

강변여과수 개발을 위한 낙동강 충적층 지하수의 지구화학적 특성연구

김건영 · 고용권 · 배대석 · 김경수, 김형수*

한국원자력연구소

*한국수자원공사

kimgy@kaeri.re.kr

요약문

지하수의 인공함양특성을 해석하기 위한 기초조사로서 대구 낙동강변의 강변여과수 개발지역인 충적층내에 부존하는 자연수의 지구화학적 특성을 살펴보았다. 특히 관측공 중 한 공에는 다중패커시스템 (Multi-packer system)을 설치하여 보다 체계적인 심도별 변화를 살펴보았다. 전체적으로 시추공 및 지표수에 대한 현장측정자료는 시기별로 큰 차이를 보이지 않지만 EC값의 경우 장기양수시험이 시작된 시기부터 급격히 낮아지는 경향을 보인다. 연구지역의 자연수는 Ca-HCO₃형에서부터 Ca-SO₄형에 속하며 특히 미량원소로서 Mn의 함량이 매우 높게 나타나고 있다. 인위적 오염의 지표인 NO₃함량은 현재 양수정에서 ~10mg/L 정도의 함량을 보이고 있으며 이밖에 다중패커가 설치된 관측공의 경우 최상부 (6m)에서 ~40mg/L의 높은 함량을 보여준다. 다중패커시스템에 의해 채취된 시료에 대해 심도에 따른 변화를 살펴보면 Na, Ca, Mg, HCO₃의 함량이 심도에 따라 증가하고 있고, 음이온 중 Cl과 SO₄의 경우는 맨 하부구간인 18m에서 채취된 시료들이 시료채취시기와 관계없이 매우 낮은 값을 보인다. 미량원소의 경우 문제가 되는 Mn은 시료채취시기와 관계없이 중간구간인 13.5m구간에서 특히 많은 함량을 보이고 있다. 따라서 강변여과수로 개발하기 위한 장기양수시험에 있어서 높은 Mn 및 NO₃함량에 대한 보다 체계적인 연구와 충적층을 구성하고 있는 모래층, 자갈층, 암반층에 대한 추가 연구가 필요한 것으로 판단된다.

주요어: 강변여과수 지구화학, 충적층 지하수, 다중패커시스템, 낙동강

1. 서론

최근 들어 경제성장에 따른 물 수요의 증가와 이에 따르는 지하수 오염 등의 환경분야에 대한 관심이 높아지면서 지하수 유동 및 수문체계에 대한 이해를 높이고자 수리지질관련 및 지화학적 연구로서 지하수의 생성과정 및 물-암석 반응관계에 대한 연구들이 활발하게 수행되고 있다. 그러나 천부지하수 및 지표수에 대한 연구는 터널굴착이나, 광산폐수 및 매립지주변 지표수에 대한 연구에 제한되어 있을 뿐 (유재영, 1994; 전효택, 1997; 이찬희, 1999; 차종문, 1999) 매우 드문 실정이다. 더구나 시료채취방법의 한계때문에 심도에 따른 지하수의 지화학적 특성을 명확히 밝히기 어려웠다. 본 연구에서는 현재 강변여과수 개발을 위하여 설계조사가 진행중인 대구 달성군과 경북 고령군의 낙동강 유역을 연구대상지역으로 하여 유형별 자연수 (장기양수시험공, 관측공, 시추공, 농업용 관정, 지표수 등)를 체계적으로 채수 및 분석하였으며 한 관측공내에는 다중패커시스템을 설치하여 충적층의 심도에 따른 구간별 수리지화학적특성자료를 제시하고 그 분석결과를 해석해 보았다.

2. 지질개요

연구지역은 주로 경상계 퇴적암층으로 이루어져 있으며 중생대 낙동통에 해당하는 낙동층, 하산동층, 진주층, 칠곡층과 신라통에 해당하는 신라역함층, 함안층이 서로 정합적인 관계로 분포한다. 이밖에 제4기 충적층이 낙동강을 따르는 지역과 그 지류부근에 광범위하게 연속되는 분포를 보여주고 있다. 이 중 강변여과수 개발을 위한 장기양수시험공이 위치한 지역은 낙동강변의 충적층이 발달한 지역으로 주변지질은 주로 신라역암층과 칠곡층 및 진주층으로 이루어져 있다 (Fig. 1). 다중패커가 설치된 충적층은 하부로 약 7m와 16m 구간까지는 각각 모래층과 자갈층이며 이하 하부구간은 풍화암 및 기반암으로 구성되어 있다.

3. 연구방법

모든 시료에 대하여 온도, pH, Eh, EC, DO, 알칼리도 등의 물리화학적 특성자료가 현장에서 측정되었다. 화학분석을 위하여 모든 시료는 0.45 μm 이하로 여과하였으며, 이 중 양이온 분석을 위한 시료에는 농질산을 첨가하여 pH를 2 이하로 유지하였다. 시료의 주요 양이온 및 미량원소 함량은 한국기초과학지원연구원에서 유도결합플라즈마 방출분석기 (ICP-AES, Shimadzu ICPS-11000 III)와 유도결합플라즈마질량분석기 (ICP-MS, FISON S PlasmaTrace)로 분석하였고 음이온은 한국원자력연구소내 이온 크로마토그래피 (Dyonex 500)를 이용하여 분석하였다.

4. 연구결과 및 토의

MP가 설치된 SB-10공을 제외한 대부분의 시추공 및 관측공 지하수들은 pH가 5.7 ~ 7.3 이며 MP가 설치된 SB-10공에서 하부의 18m구간에서 채취된 지하수의 pH는 6.4 ~ 7.8로서 다른 시료들에 비해 약간 높은 경향을 보여준다. 연구 지역의 자연수 속에 용존되어 있는 주요 이온들은 Ca, Na, SiO_2 , HCO_3 , SO_4 등이고, 소량의 K, Mg, Cl, NO_3 , F 등이 분포한다. 이와 같은 주요 용존 이온종을 대상으로 Piper's diagram을 도시한 결과 연구지역의 시료들은 Ca- HCO_3 형에서부터 Ca- SO_4 형까지의 영역에 속함을 알 수 있다 (Fig. 2). 이밖에 미량원소로서 Fe, Mn, Sr, Zn, B, Ba 등이 함량이 높으며, 특히 Mn의 함량은 장기양수시험공 및 SB-9, 10, 11, 12공 시료에서 매우 높게 나타난다. 이처럼 높은 Mn함량은 강변여과수의 취수정에서 최종적으로 식수로 공급하려는 목적에 가장 큰 문제점으로 대두되고 있으며 이에 대한 기원 규명 및 처리방안이 절실히 요구되고 있으나 현재까지의 기초적인 지화학분석 결과로는 충적층내 지질매질의 지화학적 특성에 의한 영향인지 산화-환원 환경의 전이에 따른 미생물작용에 의한 결과인지는 확실하지 않다. 인위적 오염의 지표인 NO_3 함량을 살펴보면 현재 양수정에서 ~10mg/L 정도의 함량을 보이고 있으며 특히 다중패커가 설치된 관측공의 경우 최상부 (6m)의 시료는 ~40mg/L의 높은 함량을 보여준다. 이러한 사실은 현재 연구지역의 대부분이 비닐하우스 등의 경작지임에 기인하는 것으로 보인다. 그러나 낙동강물에서는 채취시기와 상관없이 10 mg/L이상의 NO_3 함량을 보이지만 10 m심도 이상의 MP구간 시료 및 강변에서 멀리 떨어져 있는 주을저수지와 농업용수로 개발된 지하수인 농업용관정 2곳 모두 NO_3 가 검출되지 않는다는 점과 NO_3 함량이 높게 나타나는 대부분 시료들이 SB-10(MP상부층), SW-2, SW-1, DB-1, DW-1-2, DW-1-3 등으로서 DB-1시료를 제외하고는 모두 현재 양수되고 있는 관정이거나 그 영향을 직접 받고 있는 관측공이라는 점 등은 강변여과를 위한 강제 양수 자체가 자연수내의 NO_3 의 함량을 높이는 역할을 하고 있을 가능성을 지시하고 있다. 이에 관해 유기물에 의한 오염도를 알아보기 위하여 용존유기탄소 (DOC)함량을 분석한 결과에 의하면 낙동강물의 경우 2.3 ppm의 용존유기탄소 함량을 보이는데 반하여 양수정의 경우 0.22 ppm으로서 약 90%정도 감소하고 있는 것으로 나타났다. 강변에서 가장 가까운 관측공인

SB-12관측공 시료에서 0.79 ppm으로 감소하고 있으며, MP시스템에 의해 채취된 시료에서도 가장 상부 구간인 6m구간에서 0.44 ppm으로서 전체적으로는 0.7 ~ 0.44 ppm의 감소된 값을 보이고 있다. 그러나 강변과 양수정사이의 다른 관측공인 SB-9와 SB-11에서는 각각 2.04 및 1.11 ppm으로서 높은 값을 나타내어 강변과 양수정사이의 거리에 따른 일률적인 감소경향을 보이고 있지는 않다. 따라서 강변여과수로 개발하기 위한 장기양수시험에 있어서 NO₃함량에 대한 보다 체계적인 연구가 필요한 것으로 판단된다.

장기양수시험공 (SW-2)에서 낙동강쪽으로 약 5m 떨어진 SB-10 관측공에 설치된 다중패커시스템에 의해 현재까지 채취된 시료에 대해 심도에 따른 변화를 살펴보면 전반적으로 4월 1일부터 시작된 장기양수시험에 의한 뚜렷한 변화는 관찰되지 않는다. 단지 EC값의 경우 시료채취시기에 따라 급격히 낮아지고 있는 특성을 보인다. 이는 4월 1일부터 장기양수시험이 시작된 영향으로 해석할 수 있지만 같은 시기의 낙동강물의 EC값 역시 동일한 양상으로 낮아진 특성을 보이며 시료채취시기의 강수량과 EC값의 변화양상 역시 비교적 잘 일치하고 있기 때문에 강수에 의한 영향이 더 큰 것으로 보인다. 용존이온의 경우 Na, Ca, Mg, HCO₃가 심도의 증가에 따라 증가하고 있으며 음이온 중 Cl과 SO₄의 경우는 맨 하부구간인 지표하 18m에서 채취된 시료들이 시료채취시기와 관계없이 매우 낮은 값을 보인다. 이는 맨 하부구간이 기반암에서 채취된 시료로서 상부 구간들의 충적층과는 상이한 지하수 유동특성 및 물-암석반응과정에 의한 것으로 해석되며 좀더 확실한 해석을 위해서는 기반암에 대한 광물학적 및 화학적 분석이 요구된다. 또한 NO₃함량의 경우에는 지표하 6m지점 아래의 심도에서는 시료채취시기와 관계없이 전혀 검출되지 않는다. 미량원소의 경우 문제가 되는 Mn은 시료채취시기와 관계없이 중간구간인 13.5m구간에서 특히 많은 함량을 보이고 있다. 이는 실제로 양수에 의한 강물의 유동이 대수층인 중간의 자갈층을 통해 이루어지고 있는 것으로 해석할 수 있으나 이 역시 충적층을 구성하는 층간의 화학특성차이에 의해서도 나타날 수 있는 현상으로서, 상부의 모래층과 중간의 자갈층, 그리고 하부의 기반암에 대한 화학분석결과가 필요하다.

이상과 같이 강변여과수 개발을 위한 장기적인 양수결과로서 낙동강으로부터의 상대적 거리에 따른 각 관측공들의 산화-환원 환경변화 규명 및 각 관측공과 강변간의 지화학적 분석값들의 상대적 변화량과 강수이벤트와의 관계를 좀더 명확히 규명하기 위해서는 현재와 같은 전반적 경향을 알기 위한 시료채취이외에도 하나의 커다란 강수이벤트를 중심으로 한 좀더 집중적이고 체계적인 시료채취가 필요한 것으로 판단된다.

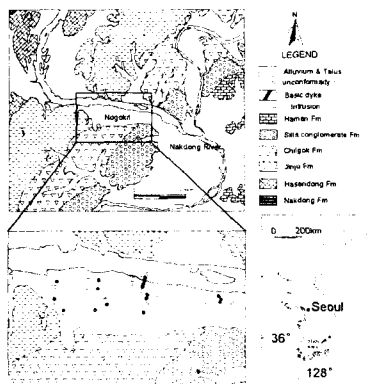


Fig. 1. Geologic map and sampling locations of the study area.

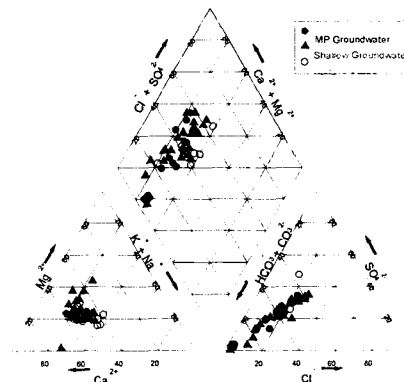


Fig. 2. Piper diagram for the water samples from the study area.

5. 사사

본 연구는 21세기 프론티어연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비지원(과제번호 3-4-1)에 의해 수행되었으며, 부분적으로는 과학기술부의 원자력 중장기 연구개발과제에 의하여 수행되었다.

6. 참고문헌

- 유재영, 최인규, 김형수, 1994, 춘천 지역의 기반암 종류에 따른 지표수의 지구화학적 특성, 지질학회지, 30, p. 307-324.
- 이찬희, 이현구, 조애란, 1999, 공주제일광산 수계에 분포하는 지하수, 지표수, 토양 및 퇴적물의 환경지구화학적 특성과 중금속 오염, 자원환경지질, 32, p. 611-631.
- 전효택, 이희근, 이종운, 이대혁, 류동우, 오석영, 1997, 동해신광산 터널굴착공사와 관련된 지표수 및 지하수의 유동변화에 대한 조사연구(II)-수리지구화학적 고찰, 지하수환경, 4, p. 27-40.
- 차종문, 김주용, 이병태, 김경웅, 1999, 광주지역 일곡 매립지 주변에서의 하천수 및 지하수 오염 모니터링, 자원환경지질, 32, p. 485-493.