향이 있던 것으로 알려져 있어 이러한 추정을 뒷받침한다. 물론 현재 이들 관정이 해수의 영향을 받고 있는지에 대한 증거는 명확하지 않으며 이에 대해서는 더 많은 연구가 진행되어야 할 것으로 사료된다. A-2의 경우 12m 이하 지하수에서 전기전도도의 증가가 나타나지 않는 것으로 보아 연구지역에서 해수의 영향은 하천변과 도로 제방 사이 중간 정도일 것으로 추정된다. 지하수 흐름과 하천수위 변동에 해석 결과(공공기술연구회, 2005)에서도 하천의 수위변동에 대한 요인이 A-2까지는 미치지 않는 것으로 나타나 이러한 해석을 가능하게 한다.

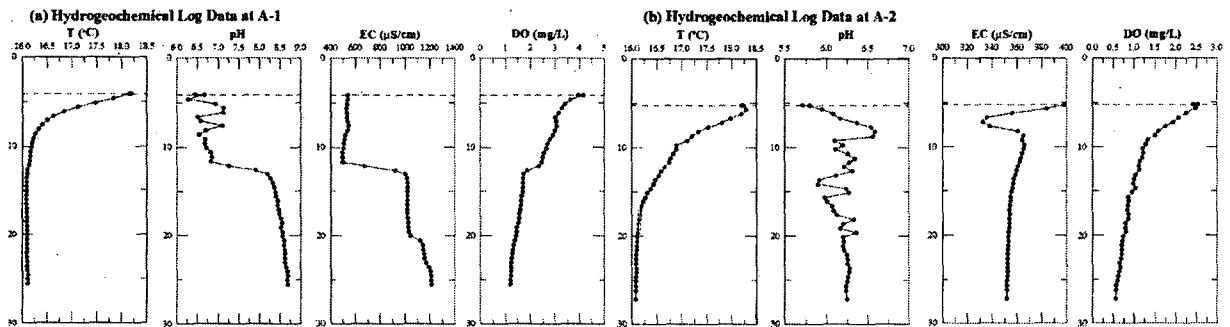


그림 2. A-1, A-2 관측정의 화학성분 검층 결과.

3.3. 수리지화학 및 동위원소 특징

연구 대상지역은 면적이 약 0.42km²(600m×700m) 정도로 비교적 작은 지역이며 농경지도 논과 시설영농(비닐하우스)이 혼재한다. 논인 경우 환원환경이 조성되어 NO₃의 영향이 적으나 비닐하우스 같은 경우는 NO₃ 같은 성분으로 인한 오염의 영향이 매우 클 것으로 예상된다. 따라서 비교적 작은 면적이지만 지하수 수질 변화는 매우 복잡하게 나타날 것으로 예상되었다. 또한 앞 절에서 나타난 바와 같이 하천변쪽 자갈모래층과 풍화대층은 해수의 영향도 보이므로 이런 영향들이 복합적으로 지하수 수질에 영향을 미치는 것으로 판단된다.

다중심도 관정에 대한 δ¹¹B 분석 결과를 살펴보

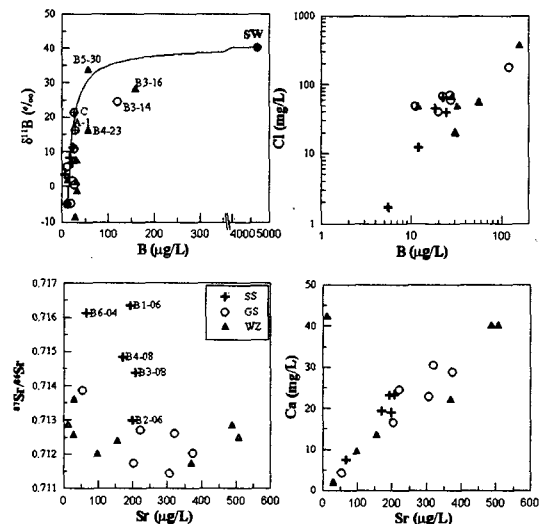


그림 3. δ¹¹B과 ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr 분석 결과.

면 자갈모래층과 풍화대층의 시료가 높은 B와 $\delta^{11}\text{B}$ 값을 가지며 해수와의 단순혼합을 가정하면 이들 시료들은 약 1-3% 정도의 해수 영향을 받은 것으로 사료된다(그림 3). 그러나 이들 시료가 정확하게 혼합선에 도시되지 않는 것은 농업 활동에 의한 영향이 복합적으로 작용하기 때문인 것으로 판단된다. Sr 동위원소 분석 결과 실트모래층에서 채취한 지하수시료들은 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 값이 0.714 이상을 보여주어 자갈모래층이나 풍화대의 지하수보다 높은 값을 보여주었다. 비료에 대한 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 값이 0.715 정도인 것을 보면 천층지하수의 경우 농업활동에 의한 영향을 많이 받은 것으로 판단된다. 전체 지하수 및 만경강 시료에 대한 B와 $\delta^{11}\text{B}$ 상관관계를 보면 해수의 영향을 받지 않은 대부분의 지하수들은 오수나 비료에 의하여 B가 증가되는 것으로 나타났다(그림 4). Cl은 B와 양의 상관관계를 보여주며 자갈모래층과 풍화대에서 Cl과 B의 증가는 해수의 영향인 것으로 사료된다.

천층지하수의 경우 토지이용에 대한 영향을 살펴보면 논과 비닐하우스로 이용되는 곳은 뚜렷한 성분 차이를 보여준다. 논인 경우 환원환경이 조성되어 산화환경의 비닐하우스와는 달리 NO_3 가 거의 검출되지 않음을 알 수 있었다. 또한 Fe, Mn의 경우에는 논아래 지하수의 환원환경에 따라 증가하는 특징을 보인다. 이밖에 중탄산염은 논지역에서 Ca와 Sr은 비닐하우스 아래 지하수에서 높은 값을 보여주었다. $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 과 지하수 수질과 $\delta^{11}\text{B}$ 관계를 보면 천층 지하수에서 비닐하우스 지역은 농업활동에 의한 영향으로 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 과 $\delta^{11}\text{B}$ 이 모두 약간 증가하는 양상을 보여주었다. 자갈모래층하부의 지하수는 배경치와 NO_3 로 오염된 지하수의 중간 정도에 위치하였으며 $\delta^{11}\text{B}$ 의 경우에는 해수의 영향으로 20이상의 값을 보여주었다. $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 의 경우 해수가 0.710 정도의 값을 가지기 때문에 이의 영향은 잘 나타나지 않는 것으로 사료된다.

따라서 본 연구지역 지하수는 지층 특성에 의한 영향으로 천층지하수는 토지이용에 따른 농업활동의 영향을 받으며 지표하 10m 이하의 지하수는 해수의 영향을 받는 것으로 사료되었다.

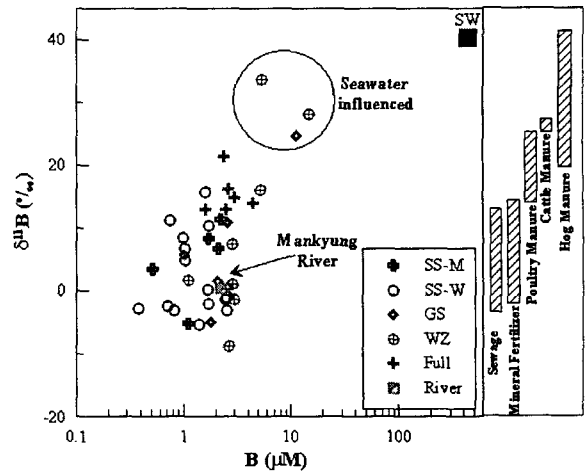


그림 4. B의 기원을 나타내는 $\delta^{11}\text{B}$ 과 B의 상관관계.

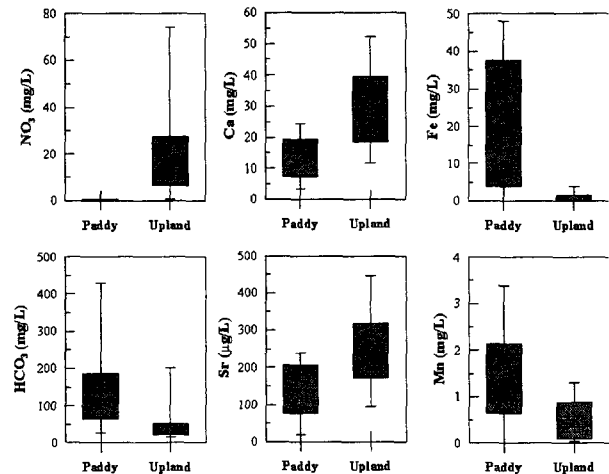


그림 5. 토지이용에 따른 지하수 조성 특성.

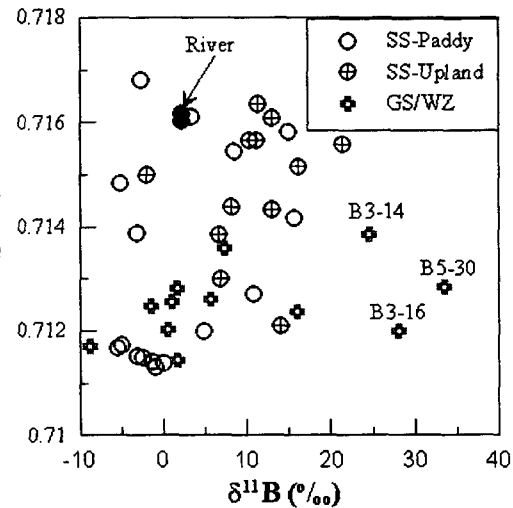


그림 6. $\delta^{11}\text{B}$ 과 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 상관관계.

사사

본 연구는 공공기술연구회 정책과제인 "지하수 환경 특성화를 위한 미생물, 미소생물의 생태학적 적용과 오염물질 거동특성 연구"의 연구비지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

공공기술연구회

- Widory, D., Kloppmann, W., Chery, L., Bonnin, J., Rochdi, H., and Guinamant, J.-L. (2004) Nitrate in groundwater: an isotopic multi-tracer approach. *J. Cont. Hydrol.*, v. 72, p. 165-188.